



UNIVERSIDAD DE CONCEPCIÓN
FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS
DEPARTAMENTO CIENCIAS DE LA TIERRA



**IDENTIFICACIÓN, CARACTERIZACIÓN Y
CUANTIFICACIÓN DEL PATRIMONIO GEOLÓGICO
DE LA ZONA SUR DE LA RESERVA DE LA BIÓSFERA
CORREDOR BIOLÓGICO NEVADOS DE CHILLÁN -
LAGUNA DEL LAJA, REGIÓN DEL BIOBÍO, CHILE.**

Memoria para optar al Título de Geólogo

Paulo Esteban Urrutia Barceló

Profesor Patrocinante: Dr. Andrés Tassara O.

Profesores Comisión: Dr. Oscar Figueroa A.

Dra. Verónica Pineda M.

Concepción, 2018

Recibimos el regalo de la palabra. Es el regalo del quehacer artístico. Nosotros optamos por ahondar en su tierno y a veces duro camino. Sabido es que nuestro “oficio” es solitario, pero lleno de las voces de nuestra gente y del Universo infinito. Nos nutrimos de la observación que nos invita al silencio. Y aunque escribamos para nosotros mismos, escribimos a orillas de la oralidad de nuestros mayores, de cuya memoria aprendemos los sonidos y su significación ya develada. Ellas, ellos, nos entregan el privilegio, el desafío de lo por nombrar. La palabra, dicha o escrita, con verdad siempre brillará como una estrella, nos dicen. Por eso, me sigo diciendo, no podemos olvidar que los pasos cotidianos, en el territorio nuestro tienen que ver con los pasos del viento, pero también con los del más pequeño insecto. Con la mirada del cóndor en alto vuelo, mas también con la oruga. Con el grito de los ríos torrentosos, pero también con el silencio de los lagos. Con la prestancia del huemul, mas también con la humildad del pudú. ¿Puede el bosque renegar del árbol solitario? ¿Puede la piedra solitaria renegar de su cantera? La primera y más importante grada en la creación y en el método científico es la observación. En la búsqueda de respuestas sin certezas –generadoras siempre de nuevas e infinitas preguntas– respecto de cómo nos instalamos en esta tierra, ella le sigue otorgando la energía de ser, de existir. La observación definió la visión de mundo desde la que comenzaron a creer y a crear todas las culturas, todos los pueblos, en todos los continentes, sin excepción. El círculo del pensamiento –silencio, contemplación, creación– permitió que cada sociedad escuchara, percibiera y, por lo tanto, nombrara su entorno visible e invisible de una manera propia.

Otra vez la palabra en la construcción de lo nombrado, y proyectando también los despojos de un cuerpo que será nuevamente tierra, fuego, agua, aire. El impulso constante de la palabra intentando asir el misterio de la vida. La palabra, agua que fluye pulimentando la dura roca que es nuestro corazón. La palabra, el único instrumento con el que podemos tocar aquello insondable, misterioso, que es el espíritu de otro, de otra, con quien conversamos. La palabra, esa penumbra en la que podemos acercarnos al conocimiento, a la comprensión, del espíritu de los demás seres vivos y también al de aquellos aparentemente inanimados.

Elikura Chihuailaf

ÍNDICE

RESUMEN	
1. INTRODUCCIÓN	1
1.1. Objetivos	2
1.1.1. Objetivos generales.....	2
1.1.2. Objetivos específicos.....	2
1.2. Ubicación y Accesos	3
1.3. Clima	3
1.4. Flora	5
1.5. Fauna	7
1.6. Contexto Socio-económico	8
1.7. Aspectos Turísticos	10
1.8. Turismo y SNASPE	13
1.9. Gestión hídrica del valle superior del Laja	15
1.10. Agradecimientos	19
2. CONCEPTOS DE PATRIMONIO GEOLÓGICO	21
2.1. Conceptos generales	21
2.2. Patrimonio geológico	22
2.3. Geositios	22
2.4. Geodiversidad	23
2.4.1. Sitios de Geodiversidad y Elementos de la Geodiversidad	23
2.5. Geoconservación	24
2.6. Geoparque	25
2.7. Georutas	26
2.8. Geoturismo	26
3. ANTECEDENTES DE PATRIMONIO GEOLÓGICO	29
3.1. Referencias internacionales	29
3.2. Referencias nacionales	31
3.3. Programa de detección y establecimiento de geositios	33
3.4. Situación Legal	33
3.5. Consejo de Monumentos Nacionales y Santuarios de la Naturaleza	34

3.6.	Servicio de Biodiversidad de Áreas Protegidas (SBAP) y Sistema Nacional de Áreas Silvestres Protegidas del Estado (SNASPE)	35
3.7.	Actualidad del Patrimonio Geológico	36
3.8.	Reserva de la Biósfera Corredor Biológico Nevados de Chillán – Laguna del Laja	37
3.9.	Zona de Interés Turístico (ZOIT)	38
4.	MARCO GEOLÓGICO	40
4.1.	Trabajos Anteriores	40
4.2.	Geología Área de Estudio	44
4.2.1.	Generalidades	44
4.2.2.	Formación Curmallín (Oligoceno tardío-Mioceno medio).....	46
4.2.3.	Formación Trapatrapa (Mioceno medio a superior).....	47
4.2.4.	Rocas intrusivas (Mioceno superior).....	49
4.2.5.	Formación Cola de Zorro (Plioceno - Pleistoceno inferior)	50
4.2.6.	Unidades volcánicas (Pleistoceno superior – Reciente)	51
4.2.7.	Depósitos no consolidados (Pleistoceno superior – Reciente)	57
4.3.	Contextos Geológicos Regionales	62
4.4.	Evolución Tectónica	63
5.	METODOLOGÍA	65
5.1.	Mapa Geológico Simplificado	65
5.2.	Geología de detalle del Volcán Antuco	65
5.3.	Valoración del Patrimonio Geológico	66
5.3.1.	Identificación y Diagnóstico	66
5.3.2.	Clasificación, Valoración y Selección	67
5.3.3.	Caracterización de los geositios.....	77
6.	RESULTADOS	80
6.1.	Geología local simplificada	80
6.2.	Geología Detalle Volcán Antuco	82
6.2.1.	Subunidad II1 (QvaII1).....	83
6.2.2.	Subunidad II2 (QvaII2).....	84
6.2.3.	Subunidad II3 (QvaII3).....	85
6.2.4.	Subunidad II4 (QvaII4).....	85
6.2.5.	Subunidad II5 (QvaII5).....	86
6.2.6.	Centro volcánico adventicio (Qcv).....	87
6.2.7.	Depósitos laháricos (Qlh)	90
6.2.8.	Depósitos piroclásticos (Qp).....	91
6.3.	Patrimonio Geológico	91
6.3.1.	Evaluación cuantitativa de potenciales geositios.....	91
6.3.2.	Evaluación del riesgo de degradación y prioridad de protección	99
6.3.3.	Inventario final.....	101

6.3.4.	Caracterización cualitativa de los geositios	102
6.3.5.	Miradores de Interés Geológico.....	103
6.3.6.	Rutas Geológicas	104
6.4.	Historia geológica y geositios	115
7.	DISCUSIONES.....	119
7.1.	Patrimonio Geológico	119
7.1.1.	Conceptos de geopatrimonio	119
7.1.2.	Metodología y resultados.....	120
7.1.3.	Riesgo Degradación y Prioridad de Protección	125
7.1.4.	Pérdida del Patrimonio Geológico en la Reserva	127
7.1.5.	Inventario geológico Reserva de la Biósfera Nevados de Chillán – Laguna del Laja	129
7.1.6.	Evaluación del riesgo de degradación y prioridad de protección en la Reserva	132
7.2.	Geología y sociedad.....	134
8.	CONCLUSIONES.....	139
9.	REFERENCIAS	142
	<i>ANEXO I: Declaración Internacional Sobre los Derechos de la Memoria de la Tierra (Digne, Francia, 1991).</i>	<i>150</i>
	<i>ANEXO II: Red Global de Geoparques (GGN)</i>	<i>152</i>
	<i>ANEXO III: Contextos Geológicos definidos por Mourgues et al., 2012.</i>	<i>156</i>
	<i>ANEXO IV: Muestras memoria título Lohmar, Silke (2000).</i>	<i>159</i>
	<i>ANEXO V: Resultados de cuantificación de los geositios en el área de estudio (a) y la Reserva de la Biósfera Nevados de Chillán Laguna del Laja (b).</i>	<i>161</i>
	<i>ANEXO VI: Fichas descriptivas</i>	<i>167</i>
	<i>ANEXO VII: Georutas propuestas en el Corredor Biológico Nevados de Chillán – Laguna del Laja.</i>	<i>207</i>
	<i>ANEXO VIII: Glosario Geológico</i>	<i>210</i>

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1	Ubicación área de estudio y vías de acceso.	4
Figura 1.2	Temperatura media mensual año 2014 región del Biobío	5
Figura 1.3	Perfil Pluviométrico W-E cuenca río Laja.....	5
Figura 1.4	Distribución de la población ocupada.....	9
Figura 1.5	Ingreso promedio mensual de la ocupación principal por región y sexo.....	10
Figura 1.6	Turismo en la economía nacional	11
Figura 1.7	Actividades realizadas por turistas estivales.....	12

Figura 1.8 Correlación entre ingresos por turismo internacional y criterios de sustentabilidad.....	13
Figura 1.9 Variación de visitantes nacionales y extranjeros a ASPE en la región del Biobío.....	15
Figura 1.10 Intervención hidroeléctrica en río Trubunleo	16
Figura 1.11 La Cortina en Lago Laja	17
Figura 1.12 Infraestructura hidroeléctrica en el valle superior del río Laja.....	18
Figura 1.13 Imagen satelital Google Earth de la central hidroeléctrica Antuco	19
Figura 4.1 Mapa geológico del área de estudio.....	45
Figura 4.2 Correlaciones entre las formaciones del Cretácico medio a superior y cenozoicas de las vertientes occidental y oriental de la Cordillera Principal	48
Figura 4.3. Estrías glaciares en Formación Cola de Zorro.....	51
Figura 4.4 Imagen satelital Landsat 8 falso color	55
Figura 6.1 Mapa Geológico área de estudio y geositios	81
Figura 6.2 Afloramiento columnar.....	84
Figura 6.3 Panorámica hacia el NW desde el volcán Antuco	87
Figura 6.4 Fragmentos de material piroclástico.....	89
Figura 6.5 Mapa geológico a detalle del grupo volcánico Antuco-Sierra Velluda.....	92
Figura 6.6 Ubicación de los potenciales geositios analizados	93
Figura 6.7 Gráfico con los contextos geológicos representados. MgVCz	97
Figura 6.8 Gráfico de valoración cuantitativa para ranking final	99
Figura 6.9 Geositio Aguas calientes.....	105
Figura 6.10 Geositio Laguna Los Cóndores (G22) y Cerro El Toro (G23).....	106
Figura 6.11 Geo-ruta Reserva de la Biósfera NCh-LL	107
Figura 6.12 Laguna El Potro (G30).....	108
Figura 6.13 Geositio Salto El Blanquillo (G33).....	109
Figura 6.14 Geo-ruta Reserva Ñuble-Parque Nacional Laguna del Laja.....	110
Figura 6.15 Geositio Pahoehoe Toes (G6).....	111
Figura 6.16 Geo-ruta Travesía Volcán Antuco	112
Figura 6.17 Geositio Cerro Amarillo Avalancha (G9).....	113
Figura 6.18 Geo-ruta Las maravillas de Antuco	114
Figura 6.19 Anticlinal Formación Curamallín	116
Figura 6.20 Geoformas glaciares	117
Figura 7.1 Esquema conceptual de geodiversidad, geopatrimonio y geoconservación.....	121
Figura 7.2 Mapa con diagrama de cuantificación geositios	126
Figura 7.3 Salto Abanico años '30.....	129
Figura 7.4 Mapa geológico con geositios reconocidos en la reserva.....	130
Figura 7.5 Gráfico geositios dentro de la reserva.....	133

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 5.1 Criterios, valores y ponderaciones asociadas a cada uno de los parámetros según Categoría de Uso.	70
Tabla 5.2 Evaluación de la calidad visual del paisaje por Rojas y Kong (1998).	75
Tabla 5.3 Calidad visual del paisaje.....	76
Tabla 5.4 Ficha de caracterización de los geositios.	78
Tabla 6.1 Resumen petrográfico de las muestras analizadas por Lohmar (2000) de los distintos centros volcánicos adventicios del Volcán Antuco.....	88
Tabla 6.2 Resultados cuantificación geositios.	94
Tabla 6.3 Parámetros estadísticos y rangos de valores para cada categoría.	98
Tabla 6.4 Datos estadísticos de Prioridad de Protección para cada categoría de uso.	100
Tabla 6.5 Prioridad de Protección para cada categorías de uso	101
Tabla 6.6 Geositios incluidos en el inventario final.....	102
Tabla 6.7 Miradores de interés geológico en Reserva de la Biósfera NCh-LL	103
Tabla 7.1 Propuesta metodología modificada para sitios de interés geológico científico.	123
Tabla 7.2 Estadísticos y umbrales obtenidos para el análisis de la Prioridad de Protección (PP) en la reserva, según cada categoría de uso y los resultados para los geositios con necesidad de protección a “Corto Plazo”.....	135



RESUMEN

El patrimonio se considera como un bien de la humanidad, esencialmente no renovable, de enorme fragilidad y que se busca conservar. Dentro del patrimonio natural, existe el mundo biótico y el abiótico. En el caso de este último, las Ciencias de la Tierra, se encargan de reconocerlo a través del Patrimonio Geológico. Según Brilha (2016), éste consiste en el conjunto de elementos de la geodiversidad con valor científico, tanto en su aparición in situ, como aquellos que han sido extraídos de su lugar original. La geodiversidad, de manera amplia, es un término análogo al de biodiversidad, que se entiende como la variedad natural de ambientes geológicos. Mientras que un geosito, se considera como un afloramiento que contenga uno o más objetos geológicos de valor, que valen la pena preservar.

La presente investigación considera la identificación, caracterización y valoración del patrimonio geológico del sector sur del Corredor Biológico Nevados de Chillán – Laguna del Laja, que abarca en gran medida la comuna de Antuco y parte de la comuna de Pinto. Dentro de ellas, se ubican las Áreas Silvestres Protegidas de CONAF, Parque Nacional Laguna del Laja y Reserva Ñuble. Mediante el uso de una metodología cuantitativa, se clasifican los potenciales geositos según tres categorías de uso (científico, didáctico o turístico-recreativo), considerando una serie de parámetros, a los que se les asigna un valor numérico que permite generar un inventario comparativo. Ésta es la misma que la utilizada por Rivera (2014) y Donoso (2017), debido a que permite comparar los resultados de las investigaciones desarrolladas dentro de la reserva, para así generar una estrategia de gestión del patrimonio geológico ya reconocido.

De los 31 geositos reconocidos en el área de estudio, 24 han sido incorporados al inventario final con 24 geositos, que considera la suma de las tres categorías de uso (científico, didáctico, y turístico–recreativo). Estos resultados se han cartografiado en un mapa geológico del área de estudio y otro a detalle del volcán Antuco. También se han propuesto cinco miradores de interés geológico (MIG's) y cuatro georutas. Una de ellas atraviesa el corredor biológico, a través de un fragmento de una caminata conocida como *The Greater Patagonian Trail*. Ha sido propuesta una ruta que une la Reserva Nacional Ñuble, con el Parque Nacional Laguna del Laja. Además de dos en la comuna de Antuco, una rodeando el volcán Antuco por el sur y la otra, considerada “inclusiva”, ya que pueden realizarla personas de movilidad reducida y niños, recorriendo la gran cantidad de geositos que es posible observar desde distintos puntos de la carretera.

La presente investigación pretende ser una herramienta útil para instituciones, operadores turísticos y habitantes del territorio, que busquen proteger, promover y educar sobre el invaluable patrimonio geológico que presenta la reserva y que se encuentra fuertemente amenazado por la expansión industrial.

1. INTRODUCCIÓN

El turismo es uno de los sectores productivos de más rápido crecimiento a nivel mundial y nacional, que contribuye significativamente a la economía, a través de la creación de empleos, empresas, emprendimientos, infraestructura y ganancias de exportaciones, tanto para las economías avanzadas, como las emergentes. Aún en épocas de crisis, este sector se ha mantenido en constantes alzas.

La adopción de prácticas sustentables en la actividad turística, aporta importantes beneficios para la sociedad, desde la conservación del medio ambiente y el desarrollo de buenas relaciones entre las comunidades, hasta el fomento a la asociatividad entre las empresas. A pesar de estos beneficios, Chile ha quedado rezagado en este ámbito, tal como lo muestra el “Ranking de Sustentabilidad del Desarrollo de la Industria de Turismo y Viajes”, en el que ocupa el lugar 88 de entre 139 países (SERNATUR, 2012). A pesar que nuestro país se presenta como un interesante exponente del turismo de naturaleza y cultura, existe una fuerte dicotomía entre las proyecciones de comunidades, basadas en economías a baja escala y turismo enfocado en el cuidado de la naturaleza, con proyectos industriales que requieren intervenir fuertemente los territorios. En la región del Biobío, que basa su economía principalmente en la explotación forestal y energética, es posible corroborar que no se condicen los niveles de producción, con los índices de calidad de vida y desarrollo humano.

El exponencial aumento de figuras de protección, generadas por organismos nacionales e internacionales, así como de organizaciones del ámbito privado y civil, demuestra el interés de la sociedad por trabajar en un modelo de vida sostenible. Las iniciativas de conservación, centradas principalmente en la biodiversidad, han tenido un auge importante durante las últimas décadas. Dentro de las Ciencias de la Tierra, la comunidad científica, también ha reconocido su rol en la vinculación de ésta con la sociedad. Es por ello, que han surgido líneas de investigación centradas en reconocer y valorar, los diversos ambientes geológicos de la Tierra, así como de las huellas que han dejado éstos en las rocas.

En este sentido, los geoparques se han convertido en figuras de ordenamiento territorial muy interesantes para ciertos lugares. Éstos se definen bien como un territorio con un plan de desarrollo, que permite integrar la conservación del patrimonio geológico, junto con otros tipos de patrimonio natural y la preservación de la identidad cultural de las comunidades. Basándose en

la educación y el turismo, los geoparques generan herramientas de gestión autónoma, que permiten definir de manera comunitaria, los lineamientos para un desarrollo sostenible. El principal trabajo para avanzar en la generación de un geoparque, es la generación de estrategias de geoconservación y geoturismo, mediante el reconocimiento del patrimonio geológico de un área determinada.

El reconocimiento como Reserva de la Biósfera, entregado por la UNESCO en 2011, al Corredor Biológico Nevados de Chillán – Laguna del Laja, busca potenciar actividades humanas que se desarrollen de manera armónica con el lugar, fomentando una gestión sostenible con el entorno, a través de actividades económicas, educación, investigación y turismo. Este territorio que incluye 9 comunas de la región del Biobío, se ubica en la Cordillera de los Andes, limitada al Norte por el valle del río Ñuble y por el sur con el valle del río Laja. Las investigaciones realizadas dentro del Corredor Biológico, en el área del geopatrimonio, dan cuenta del enorme valor geológico y las potencialidades que éste presenta para generar programas geoturísticos y educativos.

1.1. Objetivos

1.1.1. Objetivos generales

- Caracterizar el Patrimonio Geológico de la zona sur de la Reserva de la Biosfera Corredor Biológico Nevados de Chillán-Laguna del Laja, sobre la base de una cartografía escala 1:100.000 y una interpretación geológica ligada a circuitos geoturísticos.
- Evaluar la posibilidad de proponer geoparque siguiendo lineamientos de la Red Global de Geoparques promovida por UNESCO. Para ello se complementarán los resultados obtenidos en esta investigación, con las realizadas Rivera (2014) y Donoso (2017), sobre la misma línea de estudio en el Corredor Biológico Nevados de Chillán-Laguna del Laja.
- Poner a disposición de las comunidades, el conocimiento del patrimonio geológico existente en su territorio.

1.1.2. Objetivos específicos

- Confeccionar un mapa geológico a escala 1:100.000 a partir de la compilación de antecedentes geológicos regionales y de la observación y mapeo geológico realizado en terreno.

- Identificar y caracterizar en terreno sitios de interés geológico (geositios) y proponer posibles georutas.
- Sistematizar la información obtenida en terreno utilizando la metodología geopatrimonial propuesta. De esta manera, se genera un inventario, cuantificación y clasificación estadística de potenciales geositios, junto con establecer una prioridad de protección a los potenciales geositios con mayor riesgo de degradación.
- Generar un inventario total de los geositios reconocidos en la reserva, con los resultados de las investigaciones de Donoso (2017) y Rivera (2014).

1.2. Ubicación y Accesos

El área de estudio está situada en la zona sur de la Reserva de la Biósfera Corredor Biológico Nevados de Chillán – Laguna del Laja, entre los 36°56'- 37°29' latitud sur y 71°15' - 71°40' longitud oeste. Ubicada en la Cordillera de los Andes de la región del Biobío, perteneciente a la provincia de Concepción. Abarca parte de las comunas de Antuco y Pinto. Dentro de ellas se ubican las Áreas Silvestres Protegidas de CONAF, Parque Nacional Laguna del Laja y Reserva Ñuble (Figura 1.1).

La comuna de Antuco está ubicada a 65 km de los Ángeles. Es posible acceder a ella utilizando la ruta Q-45, la cual se encuentra asfaltada hasta la localidad de Malalcura, posteriormente se puede continuar en la ruta de ripio hasta el Paso Pichachén.

Por su parte, para acceder al sector norte del área de estudio, donde está ubicada la Reserva Nacional Ñuble, se debe tomar la ruta N-55 desde Chillán. La ruta asfaltada continúa durante 53 km hasta la localidad de Los Lleuques. Luego se debe virar a la derecha por un camino de ripio hasta el Fundo Los Cipreses. Desde ahí, el camino solamente es apto para vehículos 4x4 o caminando por los siguientes 8 km hasta El Trumao, punto de acceso a la Reserva Nacional Ñuble.

1.3. Clima

La región se caracteriza por presentar un clima transicional entre el clima mediterráneo o templado cálido, más al norte, y el clima templado húmedo, predominante hacia el sur. En la Cordillera de los Andes se presenta un clima frío de altura con abundantes precipitaciones anuales, alcanzando más de 2000 mm anuales. El efecto orográfico producido por los Andes produce una disminución de las temperaturas generando importantes acumulaciones de nieve

concentradas durante las épocas invernales (Figura 1.2). El Volcán Antuco tiene su límite de neviza a los 2.700 m y la Sierra Velluda a los 2.600 m, ambos con presencia de glaciares en sus laderas (Lohmar, 2000).

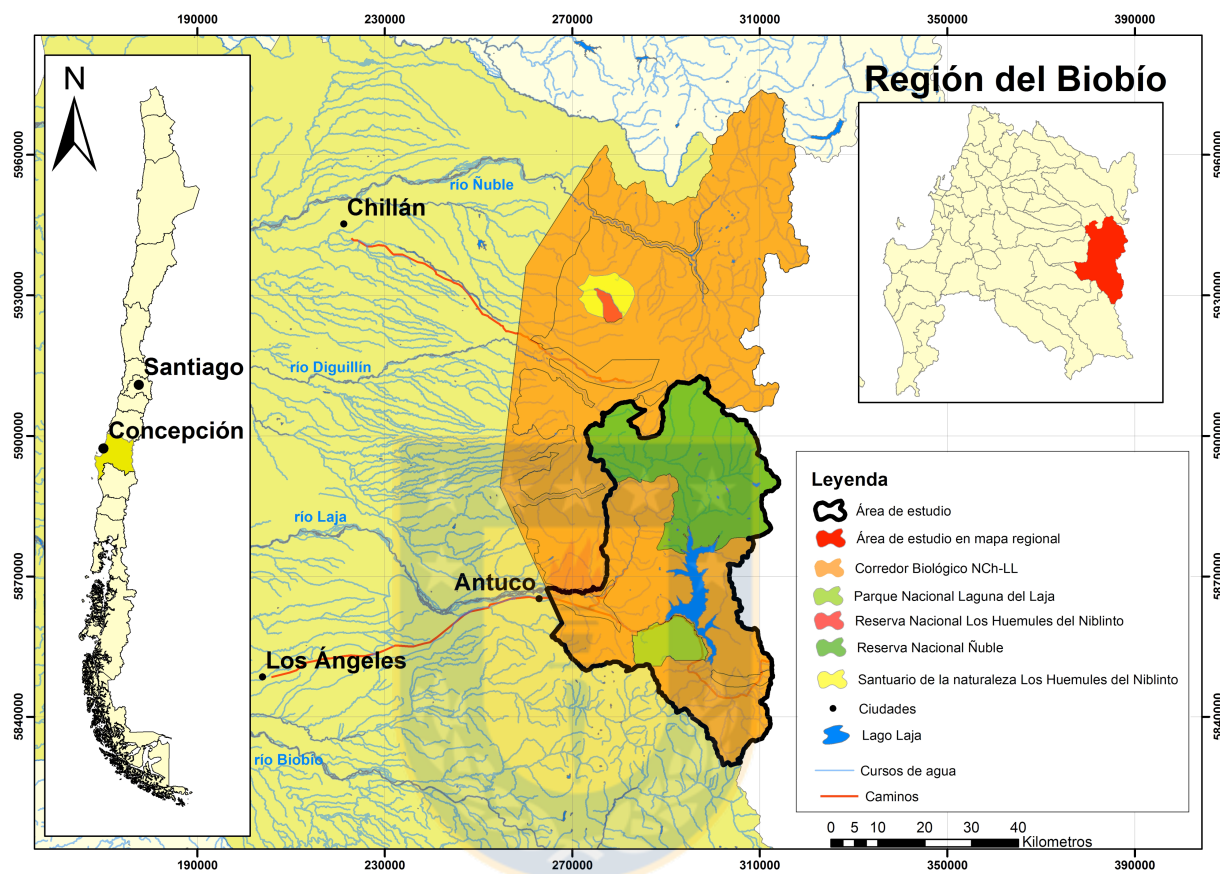


Figura 1.1 Ubicación área de estudio y vías de acceso.

Como se observa en la Figura 1.3, las precipitaciones aumentan sus registros en forma proporcional a medida que aumenta la latitud y que avanzamos desde la costa hacia la Cordillera de Los Andes, presentando en el litoral registros entre 700 y 1.200 mm.; en la zona intermedia de norte a sur valores de agua caída entre 950 y 1.500 mm y en la zona andina y precordillera registros sobre los 1.400 mm (IGM, 2001).

Los Andes del Biobío corresponden a vertientes montañosas de mediana altura de tipo mediterráneo, boscosa y húmeda. Los mecanismos climáticos están determinados por la acción del anticiclón del Pacífico, el cual influencia la sequía estival y el invierno húmedo. Acercándose a la zona de estudio, los Andes amplifican la influencia zonal de los sistemas frontales originando pisos bioclimáticos, que se tornan más húmedos y fríos a medida que aumenta la altura (IGM,

2001). Estas condiciones climáticas locales producen la transición vegetacional hacia el sur, observadas en el corredor biológico.

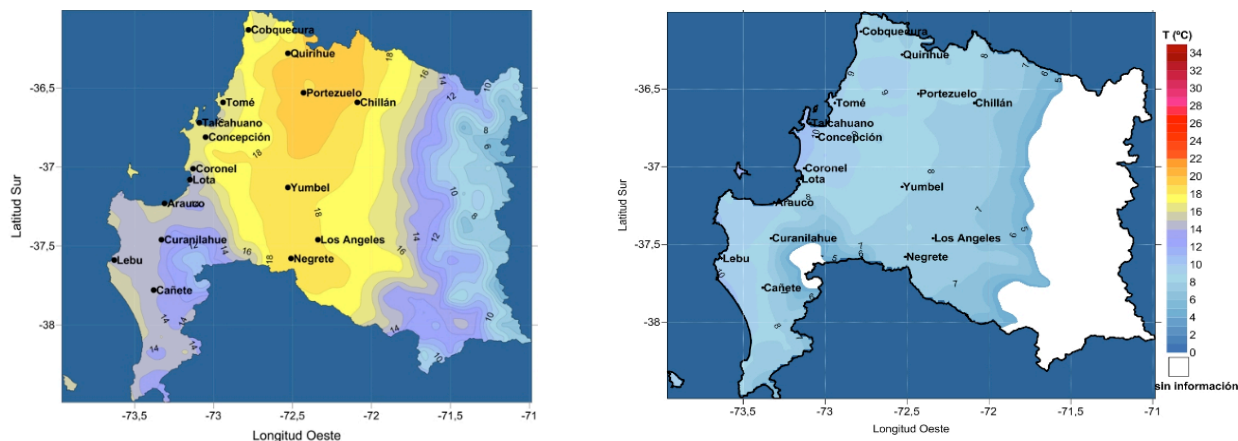


Figura 1.2 Temperatura media mensual año 2014 región del Biobío. Meses febrero y julio. Fuente: Dirección Meteorológica de Chile.

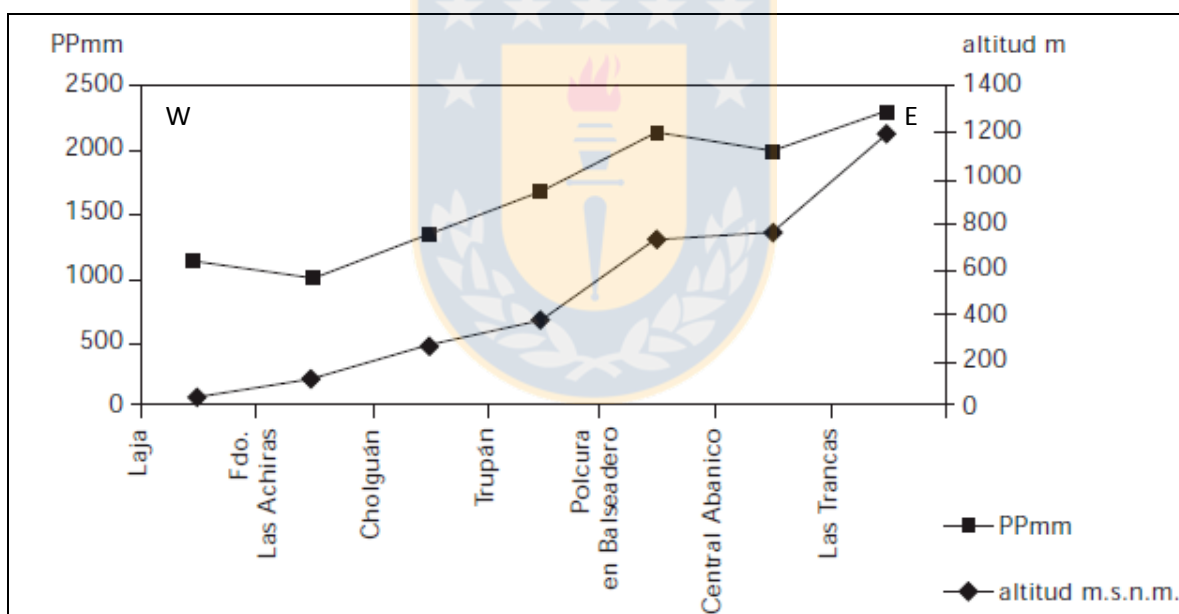


Figura 1.3 Perfil Pluviométrico W-E cuenca río Laja. Considera 7 estaciones pluviométricas de la cuenca. Fuente: ENDESA (2000) en Mardones & Vargas (2005).

1.4. Flora

La Reserva de la Biósfera ha sido reconocida por la UNESCO, debido a la importancia de su biodiversidad. Ubicada en la parte norte de la Patagonia dentro de la ecorregión de los Bosques Templados Valdivianos de Chile, es considerada un hotspot de alta biodiversidad y zona de transición vegetacional, donde confluyen ecosistemas de la ecorregión del bosque esclerófilo de

la zona central y del bosque templado austral, en una zona con alta densidad genética y poblacional. Además, la biodiversidad se encuentra constantemente amenazada, producto de la alta fragmentación ambiental, debido a actividades de origen antrópico intensivo como la agricultura, ganadería, forestal y hidroelectricidad. Lugares como los Nevados de Chillán y río Polcura han sido considerados prioritarios para la conservación de la biodiversidad en Chile.

Los autores del Plan de Manejo Laguna del Laja, se basan en las clasificaciones vegetacionales de Gajardo (1983), donde reconocieron que el área de estudio incluye especies del Bosque Caducifolio de la Montaña, que constituye una formación de gran riqueza florística, pues evidencia el límite norte de muchas especies leñosas y herbáceas de los bosques más australes. Gran importancia adquiere la presencia de Ciprés de la Cordillera (*Austrocedrus chilensis*), clasificada como vulnerable. Existen zonas donde estos bosques presentan alta densidad y constituidos casi exclusivamente de esta especie (CONAF, 1993).

Dentro de la región de los Bosques Andino-Patagónicos, los Bosques Caducifolios Alto-Andino están representados en las zonas bajas de los valles, por bosques de Lengua (*Nothofagus pumilio*) y Coigüe (*Nothofagus dombeyi*). Mientras que en las zonas altas se pueden encontrar altas densidades de Ñirre (*Nothofagus antártica*), ampliamente distribuidos en la Reserva Ñuble.

También dentro de esta ecorregión de los Bosques Andino-Patagónicos, el sector sur limita al norte de la subregión de la Cordillera de la Araucanía, caracterizado por la distribución natural del Pehuén o Araucaria (*Araucaria araucana*), considerada vulnerable. De manera aislada existen distribuidos algunos ejemplares de Araucarias en la zona este del P.N. Laguna del Laja, las cuales se cree que fueron plantadas por los pehuenches, para ser utilizadas como punto de descanso y referencia al cruzar la cordillera hacia Argentina (Villalobos, 1989).

Además existen diversos árboles y arbustos nativos, que se distribuyen de manera generalizada en toda la zona, tal como: *Lithrea caustica* (Litre), *Aristotelia chilensis* (Maqui), *Eucryphia glutinosa* (Guindo santo), *Sophora macrocarpa* (Mayu), *Nothofagus alpina* (Raulí), *Nothofagus oblicua* (Roble), *Cryptocarya alba* (Peumo), *Peumus boldus* (Boldo), *Luma apiculata* (Arrayán), *Podocarpus saligna* (Mañío de hoja larga), *Gevuina avellana* (Avellano), *Lomatia hirsuta* (Radal), *Quillaja saponaria* (Quillay), *Drimys winteri* (Canelo), *Chusquea spp.* (Quila), entre otros.

Cabe destacar, la presencia de la cactácea nativa Maihuén (*Maihuenia poeppigii*), que crece en sustrato volcánico, cubierto durante el invierno por la nieve depositada en los alrededores de

Laguna del Laja. Se deben considerar medidas del control del tránsito por zonas habilitadas, ya que la pérdida de hábitats y degradación antrópica, son las principales amenazas para esta especie.

Gajardo (1983), reconoce que las formaciones vegetacionales en el país, se encuentran fuertemente amenazadas e intervenidas por actividades antrópicas como cultivos agrícolas y plantaciones extensivas de monocultivos, llegando en ciertos casos a la casi extinción de algunos tipos de bosques como el caducifolio de la frontera.

1.5. Fauna

La Reserva incorpora sitios de alta diversidad de formaciones vegetacionales y alto recambio de especies, particularmente de aves, sirviendo como corredor migratorio de aves rapaces. Destaca la presencia del huemul, ciervo nativo amenazado, último lugar donde sobreviven en Chile Central, protegido en tres de sus cuatro áreas núcleo. La intensa actividad humana que ha alterado su hábitat natural ha obligado a esta fauna silvestre a convivir con los cultivos y plantaciones artificiales, o retirarse a aquellos lugares donde la acción humana es menos intensa. Esto ha llevado a algunas especies a extinguirse en la región, o bien, a estar en vías de extinción. Según los planes de manejo del Parque Nacional Laguna del Laja y Reserva Ñuble, se encuentran presentes las especies típicas de la zona centro-sur del país. Entre los mamíferos se pueden mencionar el Culpeo (*Canis culpaeus*), Chilla (*Canis griseus*) y el Coipo, (*Myocastor coypus*). El Quique (*Galictis cuja*), Puma (*Felis concolor*), Pudú (*Pudú pudú*). Éstos habitan en la región, pero se encuentran clasificados como vulnerables a la extinción. En peligro de extinguirse están la Vizcacha (*Lagidium viscacia*), Gato colocolo (*Felis colocola*), Guiña (*Felis guigna*) y el Huemul (*Hippocamelus bisulcus*). El Guanaco (*Lama guanicoe*) y Huillín (*Lutra provocax*), son especies que se extinguieron en la región.

Entre las aves se pueden citar el Zorzal (*Turdus falklandii*), Loica (*Sturrella loyca*), Jilguero (*Zorothrichia capensis*) y el Cóndor (*Vultur gryphus*). Especies como Becacina (*Gallinago gallinago*), Torcaza (*Columba araucana*) y Bandurria (*Theristicus caudatus*) son vulnerables a la extinción, en tanto que en peligro de extinguirse en la región se encuentran el Choroy (*Enicognathus leptorhynchus*), Cuervo de Pantano (*Plegadis chihi*) y el Carpintero Negro (*Campephilus magellanicus*), entre otros.

1.6. Contexto Socio-económico

Los geoparques y estrategias de geoconservación son una forma de gestión del territorio. Por ello, para que un trabajo de patrimonio geológico sea efectivo, es necesario situarse en el contexto social en el cual se desarrolla la comunidad beneficiada. En este contexto, se deben reconocer los diversos sectores productivos de la zona, y cómo éstos contribuyen a la solución de algunas problemáticas o en caso contrario, cómo son capaces de generarlas. De esta manera, alternativas como los geoparques, sirven para gestionar las actividades desarrolladas por los distintos actores del territorio.

Según el censo del año 2002, las ocho comunas cuyos territorios participan en la Reserva, tienen un total de 92.270 habitantes, con una densidad de 9,8 hab/km² (INE, 2005). La población localizada al interior de la Reserva es de 7.728 habitantes, con una densidad de 1,7 hab/km². Del total de habitantes, 4.280 (55,4%) se concentran en los siete núcleos poblados más importantes, que a su vez están asentados en los principales valles, a través de los que ingresa la actividad humana a este territorio. La población que está dispersa en el medio rural es una parte minoritaria. Los asentamientos humanos más relevantes según la población que albergan son, de norte a sur, San Fabián de Alico (Comuna de San Fabián de Alico), Recinto-Los Lleuques, Las Trancas (Comuna de Pinto), Antuco y Abanico (Comuna de Antuco).

Según el Plan de desarrollo comunal (PLADECO) de Antuco 2010-2014, las áreas productivas que se identifican dentro de la comuna son: la silvoagropecuaria, el turismo, el comercio y la hidroeléctrica. La actividad silvoagropecuaria corresponde a cultivos de baja escala y autoconsumo, como trigo, papas, avena, hortalizas y frutales, apicultura, recolección de hongos silvestres, además de ganadería principalmente bovina, caprina y ovina. El comercio es de pequeña magnitud, está orientado a satisfacer las necesidades de la población local, principalmente representado por supermercados, ferreterías, vulcanizaciones, re-ventas de bencinas. En el sector turístico, la comuna cuenta con una gama de atractivos turísticos relativamente amplia, que representa –potencialmente-, una fuente de desarrollo económico, social y cultural. Pese a situarse en un territorio con grandes atractivos naturales, la comuna de Antuco no ha logrado consolidarse como un centro de atracción turística, debido a varios factores, entre ellos: la escasez de servicios básicos, infraestructura y equipamiento turístico, y la falta de incentivos del sector público y privado. El sector hidroeléctrico en la comuna tiene un gran desarrollo, alcanzando 1084 MW de potencia instalada. Sin embargo, a pesar de la gran

relevancia a nivel nacional que tiene el sector hidroeléctrico, éste actualmente implica escasos beneficios para la comuna ya que no genera puestos de trabajos, no se adquieren los insumos en el mercado local, y sus funcionarios permanentemente viven en la ciudad de Los Ángeles.

La comuna de Antuco presenta una situación relativamente aislada que, si bien constituye una limitante en diversos aspectos, beneficia a la comuna en lo que se refiere a la conservación de su medio natural, ya que permite la preservación de extensas áreas de bosque nativo, así como sectores escasamente intervenidos en la Cordillera. Además, permite contar con un Parque Nacional en su territorio, así como agua y aire prácticamente libres de contaminación.

La **Error! Reference source not found.**Figura 1.4 muestra la distribución de la población del país, ocupada según rama de actividad por sexo a nivel nacional. Las actividades económicas que se pueden ver beneficiadas por el aumento en la oferta y calidad turística dentro de la reserva son; comercio al por menor, transporte de pasajeros, enseñanza, servicios de salud, hoteles y restaurantes.

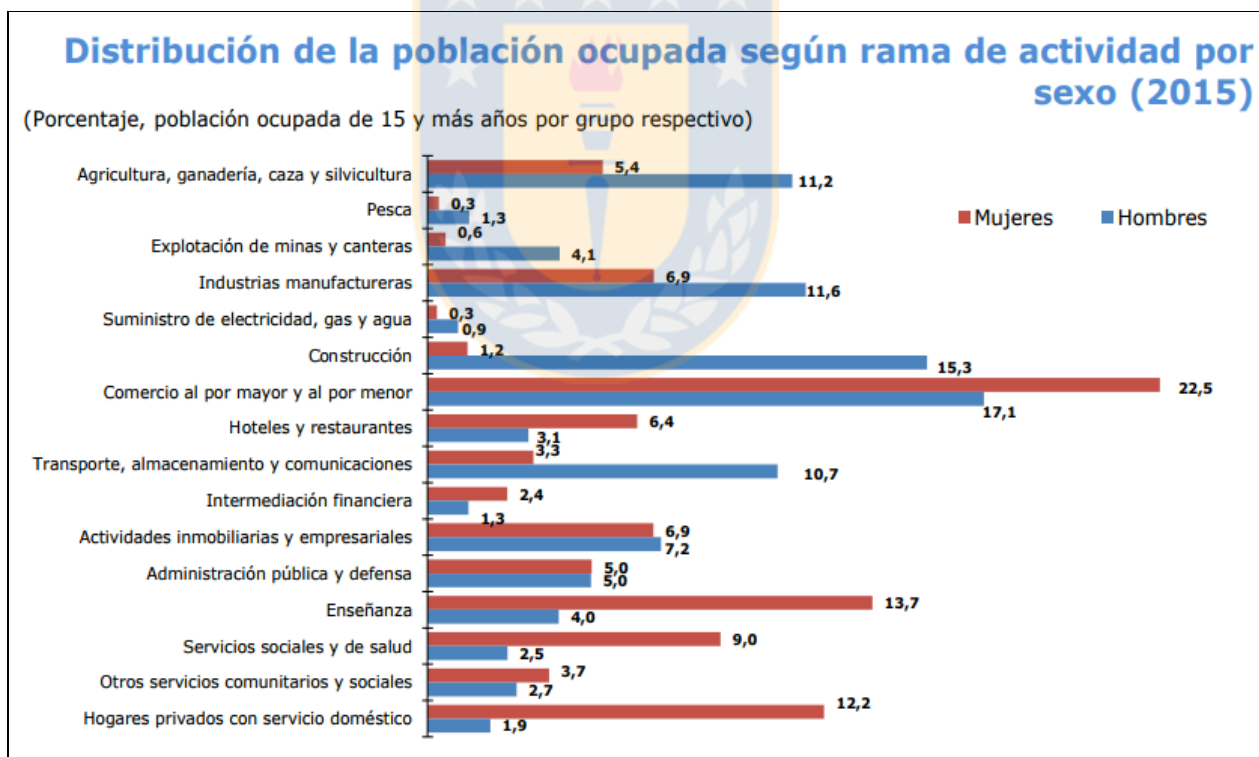


Figura 1.4 Distribución de la población ocupada, según rama de actividad por sexo a nivel nacional. Fuente: CASEN, 2015.

La gran parte de estas actividades son desarrolladas por mujeres, en un contexto nacional donde se encuentran diferencias estadísticamente significativas, en el ingreso promedio mensual entre

hombres y mujeres; casi un 27% más entre los primeros con las segundas (CASEN, 2015). Estas diferencias son aún más pronunciadas en el contexto particular de la zona, que es la Región del Biobío y sectores rurales (Figura 1.5).

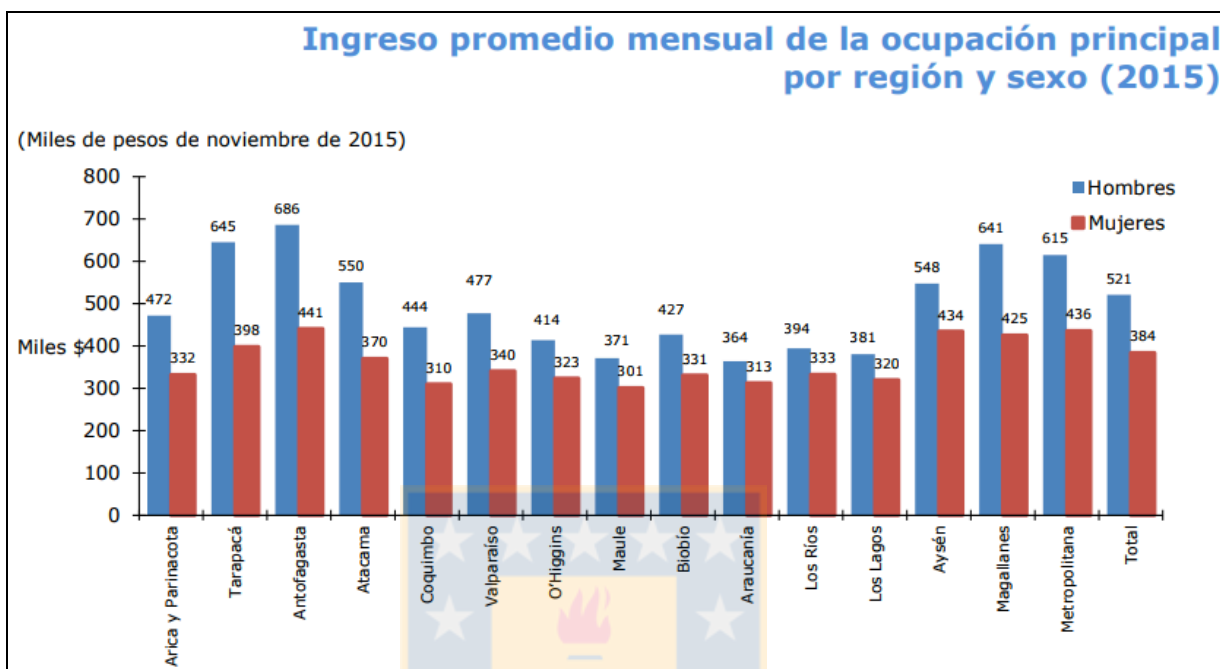


Figura 1.5 Ingreso promedio mensual de la ocupación principal por región y sexo. Fuente: CASEN, 2015.

1.7. Aspectos Turísticos

El turismo es uno de los sectores productivos de más rápido crecimiento a nivel mundial y nacional, que contribuye significativamente a la economía a través de la creación de empleos, empresas, emprendimientos, infraestructura y ganancias de exportaciones, tanto para las economías avanzadas como las emergentes. Aún en épocas de crisis, este sector se ha mantenido en constantes alzas. En el caso de Chile, al año 2011, el turismo ocupaba el 4° sector exportador, después de las industrias de minería, frutícola y de celulosa y papel. Además, representa el 5% de los ingresos, equivalentes a 2.357 millones de dólares sólo por concepto del turismo receptivo (Figura 1.6). De este modo, el sector turístico se sitúa por sobre la industria vitivinícola, forestal y salmonera (SERNATUR, 2012).

El interés por posicionar este sector en la economía nacional es relativamente reciente, con la creación de la Ley de Turismo el año 2010. Durante el 2011, sobre 3 millones de turistas internacionales llegaron a Chile, un 11% más que el año 2010, crecimiento debido al notable

aumento en la llegada de turistas brasileños, entre otros factores. Del total de visitantes, un 39% ingresaron por vía aérea, un 55% por vía terrestre y un 6% por vía marítima (SERNATUR, 2012). Se estima que en 2017, los visitantes extranjeros hayan sumado 6.700.000 y para 2018, superen los siete millones. Por tercer año consecutivo, este 2017, Chile fue elegido Mejor Destino de Turismo Aventura de Sudamérica en los World Travel Awards (WTA) y además, el medio internacional experto en turismo, Lonely Planet señaló recientemente a nuestro país, como el destino ideal para visitar durante el 2018.

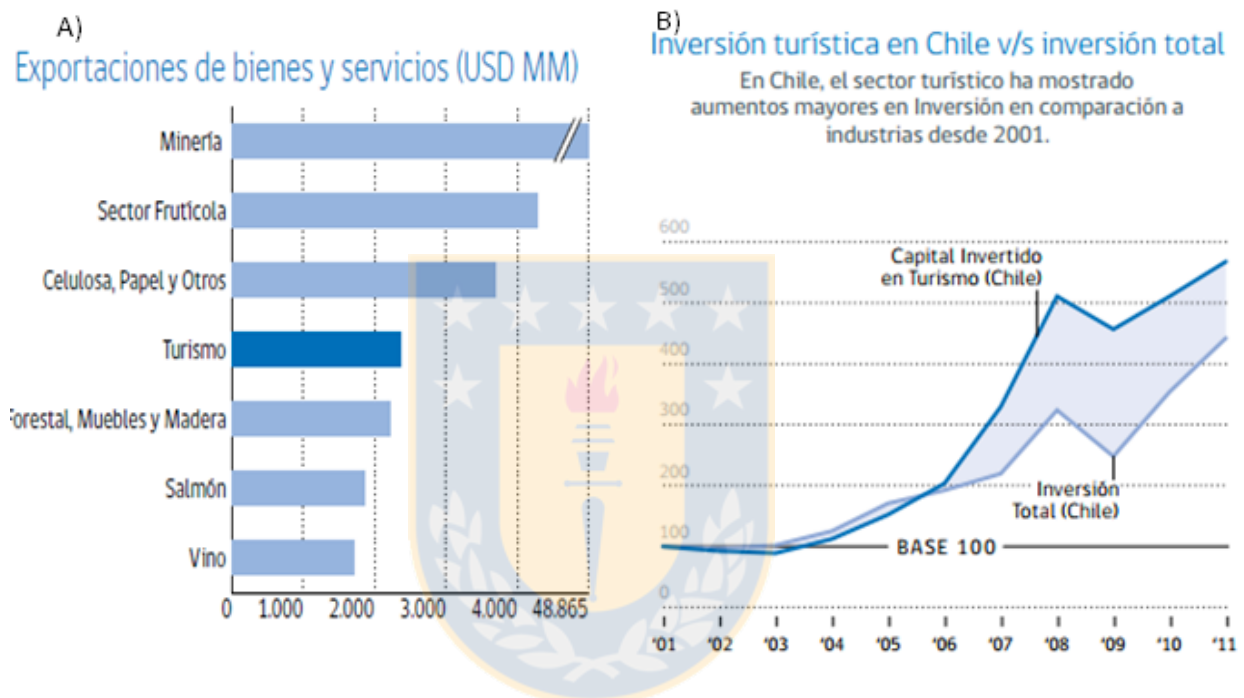


Figura 1.6 Turismo en la economía nacional. a) Exportaciones de bienes y servicios. b) Inversión turística en Chile v/s inversión total. Fuente: SERNATUR, 2012.

Más allá de las cifras macroeconómicas, el turismo es una forma de generar experiencias únicas, en un ambiente cultural y/o natural determinado. Chile es un país con fuerte carácter extractivista y además, una de las principales fuentes laborales, son los servicios asociados a la transacción de mercancías. A diferencia de éstos, el turismo es un sector que es capaz de mejorar la calidad de vida de sus habitantes, sin comprometer su identidad o medio natural. Mejor aún, un turismo bien planificado, es capaz de potenciar éstas y otras áreas. Solo cuando los países ven la sustentabilidad desde un punto de vista integrado, logran su plenitud en tres ámbitos: económico, sociocultural y ambiental.

En Chile, adoptar y concretar los principios de sustentabilidad es vital, pues es un país cuyo desarrollo turístico está basado, en gran medida, en sus elementos naturales y culturales. Tanto para los visitantes de épocas invernales, como estivales, las visitas a paisajes/atractivos naturales son la primera característica que consideran, situándose por sobre el 60% de las preferencias de actividades realizadas durante su viaje (Figura 1.7). En este sentido, el turismo adquiere un carácter estratégico en la conservación de los atractivos naturales y culturales, junto con transmitir e impulsar valores de la sustentabilidad hacia la sociedad y el resto de las industrias.

Total Turistas		T. Vinculados		T. Vacacionales		T. Negocios	
1. Visita de paisajes/atractivos naturales	60,3%	Visitas a amigos o familiares	64,2%	Visita de paisajes/atractivos naturales	71,6%	Actividades profesionales	93,9%
2. Visita a restaurantes de gastronomía tradicional chilena	57,9%	Visita de paisajes/atractivos naturales	57,3%	Visita a restaurantes de gastronomía tradicional chilena	63,9%	Visita a restaurantes de gastronomía tradicional chilena	50,9%
3. Visita a playas	45,5%	Visita a restaurantes de gastronomía tradicional chilena	48,9%	Visita a playas	57,4%	Visita a restaurantes de gastronomía internacional	30,4%
4. Visitas a amigos o familiares	44,0%	Visita a playas	42,1%	Ir de compras (shopping)	50,8%	Ir de compras (shopping)	28,0%
5. Ir de compras (shopping)	42,0%	Visita de pequeños pueblos y ciudades	37,8%	Visita de monumentos históricos	47,7%	Visita de paisajes/atractivos naturales	24,1%
6. Visita de pequeños pueblos y ciudades	38,5%	Ir de compras (shopping)	36,8%	Visita de mercados/espacios populares	46,2%	Visita a bares/pubs/lugares nocturnos	21,0%
7. Visita de mercados/espacios populares	38,0%	Visita de museos	33,4%	Visita de museos	45,8%	Visita de mercados/espacios populares	16,6%

Figura 1.7 Actividades realizadas por turistas estivales. Comportamiento similar en turistas invernales. Frecuencia de menciones (%) Fuente: Subsecretaría de Turismo, 2016.

La adopción de prácticas sustentables en la actividad turística aporta importantes beneficios para la sociedad, desde la conservación del medio ambiente y el desarrollo de buenas relaciones entre las comunidades, hasta el fomento a la asociatividad entre las empresas. A pesar de estos beneficios, Chile ha quedado rezagado en este ámbito, tal como lo muestra el “Ranking de Sustentabilidad del Desarrollo de la Industria de Turismo y Viajes”, en el que ocupa el lugar 88 de entre 139 países (SERNATUR, 2012).

Nuestro país no ha logrado atraer turistas de los segmentos de mayor gasto, los cuales son cada vez más propensos a preferir destinos y servicios amigables con el entorno. Lo anterior, se

traduce en un menor gasto diario por turista en relación a los países competidores. La sustentabilidad y la Responsabilidad Social Empresarial (RSE), son criterios cada vez más relevantes en la decisión de compra de los viajeros, especialmente en los de mercados de alto gasto (Figura 1.8). A modo de ejemplo, en el caso de Australia, el año 2001 hubo un incremento significativo de los ingresos, que lograron casi triplicarse en 8 años, con una tasa de crecimiento del 12,5% y con la misma cantidad de turistas recibidos (Benavente, 2017).

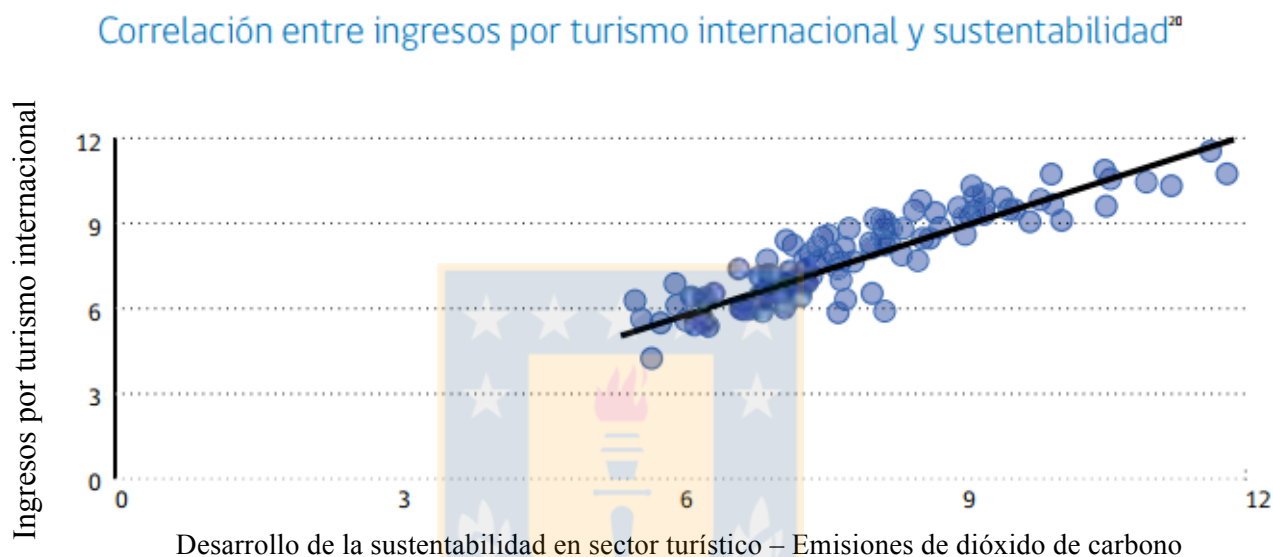


Figura 1.8 Correlación entre ingresos por turismo internacional y criterios de sustentabilidad. Fuente: SERNATUR, 2012.

1.8. Turismo y SNASPE

El Sistema Nacional de Áreas Silvestres Protegidas del Estado (SNASPE) cubre en su porción terrestre, administrada por la Corporación Nacional Forestal, aproximadamente 14,5 millones de hectáreas, lo que equivale al 19% del territorio nacional continental y nos posiciona dentro de los primeros lugares a nivel sudamericano. Esto es una condición de ventaja comparativa, pero a su vez condiciona al país a cumplir con los objetivos de conservación de estas áreas, las cuales enfrentan continuamente obstáculos que afectan su gestión. Entre las dificultades se encuentra la política de financiamiento para una adecuada gestión, lo que se traduce en que no hay una relación directa entre la inversión y la visitación. Las visitas al SNASPE han aumentado un 78% entre los años 2000 y 2011, logrando un 6% de crecimiento anual y llegando a casi 3 millones de

visitantes el 2015. Los turistas extranjeros representaron el 30% del total de visitas durante el periodo mencionado y crecieron un 79% en la última década (CONAF).

El territorio que abarca la Reserva de la Biósfera, Corredor Biológico Nevados de Chillán – Laguna del Laja, tiene una superficie de 565.807 hectáreas. Dentro de ella existen las siguientes ASPE: Parque Nacional Laguna del Laja, Reserva Nacional Ñuble, Santuario de la Naturaleza los Huemules de Niblinto, Reserva Nacional Huemules de Niblinto. Existe la necesidad de fortalecer la Zona de Interés Turístico (ZOIT), Cordillera de Chillán-Laguna del Laja. También el sector de Antuco ha sido calificado como Destino en Desarrollo y el área de San Fabián de Alico como Área Turística Prioritaria (ATP). Uno de los objetivos principales con la creación de la reserva, es la incorporación del criterio de sostenibilidad ambiental en el desarrollo del sector, lo que es muy importante en una zona con fuerte presión de explotación del Agua.

El año 2015, las Áreas Silvestres Protegidas del Estado (ASPE) de la VIII región, registraron más de 100.000 visitas. El P.N. Laguna del Laja concentró el 75% de ellas, con 75.500 visitantes. Por su parte, la R.N. Ñuble recibió 3651 visitantes, mientras que para el año 2007, solamente fue visitado por 681 personas (Figura 1.9). El mismo caso ocurre con R.N. Huemules de Niblinto, que recibió más de 1000 visitas el 2015, mientras que el 2007, sólo 181. Notar el explosivo crecimiento de las dos últimas reservas, que si bien tienen un obstáculo importante asociado al acceso, éstas han logrado multiplicar hasta por cinco la cantidad de visitantes para ese período.

El desarrollo de un turismo más sustentable es una oportunidad para que las ASPE y los espacios cercanos a ellas, junto con servir a su objeto fundamental de conservación, puedan generar empleos e ingresos, proporcionando así un incentivo para su conservación.

Considerando todas las actividades ligadas al turismo interno, receptivo y emisivo, se estima que este sector genera aproximadamente USD 11 mil millones de ingresos para Chile. El aumento de los ingresos por turismo receptivo registrado en los últimos años, se debe al incremento en la llegada de turistas, ya que el gasto promedio por turista se ha mantenido estable durante la última década (SERNATUR, 2012).

El interés es creciente y principalmente por visitantes nacionales. El turismo interno es parte vital del desarrollo turístico, ya que ayuda a sostener los negocios turísticos durante la temporada media y baja, le da mayor dinamismo al sector y genera una plataforma para el desarrollo de oferta turística exportable. De esta manera, el turismo es una alternativa real a un modelo de desarrollo obsoleto y con fecha de caducidad. A través de esta alternativa, la sociedad puede

encontrar una forma de generar ingresos económicos, mientras que paralelamente se producen experiencias educativas, asociatividad entre empresas, organismos gubernamentales y comunidades, además de realzar el valor intrínseco de la identidad local y el medio natural.

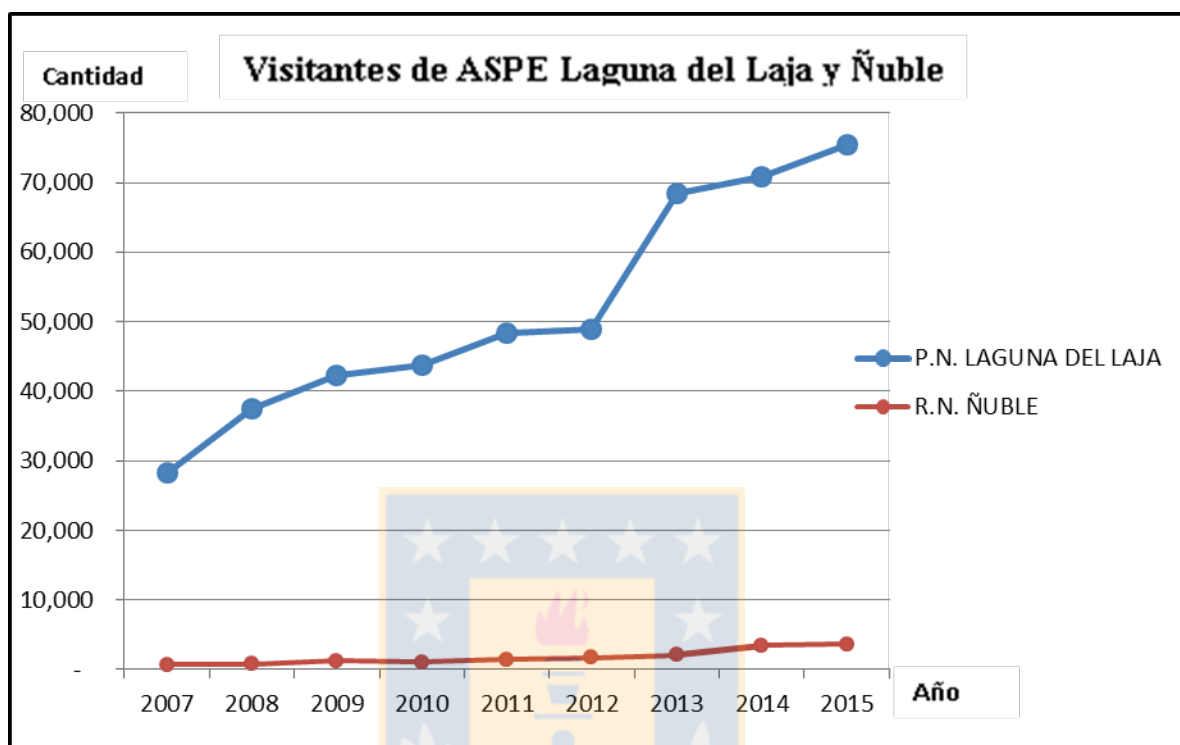


Figura 1.9 Variación de visitantes nacionales y extranjeros a ASPE en la región del Biobío. Además incluye ASPE's del área de estudio; P.N. Laguna del Laja y Reserva Ñuble. Fuente: Elaboración propia, datos CONAF.

1.9. Gestión hídrica del valle superior del Laja

El valle superior del río Laja y sus aguas, se encuentran fuertemente presionadas por el manejo extensivo de la industria hidroeléctrica. Esto ha generado que casi la totalidad de las aguas de este sector, se encuentren intervenidas, desviadas o canalizadas. Es de interés del estudio de la geoconservación, considerar el contexto local en el que se busca implementar estas estrategias, ya que en este caso, la propiedad del agua y explotación de manera indiscriminada, afecta directamente la conservación del medio natural, un desarrollo sustentable de la comunidad y los usos principalmente turísticos. El caso del Salto Trubunleo, es un ejemplo, donde este atractivo geológico compuesto por lavas de disyunción columnar, generan una caída de agua de más de 20 metros. Sin embargo, la empresa ENEL, desvía gran parte del caudal antes del salto, para alimentar la central Abanico (Figura 1.10).

El código de aguas, promulgado en 1981, ha sido motivo de permanente interés y análisis, por su orientación marcadamente neoliberal y la incorporación de mecanismos de mercado en la asignación del agua (Donoso *et al.*, 2004). En este código se declara que las aguas son bienes nacionales de uso público y se otorga a los particulares el derecho de aprovechamiento de ellos (Art. 5°). Esto quiere decir que el Estado entrega a privados, el derecho de uso de este bien de manera gratuita y perpetua, siempre y cuando no se hayan agotado ya los derechos sobre ese río. En caso de haber más de un interesado por los derechos, sobre cierto caudal de un río cuyos derechos ya se han agotado, se escoge al que pague más por ellos mediante una subasta. Una vez que se haya asignado un derecho de agua, este puede ser transado entre privados. Actualmente, se han entregado prácticamente todos los derechos sobre los ríos de la zona centro-sur de Chile (Dourojeanni & Jouravlev, 1999).

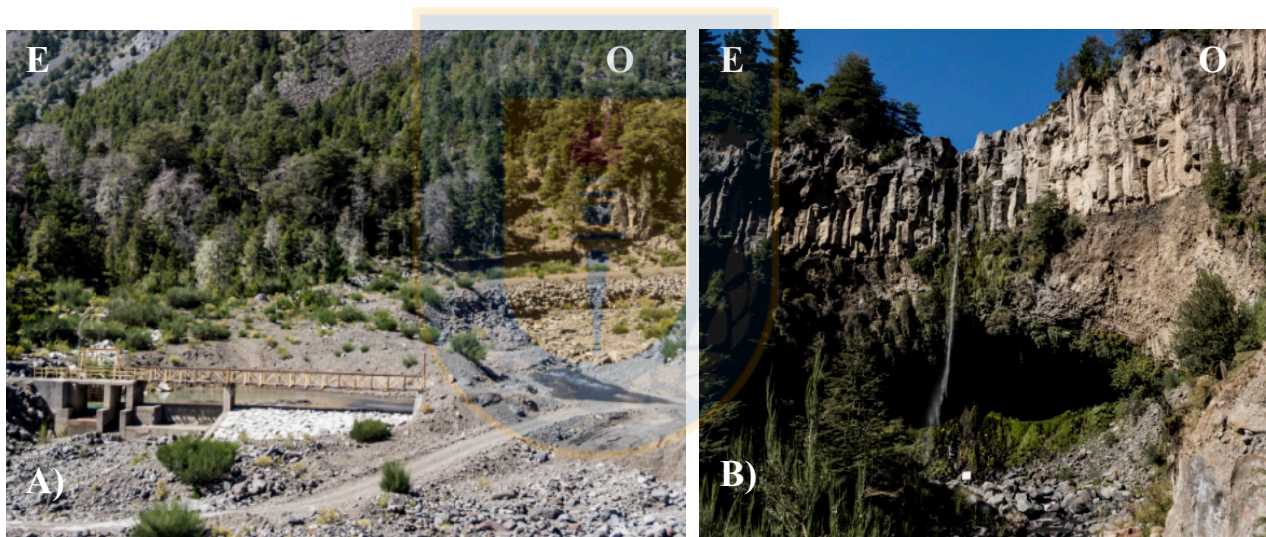


Figura 1.10 Intervención hidroeléctrica en río Trubunleo. A) Bocatoma anterior al Salto Trubunleo que desvía aguas a Central Abanico. B) Salto Trubunleo. Notar el caudal previo y posterior a la infraestructura. Fotografías: Paulo Urrutia en Abril, 2017.

La explotación de las aguas de la cuenca alta del río Laja, se basa fundamentalmente en la utilización del Lago como embalse de regulación. La primera obra que intervino la cuenca con fines energéticos, fue la central Abanico de 135 MW, cuyas primeras unidades se pusieron en funcionamiento el año 1948. Poco tiempo después, en 1953, se construye La Cortina, estructura que permitía controlar los vertimientos naturales del lago, cuyo umbral se ubica a 1.368 m s.n.m, para evitar su “desaprovechamiento”. Este muro se puede observar en la actualidad frente al

actual centro de esquí del Volcán Antuco, fiel reflejo del reducido nivel actual del lago, ubicado decenas de metros más abajo (Figura 1.11).

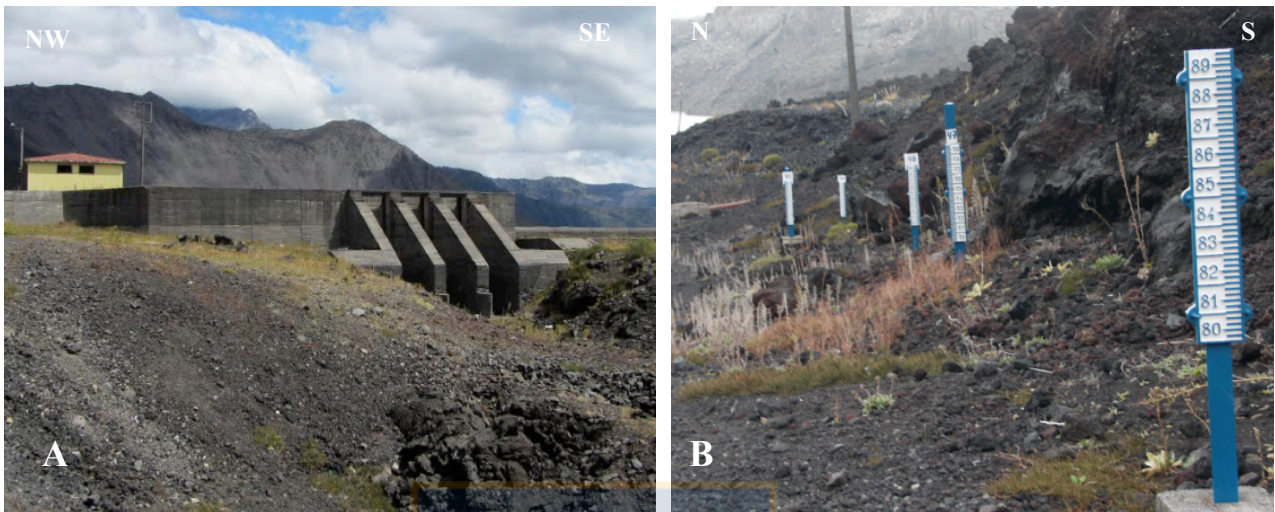


Figura 1.11 La Cortina en Lago Laja. A) Muralla La Cortina, actualmente sin uso. Fotografía: Hans Besser. B) Antiguos niveles del Lago Laja, actualmente en superficie. Fotografía: Paulo Urrutia.

A partir de 1963, con la construcción del Túnel de Vaciado, pudieron además, controlar la capacidad de embalse del Lago Laja, para generar energía en Abanico, aumentando su factor de utilización. Posteriormente, con la puesta en servicio de la central El Toro en 1973, la central Abanico utiliza sólo las aguas que se filtran del lago hacia el río Laja y los afluentes del curso superior del río. Esto debido a que, teniendo ambas centrales la posibilidad de generar con caudales provenientes del Lago Laja, se consideraba más conveniente su utilización a través de la central El Toro, ya que su altura de caída es aproximadamente cuatro veces mayor. La central El Toro, de 400 MW de potencia, capta sus aguas directamente en el lago mediante una toma profunda situada a 60 m bajo su nivel máximo. Un túnel de 9 km de longitud y 97 m³/s de capacidad, conduce las aguas hasta la zona de caída de casi 600 m, llevando el agua hasta la zona de máquinas. Posteriormente, las aguas son restituidas al río Polcura. Para incrementar el caudal afluente al Lago Laja, en el año 1977 se terminó la construcción de la captación Alto Polcura, dentro de la Reserva Nacional Ñuble, que desvía hacia el lago las aguas del río Polcura. El caudal captado se conduce hasta el lago por un túnel de casi 9 km de longitud. La central Antuco, que capta las aguas que descargan las centrales El Toro y Abanico, y las aguas de los ríos Laja y Polcura, incluidos sus afluentes Pichipolcura, Malalcura, Cipreses y El Toro, entró en

funcionamiento el año 1981 (ENDESA, 1981). En 1998 comenzó a funcionar la Central Rucúe y finalmente, en 2007, se terminó de construir la Central Quilleco. Todo este sistema hidroeléctrico produce una potencia instalada conjunta sobre el Río Laja de 1.084 MW (Figura 1.12). Es llamativa la manera en la que, los informes de las centrales hidroeléctricas del valle superior del Laja de esa época, se refieren a la utilización del agua, con el término de “aprovechamiento”, esto se puede deber a un contexto histórico, donde se consideraba erróneamente que el agua se perdía en el mar, por ende su no utilización implicaba el “desaprovechamiento” de ese “recurso”.

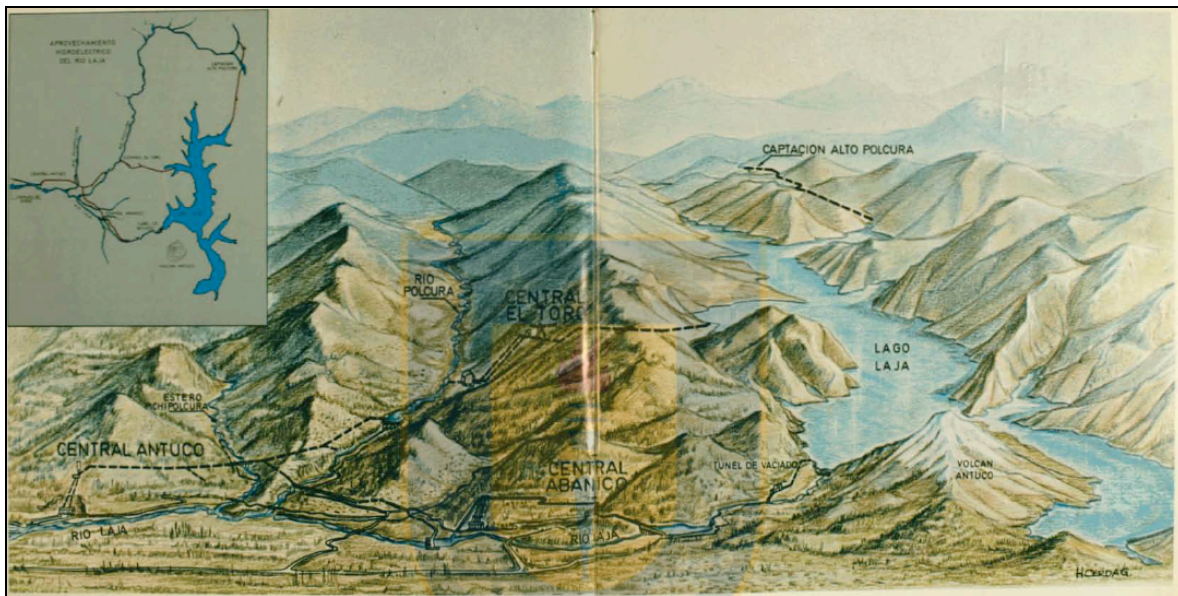


Figura 1.12 Infraestructura hidroeléctrica en el valle superior del río Laja. Fuente: ENDESA, 1981.

Debido a la cantidad de derechos que utiliza ENDESA (Hoy llamada ENEL) para generar electricidad, la operación de la central El Toro ha disminuido el volumen del lago de manera alarmante. Mardones & Vargas (2005), corroboran que a medida que aumenta la producción de energía en esta central hidroeléctrica, el nivel del lago Laja disminuye. De esto, poca influencia y beneficio tienen las comunidades que habitan el sector. Además, debido al déficit en el régimen hídrico de nuestro país, el Lago Laja ha dejado de recibir la cantidad de agua desde sus afluentes, sin embargo, los derechos otorgados de aprovechamiento de agua en esta cuenca son los mismos que antes. Este desajuste del sistema no permite que se pueda gestionar el agua de manera sustentable.

La escorrentía, regulada por un uso hidroeléctrico no consuntivo; pequeños embalses, desvíos, trasvasijes, ductos y canales, han modificado el flujo lineal de la red e intervenido el balance

hidrológico natural de todas las subcuencas altas del sector. Las más intervenidas por los volúmenes de agua extraídos son: la cuenca hidrográfica del lago Laja y la cabecera de la cuenca del río Polcura. Mardones & Vargas (2005), confirman que la alta vulnerabilidad de las cuencas hidrográficas de montaña, frente a sistemas productivos externos, como el uso hidroeléctrico y agrícola, sustentados en el uso intensivo de bienes naturales y regulados por los requerimientos del mercado, tienen efectos estructurales y dinámicos importantes en el comportamiento del sistema hídrico (Figura 1.13).



Figura 1.13 Imagen satelital Google Earth de la central hidroeléctrica Antuco. Evidencia de la fuerte intervención antrópica en la cuenca y el cambio de las dinámicas de los ecosistemas fluviales.

1.10. Agradecimientos

De manera muy especial, este estudio, culmine de una etapa, va dirigido a mi familia. A mis padres por el apoyo constante durante este período de formación como geólogo, en sus altos y bajos. Por invitarme a sentir la naturaleza, a apoyarme en la búsqueda de mis intereses en distintas áreas, todas muy importantes para ser quien soy. A mi madre Teresa, por sus risas y palabras de sabiduría en cada momento. A mi padre Fernando, por sus reflexiones y su apoyo incondicional. A él por haber pisoteado nuestro Nintendo, aquella lluviosa noche de invierno. A ambos, por no haber vuelto a comprar un televisor, luego que lo rompimos con mi hermano. A mi hermana Fernanda y hermano Alejandro, por mis hermosos recuerdos de niñez; de historias de terror a la luz de las velas, escondidos de Apapao detrás de los sillones o explorando la pampa,

llenos de barro, evitando ser embutidos por la “arena movediza”. A mi tía Alejandra, por su sencillez, paciencia y sus regalos, que nos incentivaban a desarrollar todo tipo de habilidades. A Salomé Candela, por su compañía durante este tiempo, su forma de ver el mundo y su energía sin igual, una mujer que se ha robado mi admiración.

También esta etapa universitaria fue marcada por personas muy importantes. Haber entrado al Club de Montaña RAUC y conocido el kayak, que me permitió trabajar durante la universidad, también amplió mis experiencias y conversaciones. Grandes personajes pasaron por esta etapa. A Jens Benhör, que ha nutrido mucho mi forma de ver el mundo, y sobre todo, la manera en que esta investigación adquirió forma, con sus constantes cuestionamientos y su ímpetu constante por descubrir o curiosear, incluso en los rincones más cotidianos. También a Pinky, Tobías, Víctor, Javier, Maricarmen, Paula, todas personas del club. Así también, debo agradecer a los compañeros, que hicieron grata esta travesía, que navegó por todo tipo de corrientes. En especial a Fabián Mandujano, Sebastián Marambio y Juanjo Ulloa. A mis compañeras de terreno, Amapola, Leonardo y mi gran amiga Bárbara, quien ha sido culpable, entre risas y travesuras, que el terreno haya sido una experiencia inolvidable. A mis amigos de la pensión “Don Flori”, a ambos Matías; Teti y Rata, y a Leonardo, quien ha sido una grata compañía, entre té y galletas, filosofando sobre el mundo.

Durante esta investigación, compartí gratas experiencias con gente muy interesante. Este proyecto ha sido principalmente autogestionado, en que un pequeño apoyo, ha sido capaz de marcar la diferencia. Agradecer al equipo de la Universidad de Concepción ligado al geopatrimonio, a mi profesor Andrés Tassara, por su interés y su tiempo, en impulsar esta área en la región del Biobío. Principalmente, a la Ilustre Municipalidad de Antuco y su encargado de turismo, Harold Wicke, por creer en este proyecto, su apoyo logístico, consejos y compartir sus experiencias sobre la zona. La gente del GORE, Roxana y Pablo, el equipo de CONAF y guardaparques, por su apoyo en discusiones y logística, su presencia en las distintas instancias y en la búsqueda de proyecciones futuras. También a profesionales del área de la geología, como Silke Lohmar, quien ha sido clave e inspiradora, así como su muestra de interés desde primer minuto y apoyo incondicional. A Loreto Donoso, Manuel Schilling, Francesc Ferrano, Hugo Moreno, Tomás Martínez, Denisse de la Fuente y la gente del diplomado de Ecología.

2. CONCEPTOS DE PATRIMONIO GEOLÓGICO

2.1. Conceptos generales

Desde finales del siglo XX, y particularmente durante el presente siglo, diversas iniciativas se han enfocado a la identificación, valoración y conservación del patrimonio geológico, junto con la creación de Geoparques, como una herramienta para la protección y divulgación del conocimiento de las ciencias de la Tierra.

La legislación ambiental correspondiente, no siempre incorpora criterios que permitan apreciar el papel que desempeña la geodiversidad y el patrimonio geológico en la protección del medio natural. En algunos casos, los grupos interesados en potenciar estos temas, son aun incipientes y poco numerosos, lo cual da como resultado, informes aislados y de escasa coordinación. Aun así, hace más de una década, han comenzado a surgir diversos estudios preocupados por la identificación, valoración y protección del patrimonio geológico y geomorfológico. De los primeros estudios publicados en el ámbito de la Geodiversidad, y a la vez los más citados, son aquellos del profesional español Luis Carcavilla, junto al portugués José Brilha. En términos nacionales, los geólogos Manuel Schilling, Francisco Hervé, Reynaldo Charrier, Millarca Valenzuela, Mauricio Calderón, Amaro Mourgues y Marcelo Solari, entre otros, quienes están continuamente haciendo un llamado a la comunidad científica para dedicar esfuerzos a esta necesaria línea de estudio.

La repercusión de las acciones de nuestra sociedad del bienestar, han tenido como consecuencia la destrucción del medio natural y humano, producto de la forma en la que habitamos y percibimos el mundo que nos rodea. Estos problemas, son intrínsecos al sistema, lo que significa que están íntimamente vinculados y que son interdependientes; no es posible entenderlos dentro de la metodología reduccionista que caracteriza a nuestras disciplinas académicas e instituciones gubernamentales. De esta manera, el estudio del patrimonio geológico y su consecuente aplicación, como lo son los geoparques, geoturismo, actividades económicas o planes educativos, plantea una nueva forma de desarrollar y aplicar la ciencia, que requiere un trabajo interdisciplinario e interinstitucional, donde el actor clave es el habitante y la comunidad donde se construye el proyecto.

2.2. Patrimonio geológico

El patrimonio, que es una definición netamente occidental, significa “lo recibido por línea paterna” (del latín patri; padre y monium; recibido). Por lo tanto, se considera como aquello que pertenece a algo o alguien. El patrimonio en sí, es un bien de la humanidad, esencialmente no renovable. Se trata de una riqueza de enorme fragilidad, cuyo reconocimiento ha cimentado, desde hace algunas décadas, una gran sensibilización hacia su preservación. El conocimiento y puesta en valor del patrimonio natural, cultural y paisajístico, es una necesidad de nuestra sociedad. Además, la gestión del patrimonio se relaciona con otros temas de gran relevancia, como la conservación natural y cultural. Por lo tanto, podría definirse el patrimonio como la memoria viva de la cultura de un pueblo. Esto comprende el patrimonio natural y cultural, tangible e intangible, y su contenido integra, además del patrimonio monumental y museístico, otros elementos, como las lenguas y la tradición oral, las formas de expresión de las culturas populares y tradicionales, el “saber hacer”, la artesanía, el patrimonio industrial y, en el campo del patrimonio natural, los sitios y la diversidad biológica y geológica.

En el caso del Patrimonio Geológico, o también llamado “geopatrimonio”, se consideran aquellos elementos del medio natural, ya sean formaciones rocosas, estructuras geológicas, acumulaciones sedimentarias, formas del terreno, yacimientos minerales, petrológicos o paleontológicos, que permitan reconocer, estudiar e interpretar la evolución de la historia de la Tierra y de los procesos que la han modelado. Brilha (2016), propone que sea llamado patrimonio geológico, al conjunto de elementos de la geodiversidad con valor científico, tanto en su aparición in situ, como aquellos que han sido extraídos de su lugar original para ser guardados en colecciones, museos y otros (elementos del patrimonio geológico).

2.3. Geositios

Brilha (2005), lo define como un sitio que puede presentar uno o más elementos de la geodiversidad, bien delimitado geográficamente y que presenta un valor singular desde un punto de vista científico, pedagógico, cultural, turístico, u otro. Sin embargo, este mismo autor en 2016, redefine el concepto, considerando aquellos lugares que tienen valor científico excepcional independiente de si tienen o no otros valores de uso.

La Sociedad Geológica de Chile (SGCh), define un geositio como un afloramiento, o varios afloramientos vecinos, que contienen un objeto geológico de valor, que vale la pena preservar. El

valor puede ser de muy diversa naturaleza: estrictamente geológico, mineralógico, paleontológico, estructural, petrológico, paisajístico, geomorfológico, etc. Por lo tanto, este término, no lo restringe a su uso únicamente científico.

La preservación de un sitio de importancia geológica, implica que las generaciones actuales y futuras puedan beneficiarse de su valor científico, cultura, turístico o puramente estético. Como ha sido documentado por Donoso (2017), la destrucción de estos lugares, implica necesariamente la pérdida de una incuantificable riqueza para la humanidad en términos de patrimonio geológico.

2.4. Geodiversidad

El concepto de geodiversidad se comenzó a utilizar por primera vez en la década de los '90, siendo mencionado, definido y redefinido en varios estudios (p.ej. Dixon 1996, Semeniuk, 1997,1998, 2001; Duran 1998; Nieto 2001; Gray, 2004, 2008; Brocx & Semeniuk, 2007 y referencias en ellos; Carcavilla *et al.* 2007, 2008 en Martínez, 2017).

La geodiversidad, de manera amplia, es un término análogo al de biodiversidad. La British Geological Survey, define geodiversidad como la variedad de ambientes geológicos, fenómenos y procesos que dan lugar a los paisajes, rocas, minerales, fósiles y suelos y que proporcionan el marco para el desarrollo de la vida en la Tierra. De esta forma, la diversidad existente en la naturaleza, está compuesta de la biodiversidad (componentes bióticos) y geodiversidad (componentes abióticos).

Brilha (2005), plantea que la geodiversidad no solo considera los aspectos inanimados del planeta como minerales, rocas y fósiles, sino también los procesos naturales que actualmente ocurren. De esta forma la biodiversidad está definitivamente condicionada por la geodiversidad, ya que los diferentes organismos desarrollan su vida solamente cuando encuentran las condiciones abióticas indispensables para su desarrollo. La geodiversidad, por ende, considera las condiciones ecológicas y ambientales de la Tierra en el tiempo y espacio y son los elementos de la geodiversidad los que determinan a lo largo del tiempo, el desarrollo de la especie humana y no-humana, propiciando las condiciones que hacen posibles la vida.

2.4.1. Sitios de Geodiversidad y Elementos de la Geodiversidad

Los sitios de geodiversidad definidos por Brilha (2016), se refieren al conjunto de elementos de la geodiversidad que se encuentran in situ y que no teniendo un valor científico excepcional, son otros valores como educativo, cultural, paisajístico o recreativo los que ameritan su conservación.

Si estos elementos se encuentran retirados de su lugar de origen (ex situ) serán simplemente “elementos de la geodiversidad”.

2.5. Geoconservación

La geoconservación tiene como objetivo preservar la geodiversidad de rasgos y procesos geológicos (roca madre), geomorfológicos (formas de relieve) y de suelo significativos, y mantener las tasas naturales y magnitudes de cambio de estos rasgos y procesos (Sharples, 2002). Para este autor, la mayor parte de los esfuerzos se enfocan en el mundo vivo, a través de la conservación de la biodiversidad. La conservación y sostenibilidad de los ambientes naturales requiere incluir la geoconservación en los programas de conservación natural, para generar estrategias efectivas con real impacto a largo plazo, que consideren el estrecho vínculo entre el mundo biótico y geológico. En un comienzo, fue enfocada en el objetivo principal de conservar aquellos sitios de importancia geológica, necesarios para el estudio e investigación científica. Actualmente, el énfasis se ha expandido a generar estrategias que aseguren el geoturismo y recreación (p.ej. Geoparques) (Prosser *et al.*, 2013).

Esta disciplina se hace aún más necesaria cuando existen elementos geológicos que ven amenazada su continuidad, ya sea por acciones antrópicas o naturales. Es por ello, que si deseamos mantener estos sitios para la investigación, educación, turismo y por sobretodo, como elementos indispensables para la vida en el planeta, reguladores de las condiciones que ésta necesita, así como agua pura, control de la erosión u otros, es esencial incluir la geoconservación en los diversos aspectos de acción y decisión (**Error! Reference source not found.**).

Según Azman *et al.* (2010), las claves para el éxito del trabajo en conservación son el nivel de compromiso y apreciación del valor patrimonial de los elementos geológicos, por parte de la ciudadanía e instituciones, en especial las comunidades locales, junto con una sociedad informada, que pueda tomar correctas decisiones, de manera de generar acciones que a su vez protejan y conserven los elementos que definen gran parte de su cultura. A su vez, los autores recalcan que una comunidad que tiene las herramientas y autonomía para su desarrollo, no va a permitir la destrucción del invaluable patrimonio natural que posee por la implementación de proyectos con fecha de caducidad. Ampliamente se ha reconocido por investigadores, donantes, conservacionistas y autoridades, que para que una iniciativa de conservación tenga éxito, es clave comprender las actitudes, necesidades y aspiraciones de las comunidades locales.

2.6. Geoparque

Los Geoparques son territorios promovidos por UNESCO y definidos por la Red Global de Geoparques (GGN) como un área bien delimitada y con un tamaño lo suficientemente amplio para servir al desarrollo socioeconómico de la comunidad local, particularmente a través del turismo. Cada Geoparque debe presentar un número significativo de sitios de interés geológico, a través de los cuales se puede exhibir la historia geológica del territorio, los eventos y procesos que participaron en su formación (UNESCO, 2010). Este territorio se caracteriza por un patrimonio geológico particular de relevancia internacional, rareza o atractivo estético, que es desarrollado y gestionado como un concepto integrado de conservación, educación y desarrollo económico local. Un Geoparque es diseñado con énfasis en tres principales componentes: protección y conservación, desarrollo de infraestructura turística-educacional y generación de estrategias territoriales sostenibles para potenciar el desarrollo económico local.

Según Komoo (2000), la finalidad última de un geoparque es generar oportunidades de empleos para la comunidad local, promover la investigación, protección del geopatrimonio y educación ambiental, así como mejorar la calidad de vida de los habitantes.

Las comunidades sienten que un geoparque revitaliza sus pueblos, creando trabajos relacionados con éste y el incremento de visitantes nacionales e internacionales a la ciudad, ya que significa un producto nuevo para los turistas. En particular se generan trabajos relacionados con transporte, comida, turismo, artesanías y regalos (Azman *et al.*, 2010). No sólo trae más turistas, sino que existe una valorización del patrimonio natural y cultural, cocina tradicional, artesanía local y métodos propios de subsistencia.

En el año 1999, la UNESCO funda la Red Global de Geoparques (www.unesco.org), dentro de sus parámetros un Geoparque debe:

- Preservar el Patrimonio Geológico para las futuras generaciones (conservación).
- Asegurar un desarrollo sustentable (turismo).
- Educar y enseñar al público en general sobre temas relativos a los paisajes geológicos y materias ambientales (educación).
- Relacionar a las personas con el ambiente geológico circundante.
- Promover medios de investigación en el área de las geociencias (científico).

Dentro de las actividades que se pueden desarrollar en un geoparque se encuentra el geoturismo, por medio de georutas, miradores, turismo guiado, actividades geológicas o centros de información geológica, entre otras.

2.7. Georutas

Corresponde a un trazado previamente establecido, en el que se incluyen dos o más sitios de interés geológico, donde los visitantes pueden recorrer el lugar a través de un sistema de interpretación didáctica, que les permita comprender los procesos geológicos que han generado la formación del paisaje por el cual se desplazan.

La definición de una georuta, depende de los objetivos para los cuales será creada. Por lo mismo, se deben considerar parámetros como accesibilidad, público objetivo, tipo de procesos geológicos a reconocer, entre otros.

2.8. Geoturismo

Entre sus variadas definiciones, se considera como una forma de turismo desarrollado en áreas naturales centrado específicamente en comprender la geología y el paisaje, con el fin de promover la conservación de la geodiversidad y geositios, a través de la reflexión y el aprendizaje (Newsome & Dowling, 2010). Este tipo de turismo de fines especiales puede proporcionar una vital herramienta para el desarrollo e identidad local, ya que generalmente es en el medio rural donde suele encontrarse el patrimonio geológico. Se busca también, generar conciencia y sensibilizar a los visitantes, sobre la importancia de considerar la manera en que la sociedad se relaciona con el medio natural y comunidades que lo habitan. También es una herramienta para explicar la relación entre la geología, la geomorfología y la sociedad y ha sido definido como “un turismo que sustenta y mejora la identidad de un territorio, considerando su geología, medio ambiente, cultura, valores estéticos, patrimonio y representa una alternativa en la búsqueda del bienestar de sus residentes”.

Pereira (2010) señala que las amenazas del geoturismo, son similares a las que afectan al patrimonio geológico, a la geodiversidad y al ambiente rural:

- Educativa: relacionada a la ignorancia con respecto a los valores de la geodiversidad y la existencia de “concepciones alternativas” al desarrollo sustentable
- Políticas: que tienen que ver con que se ignora o desvaloriza el patrimonio geológico, paisajes rurales y naturales en planes de ordenamiento territorial y materias de desarrollo;

- Económicas: que se debe a la exploración/explotación de recursos renovables, no renovables y formas de turismo no sustentables.

Las actividades geoturísticas pueden desarrollarse junto con el ecoturismo, turismo aventura como caminatas, tours volcánicos, ascensiones a volcanes, descensos en balsas por ríos, ciclismo o incluso “bungee jumping” y “heli travels”, como en el Volcán Villarrica. También se realizan actividades benéficas para la salud como los baños termales. Éstas, además pueden complementarse con relatos y tradiciones locales, que potencien las actividades económicas y la identidad del lugar. Por ejemplo, en Japón existen historias para llenar infinidad de libros. El “Jigoku”, que significa Infierno, atrae numerosos turistas. El “Jigoku meguri” es un tour geoturístico, a través de pequeños geoparques que muestran los diferentes tipos de fenómenos geotermales, como lagos hirvientes de distintos colores, geysers, volcanes de lodo, fumarolas y más. Mientras que para los turistas no tiene significado religioso necesariamente, para los japoneses cada “Jigoku” es un santuario de oración (Erfurt-Cooper *et al.*, 2015).

El geoturismo es un área de rápido crecimiento dentro del sector del turismo. Éste se comienza a desarrollar durante los siglos XVII y XVIII, donde la aristocracia europea del norte, visitaba los volcanes Vesubio y Etna como parte del Grand Tour, antecesor del turismo moderno (Erfurt-Cooper *et al.*, 2015). Dentro de los jóvenes aristócratas que asistían a estos tours, se encontraba Johann Wolfgang von Goethe, escritor de la obra Fausto, el que, en sus deseos de escalar el Vesubio, logró plasmar en sus relatos, la grandeza inefable de la naturaleza, conectada con los sentimientos de los protagonistas:

«Así fuimos rodeando el cono, que ruge sin cesar mientras escupe piedras y cenizas. Siempre que hemos podido mantenernos a una distancia conveniente, el espectáculo se nos ha ofrecido grande y sublime. Primero, un poderoso trueno, que resonaba de la más profunda cima; enseguida piedras miles, grandes y pequeñas arrojadas al aire, envueltas en nubes de ceniza. La mayor parte de las rocas caía de nuevo en el abismo. Las otras, lanzadas hacia un lado, precipitándose por la parte exterior del cono, producían un ruido peculiar [...] no tardaron en caer muchas piedras a nuestro alrededor, lo que hacía poco grata nuestra estancia en el lugar. Tischbein se sentía cada vez más a disgusto en la montaña, dado que este monstruo, no contento con su fealdad, quería también ser peligroso. Pero como quiera que el peligro siempre tiene algo de atractivo y aviva en los hombres el espíritu de contradicción, impulsándolos a desafiarlo, pensé yo que me sería posible ascender por la ladera del volcán y retirarme en el intervalo entre dos erupciones [...]

Nos encontramos al borde de las descomunales fauces: un viento suave alejaba el humo pero a su vez ocultaba el abismo, de cuyas grietas iba saliendo. De vez en cuando, a través de un claro en medio de la humareda, divisábamos la quebrada cima [...] nos encontrábamos en un escarpado delante del espantoso abismo cuando resonó el trueno, la espantosa carga pasó volando a nuestro lado y nos agachamos de manera instintiva, como si esa reacción hubiera podido salvarnos de las masas desplomadas; las piedras chocaron entre sí, y nosotros, sin pensar en que disponíamos de una nueva pausa, alegres de haber superado el peligro, llegamos al pie del cono al mismo tiempo que la ceniza, sombrero y espaldas bien cubiertos de ella.»

***Memorias de Goethe, el 6 marzo de 1787 en ascensión al Volcán Vesubio
Grand Tour.***

Hoy en día personas de todo el mundo, estratos sociales y edades visitan áreas volcánicas. La creciente sobreexplotación estética de los atractivos naturales, por parte de redes sociales y del turismo masivo, posicionan al turismo geológico como, no sólo un servicio al aire libre, sino que genera una experiencia educativa única, sobre los procesos que ocurren en el mundo que nos rodea, convirtiendo la Tierra en una verdadera sala de clases. Esto se presenta como un servicio que despierta el interés de viajeros internacionales, nacionales e incluso habitantes de la propia comunidad, potenciando la identidad local. Además, al beneficiarse de afloramientos naturales, no es necesaria la implementación de infraestructura costosa.

3. ANTECEDENTES DE PATRIMONIO GEOLÓGICO

3.1. Referencias internacionales

La Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (IUCN), fundada en 1948, se dedica a la conservación del patrimonio natural de nuestro planeta. Es la organización ambiental más antigua y grande del mundo, con personal del sector público, privado y no gubernamental de todas partes del mundo. Existen propuestas de conservación de áreas naturales y formaciones geológicas en la “Convención sobre la Protección del Patrimonio Mundial Cultural y Natural”, realizada el año 1972 en París, Francia.

La hidroelectricidad, ampliamente desarrollada en el valle del Laja, ha generado históricamente grandes impactos en el patrimonio cultural, histórico y natural alrededor del planeta. Es conocido el caso egipcio, donde en 1959, el gobierno decidió construir la presa de Asuán, lo que generaría la inundación del valle en el que se encontraban tesoros de enorme valor arqueológico e histórico como los templos de Abu Simbel. Entonces, la Unesco lanzó una campaña internacional de protección de estos tesoros. Posteriormente, y debido al éxito de esta campaña, se desarrollaron nuevas iniciativas de protección, que culminan en 1965, con la conformación del Consejo Internacional de Monumentos y Sitios (ICOMOS).

Dentro de los precursores de la geoconservación, tal como se conoce hoy en día, se encuentran los científicos chinos, quienes concentran sus esfuerzos desde 1950, para potenciar el turismo geológico y la conservación de su patrimonio natural (Dong *et al.*, 2013). En 1956, el gobierno Chino, incluye importantes geositios en una Reserva Nacional Natural. El país comenzó a prestar atención a la preservación de su patrimonio geológico, creando en 1985, la primera Reserva Geológica Natural Nacional (NGNR). Por primera vez, la conservación de geositios fue propuesta en forma de regulación gubernamental en 1987, y posteriormente, en 1995, el Ministerio de Recursos Geológicos y Minerales (MGMR), publica las “Regulaciones en la Protección y Gestión de Geositios”, en que establece que los geoparques son considerados herramientas de protección legal de estos sitios (MGMR, 1995 en Dong *et al.*, 2013). En 1999, cuando la UNESCO, lanza el Programa Global de Geoparques, China comenzó a desarrollar sus primeros Geoparques, reconocidos inicialmente como Reservas Naturales Geológicas. Durante

ese tiempo, gobiernos locales, comunidades científicas y habitantes de lugares cercanos a maravillas geológicas, promovieron el desarrollo económico a través del turismo geológico y atrajeron estudiantes con diversos programas educativos. Actualmente este país presenta el mayor número de geoparques reconocidos por la UNESCO, 27 (Erfurt-Cooper *et al.*, 2015).

En tanto, el estudio del patrimonio geológico y el reconocimiento a los científicos que han impulsado esta ciencia se remonta a varios siglos atrás, por ejemplo el caso de Francia, donde se crea en 1793, del Museo de Historia Natural en París o el reconocimiento en La Bastille de Grenoble, a los geólogos franceses Charles Lory, Pierre Termier and Wilfrid Kilian, por su aporte al estudio de los alpes. Por su parte, Alemania desarrolla en 1989 el geoparque “Gerolstein Distrik” y en España, el estudio del patrimonio geológico se remonta a comienzos de los ’70, como iniciativa del Instituto Geológico y Minero de España (IGME), en su proyecto “Estudio, Explotación y Conservación de los Puntos de Interés Geológico”.

En Francia se desarrolla el “Primer Simposio Internacional sobre la Protección del Patrimonio Geológico” el año 1991, en el cual se establece la “Declaración Internacional Sobre los Derechos de la Memoria de La Tierra” (Anexo I), en el cual se reconoce la necesidad de proteger nuestro Patrimonio Natural, el que queda grabado en las rocas y los paisajes, constituyendo así el fundamento del Patrimonio Geológico.

En 1996, un nuevo proyecto fue puesto en marcha por la Unión Internacional de Ciencias Geológicas (IUGS), en conjunto con UNESCO llamado Global Geosites. Este proyecto, buscaba ser una base de datos para la comunidad geológica, proporcionando información que sirva de soporte para cualquier iniciativa de ámbito nacional o internacional, para facilitar la conservación de lugares y terrenos con interés geocientífico, recurso esencial para la investigación y la educación (Wimbledon *et al.*, 2000).

Con las iniciativas anteriormente mencionadas, se crea en 1999 la Red Global de Geoparques (GGN), siendo establecida formalmente en 2004, que corresponde a una red voluntaria apoyada por la UNESCO, que fomenta la cooperación y el intercambio de experiencias relacionadas al geoturismo, promoviendo la educación en las Ciencias de La Tierra, y la geoconservación. Desde que se discutió esta iniciativa, se desarrolló rápidamente el concepto de Geoparque, estableciéndose un año más tarde, tanto la Red Europea (Jones, 2008 en Martínez, 2017) como la Red China de Geoparques (Chen *et al.* 2015). El aumento de miembros no Europeos a la red, permitió que en noviembre del año 2007, se propusiera la creación de la Red de Geoparques de

Asia Pacífico, formalizada en junio del siguiente año. La GGN, que se reúne cada dos años, agrupa actualmente 127 geoparques en 35 países.

Durante este tiempo, los esfuerzos se han impulsado también desde comunidades latinoamericanas, desarrollándose en noviembre de 2010, la 1era Conferencia Latinoamericana y Caribeña de Geoparques (LAC), en las estancias del Geoparque Araripe (Brasil). En esta jornada, apoyada por la UNESCO, se redacta la Declaración de Araripe. El año 2013, Uruguay ingresa a la GGN con el Geoparque Grutas del Palacio, siendo el segundo país de Sudamérica en pertenecer a esta red, mientras que este mismo año, Marruecos se establece como el primer representante del continente africano.

El 26 de mayo de 2017, se declara la fundación de la Red de Geoparques Mundiales de Latino América y el Caribe, en el Distrito de Achoma, Perú, durante el IV Simposio Latinoamericano y del Caribe sobre Geoparques. Junto a los geoparques ya existentes en la región, se sumaron Comarca Minera (México) y Mixteca Alta (México). El país anfitrión, Perú, presentó el geoparque aspirante Colca y Volcanes de Andagua, que será estudiado por el Consejo Global de Geoparques Mundiales. Ecuador informó que presentará durante 2017, tres aplicaciones a la Secretaría del Programa Internacional de Geoparques: Imbabura, Tungurahua y Napo Sumaco. Asimismo, otros países de la región muestran con interés sus proyectos de Geoparques, tales como: Argentina (Pillán Mahuiza), Bolivia (Toro Toro), Chile (Minero Litoral del BioBio), Colombia (Volcánico del Ruíz), Cuba (Geoparque de Cuba) y Nicaragua (Río Coco).

La UNESCO y los 195 estados miembros, decidieron ratificar la etiqueta “Geoparques Mundiales de la UNESCO”, el 17 de noviembre del 2015, donde expresan el reconocimiento gubernamental de la importancia de la gestión de los sitios geológicos y paisajes destacados de una manera holística (Anexo II). El Programa Geoparques Mundiales de la UNESCO, busca aumentar la conciencia de la geodiversidad y promover mejores prácticas de protección, educación y turismo. Junto con los sitios del Patrimonio Mundial y Reservas de la Biosfera, los Geoparques Globales de la UNESCO forman una gama completa de herramientas de desarrollo sustentable y contribuyen a la consecución de los Objetivos de Desarrollo Sostenible 2030, a través de la combinación de perspectivas globales y locales (www.unesco.org).

3.2. Referencias nacionales

En nuestro país podemos encontrar elementos de geodiversidad con un fuerte valor cultural, como La Portada de Antofagasta, el Cerro Santa Lucía en el centro de Santiago o La Piedra de la

Iglesia en Constitución, Región del Maule, los cuales presentan valores artístico, económico-turístico e identidad de lugar.

La geodiversidad de Chile comenzó a ser descrita con mayor detalle a partir de la primera mitad del siglo XIX, inicialmente por geólogos y naturalistas extranjeros tales como Alcides d'Orbigny, Charles Darwin, Claudio Gay e Ignacio Domeyko. En el año 1830, Claudio Gay fundó el Museo Nacional de Historia Natural, que durante la segunda mitad del siglo XIX fue dirigido por Rudolfo Amando Philippi, que publicó dos volúmenes de fósiles de Chile (Mourgues *et al.*, 2016).

En 1927 el geólogo alemán Dr. Hans Brüggén, fue el primero en publicar un trabajo donde recomendaba la protección y puesta en valor de un conjunto de bloques erráticos de granito ubicados en la comuna de Puente Alto, región Metropolitana, refiriéndose a su conservación como “poco segura es la suerte futura de estos testigos de un clima helado en nuestro país”, sumándolo a la creciente instalación de canteras en el sector (Bruggen, 1927 en Hervé *et al.*, 2012).

Diversos organismos y acuerdos internacionales recomiendan y promueven la valorización y conservación del patrimonio geológico como un elemento constituyente e inseparable del patrimonio natural. En nuestro país, estas recomendaciones han sido atendidas progresivamente, aunque de manera inorgánica, Durante las últimas dos décadas, una gran cantidad de sitios de interés para la geoconservación han sido reconocidos a distinta escala, y con diferentes grados y focos de estudio.

En 1994, en el marco del convenio de cooperación técnica, entre SERNAGEOMIN y el Instituto Federal de Geociencias y Recursos Naturales de Hannover (Alemania), se desarrolló un proyecto cuyo objetivo fue la generación de información geoambiental destinada a los organismos gubernamentales y a la comunidad en general. Se dio entonces origen a la actual serie de Geología para el Ordenamiento Territorial del SERNAGEOMIN, en la que se han recomendado un conjunto de sitios relevantes para la geoconservación y, en el primer volumen, se introdujo el neologismo “patrimonio geológico” en la literatura geológica chilena (Antinao *et al.*, 2000; Perez *et al.*, 2003; Arenas *et al.*, 2005; SERNAGEOMIN, 2009 en Mourgues *et al.*, 2016).

3.3. Programa de detección y establecimiento de geositios

Desde el año 2007, la SGCh lleva a cabo este programa como respuesta a la necesidad nacional de identificar el geopatrimonio existente en Chile. Para concretar dicha tarea, se busca generar un listado de geositios, propuestos por la propia comunidad geológica del país, los que se pueden postular llenando una ficha disponible en su sitio web (www.sociedadgeologica.cl/geositios). La finalidad de realizar este catastro es asegurar la identificación y posterior preservación de ellos, contribuyendo a la difusión de los valores de la ciencia geológica y poder asegurar la existencia del geopatrimonio para las futuras generaciones. Si bien, este formulario no establece una metodología reconocida por la comunidad científica para la cuantificación de los geositios de carácter nacional, sirve para generar un catastro preliminar de los principales sitios de interés geológico del país. Por otro lado, a partir de los lineamientos propuestos en el programa Global Geosites (2012), profesionales del área proponen 22 Contextos Geológicos, de manera preliminar para el territorio nacional, los que representan los eventos más relevantes de la evolución geológica de nuestro país (Morgues *et al.*, 2012, Anexo III).

3.4. Situación Legal

Uno de los primeros hitos respecto a la conservación en Chile, es la creación de la Reserva Forestal de Malleco, en la Región de la Araucanía, por Decreto Supremo N° 540 de 1907 del Ministerio de Relaciones Exteriores. Entre los años 1967 y 1969, más de la mitad de las declaratorias de monumentos nacionales efectuadas por la autoridad consideraron aspectos geológicos y/o paleontológicos. Así, entre otros, se declararon Monumento Histórico las “Huellas de animales extinguidos en el lugar denominado Termas del Flaco” en la Región de O’Higgins, la Cueva del Milodón y la Cueva de Pali-Aike en Magallanes y el “Bosque petrificado y yacimiento de huesos de dinosaurio” en Coquimbo. Esto resume los intereses de la sociedad y el estado en materia de conservación en esos tiempos. En la actualidad, se encuentran amenazas reales y potenciales al patrimonio geológico y natural, que tienen relación principalmente con el desarrollo de proyectos asociados a actividades productivas, como la generación y transmisión de energía, minería, industria forestal, entre otras. Estos proyectos son frecuentemente evaluados de manera inadecuada en el marco del Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental, normativa legal que considera plazos estrechos y una subdotación de profesionales especialistas en

patrimonio geológico de los organismos sectoriales pertinentes, como son el Consejo de Monumentos Nacionales y el Ministerio del Medio Ambiente (Mourgues *et al.*, 2016).

En cuanto a los esfuerzos de instituciones gubernamentales por caracterizar, registrar y gestionar la protección del patrimonio geológico, se consideran escasos y desarticulados entre ellos. Como es el caso de la gestión de bienes y lugares declarados Monumento Nacional, recae en el Consejo de Monumentos Nacionales; los Santuarios de la Naturaleza, en el Ministerio de Medio Ambiente y el Sistema Nacional de Áreas Protegidas Silvestres del Estado (SNASPE), en Corporación Nacional Forestal (CONAF).

El único tipo de protección legal que se ofrece al geopatrimonio, pero indirectamente, lo entrega el Consejo de Monumentos Nacionales (CMN), organismo que vela por el patrimonio cultural y natural. La Ley N° 17.288, en el Artículo 31, deja al Ministerio de Medio Ambiente, como responsable de la protección de aquellos bienes muebles o inmuebles, que por sus características y/o valores, son reconocidos y quedan bajo la protección del Estado de Chile en sus cinco categorías: Monumentos Públicos, Monumentos Históricos, Santuarios de la Naturaleza, Zonas Típicas y los Monumentos Arqueológico y/o Paleontológicos.

Aun cuando existe información en materia de planificación territorial que incluyen inventarios y/o descripciones del patrimonio geológico (p.ej. cartas del SERNAGEOMIN), ésta no ha sido incorporada de manera efectiva en los instrumentos vigentes. En la práctica, la planificación territorial en Chile no considera la geodiversidad y el geopatrimonio como componentes de un territorio, ni mucho menos existen mecanismos eficaces para su gestión y conservación (Martínez, 2017).

Lo más cercano a proteger el patrimonio geológico in situ, corresponde a la figura de Santuario de la Naturaleza y yacimientos paleontológicos. Acorde con la ley 20.417, a partir del año 2010, los Santuarios de la Naturaleza son establecidos y custodiados por el Ministerio de Medio Ambiente, para lo cual se requiere de un informe del CMN y del pronunciamiento del Consejo de Ministros para la Sustentabilidad. Ya en el año 2017, se presentó un proyecto de ley en el Senado de Chile, que busca proteger los meteoritos chilenos y sus cráteres con el fin de preservarlos, investigarlos y difundirlos (Millarca, 2009).

3.5. Consejo de Monumentos Nacionales y Santuarios de la Naturaleza

La Ley N° 17.288 legisla sobre Monumentos Nacionales, incluyendo dentro de ellos los Monumentos Históricos, las Zonas Típicas y los Santuarios de la Naturaleza. En el Título VII

sobre Santuarios de la Naturaleza e investigaciones científicas, se plantea que “son Santuarios de la Naturaleza, todos aquellos sitios terrestres o marinos que ofrezcan posibilidades especiales para estudios e investigaciones geológicas, paleontológicas, zoológicas, botánicas o de ecología, o que posean formaciones naturales, cuyas conservaciones sean de interés para la ciencia o para el Estado”. De los 46 Santuarios de la Naturaleza declarados por el CMN, son 13 los que cuentan con una subcategoría de tipo Geológica, Geomorfológica, Paisajística o Paleontológica (www.monumentos.cl).

3.6. Servicio de Biodiversidad de Áreas Protegidas (SBAP) y Sistema Nacional de Áreas Silvestres Protegidas del Estado (SNASPE)

Durante el año 2014 fue aprobado el proyecto de ley para la creación del Servicio de Biodiversidad de Áreas Protegidas (SBAP), el que hasta el día de hoy sigue en trámite. Recién en Junio de 2017 se ingresaron las indicaciones de la consulta indígena. Esta figura, bajo la administración del Ministerio del Medio Ambiente, velará por el cuidado, el manejo y la protección de numerosos sistemas naturales: Parques Nacionales, Reservas Nacionales y Monumentos Naturales, los que, históricamente, habían estado bajo la administración de la Corporación Nacional Forestal (CONAF). La idea de la creación de este Sistema Nacional de Áreas Silvestres Protegidas del Estado (SNASPE), tiene como objetivo la conservación de la diversidad biológica, a través de la preservación, la restauración y el uso sustentable de las especies y ecosistemas. Para lograrlo se proyecta la elaboración de planes de manejo de las áreas protegidas, implementación de políticas y estudios de conservación de la biodiversidad, programas de participación ciudadana y la fiscalización de las leyes de pesca y acuicultura, caza, pesca recreativa y bosque nativo. Según Fundación Terram, la actual tramitación de este proyecto presenta serias deficiencias, donde ninguno de los componentes que se propone está bien desarrollado y además, debilita el marco normativo actual.

El Sistema Nacional de Áreas Silvestres Protegidas del Estado (SNASPE) cubre en su porción terrestre, administrada por la Corporación Nacional Forestal, aproximadamente 14,5 millones de hectáreas, lo que equivale al 19% del territorio nacional continental y nos posiciona dentro de los primeros lugares a nivel sudamericano. En Chile, las áreas que conforman la parte terrestre del SNASPE llegan a 101 en 2012, correspondiendo a 37 Parques Nacionales, 27 Reservas Nacionales, 22 Reservas Forestales y 15 Monumentos Naturales. En su parte marina, el Sistema

está constituido además por dos Parques Marinos y 5 Reservas Marinas. Adicionalmente, el país cuenta con 6 Áreas Marinas y Costeras Protegidas y 40 Santuarios de la Naturaleza.

Cabe mencionar que, durante el II Simposio de Geoparque y Geoturismo realizado en Santiago, durante noviembre del 2014, se discutió sobre la necesidad de crear un Servicio (o Departamento) Nacional de Geodiversidad que también dependa del Ministerio del Medio Ambiente y que vele por el cuidado del Geopatrimonio Nacional, asegurando su caracterización, protección y divulgación. Esto con el fin de incluir en la legislación conceptos como Geodiversidad, Patrimonio Geológico, Geositio, Georuta, Geoparque, Geopatrimonio, entre otros. Igualmente se plantea que en la estructura del Ministerio del Medio Ambiente, el Servicio de Biodiversidad y Áreas Protegidas debe encargarse de administrar en forma sustentable el Patrimonio Natural Abiótico, y liderar iniciativas y políticas nacionales de geoconservación. Este llamado debe nacer desde la misma comunidad científica y entes como la Sociedad Geológica de Chile (SGCH), que se ha comprometido a realizarlo, pero es necesario que instituciones como las universidades y personas naturales se sumen a tal convocatoria.

3.7. Actualidad del Patrimonio Geológico

Entre los años 2010 y 2013, SERNAGEOMIN desarrolla el proyecto Modelo de Geoparque en Chile, Etapa 1, que establece las bases para crear el primer geoparque del país: el Geoparque Küttralkura. En Abril del año 2011 y en el marco de esta iniciativa, se realiza en Melipeuco el I Simposio de Geoparques y Geoturismo en Chile, que reúne a destacados profesionales de diferentes países (Schilling *et al.* 2011). El II Simposio es realizado en Santiago de Chile, el año 2014. En Octubre de 2017, se realiza el III Simposio de Geoparques y Geoturismo de Chile, en Concepción. En esta instancia, que buscaba conocer el estado del arte de los Geoparques en Latinoamérica y Chile, se establecieron lazos y redes de colaboración entre entidades públicas y privadas, para apoyar, fomentar y potenciar las iniciativas de Geoparques en territorio nacional. Junto con esto se generaron mesas de trabajo para establecer las bases para la conformación de un comité Nacional de patrimonio Geológico y Geoparques y formalizar la Red Nacional de Geoparques (GeaChile).

Dentro de los equipos de geopatrimonio que destacan sus avances en temas de geoparques son Geoparque Küttralkura (Región Araucanía), Geoparque Minero Litoral Biobío (Cordillera Nahuelbuta), Geoparque Valle de Petorca, Geoparque Cajón del Maipo (Región Metropolitana) y

el recientemente adjudicado Proyecto de Productos Geoturísticos de Patagonia Verde (Región de Los Lagos).

A la fecha, existen 66 geositios aprobados por la Sociedad Geológica de Chile, además de diversos trabajos académicos que corresponden a inventarios de sitios de especial interés geológico en parques nacionales (Fernández, 2007; Martínez, 2010; Mardones, 2012; Urresty, 2011), en otras áreas naturales (Ramírez, 2012; Partarrieu, 2013; Benado, 2013; Rivera, 2014; Donoso, 2017; Martínez 2017), y en entornos urbanos (Rodríguez, 2013).

3.8. Reserva de la Biósfera Corredor Biológico Nevados de Chillán – Laguna del Laja

Desde hace cuarenta años que la UNESCO busca proteger la biodiversidad a través del Programa el Hombre y la Biósfera (MAB), el que viene a potenciar proyectos de desarrollo sostenible con la nominación de Reservas de la Biósfera alrededor de todo el planeta. La finalidad de otorgar dicho título, busca que las comunidades locales tengan una mayor participación en las actividades de administración, gestión, investigación, educación, formación y supervisión en torno a la conservación de la diversidad natural y el desarrollo económico. Sin embargo, es necesario que los gobiernos se hagan parte de estos proyectos, permitiendo a través de la propia legislación el desarrollo sostenible y sustentable de los territorios.

La Red Mundial de Reservas de Biósfera cuenta actualmente con 669 nominaciones repartidas en 120 países. De éstas, 10 corresponden a Reservas de la Biósfera en Chile. Esta denominación corresponde a áreas importantes para la humanidad en temas de conservación y preservación de los ecosistemas. Estas reservas se dividen en zonas núcleo, de amortiguamiento y exterior de transición para facilitar su gestión. En el año 2011, la UNESCO declara como Reserva de la Biósfera al Corredor Biológico Nevados de Chillán – Laguna del Laja, territorio andino, en la región del Bío Bío, de 565.000 hectáreas, conformada para la protección del bosque nativo, del hábitat del huemul, de los recursos hídricos, del paisaje y del suelo. Este hotspot de biodiversidad y zona única de transición vegetal, en el que habitan más de 40 especies endémicas, se extiende desde el río Ñuble por el norte hasta el río Laja por el sur, incluyendo 9 comunas de la región. El área que abarca el presente estudio contempla zonas núcleo; Parque Nacional Laguna del Laja y Reserva Ñuble, la zonas de amortiguamiento correspondiente a la comuna de Antuco dentro de la reserva y la zona de transición del valle superior del río Laja.

El organismo a cargo de la Reserva de la Biósfera Nevados de Chillán – Laguna del Laja es el Gobierno Regional del Biobío (GORE) y los entes administrativos son la Secretaría Técnica, el Comité Ejecutivo y el Consejo de Gestión. La primera de ellas se encarga de: organizar convocatorias a las sesiones del Comité ejecutivo y del Consejo de Gestión, elaborar y conservar la documentación relacionada a la gestión de la Reserva y dar inicio a la ejecución de los acuerdos establecidos por el Consejo y el Comité. Por su parte el Comité Ejecutivo está constituido por varios representantes de diversos entes públicos de la Región del Biobío, así como representantes de las Áreas Protegidas, y tiene como misión impulsar una gestión orientada al desarrollo sustentable de la Reserva, fortaleciendo las capacidades de articulación entre actores públicos y privados que participen activamente en la planificación, gestión, desarrollo y uso del territorio. Finalmente, el Consejo de Gestión tiene como misión impulsar una gestión orientada al desarrollo sustentable de la Reserva de la Biósfera y fortalecer las capacidades de articulación entre sectores públicos y privados. Debe, entre otras funciones, aprobar la elaboración y supervisar de manera periódica el Plan de Gestión y las modificaciones posteriores, definir mecanismos de participación de actores locales que vivan dentro del territorio o hacen uso de los recursos naturales y aprobar todas aquellas acciones necesarias para cumplir con las funciones de la Reserva de la Biósfera acorde a la zonificación y lo establecido por la UNESCO. Este Consejo lo constituyen principalmente el Intendente, seremis de variados ministerios, SERNATUR, consejeros regionales, alcaldes de los municipios en cuestión, ONG's, representantes turísticos, CONAF, entre otros.

3.9. Zona de Interés Turístico (ZOIT)

Las Zonas de Interés Turístico (ZOIT) son territorios comunales, intercomunales o determinadas áreas dentro de éstos, donde la condición principal es que deben tener alguna característica especial para la atracción turística y que requieren medidas de conservación y una adecuada planificación enfocada a promover las inversiones del sector privado (Ley 20.423, Art. 13). Por su lado, el Artículo 17 de la Ley del Turismo, afirma sobre la prioridad para la ejecución de programas y proyectos públicos que fomenten el desarrollo de dicha actividad, aportando infraestructura y equipamiento a disposición del desarrollo turístico de las ZOIT.

El 2 de julio del año 2008, fue declarada como ZOIT el Área Cordillera de Chillán – Laguna del Laja en la Región del Biobío, esto realizado bajo lo establecido en el Decreto 515 del año 1977. Sin embargo, el 21 de febrero de 2018, se actualiza denominándola Pinto. En la resolución se

establece que la ZOIT Pinto al año 2030, será un destino posicionado en el mercado nacional e internacional con una variada oferta de productos y servicios integrales, asentados en las bondades del territorio que se extiende desde el fértil valle a la nevada cordillera. Inserto en la Reserva Mundial de la Biósfera Corredor Biológico Nevados de Chillán - Laguna del Laja, continuará albergando una belleza escénica y riqueza ecológica única, debido a un desarrollo sostenible y sustentable de la actividad, basado en el reconocimiento y preservación del patrimonio natural y cultural, con un modelo de gobernanza asociativo que integra al sector público y privado para alcanzar el desarrollo local eficiente, armónico e integrador. Por lo que la antigua ZOIT de la Cordillera de Chillan - Laguna del Laja, debe ser actualizada. En el caso de la comuna de San Fabian, ha ingresado la solicitud de ZOIT a la fecha, pero no ha sido declarada. (<http://www.subturismo.gob.cl/zoit-declaradas-3/>)



4. MARCO GEOLÓGICO

4.1. Trabajos Anteriores

Los lugares más referenciados geológicamente del área de estudio, corresponden a las erupciones del Volcán Antuco y las rocas sedimentarias de Formación Curamallín que afloran al este. Además, existen estudios de patrimonio geológico que abarcan las otras zonas de la reserva, informes técnicos, estudios de impacto ambiental y trabajos de otras disciplinas, todos necesarios para realizar un estudio acabado de geopatrimonio.

Poeppig (1835) proporcionó antecedentes sobre las erupciones del Volcán Antuco ocurridas en 1820 y 1828-1829. El consideró que existía una estrecha relación entre el Lago Laja y el volcán, dado que ambas erupciones terminaron con la generación de “corrientes frías de barro”.

Domeyko (1845) publicó un informe sobre sus salidas a terreno al área del Volcán Antuco y Lago Laja. Este informe incluyó una descripción de las características del Lago Laja antes de la erupción del Volcán Antuco ocurrida en 1853 y una interpretación de la morfología del volcán. Domeyko indicó que el lago tenía una longitud de 8 a 10 km y era drenado por un gran cañón que desapareció luego de la erupción de 1853. Postuló, además, que el edificio del Antuco había experimentado levantamientos, acompañados por fracturas circulares y un gran deslizamiento.

Brüggen (1942) realizó importantes observaciones del Volcán Antuco y de su historia eruptiva. Distinguió dos unidades: una antigua que llamó Volcán Laja y un cono nuevo que denominó Volcán Antuco. También describió un depósito endurecido, en el lugar del Salto del Laja, interpretándolo, junto al “Banco del Laja”, como morrenas del último período de glaciación.

Wright (1959) interpretó el “Banco del Laja” como una “corriente rápida de escoria incandescente” que, probablemente, se originó en el Volcán Antuco.

Muñoz-Cristi (1960) fue el primero en usar el nombre de “Banco del Laja” para esos depósitos duros que forman el salto del Río Laja, interpretándolos como una corriente de barro de tipo volcánico.

Enrione y Villarroel (1962) realizaron el levantamiento geológico del área de la Central Hidroeléctrica El Toro, definiendo informalmente varias unidades rocosas.

Gonzalez y Vergara (1962) definieron una serie de unidades de roca del basamento de los volcanes cuaternarios, entre los 35 y 38° de latitud Sur. Entre ellas destaca la Formación Curamallín, la cual aflora en el área de estudio.

Casertano (1963) dio algunas características generales del Volcán Antuco y describió algunas de sus erupciones históricas.

Mac Phail (1966) estudió el “Banco del Laja”, interpretándolo como un gran lahar que él llamo “el Gran Lahar del Laja”. Postuló que la arena negra depositada sobre el “Banco del Laja” tenía un origen eólico. Además, señaló que una erupción del Volcán Antuco provocó el colapso de su parte superior occidental y dio origen a un gran deslizamiento, siendo el Cerro Cóndor una fracción del lado occidental del volcán. Asumió que este proceso fue similar al experimentado por el Volcán Bandai-San en Japón, el cual tuvo una erupción catastrófica en 1888.

Vergara y Katsui (1969) realizaron el primer estudio geológico, petrográfico y geoquímico sistemático del Volcán Antuco. Postularon que el Cerro Cóndor era un antiguo volcán.

Vergara (1974) escribió una guía geológica sobre el área volcánica Antuco-Sierra Velluda, para el Simposio de la Asociación Internacional de Volcanología y Química del Interior de la Tierra (IAVCEI), que tuvo lugar en Santiago de Chile.

Abele (1981) postuló que la gran avalancha volcánica del Antuco provocó la formación de su caldera, de 4 km de diámetro, abierta hacia el oeste. Señaló que esta caldera era similar a aquella dejada por la erupción del Volcán Santa Helena en Estados Unidos, ocurrida en 1980.

Varela y Moreno (1982) efectuaron un estudio geológico regional de los depósitos cuaternarios de la Depresión Central. En este trabajo reconocieron y mapearon, a escala 1:250.000, las arenas negras de Laja. Asumieron que estos depósitos se originaron por un flujo generado a partir de la ruptura del embalse del Lago Laja, construido por la avalancha volcánica del Antuco, ocurrida hace 9,7 ka.

Vergara y Muñoz (1982) estudian las características petrográficas y petrológicas de la Formación Cola de Zorro en la alta cordillera andina chilena, entre los 36°-39° Lat. Sur.

Niemeyer y Muñoz (1983), efectúan el levantamiento geológico de la Hoja Laguna de La Laja, en la Región del Biobío (Escala 1:250.000). Uno de sus principales aportes, fue la redefinición de

la antigua Formación Malla-Malla, como el Miembro Superior de la Formación Curamallín y la descripción de los rasgos estructurales más sobresalientes del área estudiada.

Moreno, Varela, Lahsen y Vergara (1984) realizaron un estudio geológico a escala 1:25.000, del Grupo Volcánico Antuco-Sierra Velluda. Obtuvieron nuevos datos geológicos y geoquímicos, mapearon la avalancha volcánica y afirmaron que el Cerro Cóndor, considerado hasta ese momento como un volcán, correspondía a un mega-bloque deslizado.

Muñoz y Niemeyer (1984) presentan datos estratigráficos, cronológicos, petrográficos y químicos, relativos a rocas volcánicas de la Formación Trapatrapa, expuesta entre los 36° y 39° Lat. Sur.

Varela y Moreno (1985) publicaron un mapa geológico-geomorfológico del sector Los Angeles-Angol, a escala 1:250.000. En este mapa precisan la distribución de las arenas negras de Laja.

Varela, Moreno, Lahsen y Vergara (1988) describieron la extensión de la cubierta cuaternaria en las nacientes del Río Laja. Nuevamente asumieron que las arenas negras fueron depositadas por un flujo, causado por la ruptura del embalse del Lago Laja, embalse que fue construido, hace 9,7 ka, por la avalancha volcánica del Antuco.

Petit-Breuilh (1994, 1999 y 2000) publicó una síntesis de la actividad volcánica y cronología eruptiva histórica del Volcán Antuco, estableciendo que la primera erupción documentada de este centro volcánico fue aquella de 1624 y que el siglo XIX fue el período histórico de mayor actividad.

Mussa (1995) caracteriza los elementos paisajísticos de la Reserva Ñuble, desde la perspectiva de la arquitectura del paisaje. A su vez, lo relaciona con la intervención del medio natural, por efecto de la construcción del gaseoducto y oleoducto que atraviesan la reserva.

De La Maza, Faúndez, Estades y López (1995), realizan evaluación de impacto ambiental del Gasoducto Trasandino en la Reserva Forestal Ñuble.

Thiele y Moreno (1995) y Thiele, Moreno, Elgueta, Lahsen, Rebolledo y Petit-Breuilh (1998) analizan la evolución geológico-geomorfológica pleistocena a reciente, del tramo superior del valle del río Laja. Reconocieron, por primera vez, que las arenas negras corresponden más bien a flujos piroclásticos, tipo oleada, que a depósitos de flujo. Los flujos piroclásticos responsables de estos depósitos estarían asociados con la erupción catastrófica que el Volcán

Antuco experimentó hace 9,7 ka. Reconocieron otros tres depósitos de flujos piroclásticos más jóvenes.

Carpinelli (2000) realiza análisis estratigráfico, paleoambiental y estructural de la Cuenca de Curamallín, además de proponer un modelo tectono-estratigráfico. Estudia las estructuras asociadas a la Formación Curamallín, al oriente del área de estudio.

Lohmar (2000) presenta la estratigrafía, petrografía y geoquímica de elementos mayores del Volcán Antuco y sus depósitos. Indica que el colapso del edificio ancestral, Antuco I, habría ocurrido hace 6.250 ± 60 años A.P., de acuerdo a una datación C14 realizada en un tronco encontrado en la avalancha, contrastando con el dato anterior de 9.700 ± 600 años A.P.

Moreno, Lohmar, Lopez-Escobar y Petit-Breuilh (2000) contribuyen al conocimiento de la evolución geológica, geoquímica e impacto ambiental del Volcán Antuco.

Flynn, Charrier, Shockey, Herriot, Wetheim y Wyss (2003, 2006, 2008, 2012 y 2015) realizan importantes hallazgos de abundantes y variados restos fósiles cenozoicos en los Andes, incluida la zona este de Laguna del Laja.

Melnick y Folguera (2003 y 2006) estudian el comportamiento del Sistema de Falla Lago del Laja y su evolución tectónica. Para ello, realizan observaciones en terreno, interpretaciones de perfiles sísmicos, fotografías aéreas y Modelos de Elevación Digital (DEMs) combinando batimetría y topografía.

Arancibia, Rojas y Cembrano (2009) evalúan la relación entre la dirección de colapso de la avalancha holocena del Volcán Antuco y la presencia de fallas activas regionales en el basamento.

Radic (2010) a través de mapeo regional, análisis tectono-estratigráfico de las cuencas cenozoicas y secciones estructurales de las subcuencas, relaciona estructuras mayores de las cuencas extensionales y vulcanismo Plio-Holoceno. Reconoce una clara coincidencia espacial entre estructuras de primer orden pertenecientes a estas cuencas y la distribución del vulcanismo Plio-Pleistoceno.

Rivera (2014) y Donoso (2017) elaboraron estudios de patrimonio geológico en el Complejo Volcánico Nevados de Chillán y San Fabián de Alico, respectivamente. Ambas dentro del Corredor Biológico Nevados de Chillán-Laguna del Laja.

Meulle-Stef (2016) genera un modelo estructural y régimen de paleo-esfuerzos para el Complejo Volcánico Nevados de Chillán, donde considera el valle del Diguillín y Cañón del río Seco, ambos en la Reserva Ñuble.

Benavente (2016) propone una travesía que conecta la Reserva Ñuble con el Parque Nacional Laguna del Laja, generando un inventario de atractivos turísticos de la ruta.

4.2. Geología Área de Estudio

4.2.1. Generalidades

La geología del área cubierta entre los 36°56'- 37°29' Latitud Sur y 71°15' - 71°40' Longitud Oeste, abarca un rango de edad desde el Oligoceno al Presente, cuya distribución y nomenclatura estratigráfica se resume en el mapa (Figura 4.1).

Distribuidas a lo largo del área de estudio, se encuentran las rocas terciarias, constituidas principalmente por litologías sedimentarias y volcano-sedimentarias, que junto con los cuerpos intrusivos miocenos, constituyen las rocas del basamento (Moreno *et al.*, 1984).

En discordancia angular las sobreyace la Formación Cola de Zorro, constituida por productos de antiguos estratovolcanes del sector de edad Plio-Pleistocena. Posteriormente, el tramo superior de la cuenca del Laja, ha sido rellenado por productos volcánicos del Grupo Volcán Antuco – Sierra Velluda y conjuntamente modelado por procesos glacio-fluviales.

Entre los 37° y 39°S, Carpinelli (2000) y Radic *et al.* (2002) subdividen la Cuenca de Curamallín, espacial y genéticamente en dos subcuencas. Estos autores, junto con Jordan *et al.* (2001), concluyen, basándose en información estratigráfica, estructural y sísmica, que las cuencas del Terciario-medio entre los 34 y 42°S, incluyendo Curamallín, fueron depositadas en un rift continental de intra-arco, durante un régimen tectónico extensional.

El basamento pre-andino no está expuesto en la Cordillera Principal entre los 37° y 39°S. Estas rocas afloran en la Provincia de Neuquén, Argentina (Delpino & Deza, 1995) y a lo largo de la Cordillera de la Costa (Hervé *et al.*, 1988). Melnick *et al.* (2006), infieren que rocas paleozoicas y mesozoicas forman el basamento en esta zona también, de acuerdo a lo observado inmediatamente al este, en la Cordillera del Viento (37.2° Lat. S, 70.5° Long. W) y al norte de la Cordillera Principal (~34° Lat. S).

Las rocas paleozoicas pertenecen al Ciclo Orogénico Hercínico y constituyen el basamento cristalino de los Andes, mientras que las mesozoicas, representan las primeras etapas de la

evolución tectónica del Ciclo Orogénico Andino (Moreno *et al.*, 1984). Las rocas terciarias, pleistocenas y holocenas, corresponden a las últimas etapas de la evolución geológica andina y tienen una amplia distribución en el área del Volcán Antuco.

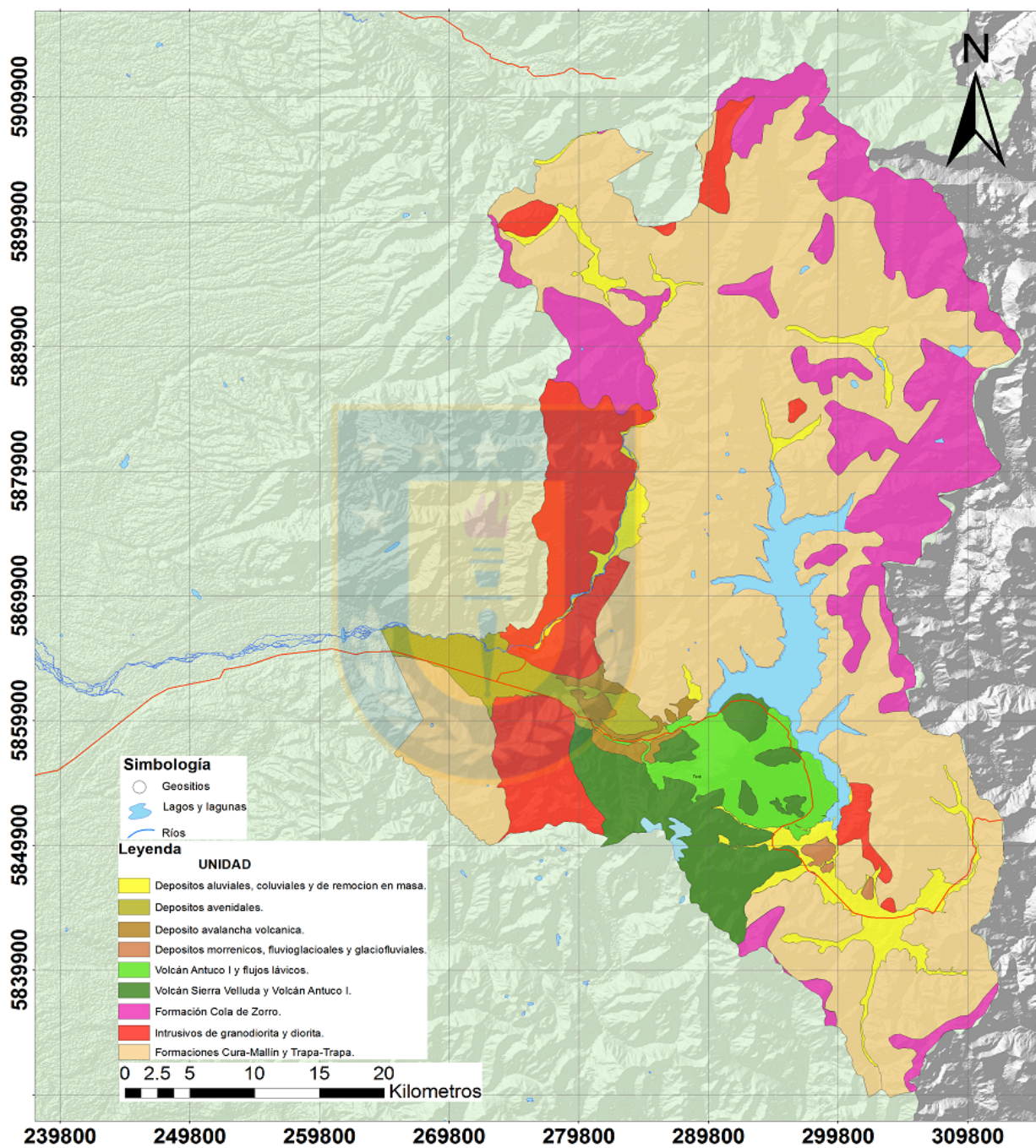


Figura 4.1 Mapa geológico del área de estudio. Escala 1:100.000. Basado en Niemeyer & Muñoz, 1983.

4.2.2. Formación Curamallín (Oligoceno tardío-Mioceno medio)

La Formación Curamallín fue definida por González & Vergara (1962), según el estero homónimo ubicado en la Hoja Laguna de la Laja, entre las latitudes 37° y 38° S. Posteriormente fue redefinida por Niemeyer & Muñoz (1983) y extendida hacia el sur por Suárez & Emparan (1997).

En la zona de estudio, afloran rocas pertenecientes al Miembro Río Queuco de la Formación Curamallín, reconocibles desde lejos por su excelente estratificación, acentuada por la alternancia de bancos tobáceos de colores pardo-verdoso, blanco, morado, verde, rosado y gris claro. Afloran con muy buena exposición al oriente del Volcán Antuco y ampliamente distribuida por el curso medio y superior del río Polcura y Cerro El Toro.

Según Flynn *et al.* (2008), consiste en 1800 m de espesor, compuesta por dos miembros concordantes y transicionales entre sí; uno inferior volcánoclastico, denominado Miembro Río Queuco, compuesto esencialmente por depósitos de caída, flujos piroclásticos, subordinadamente lavas andesíticas y cuerpos hipabisales. Las tobas de este miembro, representan una intensa actividad volcánica de carácter silíceo a intermedio, que originó depósitos de flujos piroclásticos. Las frecuentes intercalaciones de sedimentos arenosos con estratificación cruzada indican que los materiales piroclásticos fueron, en parte, retrabajados por el agua, antes de ser depositados (Niemeyer & Muñoz, 1983).

El miembro superior sedimentario, Miembro Malla-Malla, que sobreyace y en parte engrana con el primero, compuesto por areniscas, areniscas conglomerádicas, conglomerados de ambiente aluvio-fluvial y deltaico, además de fangolitas, areniscas, calizas y algunos horizontes carbonosos depositados en un régimen lacustre. Este último, casi inexistente hacia el norte, se desarrolla gradualmente hacia el sur de la subcuenca donde alcanza un espesor de 500 m (Carpinelli, 2000; Niemeyer & Muñoz, 1983; Suárez & Emparan, 1995; Jordan *et al.* 2001; Radic *et al.* 2002). Las características del Miembro Malla-Malla, sugieren una depositación en ambiente fluvial de pie de monte, con escasa oxidación. Este ambiente fluvial se relaciona, parcialmente, con un ambiente lacustre y la presencia de mantos carbonosos y de bitumen, en algunos lugares, lo que sugiere condiciones de depositación en aguas estancadas (Niemeyer & Muñoz, 1983).

Niemeyer & Muñoz (1983), sobre la base de antecedentes paleontológicos en el Miembro Malla-Malla y dataciones radiométricas realizadas en muestras del Miembro Río Queuco, por Drake (1976), definen una edad Eoceno – Mioceno medio para esta formación. Sin embargo, recientes

estudios fosilíferos han entregado nuevas aproximaciones sobre la edad de depositación de esta formación. Las edades disponibles, que fluctúan entre los 24,6 - 14,5 Ma y la Formación Trapa Trapa que la sobreyace, sugieren que la depositación de la Formación Curamallín en la subcuenca norte habría terminado antes que en la sur (~22 - 10,7 Ma). Por lo tanto, actualmente se le asigna un rango Oligoceno tardío-Mioceno medio (Suárez & Emparan, 1997; Carpinelli, 2000; Jordan *et al.*, 2001; Radic *et al.*, 2002; Flynn *et al.*, 2008; Charrier *et al.*, 2015). Las edades determinadas mediante la fauna fósil colectada y las dataciones radioisotópicas, muestran que la Formación Curamallín, en el sector de Laguna del Laja, es considerablemente más joven que la edad aceptada para esta formación en Argentina, más de 10 Ma (Jordan *et al.*, 2001).

Su base no aflora en la zona de estudio, por su parte, su techo es concordante con lavas y aglomerados de Formación Trapatrapa, que la sobreyacen. En algunos sectores se encuentra parcialmente cubierta, en discordancia angular, por la Formación Cola de Zorro y depósitos no consolidados cuaternarios. La fosilífera Formación Curamallín se correlaciona con la Formación Abanico (Charrier *et al.* 2015) (Figura 4.2).

4.2.3. Formación Trapatrapa (Mioceno medio a superior)

La Formación Trapatrapa, definida por Niemeyer & Muñoz (1983), está constituida por rocas volcánicas y volcanoclásticas del Mioceno, que afloran entre los 36° y 39° S, en la Cordillera Principal de los Andes de Chile. Está formada por andesitas, andesitas basálticas y escasos basaltos y dacitas, junto a rocas epi y piroclásticas, e intrusivos subvolcánicos asociados.

Se encuentra distribuida en dos franjas de orientación norte-sur, a lo largo del margen oriental y occidental de la Hoja Laguna del Laja. El espesor máximo medido es en el perfil del Cerro Malalcahuello, aunque se estima que pueda sobrepasar los 1500 m (Niemeyer & Muñoz, 1983). En el área de estudio es posible reconocerla bien expuesta en las cumbres de los cordones de mediana altura, tales como: la Cordillera de Polcura y el cordón fronterizo que se extiende entre los pasos de Pichachén y Copahue.

Está dispuesta de manera concordante y transicional, sobre los depósitos de la Formación Curamallín, y es cubierta, en marcada discordancia de erosión, por rocas volcánicas Plio-Pleistocenas.

Según Niemeyer & Muñoz (1983), la composición química de las rocas de la Formación Trapatrapa, es comparable a la de rocas de arcos volcánicos relacionados con la convergencia de placas y su origen podría estar asociado con procesos de subducción de la placa de Nazca bajo la

Sudamericana, que inducirían fusión parcial subcortical y el desarrollo, en superficie, de un arco volcánico construido sobre corteza continental.

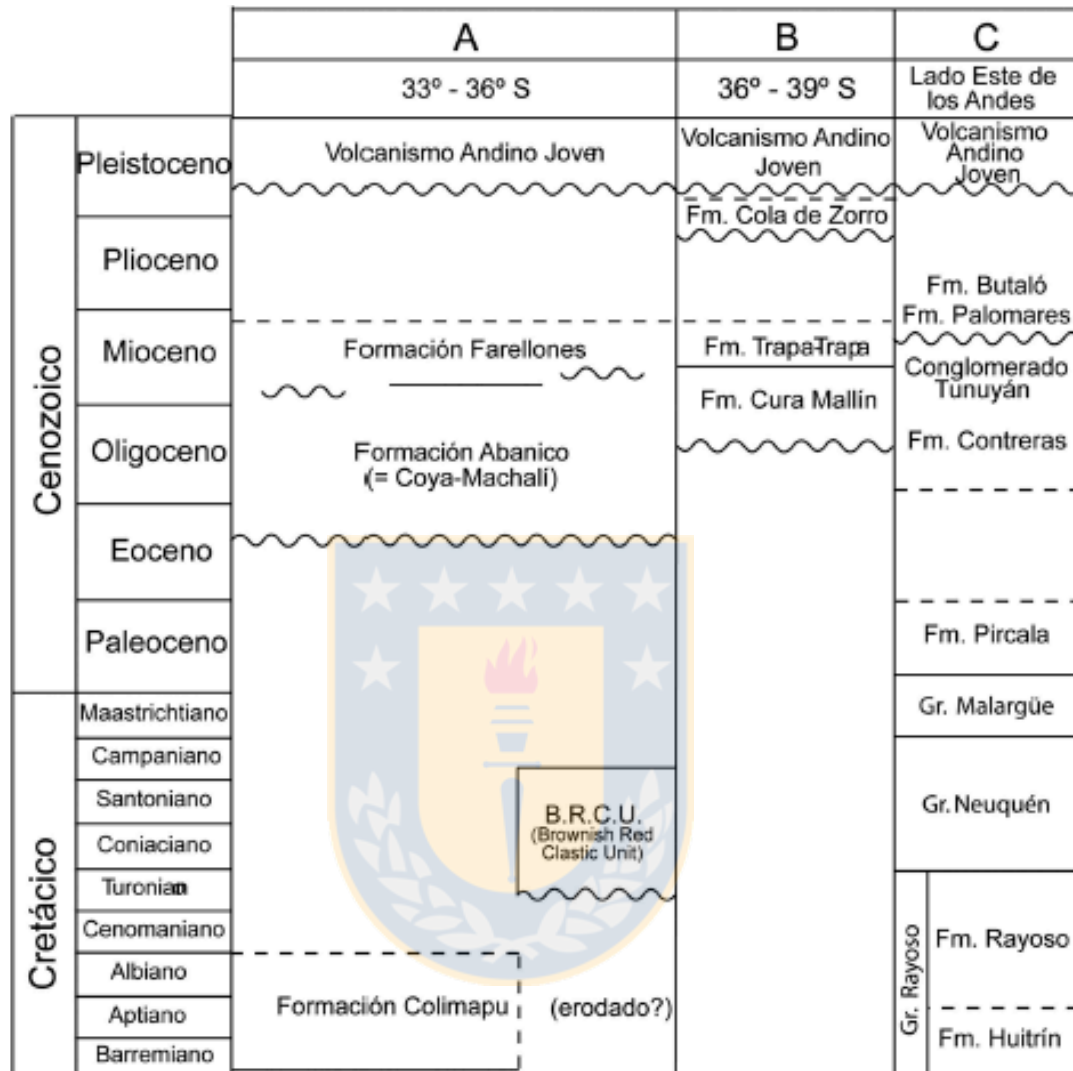


Figura 4.2 Correlaciones entre las formaciones del Cretácico medio a superior y cenozoicas de las vertientes occidental y oriental de la Cordillera Principal, entre 33°30' y 39°S. Fuente: Charrier *et al.*, 2015.

Las andesitas, brechas andesíticas y conglomerados de la Formación Trapatrapa, se habrían depositado en forma esencialmente subaérea y marcan una reactivación del volcanismo que pone fin a los episodios sedimentarios que dieron origen al Miembro Malla-Malla (Niemeyer & Muñoz, 1983). Sin embargo, por comunicación verbal con Hugo Moreno, recientes investigaciones sugieren que esta formación sería contemporánea y se interdigita con la Formación Curamallín.

Jordan *et al.* (2001), reportan una edad $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ de 16.2 ± 0.2 Ma para esta formación en la región de Andacollo, Argentina. Además, asegura que es ~ 5 -10 Ma., más joven en Laguna del Laja, que la edad aceptada para estas formaciones en Argentina. Recientes estudios, que integran datos geocronológicos con nuevas observaciones de campo, sugieren que en la zona norte de la Formación Trapatrapa, los rangos de edad van de 14.7–18.2 Ma (Radic *et al.*, 2002) a 12–20 Ma (Melnick *et al.*, 2006). La Formación Trapatrapa se correlaciona con la Formación Farellones, en la cual no se han encontrado restos fósiles, que aflora entre los 33° y 36° S (Charrier *et al.*, 2015).

4.2.4. Rocas intrusivas (Mioceno superior)

Los granitoides que afloran entre los 37° y 39° S, representan las exposiciones más al Norte del Batolito Patagónico del Norte, de edades Mesozoicas a Miocenas (Hervé, 1994; Pankhurst *et al.*, 1999 en Melnick *et al.* 2006). Niemeyer & Muñoz (1983), describen en el área de la Laguna del Laja, dos stocks, expuestos inmediatamente al oeste de la Cordillera de Polcura, así como, al sur y sur-oeste de la Sierra Velluda, los cuales se encuentran cubiertos por rocas volcánicas Plio-Pleistocenas. La composición petrográfica de los "stocks" corresponde, principalmente, a diorita, diorita cuarcífera y granodiorita.

La relación de contacto de estos cuerpos plutónicos permite inferir una edad Mioceno superior y se habrían emplazado con posterioridad o simultáneamente con el plegamiento de las formaciones Curamallín y Trapatrapa (Niemeyer & Muñoz, 1983).

Los intrusivos occidentales corresponden, casi invariablemente a granodiorita, mientras que las facies dioríticas y cuarzo-dioríticas, se desarrollan de preferencia en los cuerpos más orientales.

En el stock de Saltos de Malalcura, es posible observar filones lamprofíricos de color verde oscuro y pequeñas venas aplíticas rosadas. Niemeyer & Muñoz (1983) asegura que la roca de caja de estos intrusivos, constituye roof-pendants. A lo largo de los contactos, se observa una epidotización intensa y algunos fenómenos de asimilación e incorporación de la roca de caja a la masa intrusiva, constituidas por bloques xenolíticos angulosos, de 10-30 cm, dentro de una matriz de material plutónico.

También es posible observar en el Cerro El Toro, la presencia de cuerpos menores andesíticos y dacíticos de tipo filoniano (diques y filones mantos), que intruyen a las rocas estratificadas de la Formación Curamallín, con direcciones preferentes N40°W y NS (Lohmar, 2000).

Según Carpinelli (2000), los intrusivos de edad terciaria, ubicados en el borde occidental del área en estudio, podrían corresponder a las raíces del "arco volcánico" que funcionó hasta el Mioceno tardío.

4.2.5. Formación Cola de Zorro (Plioceno - Pleistoceno inferior)

González y Vergara (1962), definen la Formación Cola de Zorro, en la quebrada de nombre homónimo, como una secuencia volcánica, carente de fósiles, de gran extensión areal y actitud tectónica horizontal a subhorizontal, modificada solamente por movimientos de bloques que parecen haberla afectado intensamente. Estas rocas tienen amplia distribución en la alta cordillera entre los 36° y 39° S, constituyendo un volcanismo de plataforma, formando gruesos paquetes bien estratificados, disectado por los valles glaciares y fluviales actuales, en cuyas laderas forma abruptos acantilados. Estas rocas engranan lateralmente con centros volcánicos Plio-Pleistocenos erodados, tales como el Cerro Campanario (35°55' S) y Sierra Velluda (Vergara & Muñoz, 1982).

En la Hoja Laguna del Laja, está integrada por una secuencia de andesitas de clino y ortopiroxeno, andesitas basálticas de olivino y en menor cantidad, de basaltos de olivino con colores gris a pardo oscuro, con participación importante de aglomerados volcánicos, grises, pardos y pardo amarillentos (Niemeyer & Muñoz, 1983). Al este de la Laguna del Laja, constituye una extensa planicie con suave inclinación hacia la vertiente argentina, formado por un miembro basal de tobas y aglomerados volcánicos, muchas veces de naturaleza lahárica, seguido de una secuencia de flujos de lava, principalmente andesíticas que, en los niveles superiores, cambian a tipos basálticos de olivino (Vergara & Muñoz, 1982). De acuerdo a similitudes estructurales, distribución y petrografía, las rocas que afloran en paso Pichachén, es posible correlacionarlas con los flujos lávicos que descienden de la Sierra Velluda. Sin embargo, la erosión glacial, detectable por la morfología y estrías, habría borrado la continuidad areal entre estas dos unidades, exponiendo una ventana de rocas terciarias en la zona (Figura 4.3).

La Formación Cola de Zorro sobreyace con fuerte discordancia angular, las rocas plegadas de las formaciones Curamallín y Trapatrapa. Además, se encuentra en contacto mediante superficie de erosión con stocks graníticos del río Polcura y río Malalcura. Cubriendo a la Formación Cola de Zorro, se disponen en discordancia de erosión, las lavas y productos del volcán Antuco, así como depósitos sedimentarios del Cuaternario.

El rango de edad para esta formación va del Plioceno al Pleistoceno inferior (5.6 ± 0.1 a 1.0 ± 0.1 Ma, K-Ar/roca total; Niemeyer y Muñoz, 1983; Suárez & Emparán, 1997; Linares *et al.*, 1999 en Melnick 2006). La datación realizada en el Complejo Volcánico Sierra Velluda por Lopez-Escobar *et al.* (1981) arrojó una edad de 1.0 ± 0.1 Ma. Se correlaciona hacia el norte con el Complejo Volcánico de los cerros Las Águilas y Las Minas (Niemeyer & Muñoz, 1983). Mientras que al este, con el Complejo Volcánico Pichi-Neuquén del Plioceno Inferior y Formación Huincán del Plioceno, que aflora en las cercanías del Complejo Volcánico Domuyo (Pesce, 1981 y Uliana, 1979 en Vergara & Muñoz, 1982).



Figura 4.3. Estrías glaciares en Formación Cola de Zorro. Rocas compuestas de basaltos de olivino aborregadas hacia el este, cerca del estero Petronquines. Notar la morfología en U del valle.

4.2.6. Unidades volcánicas (Pleistoceno superior – Reciente)

Durante el Pleistoceno superior, tuvieron lugar en la zona eventos glaciares y volcánicos con emisiones de lava de los volcanes Sierra Velluda y Antuco. Éstas habrían represado los valles glaciares dando origen a un antiguo Lago Laja (Varela *et al.*, 1988). Estos volcanes se disponen en discordancia de erosión o bien en contacto pseudo-concordante, sobre las volcanitas de la Formación Cola de Zorro. Algunas coladas, especialmente las de valle, cubren con discordancia angular a las formaciones Curamallín y Trapatrapa. Se encuentran formados en su mayor parte

por coladas basálticas, andesíticas y andesítico-basálticas, de colores negro, gris y pardo-rojizo, intercaladas con brechas autoclásticas y escaso material piroclástico, que alcanzan espesores totales máximos del orden de 1.000 m. La correlación de esta unidad con aparatos volcánicos similares de zonas adyacentes indica la intensa actividad volcánica cuaternaria de este sector de los Andes que, en varios casos, continúa hasta el presente (Niemeyer & Muñoz, 1983).

Los volcanes Antuco (2979 m) y Sierra Velluda (3585 m) son estratovolcanes ubicados en el borde suroeste del Lago Laja. Estos edificios volcánicos cuaternarios, que están emplazados en una depresión anular de 18 km de diámetro, presentan edades en sus bases de <124 y 495 ± 88 ka respectivamente (K-Ar/roca toral; Moreno *et al.*, 1984).

4.2.6.1. *Volcán Sierra Velluda (Qvsv)*

El Volcán Sierra Velluda es la unidad volcánica más antigua del Complejo Volcánico Antuco-Sierra Velluda. Corresponde a un estratovolcán extinto, fuertemente erosionado, formado por flujos de lava y depósitos laháricos y piroclásticos que irradian desde la cumbre actual (Moreno *et al.*, 1984).

Las coladas de lava se extienden por más de 10 km desde el centro de emisión y, en parte, han sido excavadas por la acción glaciaria, dando origen a numerosos valles radiales al centro volcánico (esteros La Cueva, El Aguado, Los Pangues, Trubunleo). Se apoya tanto en discordancia de erosión con rocas graníticas miocenas y estratificadas de la Formación Curamallín y Trapatrapa (Niemeyer & Muñoz, 1983). Infrayace discordantemente productos del volcán Antuco I y Antuco II. Los productos del volcán Sierra Velluda, habrían embalsado el valle superior del Laja, dando lugar a, por lo menos, un primitivo Lago Laja, el cual desapareció por la erosión de glaciares posteriores (Thiele *et al.*, 1998).

Se han diferenciado dos unidades litológicamente bien contrastadas y con discordancia de depositación entre ellas; Volcán Sierra Velluda I y II. La Unidad Sierra Velluda I, es la más antigua y está formada principalmente por flujos de lahares y piroclastos con escasas coladas lávicas andesíticas intercaladas (Varela *et al.*, 1988). Esta unidad aflora en las serranías de ambas laderas del Estero Trubunleo, en el sector sur del Estero Los Pangues, en las paredes del Estero La Cueva y en el curso superior del Estero El Aguado o El Volcán. En los primeros dos lugares, la secuencia aflorante alcanza 700 m, aproximadamente. Se presenta intensamente afectada por erosión glacial que ha excavado circos glaciales y valles en U (Moreno *et al.*, 1984). En la ladera occidental del Estero Trubunleo esta unidad se encuentra intruida por numerosos filones,

comúnmente verticales, de rumbo principalmente N60-70°W y, subordinadamente, N30°E. Hacia el oriente, los filones son predominantemente de rumbo N40-60°E (Lohmar, 2000). Las brechas volcánicas gruesas han sido interpretadas como depósitos de flujos laháricos. Están constituidas por bloques monolitológicos de andesita basáltica de piroxeno. La matriz está formada por fragmentos de la misma composición y la brecha presenta una marcada estructura columnar (Moreno *et al.*, 1984).

Por otra parte, la Unidad Sierra Velluda II, está constituida principalmente por flujos de lava, depositadas en los valles glaciares excavados en la Unidad Sierra Velluda I. Con ellas culminó la actividad del Centro Volcánico Sierra Velluda. La unidad está constituida por una sucesión de coladas de lavas principalmente andesíticas, comúnmente con desarrollo de niveles brechosos en su parte basal. Intercaladas con estas coladas se presentan, ocasionalmente, brechas volcánicas, de probable origen lahárico, y algunos niveles de lapilli y cenizas. Las lavas de esta unidad muestran una disposición radial desde la cumbre del Sierra Velluda, área donde habría estado ubicado el centro de emisión y que se caracteriza por presentar una fuerte alteración hidrotermal, que confiere a las rocas coloraciones ocres y rojizas. El espesor de esta unidad alcanza un máximo cercano a los 1750 m, correspondientes a la cumbre ubicada en las nacientes del Estero Trubunleo (Moreno *et al.*, 1984).

El volcán Sierra Velluda se levantó sobre una topografía relativamente abrupta, producto de la erosión glacial que, entre otras cosas, excavó los valles que, posteriormente, serían ocupados por el Lago Laja. Lo anterior permite deducir una edad máxima pleistocena inferior para este volcán (Varela *et al.*, 1988).

Moreno *et al.* (1984), dataron, por el método K-Ar en roca total, una muestra del techo de la Unidad Sierra Velluda I, en 495±88 mil años, es decir, Pleistoceno superior. Esta unidad está constituida, esencialmente, por material lahárico, para cuya formación se requiere una cantidad de agua, como la que ocurre en una glaciación. Este período glacial, que podría corresponder a la Glaciación Mindel, desarrollada entre 500 a 350 mil años A.P. en el hemisferio norte, habría afectado, además, a la secuencia, dando origen a la discordancia de erosión que la separa de la unidad superior (Lohmar, 2000).

Otra muestra datada por el mismo método y por los mismos autores, correspondiente a una lava de la base de la Unidad Sierra Velluda II, ubicada sobre la muestra anterior, arrojó una edad de

381±40 mil años. La parte superior de esta unidad, en la localidad de Los Barros, había sido datada en 300±100 mil años por Drake (1976).

Estos antecedentes indican edad Pleistoceno superior para el Volcán Sierra Velluda, sin descartar la posibilidad que se hubiese iniciado a fines del Pleistoceno inferior.

4.2.6.2. Volcán Antuco (*QvaI, QvaII*)

La actividad del volcán Antuco se inició a comienzos del Pleistoceno Superior, aproximadamente 130.000 A.P. (Thiele *et al.*, 1998). Comprende dos etapas: un primer edificio volcánico, Antuco I, que culminó con un evento eruptivo freatomagmático, que formó una caldera de 4 km de diámetro y originó una avalancha volcánica. Y Antuco II, que corresponde a un cono central que se generó al interior de la caldera (Moreno *et al.*, 1984, 2000; Thiele *et al.*, 1998; Lohmar, 2000).

4.2.6.2.1. Volcán Antuco I (*QvaI*)

El Antuco I, de composición basáltica a dacítica, alcanzó más de 2.000 m de altura, con un diámetro basal de 12 km. Esta unidad se encuentra bien expuesta en el Cerro Cóndor, afectada por numerosas fallas y desplazamiento de bloques. Aparentemente se trataría de un remanente dislocado que habría sobrevivido al colapso del cono y posterior deslizamiento de su flanco occidental, el cual culminó con la formación de la caldera. También aflora en la pared interior de la caldera y el faldeo norte del volcán Antuco. Según Varela *et al.* (1988), mediante dataciones K-Ar, la unidad Antuco I se habría desarrollado entre los 100.000 y 9.700 A.P. Dejando su límite superior acotado por la erupción que generó la avalancha volcánica (9.70 ± 0.6 ; R. Barozzi, comunicación verbal en Varela, 1988). Sin embargo, posterior a esta datación radiocarbono, se dispone de las realizadas por Lohmar (2000) y Moreno *et al.* (2000), que datan esta avalancha en 6.25 ± 0.06 ka, por lo que se extendería la edad de esta unidad.

4.2.6.2.2. Depósito de avalancha volcánica del Volcán Antuco (*Qava*)

La actividad de Antuco I culminó con el colapso lateral del edificio, de 3.500 m s.n.m., aproximadamente, producto de una erupción freatomagmática tipo Bandai-San, provocada por una sucesión de violentas explosiones causadas por la interacción de magma y agua a niveles superficiales. Este evento dejó su cono truncado, con un anfiteatro abierto hacia el oeste y forma de herradura. Sobre la base del volumen del depósito de la avalancha volcánica generada, que alcanzó una distancia de 20 km del volcán, por el valle del Laja, se estima que el volumen del cono volcánico que habría colapsado, es superior a los 5 km³. Thiele *et al.* (1998) y Lohmar

(2000), señalan que la erupción estuvo acompañada por descargas de oleadas piroclásticas dirigidas lateralmente, las cuales originaron las arenas negras de Trupán-Laja, cuyos depósitos se extendieron dentro de la Depresión Central en forma de un gigantesco abanico (Figura 4.4). Este evento represó el antiguo Lago Laja, elevando su nivel en unos 100 metros por sobre su cota actual, el cual se extendió hasta los valles del Paso Pichachén. Posteriormente, la ruptura violenta de este represamiento provocó un importante fenómeno avenidal, el cual erosionó parcialmente los depósitos de la avalancha (Thiele *et al.*, 1998; Varela *et al.*, 1988).

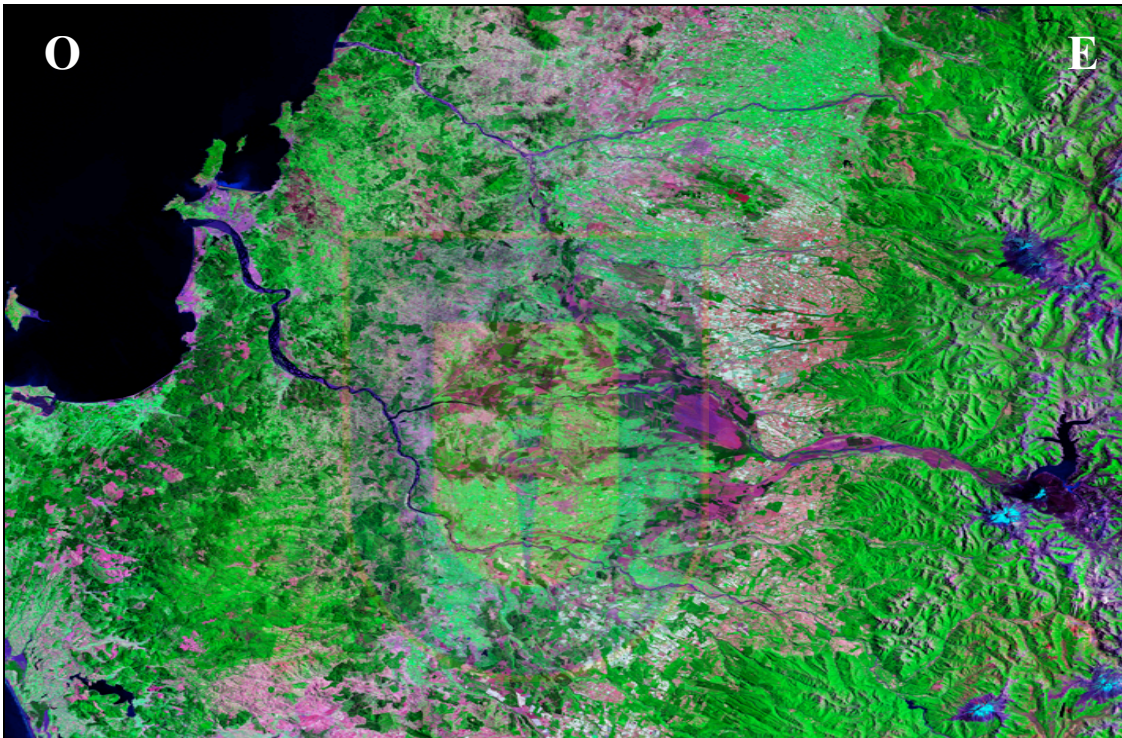


Figura 4.4 Imagen satelital Landsat 8 falso color. Notar que los depósitos de avalancha en la depresión central, en forma de abanico, alcanzaron los ríos Biobío e Itata (color púrpura).

Moreno *et al.* (1984) dividieron los depósitos de la avalancha volcánica en dos unidades:

a) Unidad avalancha de rocas (Q_{rmr})

Este depósito de remoción en masa, se encuentra en el valle del Río Laja, distribuyéndose en forma de dos cordones, a ambos lados de éste. Su extensión alcanza unos 17 km, entre el sector del Cerro Las Romazas, a 1.600 m s.n.m. y la confluencia de los ríos Laja y Polcura, a 700 m s.n.m.

Esta unidad consiste en una gruesa acumulación de material diamíctico, de unos 300 a 350 m de espesor, que forma el sustrato de la Planicie de Los Cipreses y de otros relieves adyacentes. Tiene una superficie rugosa, con desarrollo de sistemas de acanaladuras longitudinales que originan crestas y áreas deprimidas, las cuales carecen de desagüe y están ocupadas por ambientes lacustres. Desde el punto de vista textural, los materiales que la forman son extremadamente caóticos. Incluyen desde apilamiento de grandes bloques hasta secuencias volcánicas andesítico-basálticas, muy poco distorsionados, que sólo muestran leves movimientos de rotación de bloques y presencia de distintos grados de fracturamiento. Los grandes bloques corresponden, a veces, a una parte importante de una secuencia volcánica andesítico-basáltica estratificada, con algunos niveles de cenizas, aglomerados y lahares volcánicos muy distorsionados.

El techo de esta unidad es, por lo general, la superficie del terreno. Sin embargo, en la zona de la caja del Río Laja, está erosionada y cubierta por depósitos fluviales posteriores. Así, en la Planicie El Toro está recubierta por material de remoción en masa, perteneciente a los depósitos de deslizamientos-avalancha de detritos y bloques (Qrmd) y en la Planicie Los Cipreses subyace a depósitos avenidales (Qav). Según sondeos realizados por ENDESA en la Planicie El Toro, la base de esta unidad yace sobre la Formación Curamallín (OMcm) (Lohmar, 2000).

Según Moreno *et al.* (1984), el mecanismo de generación de este depósito está dado por una avalancha o deslizamiento de material rocoso y detrítico, que formaba el flanco noroccidental del antiguo Volcán Antuco I. Producto de este evento, se habrían originado coladas o lenguas de gran espesor y viscosidad, las cuales se desplazaron valle abajo, rodeando al Cerro Cóndor. Este corresponde a un bloque afectado, aunque poco distorsionado, por este mismo fenómeno. Este proceso habría ocurrido durante la explosión violenta y consecuente formación de la caldera que afecta a la estructura del Antuco I.

b) Unidad Avalancha de detritos (Qrmd)

Esta unidad, consistente en depósitos de remoción en masa, se encuentra en el área del curso superior del Río Laja. Se observa en la Planicie El Toro, en el nacimiento del estero Trubunleo y en el faldeo suroriental del Cerro Las Romazas. Los depósitos que forman esta unidad son diamícticos y están constituidos por grandes bloques angulosos de lava andesítico-basáltica, escoriácea, gris negra, que alcanzan hasta 2 y 6 m de diámetro, comprendidos en una matriz de granulometría muy homogénea. Posee baja cohesión y presenta espesores que oscilan,

aproximadamente, entre 5 y 70 m. Estos depósitos descansan sobre los depósitos de deslizamiento de roca (Q_{mr}), que rellenan el antiguo valle glacial de El Toro; su techo es la actual superficie del terreno. Esta superficie desarrolla montículos, de tipo hummocks, que tienen unos 5 a 10 m de altura.

Localmente, estos depósitos están cubiertos por sedimentos piroclásticos de caída y aluvionales y hacia el interior del valle El Toro, por sedimentos lacustres, sobresaliendo sólo algunos hummocks.

Según Moreno *et al.* (1984), la génesis de esta unidad está dada por un proceso de remoción en masa, del tipo deslizamiento-avalancha de detritos y bloques, que afectó a depósitos volcánicos y piroclásticos sueltos y algunos niveles de coladas de lava. Este evento también está asociado al fenómeno explosivo que afectó al Antuco I, generando la caldera. Tal suceso se produjo simultáneamente o un poco después de los deslizamientos de roca (Q_{mr}) y se diferencia de ellos por la calidad de los materiales deslizados. También se ha atribuido en este trabajo a los depósitos de remoción en masa por colapso gravitacional en Estero Trubunleo, Sur del Cerro Campamento y en el nacimiento del río Seco que drena la Laguna El Potro.

4.2.6.2.3. Volcán Antuco II (Q_{vaII})

La unidad Antuco II se comenzó a edificar al interior de la caldera, después de la fase catastrófica, generando el cono basáltico a andesítico-basáltico actual. Este cono casi perfecto, de aproximadamente 1.000 m de altura sobre la base del anfiteatro, ha derramado sus lavas de preferencia hacia el oeste. La actividad del Antuco II dio origen, además, a varios centros adventicios menores como el Centro Eruptivo Los Pangues y Herradura. Como consecuencia de su actividad, siguieron acumulándose coladas de lavas, flujos de detritos, lahares y flujos piroclásticos en el valle superior del Río Laja, reconocidas en Salto Trubunleo, centro de ski Antuco, Salto Las Chilcas, entre otros. Estos flujos de lava generados durante la segunda etapa del Antuco, represaron el río Laja, formando el Lago Laja actual.

4.2.7. Depósitos no consolidados (Pleistoceno superior – Reciente)

4.2.7.1. Depósitos Morrénicos Antiguos (Q_{ma})

Los depósitos morrénicos más destacables del sector, corresponden a un grueso apilamiento de sedimentos en el borde Sur del Lago Laja, los cuales constituyen una colina alargada de 200 m de altura y unos 4 km² de extensión. Éstos sobreyacen rocas de la Formación Curamallín, mientras

que hacia el Oeste, se adosan lateralmente sobre la Unidad II de la Sierra Velluda. Su techo es la actual superficie de terreno, pero en algunos sectores están cubiertos por depósitos aluvionales o coluviales recientes. La morrena no presenta estratificación interna, posee fragmentos desde 1 cm hasta bloques de 4 m, los que varían desde angulosos hasta subredondeados. Está compuesta, principalmente, por lavas andesíticas, con cantidades menores de lavas andesítico basálticas y brechas volcánicas, provenientes de la Sierra Velluda y algunos escasos clastos de granitoides, lavas y tobas con cristales de granate de la Formación Curamallín (Moreno *et al.*, 1984 en Lohmar, 2000). Junto a esta morrena en el sector oriental, se reconocen otras de menor tamaño asociadas a morrenas laterales, como es el caso de la morrena al este del pliegue volcado de la Formación Curamallín. El origen de esta unidad está relacionado con morrenas laterales, en parte terminales o frontales, generadas por gruesas lenguas de hielo que descendían por los valles glaciales.

Niemeyer & Muñoz (1983), reconocen otros depósitos al norte del curso superior del río Polcura y en los alrededores de la central Abanico. Los investigadores mencionados atribuyen estos depósitos a la última glaciación Würm, debido a su extensión y asociación a una morfología caracterizada por amplios y profundos valles glaciales. Por lo tanto, corresponderían a los depósitos de relleno más antiguos reconocidos en el área considerada.

4.2.7.2. *Depósitos avenidales (Qav)*

Esta unidad se distribuye en el sector noroccidental del área estudiada, constituyendo la Planicie Los Cipreses. Según Moreno *et al.* (1984), los depósitos de la Planicie Los Cipreses cubren entre 8 a 9 km² de superficie y su espesor varía entre 5 y 40 m. Su base descansa sobre los depósitos de la avalancha volcánica, internamente no presentan evidencias de estratificación y forman parte importante del sustrato de la planicie, emergiendo, en algunos lugares, en forma de montículos, cordones semi-anegados y cerros importantes.

Se constituyen por un agregado de fragmentos subredondeados a subangulosos de tamaños variables, desde 1 cm a 1 m de diámetro, con algunos bloques de 2 a 3 m de diámetro. La composición de los clastos es, principalmente andesítico-basáltica. La matriz es tamaño arena, color negro y no contiene ceniza. (Varela *et al.*, 1988).

Estos depósitos se habrán generado durante el escape violento de un gran volumen de agua, el cual erosionó los depósitos sueltos o poco consolidados, presentes en el antiguo valle del Laja, incorporándolos luego en el proceso. Este escape violento, habría ocurrido como consecuencia,

de la ruptura del embalse formado por los depósitos de la avalancha volcánica. La edad de estos depósitos avenidales sería inmediatamente posterior a la formación de los depósitos de avalancha volcánica, por lo que son posteriores a 6.25 ± 0.06 ka A.P (Lohmar, 2000).

4.2.7.3. *Depósitos morrénicos recientes (Qmr)*

Según Varela *et al.* (1988), estos depósitos han sido reconocidos en diferentes sectores altos del área, asociados a lenguas glaciares actuales que bajan desde el cono superior del volcán Antuco o las laderas septentrionales de la Sierra Velluda, generando depósitos a cotas promedio de 2500 m s.n.m. Los principales depósitos se encuentran en el curso superior del Estero Trubunleo y en el curso medio del estero Los Pangues y sector Los Chorrillos.

Corresponden a depósitos diamícticos, consistentes en agregados polimícticos de bloques y clastos de tamaños variables y formas subredondeadas a subangulosas; su estratificación interna es masiva a caótica. Se habrían formado durante períodos de avances glaciares holocenos, que según este autor, asocia al estadio Preboreal o Subatlántico.

4.2.7.4. *Depósitos fluviales y aluviales (Qfa)*

Esta unidad está constituida por sedimentos transportados y depositados por sistemas de agua y en menor medida, procesos gravitacionales.

Entre ellos se encuentran los depósitos fluviales que originan las terrazas a ambos bordes del valle del río Laja, Polcura, Pino, y esteros afluentes. Los sedimentos que constituyen las terrazas fluviales corresponden a gravas y ripios arenosos, en los cuales se intercalan algunos niveles arenosos de grano grueso a medio. Según Varela *et al.* (1988), el origen de estos depósitos va desde fluvial normal a torrencial-aluvional y su edad es estimada holocénica media a superior.

Los depósitos fluviales actuales a subactuales, se reconocen en los márgenes de los principales cauces de la zona, como en el río Laja, Polcura, Diguillín, Blanquillo y esteros Relbún, Los Pangues, Cipreses, Trubunleo y El Toro. Estos cursos se encuentran generalmente encajonados. Los depósitos están compuestos por gravas y ripios arenosos, que gradan en algunos sectores a arenas.

Por último, los depósitos aluviales, se reconocen como depósitos de tipo fluvial torrencial violento, que originan abanicos en los sectores de quiebre de pendiente de ríos con circulación variable o estacional (Moreno *et al.*, 1984). Se reconocen en el curso inferior y desembocadura del Estero La Cueva, planicie superior del Estero Los Pangues, en forma de abanico en la

desembocadura del Estero El Toro en el Río Laja. En todos estos casos se trata de sedimentos fluviales gruesos, con formas cónicas, fuerte pendiente superficial (hasta 30-35°) y constituidos por clastos, bolones grandes y matriz arenosa gruesa. Su origen está relacionado con ríos intermitentes, formados durante períodos estacionales de transporte de gran volumen de agua, proveniente de precipitaciones o de la fusión de hielo y nieve.

4.2.7.5. *Depósitos coluviales (Qc)*

Es posible encontrar depósitos coluviales, que desarrollan gruesas coberturas, alcanzando espesores de algunas decenas de metros. Éstos se ubican al pie de los faldeos existentes en la zona, los que constituyen un sustrato favorable para el crecimiento del bosque en las laderas. Poseen una matriz arenosa-cinerítico-arcillosa bastante abundante y con mala selección. Los clastos tienden a ser de composición monomítica, lo cual está estrechamente relacionado con las características del área de origen (Varela *et al.*, 1988). Los principales depósitos se encuentran en el faldeo del estero Cipreses, faldeo al límite este de la Planicie Los Cipreses, margen sur del río Laja entre las localidades de Cascada y Chacay y en faldeos que caen al valle del Laja desde la Planicie El Toro. Estos depósitos se habrían generado por caídas gravitacionales de materiales sueltos o meteorizados a partir de laderas de fuerte pendiente, con la participación, en mayor o menor grado, de la acción del agua, proveniente de lluvias o deshielo. La edad atribuida a estos depósitos coluviales corresponde al Holoceno, incluyendo el Actual (Lohmar, 2000).

4.2.7.6. *Depósitos lacustres y de playa lacustre (Ql)*

Según Moreno *et al.* (1984), los depósitos lacustres corresponden a depósitos finos que ocupan cuencas sin drenaje o con drenaje muy obstaculizado. Los depósitos más importantes de este tipo, se desarrollan en el curso superior del estero y planicie El Toro, donde cubren aproximadamente una superficie de 1 km², con espesores estimados entre 3 y 25 m. Éstos se generaron por la irrupción brusca de la avalancha volcánica que penetró el antiguo valle glaciar de El Toro (Varela *et al.*, 1988).

En el curso medio del estero Los Pangués, estos depósitos cubren un área de 0,2 km² y corresponden a sedimentos cineríticos finos. Posiblemente, se generaron por la obstrucción que produjeron las lavas del Antuco II, al descender por el valle del Pangué. Moreno *et al.* (1984), reconocieron depósitos lacustres de grano fino, en el curso medio inferior del estero Trubunleo. Estos se ubican aguas arriba de una zona de derrumbe de roca que obstruyó, en forma temporal,

el drenaje expedito de este curso de agua. Actualmente, un proceso similar es el que ocurre en la Laguna El Potro, ubicada en la Reserva Ñuble.

Melnick *et al.* (2006), observaron un afloramiento glaciolacustre del Pleistoceno superior, expuesto por la incisión fluvial del río pino, frente al pliegue volcado de la Formación Curamallín. Estos sedimentos lacustres fueron depositados en un lago proglacial, formado durante la fase de retiro del hielo, interpretado así debido a la falta de material orgánico y la presencia de bloques erráticos. Además, se observan estructuras de deformación, las cuales han sido interpretadas como “sismitas” y relacionadas con terremotos generados a lo largo del Sistema de Falla Lago Laja, durante el Pleistoceno superior. Por lo que, como aseguran los investigadores, este sistema de fallas es capaz de generar eventos sísmicos de $M > 6$ (Allen, 1982; Wells & Coppersmith, 1994 en Melnick *et al.* 2006). Este paleolago, que cubrió aprox. 10 km^2 , probablemente no estuvo conectado al Lago Laja actual. Según estos autores, estos sedimentos se deberían haber depositado posteriormente al último máximo glacial, entre los 19 a 10 ka A.P.

También es posible reconocer ambientes y depósitos lacustres, al norte de la Planicie Los Cipreses, que se disponen sobre materiales de la avalancha volcánica. Son zonas deprimidas, producto de la erosión de antiguos cursos o de formas generadas durante el mismo proceso de flujo viscoso del deslizamiento. Según Varela *et al.* (1988), estos depósitos lacustres son actuales a subactuales, con algunos casos de edades holocénicas inferiores.

Los depósitos de playas lacustres se ubican en los bordes del Lago Laja. Se trata de depósitos actuales y subactuales, los cuales son esporádicamente cubiertos por las aguas del lago, debido a las grandes fluctuaciones del nivel de agua. Variaciones anuales en el nivel del lago han alcanzado los 60 m, provocando cambios hasta de 3 km^3 , debido a la gestión de las centrales hidroeléctricas durante los años secos (Bevis *et al.*, 2004 en Melnick *et al.*, 2006).

Están compuestos por gravillas arenosas de composición andesítico-basáltica, con contenidos variables de matriz cinerítica fina. Tienen espesores estimados en unos 5 a 10 m y estratificación interna bien definida. Estos depósitos se generan por una “deriva litoral” lacustre que origina una morfología de barras, espigas y ganchos orientados hacia el sur. Esto indica que las olas, de embate oblicuo, que se generan en períodos de tormentas, tienen ese mismo sentido general (Varela *et al.*, 1988).

4.3. Contextos Geológicos Regionales

El proyecto Global Geosites de la IUGS y la UNESCO, insta a los países a definir sus contextos geológicos más característicos, con la finalidad de realizar la identificación de los sitios de interés geológico de mayor relevancia y que sean representativos de su evolución geológica (Wimbledon *et al.*, 2000). Estos contextos han sido definidos en países como España (García-Cortés *et al.* 2000, 2001) o Portugal (Brilha, 2005; Pereira *et al.* 2006), y son un resumen de los procesos, eventos o elementos geológicos que más representan la evolución geológica de un área determinada. En Chile, estas áreas temáticas definidas por Morgues *et al.* (2012), presentan una propuesta de los elementos fundamentales de la Historia Geológica de Chile, como una aproximación al concepto de Contextos Geológicos Chilenos, promovido por el proyecto Global Geosites, con el fin de dirigir la búsqueda de geositos asociados a éstos. Sin embargo, esto no niega la posibilidad de definir contextos geológicos locales/regionales cuando se trata de inventarios a menor escala como los definidos para el Cajón del Maipo por Benado (2013). En base a esto, Morgues *et al.* (2012) proponen 22 Contextos Geológicos Chilenos de manera preliminar, representativos de los eventos más relevantes de la geología de Chile (Anexo III):

- **-Magmatismo y vulcanismo Cenozoico (MgVCz):** Agrupa los intrusivos como las Torres del Paine, la tonalita orbicular de Caldera, Sill de Punta Lobos (Geositorio SGCh). Representado por los diversos intrusivos que afloran en la Cordillera de Polcura o Saltos de Malalcura.
- **Series continentales mesozoicas y sus fósiles (SCMz):** Corresponden a depósitos de sedimentitas y volcanosedimentitas continentales con fósiles de vertebrados. Laguna del Laja actualmente está en foco debido al descubrimiento de fósiles mamíferos en la Formación Curamallín.
- **Volcanismo Neógeno sup-Cuaternario y campos geotermales (VNgsQ):** Reúne los procesos, productos y morfologías asociados a los volcanes del Cuaternario. Destacan las morfologías generadas por los volcanes Antuco y Sierra Velluda, así como las rocas de la Formación Cola de Zorro y fuentes termales Los Peucos.
- **Mega estructuras, tectónica andina y neotectónica (TEC):** Corresponde a grandes fallas y estructuras como la Liquiñe Ofqui, de Atacama, Domeyko y San Ramón.

Representado por los plegamientos de Formación Curamallín, el Sistema de Falla Laguna del Laja y estructuras asociadas.

- **Procesos, geoformas y depósitos glaciales del centro y sur (PGGI):** Se reconocen morrenas, lagunas cordilleranas, valles y estrías glaciares, entre otros.

4.4. Evolución Tectónica

El margen andino está formado por la subducción de la placa oceánica de Nazca bajo la placa continental Sudamericana. Esta colisión es la responsable del alzamiento de la Cordillera de los Andes, durante los últimos 200 Ma. (Mpodosis y Ramos, 1989 en Melnick *et al.*, 2006). La subducción de la placa de Nazca bajo los Andes en esta zona, consiste en una corteza oceánica de unos ~25 a 35 Ma. (Tebbens & Cande, 1997). La subducción de las placas Nazca-Sudamericana, presenta un rango de convergencia de unos 66 mm/año por datos de modelamiento GPS (Angermann *et al.*, 1999) y ~80 mm/año en promedio durante los últimos 5 Ma. (Somoza, 1998). El territorio en esta latitud ha sido subdividido en cinco unidades morfotectónicas: Plataforma costera, Cordillera de la Costa, Depresión Central, Cordillera Principal y la Cuenca de Neuquén. La Cordillera de los Andes, entre los 37° S & 39° S, representa un dominio transicional entre las grandes elevaciones (>4 km elevación promedio) y ancho de los Andes Centrales a alturas más bajas (<1 km elevación promedio) y estrecho de los Andes Patagónicos. Los Andes Centrales, al norte de los 34° S, presentan un espesor de la corteza superior a los ~70 km, principalmente debido al acortamiento durante el Mioceno y deformación contractiva (Giambiagi *et al.*, 2003). Mientras que al sur de los 38°S, los Andes Patagónicos, presentan un espesor de la corteza de ~40 km (Lüth *et al.*, 2003). La deformación del Plioceno al Holoceno ha sido reconocida en la zona de intraarco, que es controlada por la Zona de Falla Liquiñe-Ofqui (ZFLO).

El área de estudio se ubica en el flanco oeste de los Andes de Neuquén, entre los 37° S y 39° S. En esta zona se registran en las rocas, la evolución geológica del Neógeno, que puede ser resumida en cuatro principales fases tectónicas. Durante el Oligoceno medio-Mioceno, ocurrió extensión y desarrollo de una amplia zona de actividad volcánica, junto con un rift intra-arco segmentado, que produjo la depositación de los sedimentos de la Cuenca de Curamallín (28-11 Ma.), contemporáneo al incremento de la tasa de convergencia de la placa de Nazca (Muñoz *et al.*, 2000; Jordan *et al.*, 2001 en Melnick *et al.*, 2016). Posteriormente, en el Mioceno tardío (11-6 Ma.), se produce un cese de la actividad volcánica en la Cordillera Principal, producto de una disminución del ángulo de subducción. Este período compresivo, fue acompañado por el

emplazamiento de grandes cantidades de granitoides en la corteza, a profundidades inferiores a los 3 km (Seifert *et al.*, 2005). La deformación compresional, resulta en acortamiento, alzamiento y exhumación de las rocas terciarias. Del Plioceno al Pleistoceno temprano (5-1 Ma.), aumenta el ángulo de subducción, reestableciéndose el volcanismo, migración del arco volcánico al este, extensión de las estructuras orogénicas y transtensión en el límite norte del intra-arco de la ZFLO. Finalmente, entre el Pleistoceno tardío al Holoceno (1-0 Ma.), ocurre un estrechamiento del arco volcánico y se traslada a la posición actual.



5. METODOLOGÍA

5.1. Mapa Geológico Simplificado

Como base para la información de patrimonio geológico que se reconoce en el área, es necesario contar con un mapa geológico adaptado a los requerimientos de un estudio de este tipo. Se genera un mapa geológico a escala 1:100.000, con las unidades geológicas del sector sur de la reserva, abarcando las comunas de Antuco y Pinto, utilizando el Software ArcGIS 10.3. Este mapa es basado en la Hoja Laguna del Laja escala 1:250.000, realizado por Niemeyer & Muñoz (1983), junto con observaciones en terreno e interpretación de imágenes satelitales del Software Google Earth Pro y modelos de elevación digital (DEM).

El trabajo en terreno consiste en una metodología de carácter geológico-regional, donde se visita la totalidad del área, de manera de reconocer las unidades geológicas que afloran, los geositos que mejor las representan y la búsqueda de geositos no reconocidos previamente en el sector.

En el caso del inventario general de la reserva, en el que se consideran los resultados de Rivera (2014) y Donoso (2017), se utiliza el mapa geológico de la Geodatabase de la asignatura Geología Andina. De esta manera, el patrimonio geológico reconocido dentro de la reserva es caracterizado en un mapa general escala 1:150.000, que permite contextualizarlos en la evolución geológica del Corredor Biológico NdCh-LL.

5.2. Geología de detalle del Volcán Antuco

El patrimonio geológico reconocido en el Parque Nacional Laguna del Laja, es realmente valioso. La diversidad de procesos vulcanológicos y glaciares que afloran en el área, lo sitúan como un parque de interés volcánico de nivel internacional. Por esta razón, se confecciona un mapa geológico en detalle del Volcán Antuco, escala 1:25.000, basado en Moreno *et al.* (1984). En este mapa se identifican las principales unidades que afloran en el Parque Nacional Laguna del Laja, reconociendo las rocas que caracterizan la evolución del Grupo Volcánico Antuco-Sierra Velluda.

Además, para complementar la información, se revisaron cortes transparentes, mapas y anexos, facilitados por la geóloga Silke Lohmar, que fueron utilizados para su memoria de título en el año

2000; “Estratigrafía, Petrografía y Geoquímica del Volcán Antuco y sus Depósitos (Andes del sur, 37°25’S)”.

5.3. Valoración del Patrimonio Geológico

La base metodológica se basa en identificar, describir y valorar el patrimonio geológico de un determinado sector. La metodología a utilizar depende de la escala y objetivos del trabajo geopatrimonial. Esto implica generar un inventario con los principales sitios de interés geológico, de manera de facilitar su gestión y posterior conservación.

Debido al constante avance y discusión con respecto a las metodologías para inventariar el patrimonio geológico, se han generado pequeñas diferencias metodológicas entre los diversos trabajos y que dependen en general del contexto al cual se han aplicado (p.ej. Martínez, 2010; Ramírez, 2012; Mardones, 2012; Parterrieu, 2013; Benado, 2013; Aravena, 2014; Rivera, 2014; Donoso, 2017; Martínez, 2017). Uno de los principales problemas al aplicar estas metodologías, tiene relación con que la mayoría de ellas son creadas para un contexto científico-geológico europeo. Por ello, es importante adecuar la metodología a los requerimientos del estudio.

El objetivo principal del estudio también se debe ver reflejado en la selección del inventario de geositios. Brilha (2016), plantea que si el objetivo es valorizar sitios de interés geológico-científico de un lugar/región/país, es necesario que se realice un inventario de geositios. De otro modo, si el objetivo es identificar sitios geológicos que presenten gran valor de uso educacional, turístico y/o cultural, entonces será necesario realizar un inventario de geodiversidad basados en otros parámetros.

Carcavilla *et al.* (2007) proponen la confección de inventarios de los sitios de interés geológicos (SIGs) o geositios, aportando información sobre la geodiversidad de una zona. Los pasos propuestos por estos autores son:

- a) Recopilación bibliográfica y entrevista a expertos en la geología del área
- b) Síntesis geológica previa
- c) Identificación de los sitios de interés geológicos
- d) Clasificación, valoración y selección

5.3.1. Identificación y Diagnóstico

Las etapas de recopilación bibliográfica, estudio de la geología y la búsqueda de sitios de interés geológico, forman parte de una primera fase de la metodología propuesta por Carcavilla *et al.*

(2007) denominada “Identificación y diagnóstico”. Es necesaria una buena documentación previa, desde el punto de vista geológico, geopatrimonial, e incluso de otras áreas del conocimiento y contexto histórico del lugar, necesarios para la correcta aplicación de la metodología y posterior aplicación de estrategias de gestión del patrimonio geológico identificado. Los relatos de la comunidad sobre eventos geológicos o sucesos históricos, son de gran importancia en un inventario de patrimonio geológico. Éstos además entregan información esencial en lugares donde la baja accesibilidad, desarrollo turístico o científico, generan una carencia de referencias para realizar estudios. Además, estos relatos se asocian a formas culturales de comprender los procesos naturales, que constituyen una riqueza desde el punto de vista de la identidad local.

En esta etapa, se entrevistaron a expertos en la geología del área de estudio y una revisión bibliográfica de los principales estudios científicos realizados en el sector, que describen la geología, petrología, vulcanología, hidrogeología y geomorfología del valle superior del río Laja y la Reserva Ñuble. Se revisaron estudios relativos al geoturismo, geoconservación y a la gestión del patrimonio geológico. Además, se consideraron en este estudio, publicaciones relacionadas con el contexto socio-económico del lugar como planes de manejo de las áreas protegidas, investigaciones de arquitectura del paisaje y turismo, estudios de impacto ambiental y publicaciones de los sectores productivos del valle. Toda esta información es necesaria para generar un estudio de patrimonio geológico integrado, que sea acorde con las necesidades del lugar donde se pretenden llevar a cabo iniciativas de gestión y conservación del patrimonio natural.

Para lograr una recopilación y organización entendible de la información generada, se integra la cartografía en un sistema de información geográfica (SIG) que facilita las etapas posteriores, entre ellas la confección de los mapas geológicos, donde se indica con claridad la ubicación de los geositos y su relación con las formaciones geológicas que afloran en el área de estudio.

5.3.2. Clasificación, Valoración y Selección

Luego de identificar los potenciales SIGs, en terreno se clasifican utilizando la ficha de evaluación cuantitativa modificada por Rivera (2014) modificada de Partarrieu (2013), la cual permite clasificar los potenciales SIG's según tres categorías de uso (científico, didáctico o turístico-recreativo), considerando una serie de parámetros a los que se les asigna un valor

numérico que permite generar un inventario comparativo. En el caso del presente estudio se utiliza la metodología usada por Rivera (2014) y Donoso (2017), debido a que esto permite comparar los resultados de las investigaciones desarrolladas dentro de la reserva, para así generar una estrategia de gestión del patrimonio geológico ya reconocido.

Según Carcavilla *et al.* (2007) los tipos de sistemas de valoración del geopatrimonio puede ser:

- Por definición: se enumeran una serie de premisas de manera que se seleccionan los geosítios que posean una cantidad de ellas. Algunas premisas para seleccionar pueden ser un espacio natural protegido, ser localidad tipo, estar entre los afloramientos más antiguos de la zona, etc. Este sistema es poco flexible y tiende a ser altamente subjetivo.
- Método Cualitativo: se basa en la selección de ciertos aspectos de los comentados con anterioridad, a los que se les asigna un valor en una escala cualitativa (bajo/medio/alto/muy alto/excepcional). El inconveniente es que estos aspectos no pueden ser sumados para asignar un valor global realista al geosítio.
- Método Cualitativo – Cuantitativo: Similar al anterior pero se le asigna un valor a cada rango de la escala cualitativa. De esta manera, el conjunto de parámetros puede ser sumado, cuidando de no sumar juntos los resultados obtenidos en la medida del valor intrínseco, potencialidad de uso y riesgo de degradación, ya que esto sólo mezclaría la información.
- Fórmulas numéricas: obtienen un valor numérico que permite comparar. Los diferentes aspectos incluidos en la fórmula pueden ser destacados o reducidos con la inclusión de coeficientes. Valoraciones hechas por diferentes equipos suelen dar valores similares.

La metodología Rivera (2014) modificada de Partarrieu (2013), se basa en las propuestas y discusiones generadas en los trabajos de Brilha (2005), Carcavilla *et al.* (2007) y García-Cortés & Carcavilla (2009). Corresponde a un sistema de tipo cualitativo-cuantitativo de evaluación. En la metodología aplicada se da cabida a la clasificación de los potenciales geosítios en base a cuatro categorías:

- (1) Uso Científico (C)
- (2) Uso Didáctico (D)
- (3) Uso Turístico – Recreativo (TR)
- (4) Riesgo de Degradación (RD)

La tabla cuantitativa considera diversos parámetros de valoración para cada categoría, los que permiten evaluar de manera numérica los geositios, al asignarles un puntaje determinado según ciertos criterios. Estos valores son ponderados según la Tabla 5.1.

Esta metodología define parámetros lo suficientemente objetivos, para no dar lugar a dobles interpretaciones. La principal modificación que realiza Rivera (2014) al sistema propuesto por Partarrieu (2013), radica en los valores asociados a cada parámetro, la cual opta por usar números igual o menores a 1 con la finalidad de obtener un valor porcentual al sumar todos los puntajes ponderados para cada categoría.

Considerando la importancia del volcanismo dentro de la reserva, se modifica el parámetro N° 4; “Localidad Tipo”, por “Localidad Tipo o Centro de Emisión Volcánico”, con el fin de dar mayor valor científico a centros eruptivos. Del parámetro N° 20; “Vulnerabilidad a los procesos naturales”, se modificó el criterio C; “Vulnerabilidad muy baja frente a los procesos no antrópicos (inundaciones, remociones, erosión, etc.), no siendo necesario implementar medidas de mitigación”, por; “Vulnerabilidad muy baja frente a los procesos no antrópicos, o bien está constantemente afectado por procesos naturales, no siendo preciso implementar medidas de mitigación.”

Al parámetro N°19; “Amenazas actuales o potenciales”, en el criterio C; “Zona incluida en área de expansión urbana o industrial. Lugar situado en una explotación minera (tanto activa como abandonada), en el talud de una carretera o en suelo urbano”, se ha agregado la evaluación de la principal amenaza antrópica del área, que corresponde a la creación de proyectos hidroeléctricos, modificando el criterio C; “Zona incluida en área de expansión urbana o industrial. Lugar situado en una explotación minera (tanto activa como abandonada), *en área amenazada por proyecto hidroeléctrico*, en el talud de una carretera o en suelo urbano”. Se considera para el parámetro N°21; “Situación legal actual”, que aquellos geositios que no se encuentran dentro de una ASPE, se le asigna el criterio B; “Lugar incluido área de reconocimiento por su valor natural”, ya que la zona de estudio pertenece a la Reserva de la Biósfera Corredor Biológico Nevados de Chillán – Laguna del Laja, zona de conservación reconocida internacionalmente por la UNESCO, como un lugar prioritario para la humanidad.

Tabla 5.1 Criterios, valores y ponderaciones asociadas a cada uno de los parámetros según Categoría de Uso (C: Uso Científico, D: Uso Didáctico, TR: Uso Turístico-Recreativo, RD: Riesgo de Degradación).

PARÁMETRO	C Ó D I G O	CRITERIO	VALOR ASOCIADO				PONDERACIÓN (%)			
			C	D	TR	RD	C	D	T R	RD
1- Rareza	E	Sólo existe 1 ejemplo en la comuna	1	1	-	-	15	5	-	-
	D	Existen 2-3 ejemplos de la comuna	0.75	0.75	-	-				
	C	Existen 4-10 ejemplos en la comuna	0.5	0.5	-	-				
	B	Existen 11-20 ejemplos en la comuna	0.25	0.25	-	-				
	A	Existen más de 20 ejemplos en la comuna	0	0	-	-				
2- Representatividad	E	Mejor ejemplo representativo, en la comuna, de un contexto geológico, y representativo de otros.	1	1	-	-	25	5	-	-
	D	Mejor ejemplo representativo, en la comuna, de un solo contexto geológico.	0.75	0.75	-	-				
	C	Representativo de más de un contexto geológico.	0.5	0.5	-	-				
	B	Representativo de un solo contexto geológico.	0.25	0.25	-	-				
	A	Ninguna de las anteriores	0	0	-	-				
3- Grado de conocimiento científico	E	Citado en más de una tesis académica, capítulo de libro o artículos de revistas científicas.	1	1	-	-	15	5	-	-
	D	Citado en tesis u otro tipo de publicación técnico-científica	0.75	0.75	-	-				
	C	Citado en artículo de revista nacional	0.5	0.5	-	-				
	B	Citado en relatos técnicos, planes de manejo o bases de datos científicas	0.25	0.25	-	-				
	A	No existe alguna referencia sobre el geositio	0	0	-	-				
4- Localidad Tipo o Centro de Emisión Volcánico	C	Reconocido como localidad tipo o Centro de Emisión Volcánico	1	-	-	-	20	-	-	-
	B	Reconocido como localidad tipo 'secundaria' o cercano al Centro de Emisión Volcánico	0.5	-	-	-				
	A	No es reconocido como localidad tipo, lejana al Centro de Emisión Volcánico	0	-	-	-				
5- Diversidad de elementos geológicos	E	Presenta más de 4 tipos de interés geológico	1	1	-	-	10	10	-	-
	D	Presenta 4 tipos de interés geológico	0.75	0.75	-	-				
	C	Presenta 3 tipos de interés geológico	0.5	0.5	-	-				
	B	Presenta 2 tipos de interés geológico	0.25	0.25	-	-				
	A	Presenta 1 tipo de interés geológico	0	0	-	-				

6- Estado de conservación	E	No hay daño visible, bien conservada	1	1	-	-	10	5	-	-
	D	Deterioro leve, pero aún mantiene las características geológicas esenciales	0.75	0.75	-	-				
	C	Dañado, pero preserva las características geológicas esenciales	0.5	0.5	-	-				
	B	Dañado como resultado de procesos naturales o antrópicos	0.25	0.25	-	-				
	A	Muy deteriorada como resultado de actividades humanas	0	0	-	-				
7- Condiciones de Observación	E	Óptimas, pueden ser observadas e identificadas sin dificultad	1	1	1	-	5	5	5	-
	D	Buena para todas las características geológicas relevantes	0.75	0.75	0.75	-				
	C	Razonables, buena visibilidad pero hay que moverse alrededor para una observación completa	0.5	0.5	0.5	-				
	B	Limitada por árboles o vegetación baja	0.25	0.25	0.25	-				
	A	Deficientes	0	0	0	-				
8- Utilidad didáctica	C	Es posible usarlo con fines didácticos para cualquier tipo de público, o para personas con conocimientos básicos	-	1	-	-	-	20	-	-
	B	Puede ser utilizado con fines didácticos para un público de perfil especializado	-	0.5	-	-				
	A	Baja utilidad pedagógica	-	0	-	-				
9- Posibilidad de Recolección de Objetos	C	Es posible la recolección de muestras sin dañar al geositio	-	1	1	0	-	10	10	20
	B	Posible recolección de algunas muestras pero con restricciones	-	0.5	0.5	0.5				
	A	No es posible la recolección de muestras sin dañar al geositio	-	0	0	1				
10- Accesibilidad Vial	E	Acceso por bus en rutas nacionales o locales y a menos de 500 m del camino	-	1	1	1	-	10	5	10
	D	Acceso por auto en rutas locales en buen estado y a menos de 500 m del camino	-	0.75	0.75	0.75				
	C	Acceso por 4x4 y a menos de 500 m del camino o huella	-	0.5	0.5	0.5				
	B	Acceso a pie a más de 500 m desde vehículo	-	0.25	0.25	0.25				
	A	Acceso a pie a más de 1 km desde vehículo	-	0	0	0				
11- Accesibilidad Estacional	E	Se puede visitar durante todo el año	-	1	1	-	-	5	5	-
	D	Se puede visitar durante tres estaciones del año o equipo especializado	-	0.75	0.75	-				
	C	Se puede visitar durante dos estaciones del año o equipo especializado	-	0.5	0.5	-				
	B	Se puede visitar durante una estación del año o equipo especializado	-	0.25	0.25	-				

	A	Difícil acceso en cualquier estación o privado	-	0	0	-				
12- Grado de dificultad del acceso	E	Bajo, para cualquier persona	-	1	1	1	-	10	5	10
	D	Mediana-Baja, para personas afines a caminatas largas	-	0.75	0.75	0.75				
	C	Medio, personas con buen estado físico y con ciertas prácticas de montaña	-	0.5	0.5	0.5				
	B	Difícil, personas con buen estado físico y con experiencia en caminatas de media montaña	-	0.25	0.25	0.25				
	A	Muy difícil, para personas con experiencia en caminatas de alta exigencia y/o sólo con equipos especiales	-	0	0	0				
13- Proximidad a centros poblados y servicios	E	La capital comunal se ubica a menos de 5 km	-	1	1	1	-	5	5	10
	D	Existe una población con oferta de servicios a menos de 5 km	-	0.75	0.75	0.75				
	C	Existe población con oferta de servicios entre 5 a 20 km	-	0.5	0.5	0.5				
	B	Existe población con oferta de servicios entre 20 a 40 km	-	0.25	0.25	0.25				
	A	Solo existen poblaciones con oferta de servicios a más de 40 km	-	0	0	0				
14- Fragilidad Intrínseca	E	Sitios pequeños que pueden ser destruidos por pequeñas intervenciones, o afloramientos minerales o fosilíferos de fácil depredación.	-	0	0	1	-	5	10	25
	D	Sitios que pueden ser fácilmente destruidos por intervenciones humanas poco agresivas	-	0.25	0.25	0.75				
	C	Sitios que puedan ser destruidos, en parte, por intervenciones no muy intensas	-	0.5	0.5	0.5				
	B	Grandes estructuras geológicas que pueden ser afectadas por actividades humanas pero, por su magnitud, su destrucción es poco probable.	-	0.75	0.75	0.25				
	A	Aspecto geomorfológico que, por su tamaño, es difícilmente afectado de manera importante por actividades humanas.	-	1	1	0				
15- Asociación con elementos culturales	C	Existencia de evidencias y/o vestigios arqueológicos en el área del geosítio	-	-	1	-	-	-	10	-
	B	Existencia de elementos históricos o culturales vinculados al área del geosítio	-	-	0.5	-				
	A	No existen elementos de especial interés histórico o cultural	-	-	0	-				
16- Asociación con elementos de biodiversidad	C	Fauna y/o flora importante por su abundancia, o presencia de especies de especial interés	-	-	1	-	-	-	10	-
	B	Presencia significativa de fauna y/o flora nativa	-	-	0.5	-				
	A	Escasos elementos de biodiversidad de interés	-	-	0	-				
17- Calidad Visual	E	Alta	-	-	1	-	-	-	15	-
	D	Media – Alta	-	-	0.75	-				

	C	Media	-	-	0.5	-				
	B	Baja – Media	-	-	0.25	-				
	A	Baja	-	-	0	-				
18- Uso actual	C	El lugar se encuentra vinculado a rutas y servicios ofrecidos por emprendedores locales (cabalgatas, trekking, etc)	-	-	1	-	-	-	20	-
	B	Promovido como lugar de interés geológico, cultural, natural o paisajístico.	-	-	0.5	-				
	A	Sin divulgación ni uso.	-	-	0	-				
19- Amenazas actuales o potenciales	C	Zona incluida en área de expansión urbana o industrial. Lugar situado en una explotación minera (tanto activa como abandonada), en área amenazada por proyecto hidroeléctrico, en el talud de una carretera o en suelo urbano.	-	-	-	1				
	B	Zona de carácter intermedio. Colindante con una actividad industrial, minera o hidroeléctrica, colindante a suelo urbano no urbanizado, situado a menos de 50 m de una carretera o en el talud de una ruta local	-	-	-	0.5	-	-	-	10
	A	Zona rural, no sujeta a desarrollo urbano o industrial ni a construcción de infraestructuras. Situado a más de 50 m de una carretera, a más de 1 km de una actividad industrial o minera, y a más de 2 km de suelo urbano.	-	-	-	0				
20- Vulnerabilidad a los procesos naturales	C	Vulnerabilidad muy baja frente a los procesos no antrópicos (inundaciones, remociones, erosión, etc.), o bien está constantemente afectado por procesos naturales, no siendo necesario implementar medidas de mitigación.	-	-	-	0				
	B	Moderada vulnerabilidad frente a los procesos no antrópicos, pero en una escala que no compromete la integridad del sitio, y las posibles transformaciones pueden ser mitigadas con medidas simples.	-	-	-	0.5	-	-	-	5
	A	Elevada vulnerabilidad frente a los procesos no antrópicos. Se requieren medidas de mitigación de mayor índole.	-	-	-	1				
21- Situación legal actual	C	Lugar sin ningún tipo de protección legal ni reconocimiento	-	-	-	1				
	B	Lugar incluido en un área de reconocimiento por su valor natural	-	-	-	0.5	-	-	-	10
	A	Lugar dentro de un área de protección legal	-	-	-	0				
			Suma por categoría				100	100	100	100

Además, existen pequeñas modificaciones en la descripción de ciertos criterios para una mejor adaptación al área de estudio. N°6.B; “Dañado como resultado de procesos naturales o antrópicos”, siendo ésta última la principal amenaza en la zona. N°10.E “Acceso por bus en rutas nacionales o locales y a menos de 500 m del camino”, ya que considera una distancia más realista relacionada a los lugares de bajada del transporte público. El parámetro N°11. “Accesibilidad Estacional”, se agrega a los criterios “o equipo especializado”, al ser una zona montañosa en la que personas con experiencia en técnicas invernales pueden acceder sin problema. También se modifica el criterio A; “Difícil acceso en cualquier estación” por “Difícil acceso en cualquier estación o privado”, debido a la principal limitación de la zona relacionada con la prohibición del acceso a ciertos valles o geositos.

Cabe mencionar que los valores para cada parámetro varían según la categoría de uso al que pertenecen. Por ejemplo, hay parámetros que dependiendo de la categoría de uso que se esté evaluando, se le asignará un mínimo o un máximo valor. Por ejemplo, el criterio “Cercanía a centros poblados” tendrá un máximo valor al evaluar el uso didáctico, pero un mínimo valor en la categoría riesgo de degradación, ya que la cercanía podría aumentar la vulnerabilidad del geosito.

La representación porcentual que se asigna a parámetros que son compartidos por más de una categoría varía según el alcance que tenga en determinado valor de uso. Por ejemplo, al parámetro “Rareza” se le asigna un 15% de ponderación para el uso científico y un 5% para el uso didáctico.

Dada la subjetividad que puede ser asociada al parámetro N°17; “Calidad Visual”, se toman en cuenta las consideraciones planteadas por Partarrieu (2013), que se basan en el modelo de Rojas y Kong (1998), planteándose una evaluación de la calidad visual en base a ciertos componentes específicos que se detallan en la Tabla 5.2. De esta manera, se define una valoración numérica, donde el promedio corresponde a un umbral que luego se aplica a los criterios de la Tabla 5.3.

Tabla 5.2 Evaluación de la calidad visual del paisaje por Rojas y Kong (1998). Componentes y criterios propuestos para cada elemento.

ELEMENTO	DESCRIPCIÓN	VALOR ASOCIADO
Morfología o Topografía	Pendientes altas, estructuras morfológicas muy modeladas y de rasgos dominantes y fuertes contrastes cromáticos. Afloramientos rocosos.	3
	Pendientes medias, estructura morfológica de modelado suave u ondulado	2
	Pendientes bajas, dominancia del plano horizontal visualizando ausencia de estructuras de contraste y jerarquía	1
Fauna	Presencia de fauna nativa permanente. Áreas de nidificación, reproducción y alimentación	3
	Presencia de fauna nativa esporádica dentro de la unidad, sin relevancia visual, presencia de animales domésticos (ganado)	2
	No hay presencia de fauna nativa. Sobrepastoreo o crianza masiva de animales domésticos	1
Vegetación	Presencia de masas vegetales de alta dominancia. Alto porcentaje de especies nativas, diversidad de estratos y contrastes cromáticos	3
	Presencia de vegetación con baja estratificación de especies. Presencia de vegetación alóctona. Masas arbóreas de baja dominancia visual.	2
	Vegetación con un recubrimiento de suelo bajo el 50%. Presencia de áreas con erosión sin vegetación. Dominancia de vegetación herbácea, ausencia de vegetación nativa.	1
Formas de Agua	Presencia de cuerpos de agua, con significancia en la estructura global del paisaje	3
	Presencia de cuerpo de agua, pero sin jerarquía visual	2
	Ausencia de cuerpos de agua	1
Acción Antrópica	Libre de actuaciones antrópicas estéticamente no deseadas	3
	La calidad escénica está modificada en menor grado por obras, no añaden calidad visual	2
	Modificaciones intensas y extensas que reducen o anulan la calidad visual del paisaje	1
Fondo Escénico	El paisaje circundante potencia e incrementa el área evaluada. Presencia de vistas y proyecciones visuales de alta significancia visual	3
	El paisaje circundante incrementa moderadamente la calidad estética del área evaluada	2
	El paisaje circundante no ejerce influencia visual al área evaluada	1
Variabilidad Cromática	Combinaciones de color intensas y variadas. Contrastes evidentes entre suelo, vegetación, roca y agua	3
	Alguna variedad e intensidad en color y contrastes de suelo, roca y vegetación, pero no actúa como elemento dominante	2
	Muy poca variación de color o contraste, colores homogéneos o continuos	1
Singularidad o Rareza	Paisaje único, con riqueza de elementos singulares	3
	Característico, pero similar a otros en la región	2
	Paisaje común, inexistencia de elementos únicos o singulares	1

Tabla 5.3 Calidad visual del paisaje. Según los valores promedios obtenidos con la evaluación de la Tabla 5.2.

Calidad Visual	Valor Promedio
Alta	2,6 - 3,0
Media - Alta	2,2 - 2,6
Media	1,8 - 2,2
Media - Baja	1,4 - 1,7
Baja	< 1,4

Se necesitan al menos diez sitios en un inventario a esta escala para aplicar las estadísticas indicadas a continuación. Al ponderar los geositorios, otorgando un valor numérico a cada geositorio, se obtiene la sumatoria correspondiente a cada categoría de uso. Posteriormente, se utiliza el valor promedio de todos los geositorios y la desviación estándar según cada categoría, en base a la ecuación [5.1]:

$$[5.1] \quad U = X \pm (k * \sigma)$$

Donde;

U: Valor de Corte

X: Promedio de la muestra

σ : Desviación Estándar

k: Constante (0,5)

La ecuación anterior permite clasificar los geositorios de acuerdo a ciertos umbrales: para uno superior (Medio - Alto) se utiliza la suma entre los factores, y para el inferior (Medio - Bajo) se aplica la resta de los factores. Una vez obtenidos ambos umbrales se puede clasificar cada geositorio en función de la ponderación obtenida para cada categoría de uso y en la sumatoria de ellas. El valor de la constante se asigna de manera arbitraria, asegurándose que los datos se distribuyan de manera relativamente uniforme entre los distintos umbrales. Son incluidos en el inventario sólo aquellos geositorios que tengan valores “Medios” o “Altos” en la suma de las tres categorías de uso.

Finalmente, se calcula la “Prioridad de Protección” (PP) para cada geositorio incluido en el inventario. El riesgo de degradación de un geositorio es de importancia crucial para la preparación

e implementación de un plan de manejo del patrimonio geológico que se ha identificado. La vulnerabilidad de un sitio está asociada al riesgo de destrucción por acciones antrópicas, mientras que la fragilidad, mide el riesgo de que un geositio sea degradado por condiciones naturales. Esta herramienta permite generar un catastro cuantitativo para la gestión plazos y prioridades de protección de los principales geositios, considerando su “riesgo de degradación”, y valor de uso (García-Cortes y Carcavilla, 2009).

$$[5.2] \text{ PP (científico)} = C + RD$$

$$[5.3] \text{ PP (didáctico)} = D + RD$$

$$[5.4] \text{ PP (turístico-recreativo)} = TR + RD$$

Los valores obtenidos se agruparán bajo los rótulos “Corto Plazo”, “Mediano Plazo”, “Largo Plazo” y aquellos sitios que tengan una prioridad de protección al corto plazo, también serán incluidos en el inventario final de geositios. Los umbrales para estos rótulos se definen de la misma manera que para las categorías de uso, siendo modificada la constante. Para el umbral “Corto Plazo” se utilizó la constante k : 1; para “Mediano Plazo” k : 0,7; y “Largo Plazo” k : 0,25.

5.3.3. Caracterización de los geositios

El trabajo de patrimonio geológico considera también describir cualitativamente, los geositios que han sido considerados parte del inventario, de manera que esto sirva para aquellos que vayan a utilizar esta información, puedan conocer la formación de cada geositio y su contexto en la evolución geológica del área. En el presente estudio se utilizan las fichas descriptivas utilizadas por Rivera (2014) y Donoso (2017), basadas en las propuestas de Martínez (2010) y Partarrieu (2013), quienes utilizaron las fichas para evaluar el inventario de geositios sugeridos para el Geoparque Kütralkura (Ver Tabla 5.4). Aquellos geositios clasificados en el inventario con rango “Alto”, se caracterizan con las fichas descriptivas.

Los elementos marcados con un asterisco (*) provienen de los parámetros utilizados para la evaluación cuantitativa (Tabla 5.1), y deben marcarse los mismo criterios usados en primera instancia para cada geositio. Adicionalmente, dichos campos pueden enriquecerse agregando información, como por ejemplo en “situación legal”, se puede indicar si el sitio se encuentra dentro de un terreno privado o de propiedad fiscal.

Tabla 5.4 Ficha de caracterización de los geositios.

Código	Nombre		
Coordenadas:			
Localidad:		Comuna:	
Poblado(s) más próximo(s) (Km):	Distancia (m) a punto más próximo de acceso en:		
Abanico		Bus	
Antuco		Auto	
Los Ángeles		4x4	
Uso Actual:			
*Asociación con elementos de índole natural:			
*Asociación con elementos de índole cultural:			
Contexto(s) Geológico(s) Representado(s):			
Tipo(s) de Interés Geológico:			
Publicaciones que lo incluyen:			
Localidad Tipo			
*Estado de Conservación:			
*Condiciones de Observación:			
*Situación Legal:			
*Posibilidad de Recolección de Objetos:			
*Fragilidad Intrínseca:			

*Vulnerabilidad a los procesos naturales:	
Ubicación y Acceso:	
Descripción:	
Imagen Satelital:	
Fotografías:	



6. RESULTADOS

6.1. Geología local simplificada

Sobre la base de la geología de la Hoja Laguna del Laja realizada por Niemeyer & Muñoz (1983), interpretación de imágenes satelitales y las observaciones de terreno, se confeccionó un mapa geológico para el área de estudio a escala 1:100.000 (Figura 6.1), en el que se exponen las siguientes unidades:

- Formación Cura – Mallín y Formación Trapatrapa (OMcm-tt)
- Intrusivos de granodiorita y diorita (Mg)
- Formación Cola de Zorro (PPlcz)
- Volcán Sierra Velluda y Volcán Antuco I (Plv)
- Volcán Antuco II y flujos lávicos (Qv)
- Depósitos No Consolidados (Qs)
 - Depósitos de avalancha volcánica (Qaval)
 - Depósitos avenidales (Qav)
 - Depósitos fluviales y aluviales (Qfa)

Debido a que la Formación Trapatrapa no fue visitada y aflora escasamente en el área de estudio, sumado a efectos prácticos de comprensión para público no especializado, se ha agrupado en un mismo polígono con la Formación Curamallín. Dada la semejanza de edad entre las formaciones Cura- Mallín y Trapa Trapa, existe la posibilidad de una interdigitación entre ambas (Moreno, vía comunicación oral).

También se han identificado los depósitos de avalancha volcánica (Qaval) y posteriores depósitos avenidales (Qav), producto de la erupción catastrófica del volcán Antuco I, que rellenaron el valle del Laja.

Es posible observar la ubicación de los diversos geositios reconocidos en el área de estudio y su relación con las distintas formaciones.

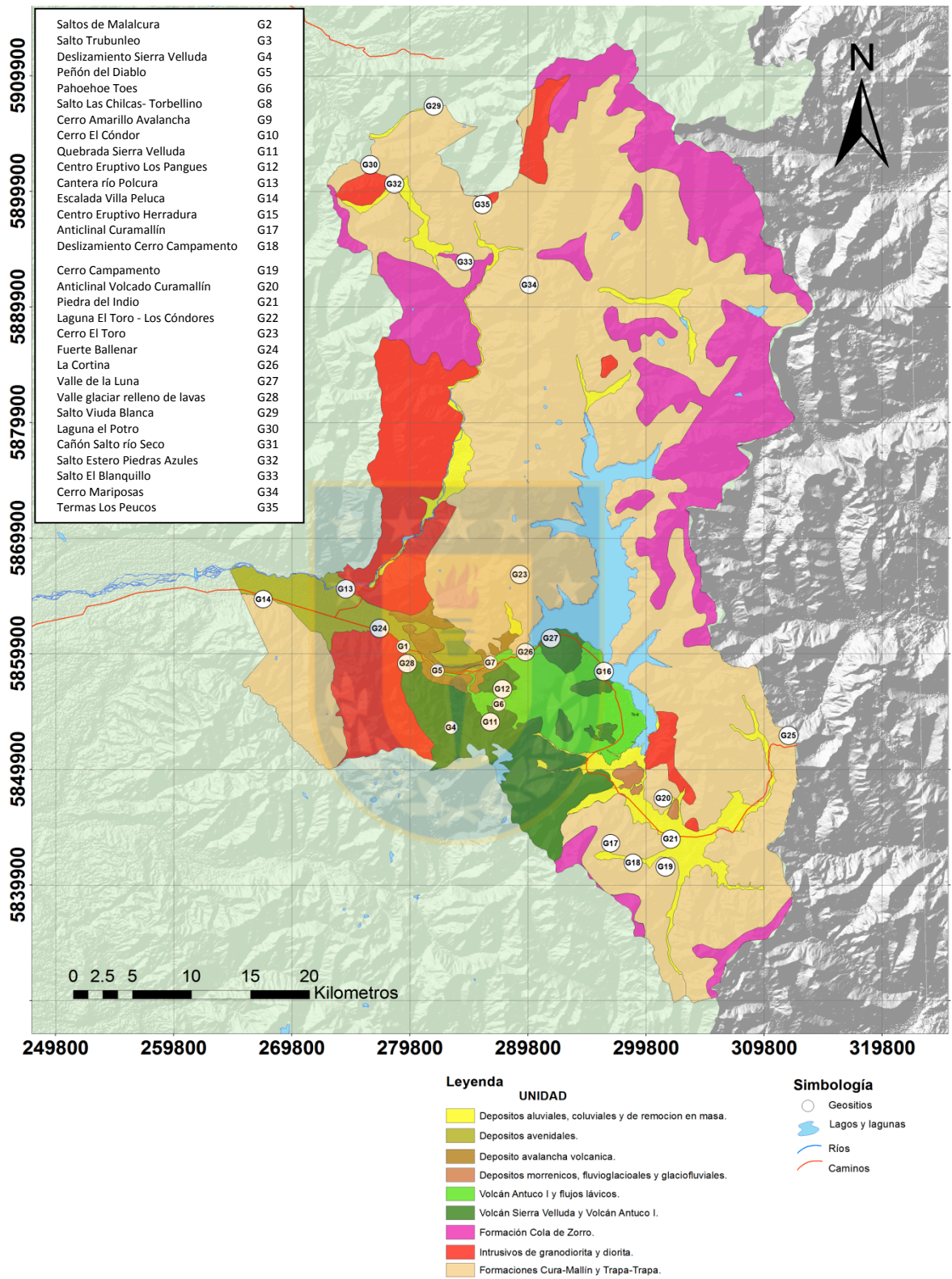
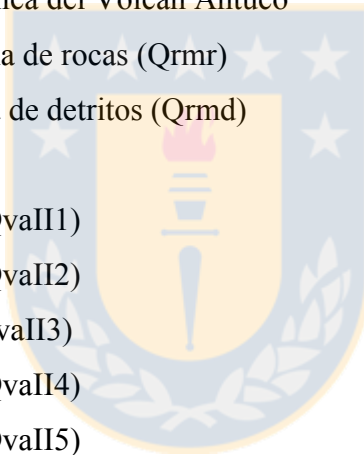


Figura 6.1 Mapa Geológico área de estudio y geositos. Escala 1:100.000. Elaboración propia en Software ArcGis 10.3.

6.2. Geología Detalle Volcán Antuco

Basándose en el mapa geológico a detalle de Moreno *et al.* (1984), a escala 1:25.000, del grupo volcánico Antuco-Sierra Velluda, información petrológica y petrográfica proporcionada por la geóloga Silke Lohmar y la distribución de las muestras en Lohmar (2000), interpretación de imágenes satelitales y las observaciones de terreno, se confeccionó un mapa geológico a detalle del volcán Antuco a escala 1:20.000 (Figura 6.5), en el que se exponen las siguientes unidades:

- Formación Cura – Mallín (OMcm)
- Stocks de granodiorita y diorita (Mg)
- Formación Cola de Zorro (PPlcz)
- Volcán Sierra Velluda (Qvsv)
- Volcán Antuco I (QvaI)
- Depósito de avalancha volcánica del Volcán Antuco
 - Depósitos de avalancha de rocas (Qrmr)
 - Depósitos de valancha de detritos (Qrmd)
- Volcán Antuco II (QvaII)
 - Volcán Antuco II 1 (QvaII1)
 - Volcán Antuco II 2 (QvaII2)
 - Volcán Antuco II 3(QvaII3)
 - Volcán Antuco II 4 (QvaII4)
 - Volcán Antuco II 5 (QvaII5)
- Centros volcánicos adventicios (Qcv)
 - Centro volcánico La Herradura
 - Centro volcánico Los Pangués
 - Centro volcánico Los Barros
- Depósitos No Consolidados (Qs)
 - Depósitos morrénicos antiguos (Qma)
 - Depósitos avenidales (Qav)
 - Depósitos morrénicos recientes
 - Depósitos fluviales y aluviales (Qfa)
 - Depósitos coluviales (Qc)
 - Depósitos lacustres y de playa lacustre (Ql)



- Depósitos laháricos (Qlh)
- Depósitos piroclásticos (Qp)

Usando criterios morfológicos y estratigráficos, apoyados con antecedentes históricos, Moreno *et al.* (1984) distinguieron cinco subunidades cronoestratigráficas relativas. Tales subunidades se denominan, de mayor a menor antigüedad, QvaII1, QvaII2, QvaII3, QvaII4 y QvaII5. Además, han sido diferenciados los centros eruptivos menores que se encuentran en las laderas del volcán.

6.2.1. Subunidad III1 (QvaIII1)

Esta subunidad corresponde a los flujos más antiguos del Antuco II, ligados a la etapa inicial de la actividad del estratovolcán moderno. Estas coladas habrían fluido aguas abajo por el valle del río Laja, rellenándolo parcialmente.

En los alrededores de la bocatoma del canal Abanico y en la ribera sur del Río Laja, en el Salto Trubunleo, afloran dos coladas superpuestas, de lavas andesítico-basálticas, de espesores estimados en 10 a 15 m cada una, que presentan estructura columnar. El basamento de esta secuencia está formado por la avalancha volcánica, producto del colapso del Antuco I. Específicamente, los flujos yacen sobre posibles rípios aluviales y depósitos de las oleadas piroclásticas, las que originaron las arenas negras de Trupán-Laja (Figura 6.2).

Petrográficamente, las lavas andesítico-basálticas de esta subunidad tienen textura porfírica, con fenocristales de plagioclasa, olivino y clinopiroxeno, en una masa fundamental de textura intergranular a intersertal (muestras 211098-5 y 211098-6, Anexo IV).

Entre las dos coladas existen depósitos con clastos subangulosos a subredondeados, aparentemente de origen lahárico. Toda la secuencia fue excavada por la erosión fluvial del Río Laja, cuya gran intensidad de desgaste fue favorecida por la poca competencia del sustrato, es decir, los depósitos de la avalancha volcánica. La continuación de las coladas, aguas arriba del Río Laja, no es visible debido a esta erosión, por lo cual no es posible determinar si las lavas descendieron por el valle del Estero Los Pangues o por el valle del Río Laja, rodeando la base del Cerro Cóndor. Considerando: a) que la edad del deslizamiento es de 6.250 ± 60 A.P y b) que la erosión fluvial afectó a los materiales, previo a que fueran parcialmente cubiertos por las lavas, la edad máxima de esta subunidad sería de unos 6.000 años.

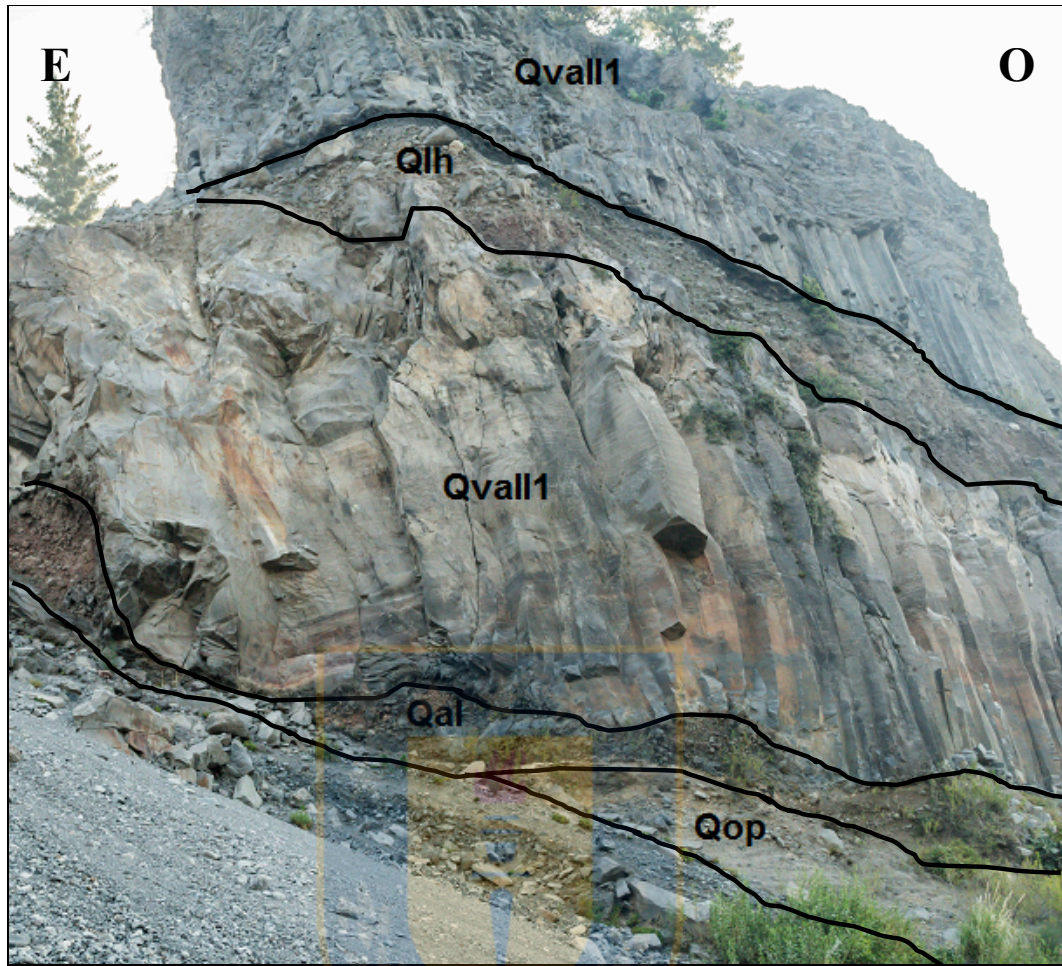


Figura 6.2 Afloramiento columnar. Depósito de oleadas piroclásticas (op) debajo de las primeras coladas de lavas emitidas por el Antuco II (QvaII1). Separando a las dos unidades se observa un posible depósito aluvional (Qal). Las coladas además están separadas por depósitos de posible origen lahárico (Qlh).

6.2.2. Subunidad II2 (QvaII2)

Esta subunidad incluye a las lavas que afloran en el fondo del valle del Río Laja, en la localidad de Chacay y hasta 2 km aguas arriba. Las coladas se apoyan, directamente, sobre los estratos plegados de la Formación Curamallín y sobre los depósitos de la avalancha volcánica y sedimentos fluviales. A su vez, los flujos yacen bajo sedimentos fluviales y lavas de la Subunidad II3. Las coladas de lava están compuestas por andesitas basálticas grises, de textura porfírica y con fenocristales de plagioclasa, olivino y clinopiroxeno (Muestra 211098-2, Anexo IV).

6.2.3. Subunidad II3 (QvaII3)

Esta subunidad está constituida por coladas de lavas basálticas y andesítico-basálticas, que forman gran parte de la estructura del cono principal del Volcán Antuco. Los flujos yacen directamente y recubren en forma parcial a lavas de la Subunidad II2 y de la Unidad I. En algunos sectores se apoyan sobre la Formación Curamallín (OMcm) y, en otros, sobre los estratos de la Sierra Velluda (Qvsv) y los materiales de la avalancha (Qva) y sedimentos aluviales del valle del Río Laja (Qfa). A su vez, sedimentos aluviales, laháricos, glaciales recientes, depósitos piroclásticos y coladas de la Subunidad II4 cubren parcialmente a los flujos de lavas mencionados.

Las lavas consisten en flujos de 2 a 20 m de potencia, a menudo sobrepuestos. Son rocas con textura porfírica, presentando fenocristales de plagioclasa, olivino y clinopiroxeno (muestras 211098-3 y 250199-11, Anexo IV). La superficie de las lavas está afectada por una incipiente erosión fluvial y glacial, siendo esta última más intensa en el flanco suroriental del volcán. Aquí, abundantes detritos morrénicos y laháricos recubren las coladas anteriores. Lo mismo se observa en las cabeceras del Estero Los Pangués, donde las lavas poseen una cubierta casi continua de sedimentos glaciales y laháricos de 1 a 2 m de espesor. Una situación similar existe en el camino antiguo de acceso al Lago Laja, entre Chacay y la Casa de Válvulas del Túnel de Vaciado, donde las coladas muestran, localmente, acumulaciones de detritos laháricos sueltos en su superficie, caracterizados por bloques subredondeados y piroclastos retransportados.

La presencia de una cubierta parcial de sedimentos glaciales permite suponer que la Subunidad II3 está relacionada a alguna neoglaciación, probablemente a la más reciente, acontecida hace unos 2.500 a 1.000 años A.P. Por el otro lado, las abundantes lavas de la Subunidad II4 que la cubren, indican un período no muy corto de actividad volcánica posterior, por lo que una edad mínima razonable para ella sería 1.000 años A.P (Lohmar, 2000).

6.2.4. Subunidad II4 (QvaII4)

A esta subunidad pertenecen las lavas prehistóricas, más recientes, emitidas antes del año 1624 (año en que inicia el registro histórico). Estas coladas no están afectadas por erosión glacial y sus superficies son del tipo “aa”. Se derramaron sobre gran parte de las coladas de la Subunidad II3 y fluyeron, preferentemente, hacia el flanco occidental, provenientes del cráter principal del Volcán Antuco y de otros centros de emisión parásitos, localizados en los flancos norte y suroccidental del cono. Además, cubren parcialmente a las lavas de la Subunidad II1, a los depósitos morrénicos

recientes y a los materiales deslizados por el valle del Río Laja. Localmente, los flujos de esta subunidad muestran, en sus superficies, evidencias del paso de pequeños lahares, relacionados a erupciones más recientes.

Las rocas de esta subunidad son basaltos y andesitas basálticas de textura porfírica, con fenocristales de plagioclasa, olivino y, localmente, clinopiroxeno.

Petit-Breuilh (2000), indica que el registro de actividad histórica del Volcán Antuco comienza en el año 1624, en que se describe una erupción con ruidos subterráneos, explosiones y generación de una columna de gases y cenizas. Hasta 1853, cuando se produjo una erupción acompañada por flujos de lava que alcanzaron el Lago Laja (Subunidad II5), ocurren erupciones en los años 1713, 1739, 1750, 1752, 1758, 1786, 1806, 1820, 1828, 1835, 1839, 1845 y 1848. La mayoría de los eventos anteriores consisten en erupciones de piroclastos, de tipo estromboliano. Únicamente al término de la erupción del año 1820 se generó un lahar que bajó por el valle del Río Laja y solamente durante la actividad de los años 1828 y 1845 las erupciones son acompañadas por emisiones de lava (Petit-Breuilh, 1994).

Por lo tanto, las grandes erupciones de lavas asignadas a la Subunidad II4 se habrían producido antes del año 1624.

6.2.5. Subunidad II5 (QvaII5)

Esta subunidad está representada por las lavas generadas durante la erupción del mes de enero de 1853. Este evento tuvo lugar en el flanco norte del Volcán Antuco II. El flujo fue emitido de una fisura de 500 m de largo, situada entre los 2.100 m y 2.300 m s.n.m., a lo largo de la cual se edificaron pequeños conos piroclásticos rojizos, de 20 a 40 m de altura, con cráteres de 50 a 100 m de diámetro. La colada, que es de composición basáltica, tiene, en promedio, 3 km de largo y 1 km de ancho. Presenta una superficie rugosa y escoriácea de tipo “aa”. Este flujo llegó al Lago Laja, haciendo que su nivel se elevara en una altura estimada de 20 m. Domeyko en el informe que publicó en 1845, sobre sus salidas a terreno al área del Volcán Antuco y Lago Laja, antes de la erupción ocurrida en 1853, indicó que el lago tenía una longitud de 8 a 10 km y era drenado por un gran cañón que desapareció luego de la erupción de 1853. Postuló, además, que el edificio del Antuco había experimentado levantamientos, acompañados por fracturas circulares y un gran deslizamiento.

Esta unidad también recubre parcialmente las coladas de las subunidades I3, II3 y II4 (Lohmar, 2000). Las rocas corresponden a basaltos de textura porfirica, con fenocristales de plagioclasa, olivino y clinopiroxeno, en una masa fundamental de textura intergranular (Muestra 010283-3, Anexo IV).

Durante esta misma erupción, un pequeño cono piroclástico, originado en alguna erupción anterior y situado dentro del cráter principal del Antuco II, presentaba, aparentemente, una actividad estromboliana de pequeña magnitud. Con posterioridad se registraron erupciones débiles en los años 1861, 1862 y 1863, todas las cuales habrían ocurrido en el conito piroclástico (también denominado Sombrerito) de la cima del volcán. Durante la erupción de 1861 se generó una colada de lava, la cual, según Petit-Breuilh (1994), no llegó a la base del cono. Después del año 1863 la actividad es esencialmente fumarólica, con una excepción en el año 1911, donde se forma una pequeña columna eruptiva con expulsión de cenizas. Actualmente, el volcán presenta una débil actividad fumarólica intermitente (Figura 6.3).

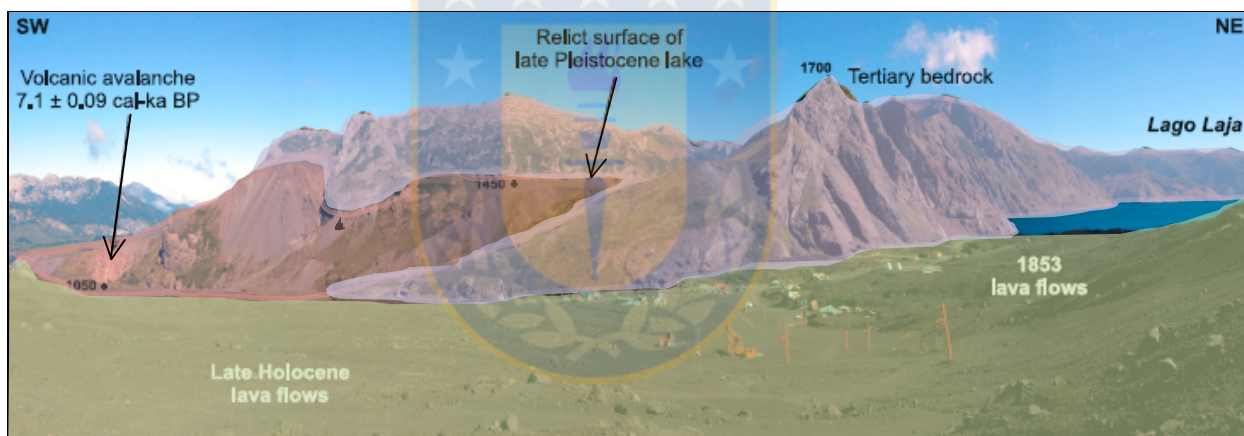


Figura 6.3 Panorámica hacia el NW desde el volcán Antuco. Se observan las rocas del basamento junto al lago. Los flujos de lava del Antuco de 1853 que repusieron el lago y subieron su nivel unos 20 m. En la zona central el valle glaciar del Estero El Toro, relleno por sedimentos de la avalancha volcánica holocena. Las cruces indican las elevaciones en metros. Modificado de Melnick *et al.*, 2006.

6.2.6. Centro volcánico adventicio (Qcv)

Existen tres centros volcánicos adventicios en los flancos oriental y occidental de los volcanes Antuco I y II: La Herradura (Qcvlh), Los Barros (Qcvlb) y Los Pangués (Qcvlp). Todos son de pequeñas dimensiones y están asociados con flujos de lavas de composición basáltica y andesítico-basáltica. Lohmar (2000) presenta un resumen de las características petrográficas y texturales de los cortes transparentes que analizó, pertenecientes a estos centros volcánicos, presentes en la Tabla 6.1.

6.2.6.1. Centro Volcánico La Herradura (Qcvlh)

Está constituido por una extensión de lavas basálticas cordadas, cuyo punto de emisión no formó un cráter. En el sitio de la erupción se presenta sólo un cono de unos 50 m de altura. Sin embargo, en las cercanías del Lago Laja y al lado del camino que conduce hacia Los Barros, existe un cráter de 250 m de diámetro, el cual se habría originado por una explosión freática (Lohmar, 2000).

Tabla 6.1 Resumen petrográfico de las muestras analizadas por Lohmar (2000) de los distintos centros volcánicos adventicios del Volcán Antuco.

		Nº Muestra	201098-1	230199-12	250199-13	250199-14
Tipo	Lava		x	x	x	
	Lacolito					x
Unidad	Qcvlb			x		
	Qcvlh				x	x
	Qcvlp		x			
Roca	Andesita basáltica			x		
	Basalto		x		x	x
Fenocxs	Pl		++	++	++	++
	Ol		+	+	+	+
	Cpx		+	+	+	+
Masa fundamental	Pl		+++	+++	+++	+++
	Ol		++	+	++	++
	Cpx		++	++	+	++
	Vidrio		+		+	
	Mop		++	+	+	+
Textura	Fenocxs	Sieve (pl)	x	x	x	x
		Glomeropd	x	x	x	x
	Mf	Intergranular	x	x		x
		Intersertal	x		x	
Estructuras	Vesículas		**	**	**	**
	Auto-/Xenolito		x		x	

En el fondo del cráter existe un lacolito, que se habría inyectado después de la efusión de las lavas. Es un cuerpo de forma ovalada, con la parte central brechizada. Presenta autoclastos alterados, hidrotermalmente, a hematita y limonita. Además, posee diaclasamiento de enfriamiento, es decir, de superficies curvas. El afloramiento está cortado abruptamente, lo cual puede ser consecuencia directa de la explosión violenta que originó, posteriormente, el cráter.

Debido a este evento se derrumbaron las lavas del borde W, quedando a la misma altura que el lacolito. En el cráter se observa material piroclástico de color rojizo, lo cual indica el contacto con agua en el momento de su erupción (Figura 6.4).

En el borde del lago, las lavas de este centro volcánico forman un acantilado, el cual sería producto de erosión fluvial, combinada con caídas gravitacionales. Tanto las lavas como el lacolito, son rocas porfíricas, de composición basáltica, con fenocristales de plagioclasa (18%), olivino (4%) y clinopiroxeno (3%). La masa fundamental está constituida por microlitos de plagioclasa (35-40%), olivino (15%), clinopiroxeno (10-15%), vidrio (0-10%) y minerales opacos (5%) (muestras 250199-13 y 250199-14, Anexo IV).

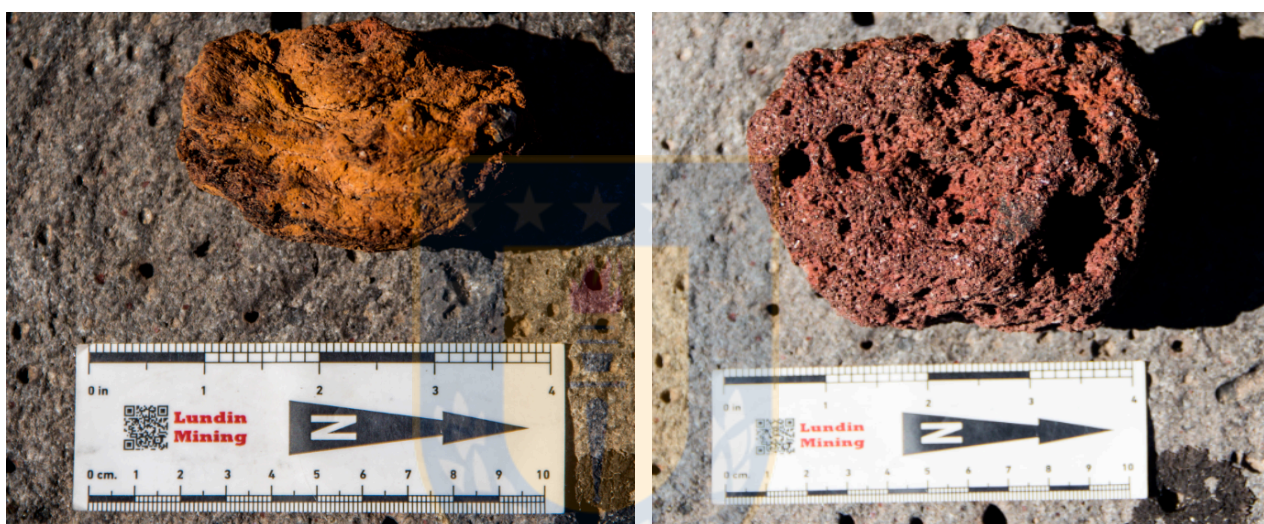


Figura 6.4 Fragmentos de material piroclástico. Ubicados al interior del cráter del centro volcánico La Herradura (Qcvlh).

Moreno *et al.* (1984) correlacionan la edad de este centro volcánico con la de la Subunidad II3 del Volcán Antuco, es decir, Holoceno tardío.

6.2.6.2. Centro Volcánico Los Barros (Qcvlb)

Este centro volcánico está formado por un pequeño cono piroclástico, de 50 m de altura, situado a 5 km al NNW de Los Barros y a 2.250 m s.n.m.. A él se asocia un extenso flujo de lavas andesítico-basálticas, el cual descendió por un valle glacial, alcanzando el Lago Laja, a 5,5 km de distancia (Moreno *et al.*, 1984).

La roca es de textura porfírica y contiene fenocristales de plagioclasa (15%), olivino (4%) y clinopiroxeno (1%) (Muestra 230199-12, Anexo IV).

El cono piroclástico está afectado por avanzada erosión glacial y las lavas, de tipo “aa”, poseen una gruesa cubierta piroclástica, proveniente del Volcán Antuco II. La edad estimada de este centro volcánico es similar a la de la Subunidad II2, es decir, entre 5.000 y 3.000 A.P. (Moreno *et al.*, 1984).

6.2.6.3. Centro Volcánico Los Pangues (Qcvlp)

Se ubica en el curso superior del Estero Los Pangues, inmediatamente al oeste del Volcán Antuco. Está constituido por un cono piroclástico escoriáceo, de color gris negro y rojizo, de un diámetro basal cercano a los 250 m y unos 50 m de altura. Posee un cráter circular en su cima, de 20 m de diámetro y 4 m de profundidad. Existen otros dos pequeños conos piroclásticos adyacentes al anterior, de unos 6 m de altura y del tipo “hornitos” (Moreno *et al.*, 1984).

Las lavas emitidas por este centro volcánico son, por lo menos, dos flujos de basaltos de olivino, producto de un mismo proceso eruptivo, las cuales descendieron por el valle del Estero Los Pangues, hasta su desembocadura en el Río Laja, que se encuentra a 5 km de distancia. Se trata de rocas de textura porfírica, con fenocristales de plagioclasa (20%), olivino (5%) y trazas de clinopiroxeno (Muestra 201098-1, Anexo IV).

Ni el cono ni las coladas, que poseen superficies de tipo “aa”, están afectados por erosión glacial y yacen sobre depósitos morrénicos y coladas de lavas de la Subunidad II3 del Volcán Antuco, las cuales muestran erosión glacial de altura. Por otro lado, los flujos de Los Pangues están parcialmente cubiertos, en su extremo meridional, por depósitos de pequeñas avalanchas laháricas, relacionadas con las erupciones más recientes del Antuco II (Lohmar, 2000).

Según Petit-Breuilh (1994), estas lavas, que bajaron por el valle del Estero Los Pangues, son producto de la erupción de 1845.

6.2.7. Depósitos laháricos (Qlh)

Moreno *et al.* (1984), reconocen depósitos laháricos del volcán Antuco, sólo en su faldeo suroriental y en el área de la planicie del Estero Los Pangues. Esta limitada ocurrencia se explica por la relativa escasez de mantos de hielo, los cuales se presentan únicamente en la parte sur-este de este estratovolcán. En este lugar, los autores mencionados reconocieron dos abanicos que cubren 1 a 2 km² cada uno. Estos abanicos descienden hacia la zona de la desembocadura del Estero El Aguado, con pendientes superficiales que varían entre 3° y 12°. Están compuestos por un agregado de lapilli y ceniza monomíctica, de composición andesítico-basáltica. Según ellos,

estos depósitos laháricos se han originado durante erupciones volcánicas recientes, que afectaron a los glaciares existentes del volcán Antuco.

6.2.8. Depósitos piroclásticos (Qp)

Moreno *et al.* (1984), reconocen depósitos piroclásticos, que cubren la mayor parte del área estudiada, con extensiones y espesores variables. Entre éstos se tienen los depósitos ubicados directamente sobre los faldeos del cono del Volcán Antuco, los mantos piroclásticos en el faldeo que limita la Planicie El Toro por el este y los que se disponen en distintas zonas del cordón de cerros que bordea el Lago Laja por el oriente. Se trata de depósitos constituidos por un agregado monomítico de lapilli escoriáceo y cenizas, con bombas de distintos tamaños y de composición andesítico-basáltica, en los sectores más cercanos al Volcán Antuco. Estos materiales han sido emitidos durante diferentes períodos de actividad histórica y prehistórica de dicho volcán.

De esta manera, se pueden reconocer de manera clara, los distintos procesos que han modelado el paisaje del grupo volcánico Sierra Velluda-Volcán Antuco y su relación con los geositios reconocidos. Las unidades QvaII1, QvaII2, QvaII3, QvaII4, QvaII5, representan los distintos pulsos eruptivos reconocidos para el volcán Antuco II por Moreno *et al.* (1984).

6.3. Patrimonio Geológico

De acuerdo a lo descrito en el Capítulo 5, luego de la búsqueda de atractivos turísticos del sector, revisión bibliográfica y entrevistas a expertos geólogos del área, se obtuvo la información geológica necesaria y un catastro de los principales elementos geológicos de la zona. La campaña en terreno abarcó aproximadamente 40 días, dividida en dos etapas, de la cual se generó un listado de 31 potenciales geositios. Su distribución en la zona de estudio se puede observar en la Figura 6.6. Las coordenadas de cada uno de los geositios están descritas en el Anexo V.

6.3.1. Evaluación cuantitativa de potenciales geositios

Una vez desarrolladas las campañas de terreno, los potenciales sitios de interés geológico fueron evaluados según la metodología presentada en el capítulo 5. En la Tabla 6.2, es posible observar los parámetros asignados a cada geositio, los cuales permitieron valorizar el potencial de uso para cada uno de ellos, así como establecer la prioridad de protección en función del riesgo de degradación que éstos presentaron.

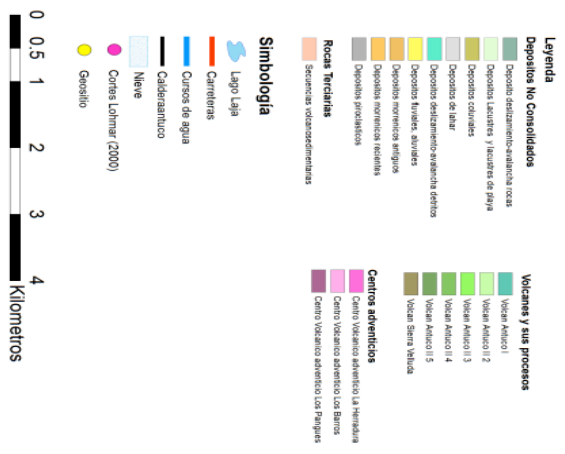
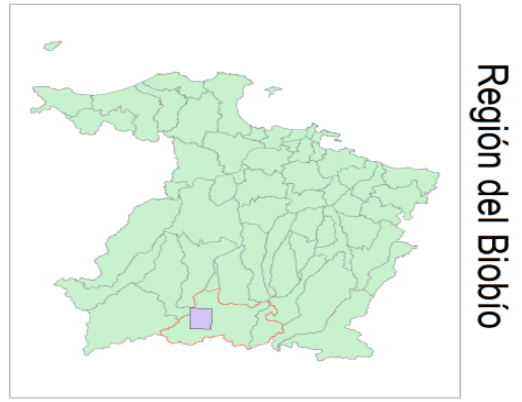
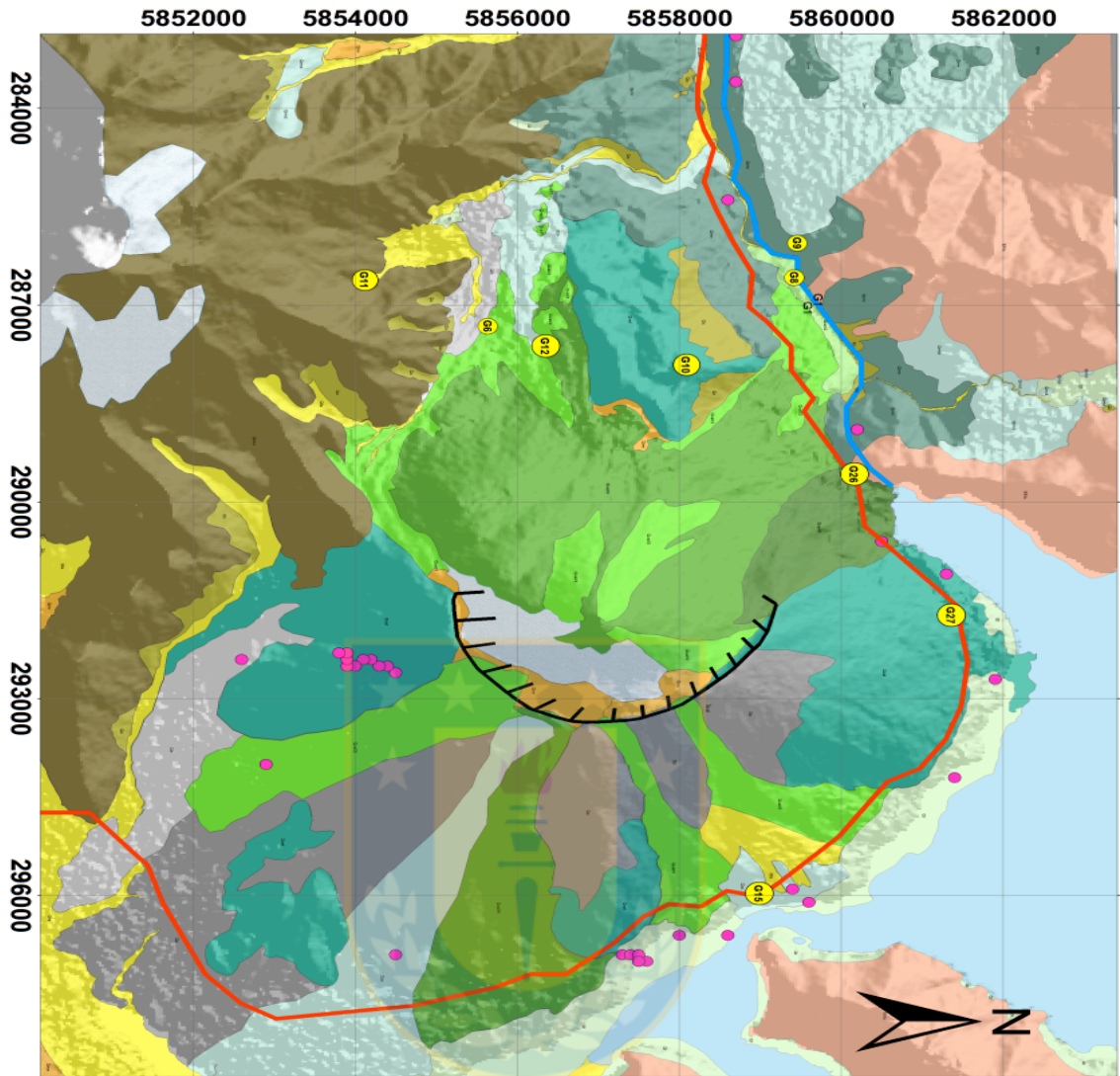


Figura 6.5 Mapa geológico a detalle del grupo volcánico Antuco-Sierra Velluda. Escala 1:20.000. Elaboración propia en *Software* ArcGis 10.3.

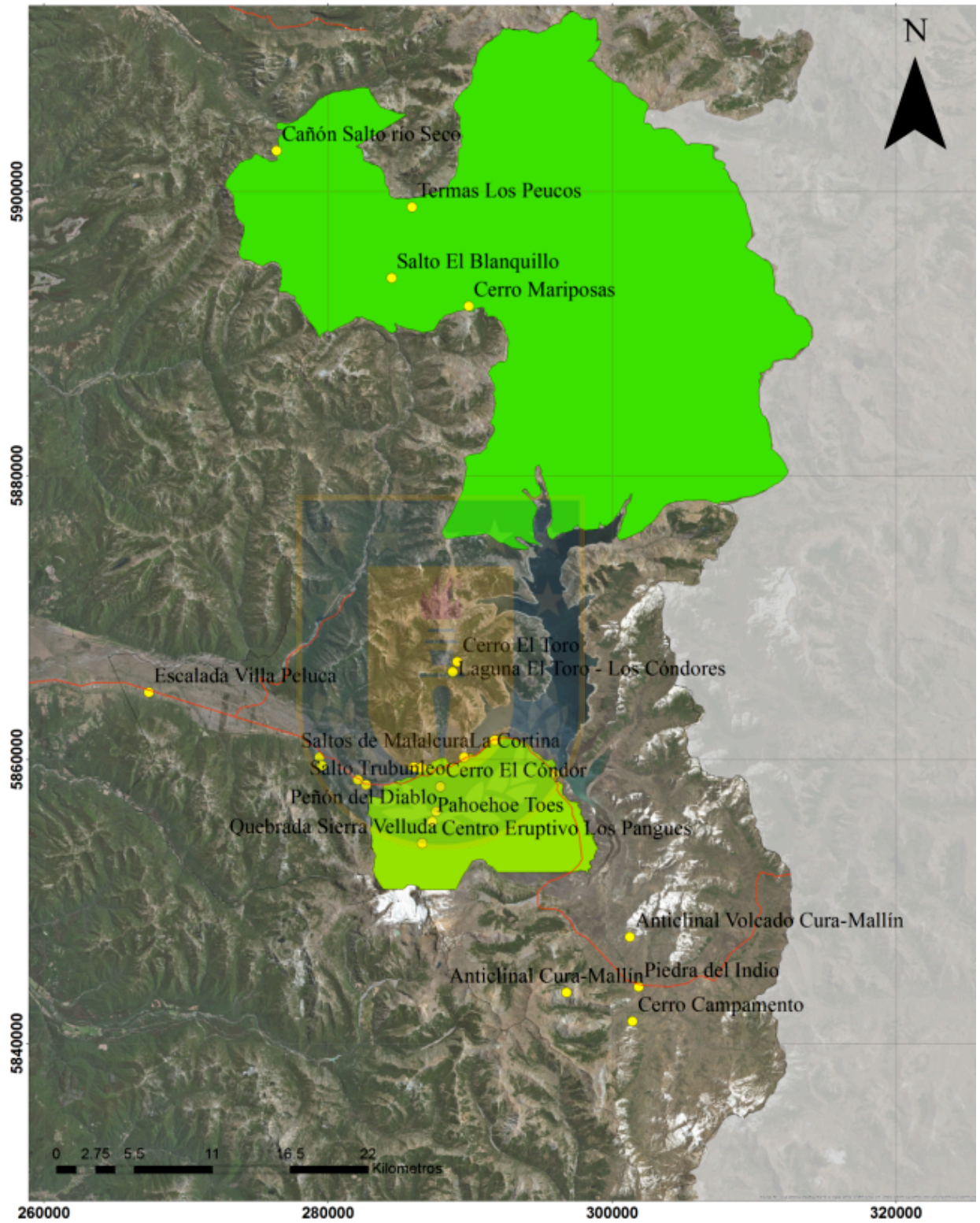


Figura 6.6 Ubicación de los potenciales geositos analizados. En verde Áreas Silvestres Protegidas del Estado (ASPE): Reserva Ñuble y Parque Nacional Laja, de norte a sur.

Tabla 6.2 Resultados cuantificación geositios.

PARÁMETRO	CÓDIGO																																		
		Salto de Malalcura	Salto Trubunleo	Deslizamiento Sierra Velluda	Peñón del Diablo	Pahoehoe Toes	Salto Las Chilcas- Torbellino	Cerro Amarillo Avalancha	Cerro El Cóndor	Quebrada Sierra Velluda	Centro Eruptivo Los Pangues	Cantera río Polcura	Escalada Villa Peluca	Centro Eruptivo Herradura	Anticlinal Curamallín	Deslizamiento Cerro Campamento	Cerro Campamento	Anticlinal Volcado Curamallín	Piedra del Indio	Laguna El Toro - Cóndores	Cerro El Toro	Fuerte Ballenar	La Cortina	Valle de la Luna	Valle glaciar relleno de lavas	Salto Viuda Blanca	Laguna el Potro	Cañón Salto río Seco	Salto Estero Piedras Azules	Salto El Blanquillo	Cerro Mariposas	Termas Los Peucos			
1- Rareza (Singularidad)	E		x		x	x	x	x	x	x		x		x		x	x	x		x	x	x	x	x		x	x		x	x	x				
	D	x		x							x		x						x																
	C															x																			
	B																									x									
	A																																		
2- Representatividad	E																	x						x											
	D	x								x																							x		
	C							x		x			x		x																				
	B		x		x	x		x	x		x		x		x	x				x	x	x		x					x	x	x		x		
	A			x												x				x							x	x							
3- Grado de conocimiento científico	E	x	x		x		x	x	x	x	x		x	x		x	x	x		x		x	x									x			
	D			x								x																							
	C																																		
	B															x																		x	
	A					x																					x								
4- Localidad Tipo	C									x	x			x			x	x															x		
	B						x			x																								x	
	A	x	x	x	x		x	x				x	x		x				x	x	x	x	x		x	x	x	x	x	x	x				
	E			x							x									x														x	
5- Diversidad de elementos geológicos	D	x	x		x																													x	
	C						x	x		x		x	x		x																				
	B																																		
	A																																		
	E	x		x		x	x	x	x	x	x		x		x	x	x	x		x	x														x
6- Estado de conservación	D																																		
	C																																		
	B																																		
	A		x																																

PARÁMETRO	CÓDIGO	Salto de Malaicura	Salto Trubunleo	Deslizamiento Sierra Velluda	Peñón del Diablo	Pahoehoe Toes	Salto Las Chilcas- Torbellino	Cerro Amarillo Avalancha	Cerro El Cóndor	Quebrada Sierra Velluda	Centro Eruptivo Los Pangues	Cantera río Polcura	Escalada Villa Peluca	Centro Eruptivo Herradura	Anticlinal Curamallín	Deslizamiento Cerro Campamento	Cerro Campamento	Anticlinal Volcado Curamallín	Piedra del Indio	Laguna El Toro - Cóndores	Cerro El Toro	Fuerte Ballenar	La Cortina	Valle de la Luna	Valle glaciar relleno de lavas	Salto Viuda Blanca	Laguna el Potro	Cañón Salto río Seco	Salto Estero Piedras Azules	Salto El Blanquillo	Cerro Mariposas	Termas Los Peucos			
7- Condiciones de observación	E	x	x			x	x	x		x	x		x	x			x															X			
	D											x			x		x			x	x							x		x					
	C			x	x				x										x						x				x			x			
	B																x						x				x								
	A																																		
8- Utilidad didáctica	C		x			x	x	x		x	x			x	x		x		x					x	x			x			x				
	B	x		x	x				x			x	x			x					x	x							x			x	x		
	A																x		x				x	x			x		x		x	x	X		
9- Posibilidad de recolección de objetos	C	x	x	x		x	x	x	x	x	x	x	x	x		x				x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	X		
	B				x										x		x	x																	
	A																			x															
10- Accesibilidad vial	E												x										x												
	D	x	x		x							x		x					x	x				x	x	x									
	C																																		
	B							x										x																	
	A			x		x		x	x	x	x					x	x					x	x					x	x	x	x	x	x	X	
11- Accesibilidad estacional	E	x	x		x		x	x				x	x	x												x									
	D																																		
	C															x	x	x	x	x								x	x	x	x	x	x	X	
	B																																		
	A			x																				x											
12- Grado de dificultad del acceso	E	x	x		x		x	x				x	x	x				x	x	x				x	x										
	D			x		x																						x			x	x	x	x	X
	C																																		
	B																																		
	A																																		
13- Proximidad a centros poblados y servicios	E												x																						
	D	x	x		x																			x		x									
	C			x		x	x	x	x	x	x	x												x	x										
	B														x													x	x	x	x	x	x		
	A															x	x	x	x	x														x	X

PARÁMETRO	CÓDIGO	Salto de Malaleuca	Salto Trubunleo	Deslizamiento Sierra Velluda	Peñón del Diablo	Pahoehoe Toes	Salto Las Chilcas- Torbellino	Cerro Amarillo Avalancha	Cerro El Cóndor	Quebrada Sierra Velluda	Centro Eruptivo Los Pangues	Cantera río Polcura	Escalada Villa Peluca	Centro Eruptivo Herradura	Anticlinal Curamallín	Deslizamiento Cerro Campamento	Cerro Campamento	Anticlinal Volcado Curamallín	Piedra del Indio	Laguna El Toro - Cóndores	Cerro El Toro	Fuerte Ballenar	La Cortina	Valle de la Luna	Valle glaciar relleno de lavas	Salto Viuda Blanca	Laguna el Potro	Cañón Salto río Seco	Salto Estero Piedras Azules	Salto El Blanquillo	Cerro Mariposas	Termas Los Peucos			
14- Fragilidad intrínseca	E																		x			x											x		
	D		x									x																							
	C	x			x	x	x						x												x		x	x			x				
	B																x				x			x								x			
	A			x				x	x	x	x				x	x		x	x			x							x			x			
15- Asociación con elementos culturales	C																																		
	B	x	x		x									x			x	x	x			x	x	x	x							x			
	A			x		x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x				x	x						x	x	x	x	x	x	x	x	
16- Asociación con elementos naturales	C			x		x	x		x	x	x			x	x	x	x	x	x	x	x			x	x		x	x	x	x	x	x	x	x	
	B	x																								x									
	A		x		x			x				x	x										x												
17- Calidad visual	E		x	x		x	x	x		x				x							x	x		x					x			x	x		
	D	x									x				x	x				x							x			x	x			x	
	C				x				x				x			x	x									x									
	B																																		
A																							x												
18- Uso actual	C	x	x				x	x		x				x							x	x				x	x				x		x		
	B				x	x			x		x	x		x	x		x	x	x					x	x			x	x	x		x			
	A			x													x						x												
19- Amenazas actuales o potenciales	C		x		x								x							x				x	x	x									
	B	x											x	x																	x				
	A			x		x	x	x	x	x	x				x	x	x	x			x	x					x	x	x		x	x	x		
20- Vulnerabilidad a los procesos naturales	C			x		x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x			x	x	x		x	x	x		x	x	x	x	x		
	B	x	x																	x															
	A					x																		x											
21- Situación legal actual	C																																		
	B	x	x	x	x			x				x	x		x	x	x	x	x	x	x	x	x	x		x									
	A						x	x	x					x													x		x	x	x	x	x	x	

Los contextos geológicos reconocidos en el área de estudio son representados por los potenciales sitios de interés geológico (Figura 6.7). El número de contextos representados en un sitio, es indicador de su grado de representatividad, por ende factor importante para su valorización. Existen sitios que representan distintos tipos de contextos, como por ejemplo, el “Anticlinal volcado de Curamallín” o “Valle glaciar relleno de lavas”. A su vez, “Deslizamiento Sierra Velluda” no representa ningún contexto en particular. Los miradores han sido marcados con “-“, ya que es posible observar contextos geológicos desde ese punto, sin embargo el lugar en sí no representa ningún contexto (Ver Anexo III).

Notar que los contextos más representados son magmatismo y vulcanismo cenozoico (MgVCz) y series continentales mesozoicas y sus fósiles (SCMz), los que se pueden observar en 16 y 8 geositos, respectivamente. Esto se explica, debido a que gran parte del área se encuentra cubierta por rocas asociadas a vulcanismo Cuaternario y rocas terciarias de la Formación Curamallín y Trapatrapa (Ver Figura 6.1).

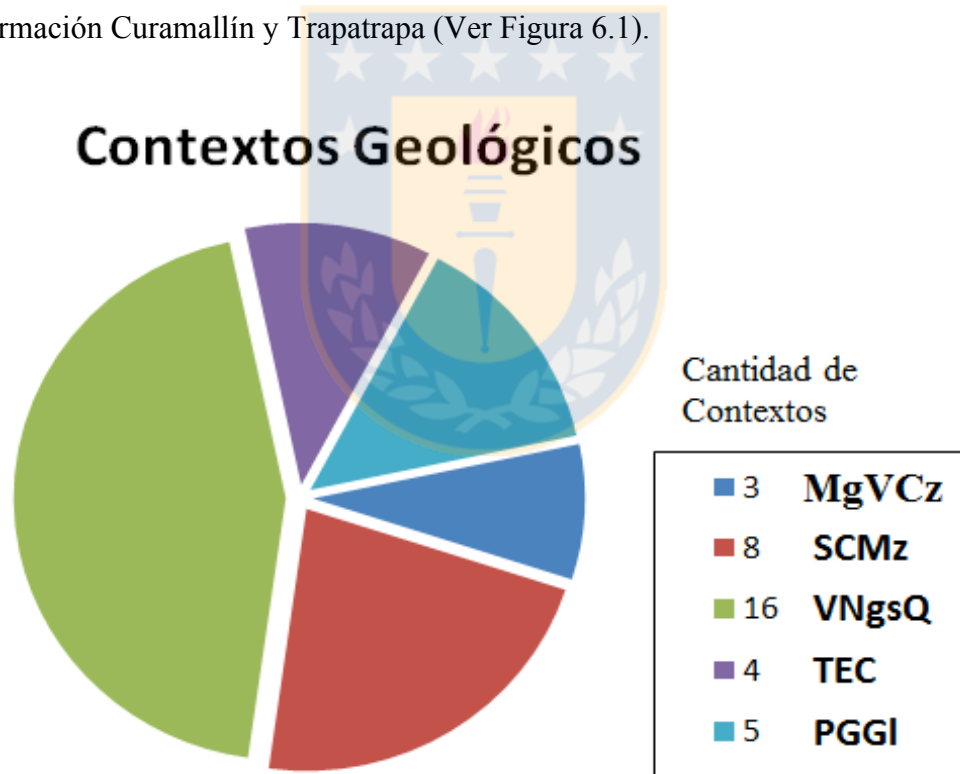


Figura 6.7 Gráfico con los contextos geológicos representados. MgVCz: Magmatismo y vulcanismo Cenozoico; SCMz: Series continentales mesozoicas y sus fósiles; VNgsQ: Volcanismo Neógeno sup-Cuaternario y campos geotermales; TEC: Mega estructuras, tectónica andina y neotectónica; PGGI: Procesos, geoformas y depósitos glaciales del centro y sur

Rivera (2014) considera dentro de la cuantificación de geositos los miradores, sin embargo, en esta investigación, a pesar de clasificarse como potenciales sitios de interés geológicos, se excluyen de la cuantificación, ya que no corresponden a la definición de geosito presentada y tampoco abarcan un área delimitable para una correcta gestión de ellos.

En función de los puntajes obtenidos para cada criterio de valorización, los geositos fueron ponderados para los distintos valores de uso asociado; científico, didáctico y turístico-recreativo y otro para el riesgo de degradación, como se describe en la Tabla 5.1. Con estos valores se calculó el promedio, desviación estándar y los umbrales, para los distintos tipos de uso y riesgo de degradación. Para calcular los umbrales, se utilizó la ecuación 5.1. Los límites “Alto”, “Medio” y “Bajo” definen los rangos de clasificación para cada tipo de uso (Tabla 6.3).

Tabla 6.3 Parámetros estadísticos y rangos de valores para cada categoría.

Categoría	Promedio	Desviación estándar	UMBRALES		ALTO	MEDIO	BAJO
			Alto - Medio	Medio- Bajo			
Uso Científico	57	20	67	47	>67	67-47	<47
Uso Didáctico	66	15	73	58	>73	73-58	<58
Turístico-Recreativo	65	12	71	59	>71	71-59	<59
Riesgo Degradación	32	20	42	23	>42	42-23	<23

Para la selección de los sitios que han sido incorporados al inventario, se procedió a agruparlos de acuerdo a los puntajes obtenidos para cada categoría de uso. Han sido incluidos al inventario aquellos sitios con puntajes clasificados como “Alto” o “Medio” en la suma de las tres categorías de uso (científico, didáctico, y turístico–recreativo).

Los resultados de esta valorización se presentan en el Anexo V. En base a estos resultados, de los 31 geositos evaluados, 8 obtuvieron valores considerados “Bajo”. Por lo tanto, no han sido incluidos dentro del inventario. Ninguno de estos sitios obtuvo valores destacados en alguna categoría de uso. Esto se explica por la lejanía a centros poblados o dificultad de acceso de la mayoría de ellos, así como el bajo valor de uso que presentan actualmente. En

la Figura 6.8, se puede observar la distribución de los puntajes de los 31 potenciales geositios, para la sumatoria de las tres categorías de uso. Además se ha asignado el rango al que pertenece cada uno de ellos. Se adjuntan los gráficos de cada categoría de uso en el Anexo V.

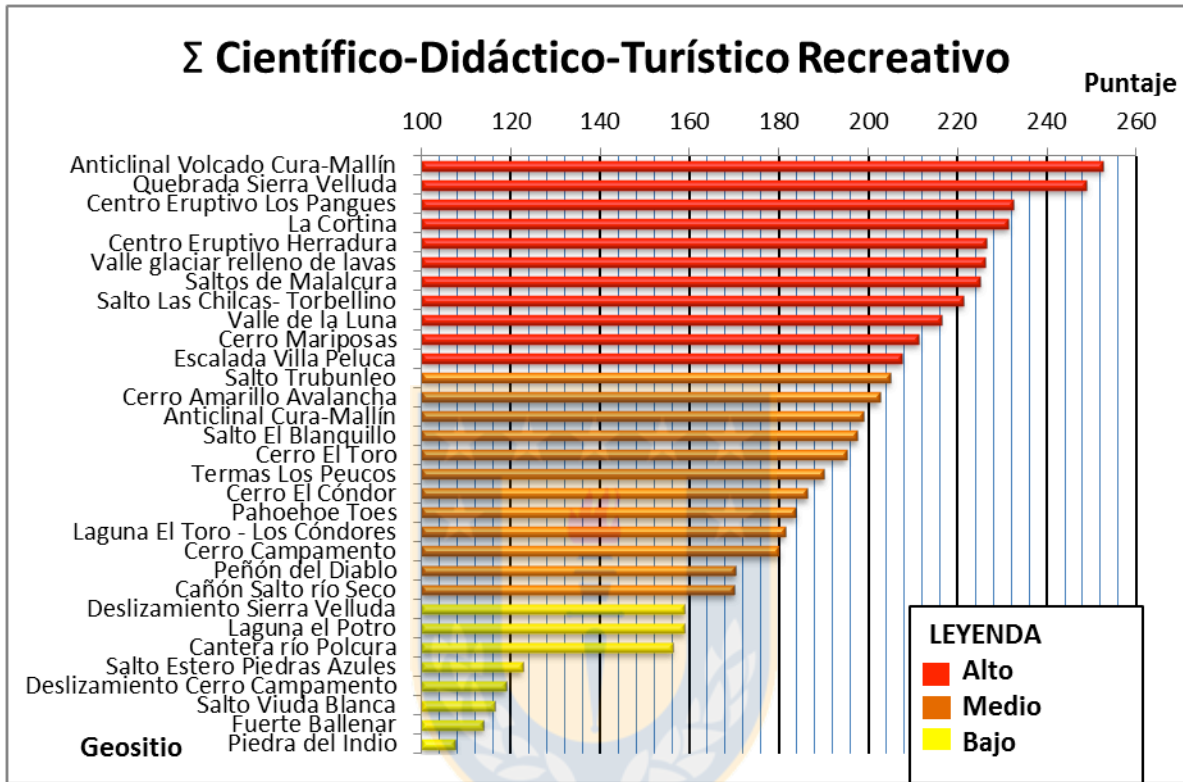


Figura 6.8 Gráfico de valoración cuantitativa para ranking final. Obtenido en cada geositio al sumar las tres categorías de uso.

6.3.2. Evaluación del riesgo de degradación y prioridad de protección

El Riesgo de Degradación nos permite conocer la vulnerabilidad de los potenciales geositios frente a amenazas antrópicas o naturales. Esta categoría no constituye un criterio de selección por sí mismo, sino que se utiliza para estimar la Prioridad de Protección de los sitios, considerando su uso científico, didáctico y turístico-recreativo. Se han utilizado las ecuaciones 5.2, 5.3 y 5.4 para obtener los valores de Prioridad de Protección en las tres categorías de uso evaluadas para los 31 potenciales geositios.

Finalmente, se definieron los umbrales utilizando la ecuación 5.1. Las constantes utilizadas para definir los umbrales de “Corto Plazo”, “Mediano Plazo” y “Largo Plazo” son las siguientes:

$$K (\text{Corto Plazo} - \text{Mediano Plazo}) = 1$$

$$K (\text{Mediano Plazo} - \text{Largo Plazo}) = 0,7$$

$$K (\text{Largo Plazo} - \text{Bajo Plazo}) = 0,25$$

La constante K, ha sido definida arbitrariamente de manera de establecer una distribución relativamente homogénea entre los distintos plazos de protección. Los resultados de este proceso se presentan en la Tabla 6.4.

Tabla 6.4 Datos estadísticos de Prioridad de Protección para cada categoría de uso.

Categoría	Promedio	Desviación standard	UMBRALES		
			Corto Plazo	Mediano Plazo	Largo Plazo
PP-Científico	89	24	114	106	95
PP-Didáctico	98	24	122	115	104
PP-Turístico-Recreativo	97	20	117	111	102

En la Tabla 6.5, es posible observar que los sitios con prioridad de protección al “Corto Plazo” corresponden, en su mayoría, a geositios ya incorporados al inventario debido a su potencial de uso en la suma de las tres categorías. El geositio Piedra del Indio (G21), no había sido incorporado al inventario, debido a su bajo valor de uso en las tres categorías. Sin embargo, ya que es el sitio con mayor riesgo de degradación y mayor vulnerabilidad, ha sido clasificado con prioridad de protección al “Corto Plazo” para la categoría Turístico-Recreativo, por lo que es incluido en el inventario final.

Tabla 6.5 Prioridad de Protección para cada categorías de uso (Científico, Didáctico y Turístico-Recreativo).

Geositio	PP-Científico	Geositio	PP-Didáctico	Geositio	PP-Turístico Recreativo
Anticlinal Volcado Curamallín	133	Salto Trubunleo	143	Salto Trubunleo	136
La Cortina	124	Peñón del Diablo	134	Saltos de Malalcura	129
Peñón del Diablo	118	Valle glaciario relleno de lavas	131	Escalada Villa Peluca	128
Saltos de Malalcura	118	Saltos de Malalcura	129	La Cortina	126
Piedra del Indio	113	Escalada Villa Peluca	129	Piedra del Indio	123
Valle glaciario relleno de lavas	112	La Cortina	128	Valle glaciario relleno de lavas	121
Valle de la Luna	110	Valle de la Luna	126	Peñón del Diablo	119
Salto Trubunleo	110	Cantera río Polcura	121	Valle de la Luna	115
Escalada Villa Peluca	109	Anticlinal Volcado Curamallín	118	Salto Las Chilcas-Torbellino	109
Termas Los Peucos	103	Piedra del Indio	113	Cantera río Polcura	106
Centro Eruptivo Los Pangués	101	Salto Las Chilcas-Torbellino	110		
Quebrada Sierra Velluda	100	Fuerte Ballenar	110		
Cerro Campamento	100	Centro Eruptivo Herradura	106		
Fuerte Ballenar	99				
Cantera río Polcura	98				
Anticlinal Curamallín	96				
Centro Eruptivo Herradura	95				

6.3.3. Inventario final

La metodología aplicada considera incluir en el inventario final, los geositios que han sido clasificados dentro de los rangos “Alto” o “Medio” en la suma de las tres categorías de uso (científico, didáctico, y turístico-recreativo) y aquellos que están en riesgo de degradación. Por lo tanto, considerando los resultados obtenidos en la valoración, han sido incluidos en el inventario final 24 de los 31 geositios propuestos (Tabla 6.6).

Tabla 6.6 Geositios incluidos en el inventario final. Puntaje obtenido en la sumatoria de las tres categorías de uso Clasificados en: rojo los geositios de rango “Alto”, naranja de “Medio” y amarillo de “Bajo”.

Geosítio	Geosítio N°	Suma
Anticlinal Volcado Curamallín	20	253
Quebrada Sierra Velluda	11	249
Centro Eruptivo Los Pangués	12	233
La Cortina	26	231
Centro Eruptivo Herradura	15	226
Valle glaciár relleno de lavas	28	226
Salto de Malalcúra	2	225
Salto Las Chilcas- Torbellino	8	221
Valle de la Luna	27	216
Cerro Mariposas	34	211
Escalada Villa Peluca	14	208
Salto Trubunleo	3	205

Geosítio	Geosítio N°	Suma
Cerro Amarillo Avalancha	9	203
Anticlinal Curamallín	17	199
Salto El Blanquillo	33	198
Cerro El Toro	23	195
Termas Los Peucos	35	190
Cerro El Cóndor	10	186
Pahoehoe Toes	6	184
Laguna El Toro - Los Cóndores	22	181
Cerro Campamento	19	180
Peñón del Diablo	5	170
Cañón Salto río Seco	31	170
Piedra del Indio	21	108

6.3.4. Caracterización cualitativa de los geositios

En el Anexo VI, se presentan las fichas cualitativas de aquellos geositios, clasificados dentro del rango “Alto” en la suma de las tres categorías de uso (científico, didáctico y turístico-recreativo). Corresponden a los siguientes geositios: Anticlinal Volcado Curamallín (G20), Quebrada Sierra Velluda (G11), Centro Eruptivo Los Pangués (G12), La Cortina (G26), Centro Eruptivo Herradura (G15), Valle glaciár relleno de lavas (G28), Salto de Malalcúra (G2), Salto Las Chilcas- Torbellino (G8), Valle de la Luna (G27), Cerro Mariposas (G34), Escalada Villa Peluca (G14). Estos 11 geositios representan los principales contextos geológicos reconocidos en el área, así como los eventos más importantes que han marcado su evolución geológica.

Las fichas se utilizan para describir cada geosítio, de manera de entregar a los usuarios una comprensión de la formación del afloramiento en particular y cómo éste representa una etapa de la evolución geológica del lugar. Esto constituye una herramienta vital para la difusión del patrimonio geológico, siendo una importante fuente de información que puede ser utilizada por la comunidad para fines educativos o turísticos.

6.3.5. Miradores de Interés Geológico

Durante la aplicación de la metodología cuantitativa, se constató que ésta no es apta para ser aplicada a miradores, debido a que ciertos parámetros asociados al carácter de uso de un afloramiento no son adecuados para ellos, como por ejemplo; posibilidad de recolección de objetos, rareza, representatividad o localidad tipo. Además, el rango de área que abarca un mirador no hace posible una adecuada gestión de los elementos geológicos que son necesarios conservar. Si bien, no se ha aplicado la metodología cuantitativa a los miradores, éstos constituyen importantes puntos de observación de los procesos geológicos que han formado el paisaje circundante, por lo que es indispensable que éstos sean considerados en un trabajo de patrimonio geológico.

Se propone que los sitios de observación de estos procesos geológicos sean llamados Miradores de Interés Geológico (MIG), podrían ser caracterizados con una ficha cualitativa modificada de geositios. Rivera (2014) propone un mirador como geositio, que ha sido cambiado de categoría a MIG, durante la cuantificación final del patrimonio geológico en la reserva. Por lo tanto, se han considerado cinco MIG en el área de estudio, los cuales se detallan en la Tabla 6.7.

Tabla 6.7 Miradores de interés geológico en Reserva de la Biósfera NCh-LL

Código	Nombre	Coordenadas		Tipo de Interés geológico
		Este	Norte	
MIG1	Mirador Paso Atacalco	277950	5902769	Geomorfológico, petrológico, volcánico, hidrogeológico, fluvial, glaciár
MIG2	Mirador valle superior del Laja	279233	5860532	Geomorfológico, petrológico, fluvial, litoral, glaciár
MIG3	Mirador volcánico de Antuco	286629	5859132	Geomorfológico, petrológico, volcánico, hidrogeológico, fluvial, tectónico
MIG4	Mirador Laguna del Laja	296233	5858361	Geomorfológico, petrológico, volcánico, hidrogeológico, tectónico, lacustre
MIG5	Mirador Paso Pichachén	311868	5852839	Geomorfológico, petrológico, volcánico, glaciár

6.3.6. Rutas Geológicas

Como ya se mencionó en el capítulo 2.8., una georuta consiste en establecer trazados que unan dos o más puntos de interés geológico, mediante el cual el visitante puede recorrer algunos afloramientos del sector que le permitirán reconocer su evolución geológica. La elección de estas rutas de interés geológico, depende de los objetivos propuestos a la hora de generarlas. En el Anexo VII, se presenta un resumen con las rutas geológicas generadas en la presente investigación, donde se incluyen las que han sido propuestas por Rivera (2014) y Donoso (2017). Las georutas propuestas por la presente investigación, corresponden a recorridos que se realizan habitualmente dentro de la Reserva de la Biósfera NCh-LL, donde este autor busca agregar un relato geológico a estos trazados. Estas rutas permiten conocer la evolución geológica, tanto del Corredor Biológico, como específicamente del área de estudio, considerando una ruta inclusiva para personas con problemas de movilidad. También estos recorridos atraviesan lugares propuestos como geositos que no han sido considerados en los inventarios finales, pero que son un atractivo geológico reconocido que vale la pena considerar.

6.3.6.1. *Geo-ruta Corredor Biológico Nevados de Chillán-Laguna del Laja.*

Esta ruta recorre los geositos más importantes reconocidos en las investigaciones de patrimonio geológico realizadas dentro del Corredor Biológico NdCh-LL. Desde San Fabián de Alico se debe tomar la Ruta N-31, por 32 kilómetros en dirección a la cordillera, hasta el poblado Los Sauces. Posteriormente, al seguir bordeando el río, se llegará al Puente Inglés, que cruza el río Los Sauces, principal afluente del río Ñuble. Este lugar corresponde a un punto de cruce de ganado por los arrieros de la zona, para llevar sus animales a alimentarse en la cordillera durante épocas estivales. Además, es un punto de acceso para kayakistas amantes del río Sauces y Ñuble. Es posible observar andesitas de la Formación Curamallín, intruidas por numerosos diques y remociones en masa que han afectado las laderas del río. Al avanzar hacia el Sur, bordeando el río por 8 km aproximadamente, se llega al geosito Junta del Gato, que corresponde a un antiguo abanico aluvial que es atravesado por el río Gato, proveniente del Volcán Nevados de Chillán. Este abanico se habría formado tras una gran descarga de agua y sedimentos volcánicos provenientes desde los Nevados de Chillán a través del Valle Del Gato, los que encontraron una barrera topográfica al desembocar en el Valle Ñuble (Donoso, 2017). Se sigue ascendiendo a través

del valle del Ñuble hasta atravesar el río Las Truchas, para llegar a las localidades de El Roble y Las Minas, sector limítrofe de la comuna de San Fabián de Alico. En estos lugares es posible observar cerros constituidos por rocas de la Formación Curamallín y las Lavas Los Pincheira, con estructuras columnares generando una meseta. Estos lugares fueron antiguos asentamientos de pirquenes mineros. Al fondo del valle, una excelente panorámica da la bienvenida donde se observa la Cascada Las Minas, un salto de agua de aproximadamente 30 metros, con el Volcán Nevados de Chillán de fondo. Se continúa ascendiendo en dirección Sureste, a través del valle del río Las Minas, hasta el portezuelo a casi 2400 m s.n.m. entre el Cerro Las Minas y el Volcán Chillán Viejo. Acá se tendrá una panorámica excepcional de las montañas de la zona. Al descender por el valle en dirección Suroeste, comenzarán a aflorar algunas vertientes termales que alimentan esteros, que presentan temperaturas suficientemente agradables para bañarse hasta en épocas invernales, alcanzando en algunos casos hasta 61°C. A 1200 metros del paso, se ubica el primer pozo de agua termal, lugar ideal para acampar. Durante los próximos 2 kilómetros se encontrarán esteros de agua termal provenientes del Volcán Chillán Viejo, que constituyen el geosítio Aguas Calientes. En este lugar se observan lavas dacíticas de la unidad Aguas Calientes (Pleistoceno superior tardío), que resaltan por su particular diaclasamiento columnar radial y donde el agua emana por fracturas de profundidad considerable que permiten calentar las aguas meteóricas (Rivera, 2014) (Figura 6.9).



Figura 6.9 Geosítio Aguas calientes. Existen numerosos esteros de agua termal en los que es posible disfrutar durante todo el año. En invierno requiere implementos adecuados.

Posteriormente, se debe descender por el valle del río Diguillín por unos 8 km, hasta un desvío donde se sigue en dirección Sureste. Se atraviesa un portezuelo, para descender por el valle hasta las Termas Los Peucos (G35), que son afloramientos de aguas termales, ubicadas dentro de la Reserva Ñuble. En este lugar existen instalaciones de CONAF donde es posible acampar. La ruta sigue descendiendo por el valle, hasta llegar al vadeo del río Polcura, que se debe cruzar. En este lugar se puede observar el colorido Cerro Las Mariposas (G34), donde afloran rocas volcánicas y volcanosedimentarias de la Formación Curamallín, con excelente estratificación. Posteriormente, la ruta avanza a través de filos montañosos, lagunas cordilleranas y valles de origen glaciar y fluvial, hasta llegar a las lagunas de origen glaciar El Toro y Cóndores (G22) y Cerro El Toro (G23) donde afloran rocas de la Formación Curamallín, intruídas por numerosos diques (Figura 6.10). Este lugar es perfecto para pasar la última noche acompañado de una maravillosa vista a los volcanes Sierra Velluda y Antuco. Finalmente, se debe descender a través de un denso bosque de Lengas y Cipreses, donde es posible avistar aves como el Pájaro Carpintero (*Picidae sp.*), hasta el Mallín del Toro, que es un antiguo valle glaciar labrado en rocas de la Formación Curamallín, que luego fue rellenado por depósitos de la avalancha del volcán Antuco I (Lohmar, 2000). Esta ruta finaliza en la curva del candado en Parque Nacional Laguna del Laja (Figura 6.11).



Figura 6.10 Geosítio Laguna Los Cóndores (G22) y Cerro El Toro (G23). Lagunas cordilleranas de origen glaciar, con excelente panorámica al Volcán Antuco y Sierra Velluda.

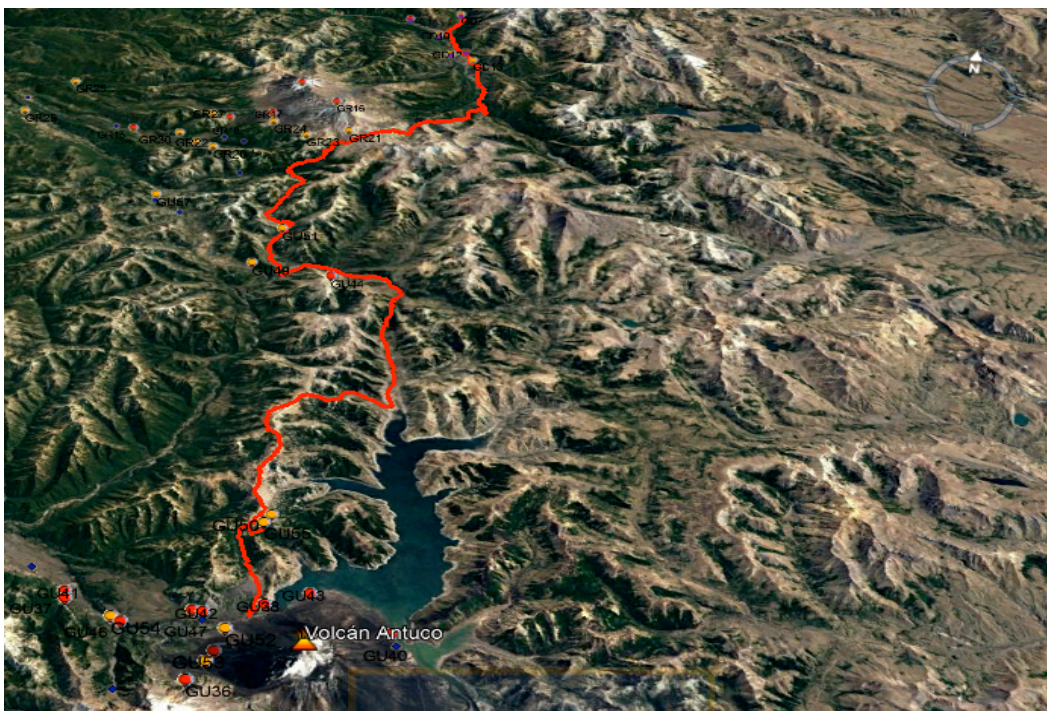


Figura 6.11 Geo-ruta Reserva de la Biósfera NCh-LL. Imagen satelital Google Earth Pro. Geositos color rojo incluidos en inventario final; naranja, no incluidos.

6.3.6.2. *Geo-ruta Reserva Ñuble-Parque Nacional Laguna del Laja.*

En esta travesía es posible unir a pie los volcanes del Complejo Volcánico Nevados de Chillán con el Volcán Antuco y Sierra Velluda. Esta se realiza a través de los filos de la cordillera de Polcura, que recorre antiguas huellas de arrieros en el margen oeste de la Laguna Laja. Para acceder se debe tomar la ruta N-633, desde Chillán por 53 km, hasta el sector poblado de Los Lleuques. Se debe tomar un desvío en dirección al Fundo Los Cipreses, donde posteriormente sólo se puede acceder en vehículos 4x4 o caminando por los próximos 8 km, hasta llegar al sector Trumao, punto de acceso a la Reserva Ñuble. Existe la posibilidad de ascender a Valle Hermoso por el camino abandonado del gasoducto trasandino o por un sendero en el bosque para llegar al Mirador Paso Atacalco (MIG2) donde se puede tener una panorámica a los volcanes Chillán, Nevados de Chillán, Antuco, Cerro Las Minas y los valles glaciares del Diguillín y El Blanquillo. La ruta que se propone, comienza en el camping de CONAF, al lado de los pozones del estero Relbún, donde se debe ascender bordeando el río del mismo nombre. Luego de unos 30 minutos de caminata el río se encajona en un profundo cañón de origen estructural, que culmina con un pozón y caída de agua de unos 30 metros de altura. El Cañón Salto río Seco (G31) o

también conocido como río Relbún, está dominado por fallas transcurrentes e inversas, las que controlan el curso del agua (Meulle-Stef, 2016). Luego se debe realizar una escalada de bajo nivel técnico, pero sí algo expuesta, por la pared derecha. La ruta continúa por el río que se pierde en algunos momentos bajo los sedimentos, hasta llegar a la Laguna El Potro (G30). Este cuerpo de agua se formó producto del deslizamiento de las laderas que represaron el avance del río Relbún. Evidencia de esto es el antiguo bosque inundado en la mitad del lago. Este proceso es notorio visto en imágenes satelitales (Figura 6.12).

Posteriormente, se debe bordear el lago y ascender en dirección Sureste, hasta converger con el camino del gasoducto trasandino. El sendero continuará por este camino abandonado y unos 500 metros más adelante será posible observar el Salto estero Piedras Azules (G32), que ha labrado su lecho de rocas basálticas con estructuras columnares. La ruta atraviesa Valle Hermoso y sus impresionantes montañas, hasta llegar al Salto El Blanquillo (G33), una impresionante caída de agua que fluye a través de basaltos columnares de la Formación Cola de Zorro, que se extienden en un plateau a lo largo del valle (Figura 6.13). Se sigue descendiendo por el valle, hasta llegar al vadeo del río Polcura que se debe cruzar. En este lugar se puede observar el colorido Cerro Las Mariposas (G34), donde afloran rocas volcánicas y volcanosedimentarias de la Formación Curamallín, con excelente estratificación.

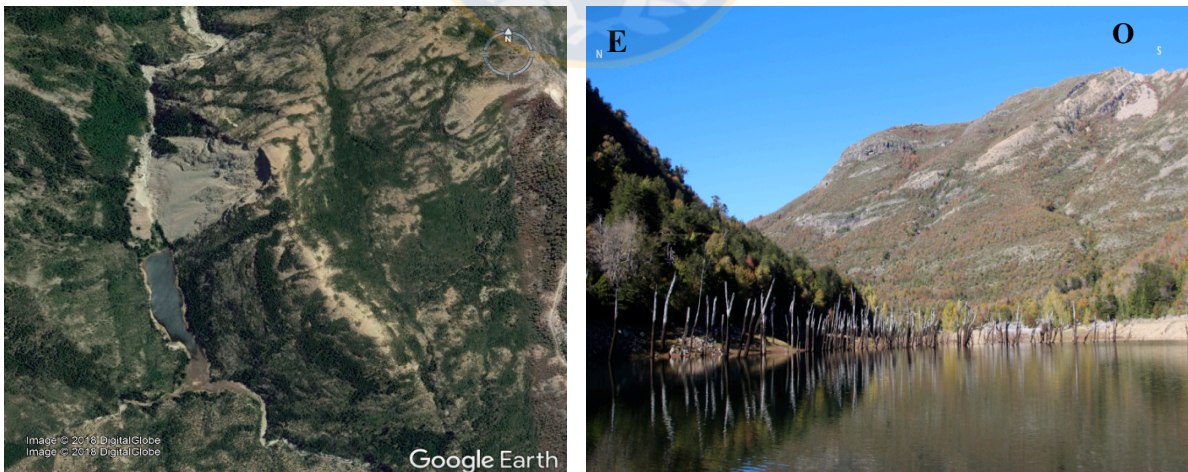


Figura 6.12 Laguna El Potro (G30). Imagen satelital de remoción en masa (izquierda) que afectó al río Seco, represándolo e inundando el bosque aguas arriba (derecha).



Figura 6.13 Geosítio Salto El Blanquillo (G33).

Posteriormente, la ruta avanza a través de filos montañosos, lagunas cordilleranas y valles de origen glaciario y fluvial, hasta llegar a las lagunas de origen glaciario El Toro y Cóndores (G22) y Cerro El Toro (G23) donde afloran rocas de la Formación Curamallín, intruídas por numerosos diques. Este lugar es perfecto para pasar la última noche acompañado de una maravillosa vista a los volcanes Sierra Velluda y Antuco.

Finalmente, se debe descender a través de un denso bosque de Lengas y Cipreses, donde es posible avistar aves como el Pájaro Carpintero (*Picidae sp.*), hasta el Mallín del Toro, que es un antiguo valle glaciario labrado en rocas andesíticas, que luego fue rellenado por depósitos de la avalancha del volcán Antuco I (Lohmar, 2000). Esta ruta finaliza en la curva del candado en Parque Nacional Laguna del Laja (Figura 6.14).

6.3.6.3. *Geo-ruta Travesía Volcán Antuco*

La travesía del Volcán Antuco es un viaje a lo largo de la historia geológica de los volcanes Antuco y Sierra Velluda. Se recomienda realizar esta ruta en verano ya que es posible observar con detalle las estructuras de este espectacular museo vulcanológico al aire libre. Desde Los Ángeles se debe tomar la ruta Q-45, en un camino pavimentado por 84 km, hasta llegar al sector Malalcura. Luego, la ruta continúa en ripio de buen estado hasta el comienzo del sendero Sierra Velluda, en la administración de CONAF.

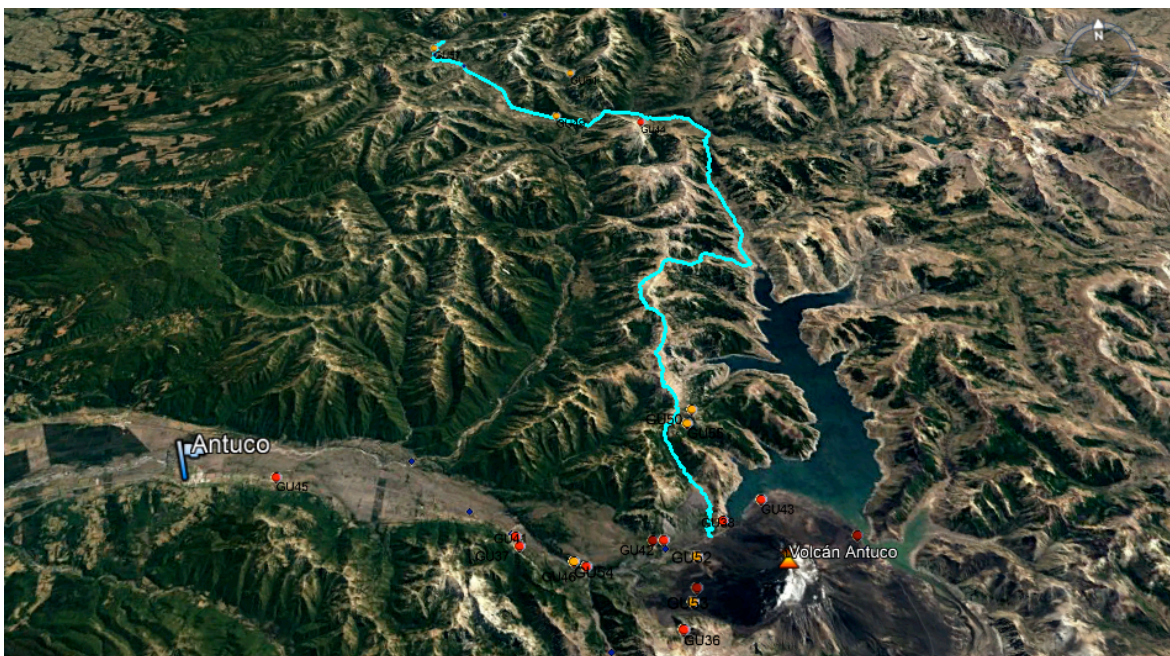


Figura 6.14 Geo-ruta Reserva Ñuble-Parque Nacional Laguna del Laja. Imagen satelital Google Earth Pro. Geositos color rojo incluidos en inventario final; naranja, no incluidos.

Comienza bordeando el Cerro Cóndor (G10), hasta llegar al escorial de lavas basálticas generado por el Centro Eruptivo Los Pangues (G12). Se debe atravesar este escorial en dirección a la Quebrada Sierra Velluda (G11), donde se pueden observar los distintos depósitos de este macizo, junto con numerosos cuerpos intrusivos tabulares que los atraviesan. Antes de continuar la ruta es posible desviarse desde el lugar de campamento, en dirección al Centro Eruptivo Los Pangues (G12), donde es posible observar lavas globulares que afloran de forma local, denominadas Pahoehoe Toes (G6) (Figura 6.15). Estas estructuras se generan al solidificar la superficie de lavas muy fluidas. El trayecto continúa bordeando la Sierra Velluda en dirección Este, hasta llegar al portezuelo que une este volcán con el Antuco. Desde este lugar se tiene una vista sublime a las montañas del sector y los valles de origen glaciario al Este y de origen volcánico, en el Estero Los Pangues, al Oeste. Luego se debe descender bordeando la ladera Este del Volcán Antuco en dirección Norte. Al encontrarse nuevamente con la ruta Q-45, en Mirador Laguna del Laja (MIG4), es posible observar las rocas de Formación Curamallín, que forman las montañas que rodean el lago. Al avanzar es posible visitar el Centro Eruptivo Herradura (G15), que es un cono de unos 50 m de altura, formado por lavas cordadas de basaltos de olivino. La ruta continúa atravesando el Valle de la Luna (G27), donde se observan rocas volcánicas

con estructuras columnares. Acá se encuentra abandonado el Refugio Universidad de Concepción, construcción que sirvió para guarecer a gran parte de los sobrevivientes de la tragedia de Antuco en mayo de 2005, donde murieron 45 miembros de un batallón de conscriptos que hacían su servicio militar en el Ejército de Chile. Finalmente, es posible visitar La Cortina (G26), donde afloran rocas de la Formación Curamallín, que constituyen un anticlinal. Es posible observar numerosas fallas y diques que atraviesan estas estructuras. En los alrededores existen antiguas faenas del vertedero de aguas del Lago Laja, construido en 1953. Este lugar presenta antiguos marcadores de profundidad a unos 20 metros sobre el nivel actual del lago.

También es posible realizar esta georuta en invierno, como una alternativa interesante para aquellos que gustan de deportes invernales como el ski de randonée o ascensos de montaña, pudiendo ascender el volcán Antuco por la cara Sur y descender por la cara Norte hacia el centro de ski. La extensión del escorial del Estero Los Pangues y la magnitud de las montañas que lo rodean, generan una sensación envolvente que permiten al visitante conectarse profundamente con la magnitud de los procesos que ocurren en el área (Figura 6.16).

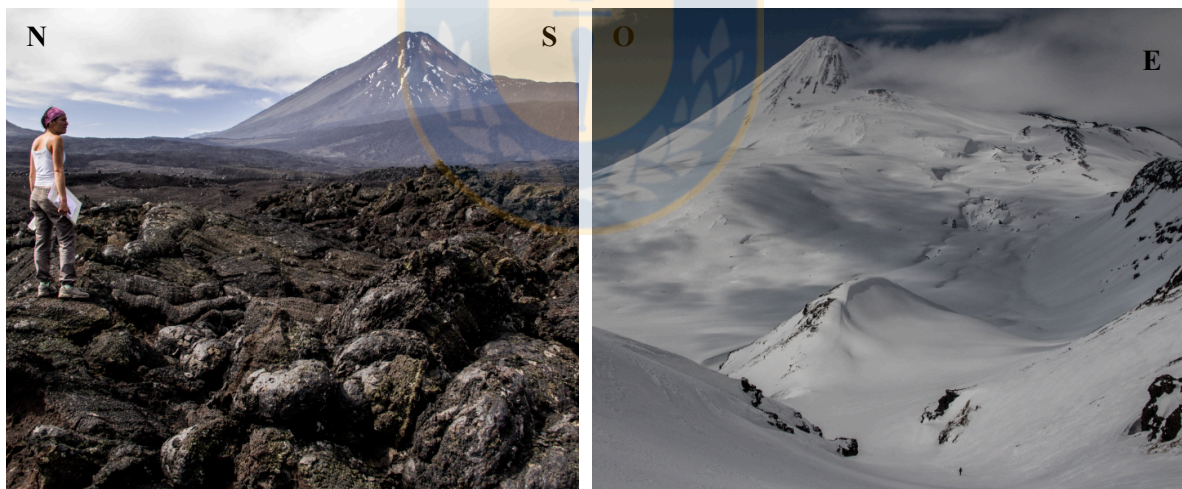


Figura 6.15 Geositio Pahoehoe Toes (G6) izquierda. Ruta invernal desde el Volcán Sierra Velluda, derecha.



Figura 6.16 Geo-ruta Travesía Volcán Antuco. Imagen satelital Google Earth Pro. Geositios color rojo incluidos en inventario final; naranja, no incluidos.

6.3.6.4. *Geo-ruta Las maravillas de Antuco*

Esta georuta recorre las maravillas geológicas de Antuco, desde el Oligoceno al Presente. Está pensada de manera que cualquier persona sea capaz de realizarla. Ha sido considerada inclusiva, ya que es apta para personas con movilidad reducida. El recorrido se realiza en vehículo, a través de la ruta Q-45, donde la mayor parte de los atractivos se pueden observar desde el transporte o con caminatas menores a 200 m. Comenzando desde Antuco, a 5 km se encuentra el sector de Escalada Villa Peluca (G14), donde afloran las rocas más antiguas de la zona, correspondientes a la Formación Curamallín. Además es posible observar estrías glaciares, evidencia que fueron éstos los que labraron inicialmente el valle superior del río Laja. La ruta sigue a través de las rocas intrusivas de los Saltos de Malalcura (G2). Al acercarnos al Parque Nacional Laguna del Laja, la historia geológica se remonta al Cuaternario y sus procesos volcánicos al observar el Peñón del Diablo (G5) depositado producto de la avalancha volcánica que generó el colapso del Antuco I y contiguo a éste, se ubica el Salto Trubunleo (G3), caída de agua que fluye a través de los basaltos columnares generados por las primeras coladas de lava del Antuco II (Varela, 1988). Frente a la administración de CONAF, existe un sendero inclusivo que permite llegar hasta el Mirador volcánico de Antuco (MIG3), donde es posible observar gran parte

de los procesos volcánicos que dieron forma al paisaje. Llama la atención de los viajeros el Cerro Amarillo Avalancha (G9), ubicado en la ladera noroeste del río Laja, el cual está adosado a rocas de la Formación Curamallín (Figura 6.17). Estas rocas se depositaron producto del colapso del Antuco I y posterior avalancha volcánica (Melnick, 2006).

Al seguir por la ruta y pasar el centro de ski se observa el geositio La Cortina (G26), donde afloran rocas de la Formación Curamallín, que constituyen un anticlinal. Es posible observar numerosas fallas y diques que atraviesan estas estructuras. En los alrededores existen antiguas faenas del vertedero de aguas del Lago Laja, construido en 1953. Este lugar presenta antiguos marcadores de profundidad a unos 20 metros sobre el nivel actual del lago. Al atravesar el Valle de la Luna (G27), se observan rocas volcánicas con estructuras columnares. Acá se encuentra abandonado el Refugio Universidad de Concepción, construcción que sirvió para guarecer a gran parte de los sobrevivientes de la tragedia de Antuco en mayo de 2005, donde murieron 45 miembros de un batallón de conscriptos que hacían su servicio militar en el Ejército de Chile. Posteriormente, el Centro Eruptivo Herradura (G15), se encuentra a la izquierda del camino y es un cono de unos 50 m de altura, formado por lavas cordadas de basaltos de olivino.



Figura 6.17 Geositio Cerro Amarillo Avalancha (G9), izquierda. A la derecha rocas de Formación Curamallín.

En el Mirador Laguna del Laja (MIG4), es posible observar las rocas de Formación Curamallín, que forman las montañas que rodean el lago. Una vez que se ha atravesado la

aduana, comienzan a aflorar las coloridas rocas de Formación Curamallín. No pasa desapercibido el Anticlinal volcado (G20), que se ubica en la rivera norte del río Los Pinos. Desde este lugar, además es posible observar la cara este del Antuco y Sierra Velluda. Es la mejor ubicación para reconocer el límite del anfiteatro que generó la caldera de 4 km de diámetro, desde donde se formó Antuco II (Moreno, 2000). También es posible visitar el afloramiento glaciolacustre, que ha sido caracterizado como un depósito de lago proglaciar, debido al bloque errático presente (Melnick, 2006). En dirección al Paso Pichachén se encuentra la Piedra del Indio (G21), donde la historia cuenta que hay que dar tres vueltas alrededor de esta roca, para que traiga bendiciones al viaje. En la orilla este del estero Campamento, se ubica el Cerro de nombre homónimo (G19), lugar donde Carpinelli (2000), realiza una columna estratigráfica para caracterizar la Formación Curamallín. Finalmente antes de la frontera, es posible observar casi la totalidad de los volcanes de la región, junto con los valles y ríos que dan origen al río Los Pinos en el Mirador Paso Pichachén (MIG5) (Figura 6.18).



Figura 6.18 Geo-ruta Las maravillas de Antuco. Imagen satelital Google Earth Pro. Geositos color rojo incluidos en inventario final; naranja, no incluidos.

Considerando el contexto actual, esta georuta presenta grandes potencialidades. Esto, debido a que han comenzado con la consulta ciudadana para el proyecto de pavimentación de la ruta Q-45, hasta el Paso Pichachén. Es una gran oportunidad para los habitantes y autoridades de la comuna de Antuco, de manera de poder planificar en conjunto la ruta con

un interés turístico, incluyendo en ella puntos de accesos a georutas, señaléticas y miradores de interés geológico.

6.4. Historia geológica y geositios

En los geositios reconocidos, es posible observar las etapas claves de la evolución geológica de la zona. El basamento del área de estudio, está compuesto por rocas de la Formación Curamallín y Trapatrapa, depositadas durante el Oligoceno tardío – Mioceno medio (28 – 11 Ma). Durante esta época, una tectónica extensional fue contemporánea a un incremento en la tasa de convergencia, entre la placa de Nazca y la Sudamericana (Jordan *et al.*, 2001). Estas rocas volcanosedimentarias, se depositaron en un ambiente de rift continental con sedimentación lacustre e ingreso de sedimentos volcanoclásticos desde el Oeste (Suárez & Emparán, 1995 en Melnick *et al.*, 2006). Luego del período de extensión, un régimen compresivo generó acortamiento y alzamiento de la corteza durante el Mioceno tardío (11 – 6 Ma.), lo que permitió el emplazamiento de grandes cantidades de granitoides. Según Seifert *et al.* (2005) estos granitoides se emplazaron a menos de 3 km de profundidad, evidenciando el estado frágil por la gran cantidad de diques que los intruyen. Estos cuerpos plutónicos de composición granodiorítica y tonalítica principalmente, intruyen a la Formación Curamallín y desarrollan rocas metamórficas de contacto. Además, en el lado oriental del Cerro El Toro (G23), se reconocen cuerpos menores de tipo filoniano (diques y filones mantos) que intruyen a las rocas de la Formación Curamallín, donde el control estructural de esas intrusiones es evidente. Las direcciones N40°W y NS son las más frecuentes en los diques, que corresponden, esencialmente a rocas andesíticas y dacíticas. Carpinelli (2000) sugiere que los cuerpos intrusivos, se emplazaron con posterioridad o simultáneamente con el plegamiento de las Formaciones Curamallín y Trapatrapa.

La Fase Orogénica Quechua (límite Mioceno Superior-Plioceno Inferior), produjo en las rocas terciarias un fuerte plegamiento y fracturamiento local, estructuras que son el resultado de una tectónica deformacional compresiva. Es posible observar claramente en el geositio La Cortina (G26) o en las rocas que afloran en la zona suroriental del área de estudio (Anticlinal Volcado Curamallín (G20), Cerro Mariposas (G34), Anticlinal Curamallín (G17)).

Durante el Plioceno-Pleistoceno inferior, ocurre un período de intensa erosión, que produjo el truncamiento de los estratos plegados de la Formación Curamallín. Sobre esta superficie de erosión, y en discordancia, se depositaron los materiales volcánicos y sedimentos del Pleistoceno Superior (Lohmar, 2000). Según Melnick *et al.* (2006), esta época estuvo marcada por un régimen extensional, con un restablecimiento del volcanismo, depositándose las extensas coladas de lava en grandes plataformas de la Formación Cola de Zorro, en discordancia sobre las rocas terciarias (Figura 6.19).

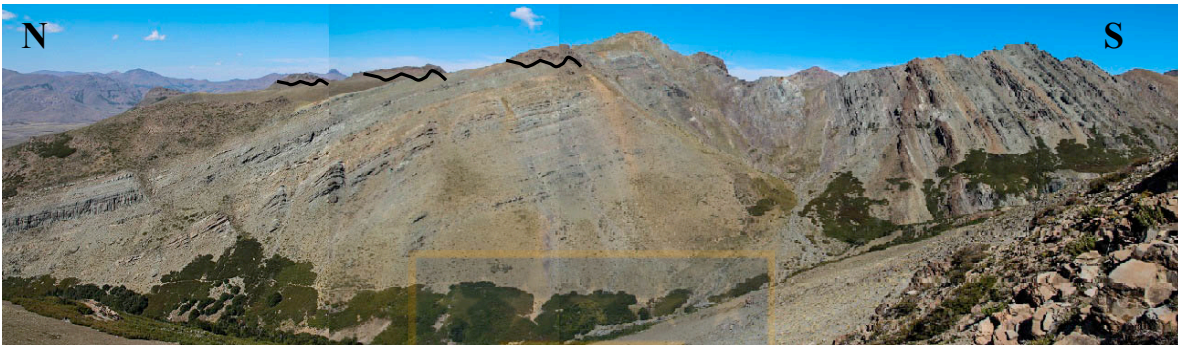


Figura 6.19 Anticlinal Formación Curamallín. Discordancia erosiva con Formación Cola de Zorro

Durante el Pleistoceno superior, tuvieron lugar en la zona eventos glaciares y volcánicos con emisiones de lava de los volcanes Sierra Velluda y Antuco. La actividad volcánica en el extremo suroccidental del área, originó el Volcán Sierra Velluda I, constituido por brechas y aglomerados laháticos, con intercalaciones de lavas andesítico-basálticas (Quebrada Sierra Velluda (G11)). Este evento eruptivo se inició a principios del Pleistoceno superior, desarrollándose durante los comienzos de la Glaciación Mindel. Probablemente, existió un paleolago Laja en el sector donde actualmente se encuentra el Volcán Antuco (Lohmar, 2000). Durante esta época, terminó la actividad del Volcán Sierra Velluda I, donde se produjo la erosión glacial de los materiales volcánicos. Debido a que la Reserva Ñuble y la zona oriental de la comuna de Antuco, no han sido afectadas por fuertes procesos volcánicos o fluviales, es posible reconocer las distintas geoformas que han producido los glaciares, como valles en U, circos glaciares, estrías o morrenas (Figura 6.20). Moreno *et al.* (1984) estiman que el paleolago Laja se vació durante este período de inactividad volcánica. Además, tuvo lugar un evento tectónico distensivo que generó fracturas de rumbo NW-SE y NE-SW (Lohmar, 2000).

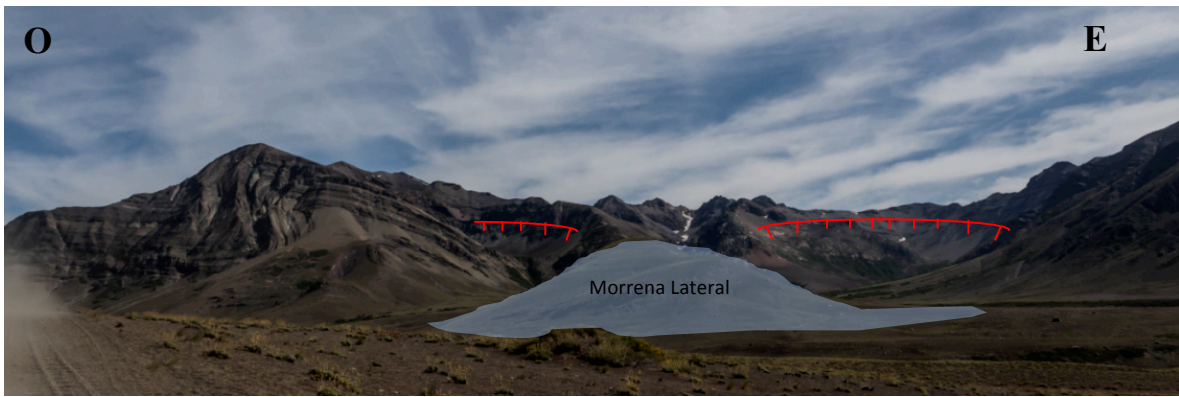


Figura 6.20 Geoformas glaciares. Circos, morrena lateral y valles con forma de U en rocas de la Formación Curumallín.

Posteriormente, durante el período interglaciar, se habría reactivado el volcanismo en la Sierra Velluda, con la emisión principal de lavas, que construyeron un estratovolcán de unos 3.800 m s.n.m. (Sierra Velluda II). Estos materiales obstruyeron nuevamente el valle cordillerano interior, desarrollándose un eventual paleolago Laja en el mismo sector del antiguo. La actividad volcánica en la Sierra Velluda concluyó antes del inicio de la Glaciación Riss. Ésta erodó intensamente el estratovolcán, y habría hecho desaparecer el eventual paleolago (Lohmar, 2000).

Las primeras erupciones del Volcán Antuco, se habrían producido a través de una fisura de dirección NE, ubicada en el ancho valle glacial situado al norte del Volcán Sierra Velluda. Según Moreno *et al.* (1984), el volcán Antuco comenzó a formarse hace 130.000 años, en la cual la unidad Antuco I tuvo un período de actividad, que varía en un rango entre los 130.000 a los 60 mil años (Thiele *et al.*, 1998). El desarrollo del Antuco I, culminó con el colapso del cono y su deslizamiento aguas abajo por el valle del Río Laja, dejando una caldera volcánica de 4 km de diámetro hace 6250 años A.P. (Lohmar, 2000). Este evento produjo una avalancha volcánica gigantesca, que alcanzó una distancia de 20 km del volcán, por el valle del Laja, depositándose en cordones laterales a lo largo del valle del río Laja. Este episodio está bien representado en los geositios Cerro Amarillo (G9) y Peñón del Diablo (G5). Este evento represó el antiguo Lago Laja, elevando su nivel en unos 100 metros por sobre su cota actual, el cual se extendió hasta los valles del Paso Pichachén. Posteriormente, la ruptura violenta de este represamiento provocó un importante fenómeno avenidal, el cual erosionó parcialmente los depósitos de la avalancha (Thiele *et al.*, 1998; Varela, 1988). Mac Phail (1966), asume que este proceso fue similar al experimentado por

el Volcán Bandai-San en Japón, el cual tuvo una erupción catastrófica en 1888. Lohmar (2000) lo compara con la erupción del Monte Santa Helena en Estados Unidos.

Luego, la actividad del Antuco II continuó en el interior de la caldera y además dio origen, a varios centros adventicios menores como el Centro Eruptivo Los Pangues (G12) y Herradura (G15), ubicados en las laderas del volcán. Como consecuencia de su actividad, siguieron acumulándose coladas de lavas, flujos de detritos, lahares y flujos piroclásticos en el valle superior del Río Laja, reconocidas en Salto Trubunleo (G3), Centro de ski Antuco, Salto Las Chilcas-Salto Torbellino (G8), entre otros. Estos flujos de lava generados durante la segunda etapa del Antuco, represaron el río Laja, formando el Lago Laja actual.

Al mismo tiempo que crecía el Antuco II, ocurrían pequeños avances glaciales (Neoglaciación postglacial) y el valle superior del Laja experimentaba una prolongada y profunda erosión fluvial. Este río desaguaba el inestable lago homónimo embalsado por las sucesivas coladas. En un momento, que aún se desconoce, se produjo la ruptura del Lago Laja, generándose un aluvión que arrasó todo el valle superior y originó un gigantesco abanico de arenas negras dentro de la Depresión Central, principalmente retransportadas de la oleada piroclástica. Según Lohmar (2000), parte del aluvión descendió por los ríos Laja, Itata y Biobío, alcanzando el Océano Pacífico, donde formó grandes abanicos tipo “fan-deltas”. Debido a las corrientes marinas y a los vientos que inciden preferentemente desde el SW, grandes volúmenes de arenas basálticas fueron retransportados en un corto período de tiempo hacia el N, a lo largo del litoral, por más de 250 km, dando lugar a extensas playas como Cobquecura, Constitución, Curanipe, Pelluhue, Chanco y Vichuquén (36,5° a 35°S).

Actualmente las dinámicas fluviales, lacustres y gravitacionales, modelan el paisaje. Los depósitos fluviales actuales a subactuales, se reconocen en los márgenes de los principales cauces de la zona, como en el río Laja, Polcura, Diguillín, Blanquillo y esteros Relbún, Los Pangues, Cipreses, Cañón del río Seco (31), Trubunleo y El Toro. Estos cursos se encuentran generalmente encajonados, erosionando la roca caja por la que fluyen. Procesos gravitacionales se observan en las laderas de mayores pendientes, mientras que remociones en masa son fácilmente reconocibles en la Laguna El Potro (G30) y Deslizamiento Cerro Campamento (G18) y Sierra Velluda (G4).

7. DISCUSIONES

7.1. Patrimonio Geológico

7.1.1. Conceptos de geopatrimonio

Como ya se mencionó en el capítulo 2.3, la definición de geositio está en constante discusión. Lo que entendamos por geositio, definirá qué elementos geológicos serán considerados en los inventarios, cuantificación y la búsqueda de herramientas de gestión y protección. Por ejemplo, Brilha (2016), propone que un geositio se debe referir al potencial científico que puede presentar para comprender la evolución geológica, independiente de si tienen o no otros valores. Sin embargo, el valor científico, ya es una categoría de uso, siendo que éste, no debería presentar una validación superior a otro tipo de saber o uso. La principal problemática que reconoce Brilha (2016), en torno al uso del término geositio de manera genérica, es que ha producido que se postulen geositios irrelevantes, desde el punto de vista geológico, a inventarios nacionales, o peor aún, excluyendo los mejores geositios de un país.

Generar un inventario nacional, permite desarrollar estrategias y normativas de conservación para este patrimonio geológico. Actualmente en la legislación chilena, es posible proteger sitios de importancia geológica por su importancia histórica, cultural o estética, a través del Consejo de Monumentos Nacionales. Sin embargo, no existen normativas para proteger un elemento geológico por su valor científico.

En este estudio se mantiene la definición de geositio propuesta por la SGCh, debido a que en Chile existe un gran número de investigadores e instituciones, que ya han utilizado este término. Desde el punto de vista de la gestión del patrimonio geológico, en el material de difusión del parque geológico (paneles, trípticos u otros), el uso del término geositio de manera genérica, es mucho más apropiado para el público no especializado, considerando simplemente un sitio de interés geológico.

De acuerdo al tipo de interés que represente la geodiversidad a escala local, regional o nacional, se deben generar diversas estrategias de conservación, teniendo en cuenta el enfoque y finalidad de la misma (Figura 7.1). Para evitar problemas en la proposición de

geositios a la SGCh, durante la generación de un inventario nacional o en la búsqueda de herramientas de protección legal, a aquellos afloramientos que no pueden ser protegidos desde un punto de vista geológico propiamente tal, es que se sugiere que el término de geositio se acompañe del tipo de interés según corresponda (P.e. Geositio de interés científico, estético, turístico, etc). De esta forma, la SGCh podrá generar estrategias de identificación de acuerdo al interés que presenten los geositios. En la misma línea, la SGCh podrá promover la protección de determinados geositios de interés científico y trabajar en conjunto con otras disciplinas u organismos, en la gestión de los geositios que presenten gran importancia de uso distinto a éste (cultural, educativo, turístico, etc). A su vez, los paneles informativos podrán referirse como geositios a afloramientos de importancia para la comunidad, sin que representen un sitio de importancia científica a nivel nacional y destacar el tipo de interés por el cual han sido seleccionados.

Por su parte, los Miradores de Interés Geológico (MIG's) son una categoría preliminar que se debe considerar durante la proposición de sitios de interés geológico. Esto surge a raíz de comprobar que, tanto la definición de geositio, como la metodología utilizada para cuantificarlos, no aplican para este tipo de sitios de observación. Los MIG's constituyen importantes puntos de observación de los procesos geológicos que han formado el paisaje circundante, por lo que es indispensable que éstos sean considerados en un trabajo de patrimonio geológico. Se deben ubicar en lugares con excelentes panorámicas, generalmente de buena accesibilidad y con espacio suficiente para generar infraestructura relacionada con la difusión del patrimonio natural. En este sentido, se considera que presentan una excelente herramienta, para enseñar a un amplio rango de visitantes y de manera didáctica, los procesos naturales que han ocurrido en un lugar.

7.1.2. Metodología y resultados

Dentro de las características favorables de la metodología propuesta para inventariar y cuantificar, el patrimonio geológico y la geodiversidad, es que puede ser aplicada a diferentes condiciones geológicas y geomorfológicas, escalas de trabajo y bajo diversos contextos legales (parques, geoparques, áreas sin protección, etc). Es de fácil aplicación y los parámetros previamente definidos, establecen rangos claros para separar de acuerdo a los criterios propuestos. Permite asignar a partir de fórmulas numéricas, un valor a cada

geositio reconocido, aunque obviamente, algunos indicadores deben ser adaptados a las condiciones particulares del estudio.

El resultado final requiere un análisis detallado y crítico, donde es posible que el investigador concluya que algún geositio excluido, sea incluido dentro del inventario, por razones que la metodología no sea capaz de considerar. Este tipo de consideraciones deben ser analizadas y explicadas, de manera de presentar un resultado que se adecúe al área de estudio y objetivos del proyecto. Es esencial además una reflexión final de los resultados obtenidos. La subjetividad inherente a un inventario y cuantificación, nunca puede ser totalmente eliminada. Incluso si obtenemos un resultado final en la cuantificación, no significa que ese valor sea algo absoluto. Como plantea Brilha (2016), se debe considerar que un inventario es siempre dinámico, por lo que necesita estar en constante revisión. Existen geositios en Inglaterra, que aunque ya no tienen gran relevancia científica, son protegidos porque han sido lugares claves para entender la evolución de la tierra



Figura 7.1 Esquema conceptual de geodiversidad, geopatrimonio y geoconservación. Elaboración propia.

Los resultados de la cuantificación realizada, muestran que en la zona de estudio existen 24 geositos incluidos en el inventario final, de los cuales uno de ellos, Piedra del Indio (G21), ha sido incorporado por Prioridad de Protección, debido a su alta vulnerabilidad.

En el caso de la categoría de uso Científico (C), 10 geositos obtienen la categoría “Alto”; Anticlinal Volcado Curamallín (G20), Centro Eruptivo Los Pangues (G12), Quebrada Sierra Velluda (G11), Cerro Mariposas (G34), La Cortina (26), Anticlinal Curamallín(G17), Cerro Campamento (G19), Centro Eruptivo Herradura (G15), Termas Los Peucos (G35), Saltos de Malalcura (G2). Estos afloramientos, son los mejores exponentes de los procesos geológicos que ocurren en la zona. Las rocas de la formación Curamallín, con su excelente estratificación y plegamiento, son bien representadas por los geositos G17, G19, G20, G26 y G34. Los intrusivos miocenos están representados por el geosito Saltos de Malalcura (G2), lugar donde se puede estudiar la petrología de estos afloramientos e intrusiones. Los procesos eruptivos posteriores han sido bien documentados en los geositos G11, G12 y G15. Finalmente, la actividad hidrogeológica termal actual es representada por el geosito G35. Evidencias de procesos glaciares también se pueden reconocer en los geositos G11 y G20. Los resultados son consistentes con la gran cantidad de referencias bibliográficas disponibles en esta zona, para los procesos que han afectado a las rocas de la Formación Curamallín y las volcánicas Cuaternarias.

En esta metodología existe un sesgo para el uso científico, ya que hay una subvaloración de aquellos geositos que no han sido identificados en algún estudio científico. En zonas poco estudiadas, como es el caso de la Reserva de la Biósfera NdCh-LL, es posible que ciertos afloramientos de gran interés para conocer la evolución geológica de la tierra, no hayan sido reconocidos, por lo que el valor de un geosito no depende de su grado de estudio y esto puede conducir a errores en la cuantificación.

Como ejercicio se han modificado las ponderaciones de la Tabla 5.1, para el uso Científico (C), considerando las condiciones propias del área de estudio. De esta manera, para obtener resultados más cercanos a la realidad de la zona, las ponderaciones serían las que se presentan en la Tabla 7.1. Con esta nueva ponderación, los geositos clasificados con el rango “Alto”, pasaron de 10 a 11. El Anticlinal Volcado Curamallín (G20), se mantiene como el sitio más importante de carácter científico, ya que su rareza, representatividad y condiciones de afloramiento lo sitúan como un geosito a destacar en un inventario nacional. En ese lugar se pueden observar fácilmente la diversidad de procesos que han

afectado a estas rocas, considerando además las excelentes condiciones de observación. El geosítio Pahoehoe Toes (G6) pasó del lugar 20 al 14, que previamente no había sido reconocido por algún estudio. En el parámetro de “Representatividad”, obtiene un bajo valor ya que si bien es un geosítio que puede explicar muy bien un determinado proceso volcánico, no es el mejor representante de este contexto geológico. Se debe considerar el análisis de este tipo de casos al momento de generar estrategias de gestión para afloramientos de gran valor geológico local o nacional, que no han sido incluidos en el inventario final.

Tabla 7.1 Propuesta metodología modificada para sitios de interés geológico científico.

Valor científico (C)	
Criterio	Ponderación (%)
Rareza	30
Representatividad	20
Grado de conocimiento científico	5
Localidad tipo	10
Diversidad de elementos geológicos	10
Estado de conservación	15
Condiciones de observación	10
Total	100

La cuantificación del uso Didáctico (D), ha generado un listado de 12 geosítios en la categoría “Alto”; Anticlinal Volcado Curamallín (G20), Valle glaciario relleno de lavas (G28), Salto Trubunleo (G3), Quebrada Sierra Velluda (G11), Centro Eruptivo Herradura (G15), Valle de la Luna (G27), Salto Las Chilcas-El Torbellino (G8), Saltos de Malalcura (G2), La Cortina (26), Centro Eruptivo Los Pangues (G12), Cerro Amarillo Avalancha (G9), Escalada Villa Peluca (G14). Todos estos geosítios, a excepción de los geosítios G11

y G12, es posible visitarlos a pocos metros del camino en vehículo. Además, las condiciones de observación y accesibilidad, permiten que estos afloramientos puedan ser visitados por grupos de estudiantes y/o grupos reducidos de personas que deseen observar, de manera clara, los procesos geológicos que los han formado.

La categoría de uso Turístico-Recreativo (TR), ha resultado con 12 geositios en la categoría “Alto”; Anticlinal Volcado Curamallín (G20), Saltos de Malalcura (G2), Salto Las Chilcas-El Torbellino (G8), Cerro El Toro (G23), La Cortina (26), Salto Trubunleo (G3), Escalada Villa Peluca (G14), Centro Eruptivo Herradura (G15), Laguna El Toro - Los Cóndores (G22), Valle glaciar relleno de lavas (G28), Salto El Blanquillo (G33) y Cerro Amarillo Avalancha (G9).

Los resultados son coherentes con la realidad actual de la zona. La mayor parte de estos afloramientos, ya son atractivos reconocidos por los visitantes y habitantes locales, sin considerar el grado de accesibilidad que estos presenten. Aun así, no es valorado el enorme atractivo turístico relacionado con el patrimonio geológico, dando luces del potencial turístico y didáctico que estos lugares puedan entregar. Actualmente, la belleza escénica es el principal atractivo que llama la atención de los viajeros. En el caso del Centro Eruptivo Herradura (G15), Anticlinal Volcado Curamallín (G20) y La Cortina (26), son geositios que no presentan un interés actual de carácter turístico, sin embargo, las condiciones de observación, didácticas y entorno paisajístico, sitúan a estos geositios en el rango “Alto”, por su gran potencial turístico, desde el punto de vista del geopatrimonio.

Los otros aspectos de relevancia en esta categoría corresponden a la “Asociación con Elementos Naturales” (parámetro 16, Tabla 5.1) y la “Asociación con Elementos Culturales” (parámetro 15, Tabla 5.1), que generan una importante diferencia en la valoración. Sin embargo, la carencia de referencias bibliográficas disponibles de las ciencias sociales, subvaloran este parámetro. Por lo que se recomienda realizar la cuantificación con profesionales de otras disciplinas.

Brilha (2016) observa que existen muchos inventarios que aplican los mismos criterios, independiente del valor de uso de los geositios inventariados. Por ejemplo, ciertos criterios, como la belleza escénica son irrelevantes para medir el valor de uso científico. Esta metodología considera de manera correcta estos principios. Sin embargo, la forma de generar el inventario final induce a grandes errores, ya que así como no se deben mezclar criterios para distintos usos, lo que ocurre al generar la suma de las tres categorías de uso

(científico, didáctico, turístico-recreativo), es que se opacan los valores de aquellos geositos que tienen mejores ponderaciones en uso comparativamente con otro. Debido a que existen diferentes criterios que se consideran para evaluar cada tipo de uso, la estimación cuantitativa debe ser realizada de manera separada. De hecho, hay distintas perspectivas que considerar, al estimar el valor de geositos, relacionadas con qué estrategia de gestión y geoconservación se pretende generar.

Se recomienda utilizar como referencia el ranking de geositos generado para cada categoría de uso de manera separada, en función de los distintos objetivos de uso y estrategias de conservación que se pretendan aplicar. Los resultados de un inventario cuantitativo, pueden ser usados solamente en términos comparativos con otro listado de geositos del área de estudio. Obviamente, sitios cuantificados con diferentes métodos no pueden ser comparados. El mapa de la Figura 7.2, representa los diversos geositos reconocidos en este estudio, donde el diagrama grafica las ponderaciones de los diversos usos que se proponen. De esta manera, es posible visualizar cual es el mejor potencial uso que se le puede dar a un determinado geosito.

7.1.3. Riesgo Degradación y Prioridad de Protección

Los cuatro geositos con mayor Riesgo de Degradación (RD) son; Peñón del Diablo (G5), Piedra del Indio (G21), Fuerte Ballenar (G24), Salto Trubunleo (G3). Actualmente todos estos lugares se encuentran bajo amenaza antrópica de baja escala, ya sea por uso turístico, rallados o basura. Los altos valores se explican por la cercanía a lugares poblados, buena accesibilidad y nula protección.

El caso del Fuerte Ballenar (G24) es un geosito que no tiene mayor interés geológico, sin embargo, ha sido citado en Thiele *et al.* (1998) como evidencia de la avalancha volcánica del Antuco I. Su importancia radica en el aspecto histórico, pero debido a que está prohibido el acceso a este geosito, no tiene relevancia en el inventario.

Peñón del diablo (G5) es un sitio interesante desde el punto de vista científico, que si tuviera las condiciones adecuadas de observación, podría tener un importante valor en el ranking geoturístico. En este afloramiento es posible estar en contacto con rocas de la avalancha volcánica, a diferencia del geosito Cerro amarillo avalancha (G9), además de observarse los depósitos de oleadas piroclásticas que le siguieron y las primeras lavas del Antuco I.

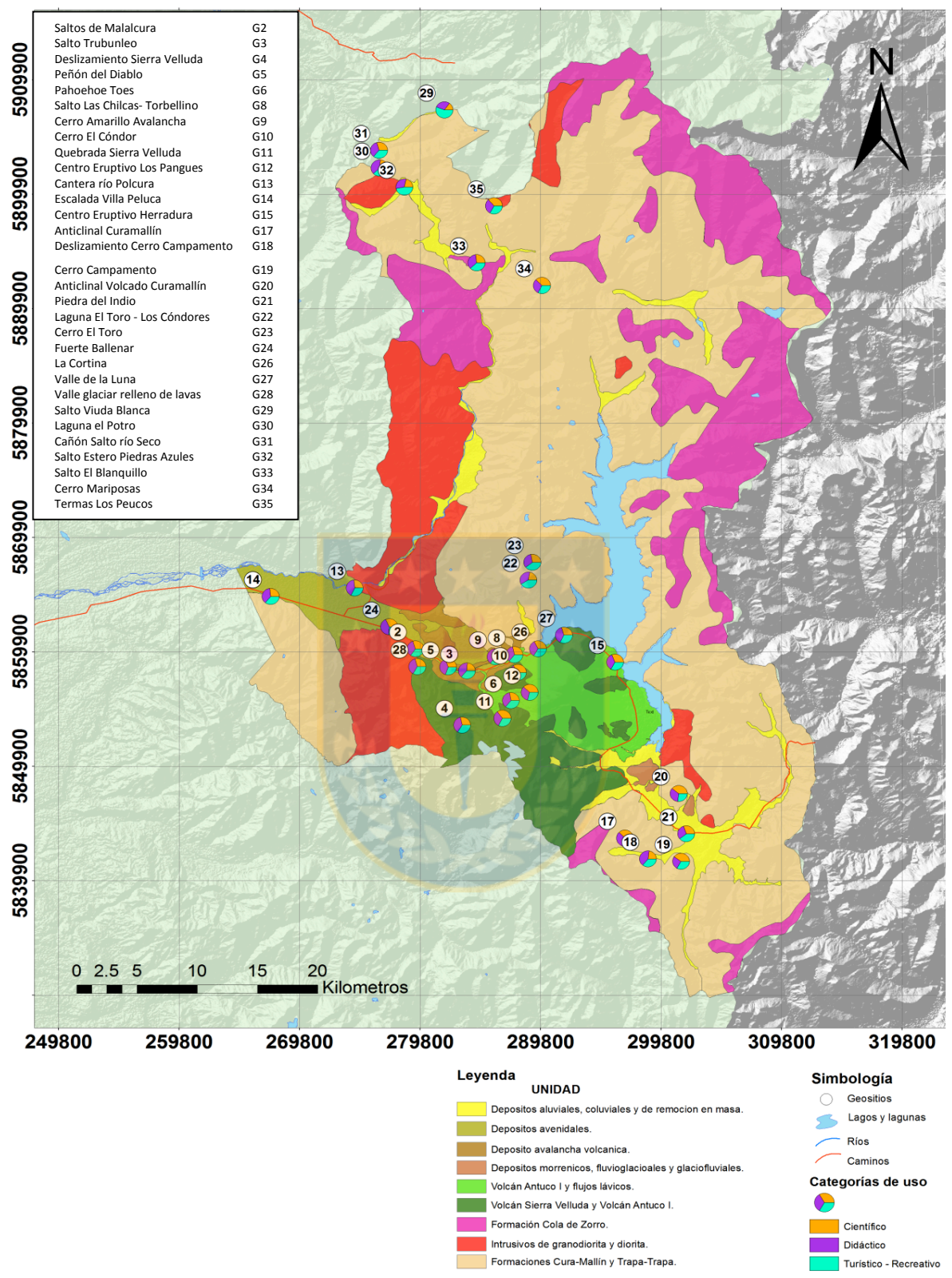


Figura 7.2 Mapa con diagrama de cuantificación geositos. Distribución de geositos y diagrama de cuantificación según categoría de uso.

El Salto Trubunleo (G3), es un atractivo turístico que corresponde a una caída de agua de unos 20 metros aproximadamente, que fluyen por lavas de disyunción columnar, que constituyen las primeras coladas de Antuco I. Lamentablemente, este geositio se encuentra altamente vulnerable por la acción antrópica; por una parte, la empresa hidroeléctrica ENEL desvía gran parte del caudal del estero Trubunleo previo a la caída de agua y por otra, presenta evidentes condiciones de deterioro, debido a los rallados y basura de los visitantes. Este afloramiento, presenta grandes potencialidades en usos como el científico, didáctico y turístico-recreativo, debido a sus excelentes condiciones de accesibilidad, sitios para implementación de infraestructura y calidad paisajística. Además, es un sitio donde se pueden observar bastantes elementos claves que han marcado la evolución geológica del valle superior del río Laja.

En el caso de la Prioridad de Protección, en general se mantienen los geositios con Riesgo de Degradación “Alto”. El geositio Piedra del Indio (G21), ha sido incorporado al inventario final, ya que presenta un valor “Alto” en el ranking de Prioridad de Protección. Se recomienda generar estrategias de gestión y protección en el corto plazo, para los sitios Peñon del Diablo (G5), Piedra del Indio (G21), Salto Trubunleo (G3), Saltos de Malalcura (G2), Escalada Villa Peluca (G14), La Cortina (G26) y Anticlinal Volcado Curamallín (G20). Con este último, es importante buscar alternativas de protección, debido a la presencia de material de fácil degradación, como su contenido mineralógico o fosilífero, esto sumado a la potencial instalación de proyectos eólicos en la zona. Además, es un sitio de interés por parte de la comunidad geológica nacional e internacional, que ha sido reconocido en el catastro nacional de geositios por la SGCh, gracias a la presente investigación.

La accesibilidad a los geositios, puede resultar una limitante desde el punto de vista de su difusión, sin embargo, también se convierte en un filtro que ayuda a su conservación. Este parámetro es bien considerado en la metodología, al incluir factores como la cercanía a centros poblados, distancia caminando u otro.

7.1.4. Pérdida del Patrimonio Geológico en la Reserva

Existen numerosas investigaciones que afirman que la instalación de proyectos industriales, generan una pérdida en el patrimonio natural del lugar. Esto sin considerar, las alteraciones en las dinámicas ecosistémicas, condiciones sociales u otros (Dudgeon, 2000; Namuncura,

1999). Donoso (2017), constató que la metodología utilizada, le permitía cuantificar el impacto que producirían al patrimonio geológico, los potenciales proyectos hidroeléctricos en el río Ñuble. En ese caso, los geositos La Punilla (GD6), Puente Inglés (GD7), Laguna Chacayal (GD10) y Junta Del Gato (GD11), fueron los que obtuvieron una Prioridad de Protección a corto plazo. Coincidentemente, estos sitios se encuentran dentro del área de inundación del proyecto hidroeléctrico Punilla, amenazando con la destrucción de este invaluable patrimonio natural.

Para esta autora, la evidencia más clara en San Fabián de Alico, sobre la pérdida de patrimonio geológico, fue la destrucción del geosito El Caracol. Este lugar con alto potencial geocientífico y geoturístico, fue destruido por la construcción de la bocatoma del proyecto HidroÑuble. Este geosito no fue visibilizado ni considerado previamente, dado que el patrimonio geológico no es un aspecto que se evalúe en un Estudio de Impacto Ambiental (EIA). La industria hidroeléctrica ha generado grandes impactos en la región del Biobío, incluso desde el punto de vista del geopatrimonio. Varela (1988), describe una datación C^{14} en el antiguo Salto El Abanico, realizada por MacPhail (1966), que arrojó una edad de 15.000 ± 500 años. Este autor indica que estos depósitos laháricos corresponden a Antuco I. La construcción de la central Abanico (136 MW) en el año 1948, destruyó este posible sitio de interés geológico. Considerando la accesibilidad, interés científico, ubicación, potencial turístico y belleza escénica, este afloramiento podría actualmente estar ocupando una de las mejores ponderaciones en la cuantificación de esta investigación (Figura 7.3).

La posibilidad de cuantificar la importancia de un determinado geosito, entrega herramientas concretas para contrapesar la instalación de estos proyectos industriales. Como se puede observar, el desarrollo de este tipo de proyectos, contrasta en oposición con los objetivos de sustentabilidad y desarrollo humano, planteados en las reservas reconocidas por UNESCO. Una comunidad que tiene las herramientas y autonomía para su desarrollo, no va a permitir la destrucción del invaluable patrimonio natural que posee por la implementación de proyectos con fecha de caducidad.



Figura 7.3 Salto Abanico años '30. Fotografía: Harry Benöhr.

7.1.5. Inventario geológico Reserva de la Biósfera Nevados de Chillán – Laguna del Laja

Entre los años 2014 y 2018, el Departamento de Geología de la Universidad de Concepción, a través del profesor Andrés Tassara Oddo, ha desarrollado tres investigaciones vinculadas al reconocimiento y cuantificación del patrimonio geológico de la Reserva de la Biósfera Corredor Biológico NdCh - LL. Rivera (2014), caracterizó el patrimonio geológico del Complejo Volcánico Nevados de Chillán y Las Trancas. Donoso (2017), sigue la línea de investigación en el área de San Fabián de Alico, al norte de la Reserva. Finalmente, el año 2017, la actual investigación, caracteriza el patrimonio geológico de la Comuna de Antuco y Pinto, que incluye la Reserva Ñuble y el Parque Nacional Laguna del Laja.

Se ha utilizado la misma metodología que las investigaciones de Rivera (2014) y Donoso (2017), de manera de poder comparar los resultados de los inventarios generados por sus investigaciones y así proponer un listado de sitios de interés geológico reconocidos dentro de la reserva, para facilitar su gestión. En la Figura 7.4, se puede observar la totalidad de los sitios de interés geológico reconocidos dentro de la reserva. Notar la distribución equitativa, en términos porcentuales, de los inventarios dentro del Corredor Biológico. La mayor concentración de geositos en la zona sur, se debe a la gran cantidad de sitios que han sido identificados en la presente investigación.

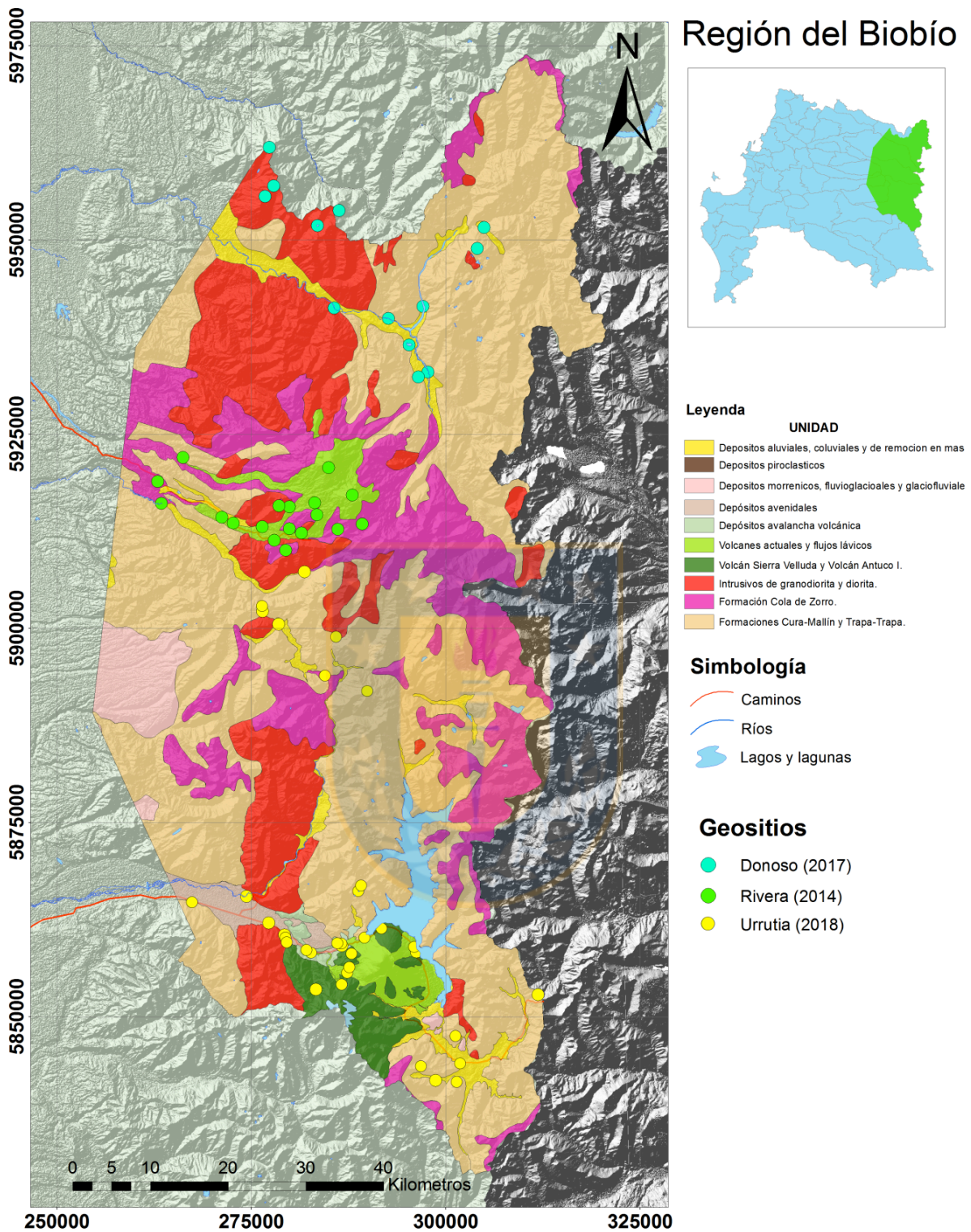


Figura 7.4 Mapa geológico con geositios reconocidos en la reserva. Escala 1:150.000

Debido a que los resultados de la cuantificación, de los distintos inventarios generados se comportan de distinta forma, se realizó una normalización de los datos. Este

comportamiento diferente puede ocurrir durante la aplicación de la metodología por parte de los observadores y/o por condiciones particulares de la zona de estudio, que se reflejan en la ponderación de ciertos parámetros. Por ejemplo: “Cercanía a centros poblados”, “Accesibilidad vial”, “Uso actual”, “Situación Legal”, entre otros. Estos parámetros dependen del desarrollo turístico, valoración del patrimonio natural y condiciones de acceso a los geositos. Debido a que los parámetros se asocian con el uso que se asigna al geosito, éstos pueden variar dependiendo de la gestión que se realice, por lo que también se puede modificar su lugar en el ranking. Para realizar la normalización, se consideraron los resultados de la cuantificación de los potenciales geositos de Rivera (2014) y Donoso (2017). Los parámetros asociados al carácter científico como “Rareza”, “Representatividad”, “Grado de conocimiento científico”, “Localidad tipo”; varían según el área que se considera. Para la presente cuantificación no han sido modificados, ya que el autor no conoce en profundidad las condiciones geológicas de las otras áreas de estudio. Primero se normalizó promediando el promedio de los resultados asociados a cada categoría de uso (científico, didáctico y turístico-recreativo), para luego utilizar la ecuación 6.1.

$$[6.1] \alpha u = (V_u * X_t) / X$$

Donde;

αu : Valor de uso normalizado

V_u : Valor ponderado original de uso

X_t : Promedio del promedio de la categoría de uso para las investigaciones de la reserva

X : Promedio de la categoría de uso en ranking local del geosito

Posteriormente, para obtener valores que sean comparables en términos porcentuales, los resultados fueron normalizados con valor máximo 100.

$$[6.2] \alpha' = (\alpha u * 100) / \alpha_{\text{máx}}$$

Donde;

α' : Valor de uso normalizado a 100

αu : Valor de uso normalizado

$\alpha_{\text{máx}}$: Valor de uso máximo normalizado

En total, han sido reconocidos 64 geositos dentro de la Reserva de la Biósfera; 13 corresponden a Donoso (2017), 20 a Rivera (2014) y 31 a la presente investigación. El Mirador Las Trancas, cuantificado como geosito en Rivera (2014), ha sido reclasificado a la categoría MIG, por lo que no se incluye en la cuantificación. Tal como se describió en el capítulo 5.3, el inventario se generó en base a la suma de las tres categorías de uso, donde los umbrales “Alto”, “Medio” y “Bajo”, fueron calculados mediante la ecuación 5.1. Como se observa en la Figura 7.5, 18 de los geositos han sido clasificados con el rango “Alto” dentro de la reserva, en la suma de las tres categorías de uso. Este resultado tiene coherencia con el reconocimiento turístico y paisajístico que tienen estos lugares en las distintas áreas de la reserva. Notar que los geositos asignados al rango “Alto”, representan los distintos contextos geológicos que afloran, así como los principales ambientes actuales formadores de paisajes, como lo son los ambientes fluviales, glaciares y volcánicos.

Los códigos atribuidos a cada geosito se han reasignado para que el usuario sea capaz de reconocer el área de estudio al cual pertenecen. Se le agrega la inicial del investigador que ha reconocido el geosito (P.ej. “GR1” es un geosito reconocido por Rivera, 2014). En el Anexo V, se pueden observar los resultados de la cuantificación para cada categoría de uso (científico, didáctico y turístico/recreativo), riesgo de degradación y las coordenadas UTM de cada geosito.

7.1.6. Evaluación del riesgo de degradación y prioridad de protección en la Reserva

De la misma manera que en el capítulo 6.3.2., se han utilizado las ecuaciones 5.2, 5.3 y 5.4 para obtener los valores de Prioridad de Protección, en las tres categorías de uso evaluadas para los 64 geositos reconocidos dentro del Corredor Biológico.

Finalmente, se definieron los umbrales utilizando la ecuación 5.1. Las constantes utilizadas para definir los umbrales de “Corto Plazo”, “Mediano Plazo” y “Largo Plazo” son las siguientes:

$$K (\text{Corto Plazo} - \text{Mediano Plazo}) = 1$$

$$K (\text{Mediano Plazo} - \text{Largo Plazo}) = 0,6$$

$$K (\text{Largo Plazo} - \text{Bajo Plazo}) = 0,25$$

La constante K, ha sido definida arbitrariamente de manera de establecer una distribución relativamente homogénea entre los distintos plazos de protección. En la Tabla 7.2, es posible observar que los sitios con prioridad de protección al “Corto Plazo” corresponden,

en su mayoría, a lugares que se encuentran en lugares de fácil acceso, ya sea por su cercanía a lugares poblados, a caminos de tránsito vehicular o la facilidad de acceso a cualquier tipo de público.

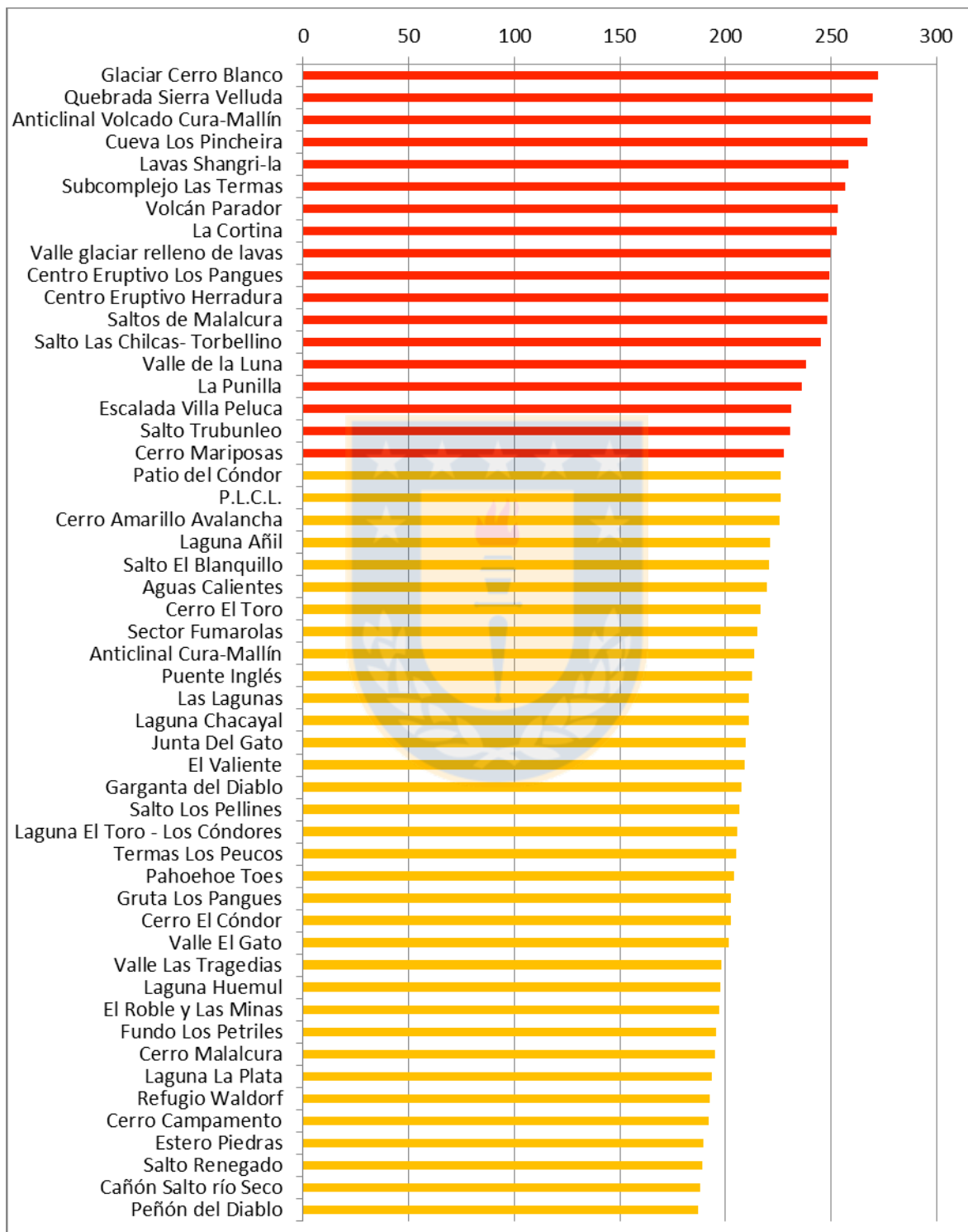


Figura 7.5 Gráfico geositios dentro de la reserva. Considera valores “Alto” y “Medio” para la suma de las tres categorías de uso.

La mayoría de ellos, ya habían sido incluidos en los listados de Prioridad de Protección de las respectivas investigaciones, destacando los geositos Punilla, Cueva Los Pincheira, Peñón del Diablo y Salto Trubunleo, cada uno amenazado por diversas causas. El geosito La Punilla, se encuentra actualmente amenazado por la instalación de un embalse hidroeléctrico de nombre homónimo en ese lugar. El geosito Cueva Los Pincheira, es principalmente vulnerable debido a la gran afluencia de turistas que recibe este destino durante todo el año. En el caso de los geositos Peñón del Diablo y Salto Trubunleo, se encuentran a orilla de carretera, vulnerables frente a los futuros proyectos de pavimentación de la ruta Q-45 y actualmente, sufren deterioro constante por procesos naturales y antrópicos. Cabe destacar que el caso del Salto Trubunleo es particular, ya que es afectado por la intervención del cauce Trubunleo por parte de ENEL, antes de la caída de agua, junto con los rayados y basura de turistas.

7.2. Geología y sociedad

Diversos estudios enfocados en la cuantificación de sitios de interés geológico, buscan de manera mecánica entregar un valor numérico a éstos, para así justificar una estrategia para conservar determinado geosito. Sin embargo, la búsqueda incansable por sitios a conservar nos lleva a una paradoja que ya ha ocurrido con la biodiversidad; es realmente efectivo generar “ghettos” de la naturaleza, entendiéndolos como espacios naturales reducidos a una delimitación geográfica arbitraria, sin considerar su implicancia en complejos ecosistemas y en las comunidades aledañas. Además, estas estrategias no consideran lo fundamental; el valor intrínseco de estos elementos para la vida misma en la Tierra y las relaciones que generamos hacia ella.

Un concepto interesante para estudiar, desde el punto de vista de la geoconservación, es el Itrofil Mogen. En el idioma castellano, se puede definir “itro” como “composición de muchas vidas que comparten simultáneamente el mismo espacio”, que se podría traducir como multiversidad. “Fill” por su parte, quiere decir que todos tienen vida propia, pero que interactúan entre sí y son interdependientes, se podría traducir como pluriversidad. Por tanto, son millones de pequeñísimas vidas manteniendo toda la vida, que en suma es una sola gran vida.

Tabla 7.2 Estadísticos y umbrales obtenidos para el análisis de la Prioridad de Protección (PP) en la reserva, según cada categoría de uso y los resultados para los geositos con necesidad de protección a “Corto Plazo”.

Categoría Científico		Categoría Didáctico		Categoría Turístico-Recreativo	
Promedio	90	Promedio	119	Promedio	123
Desviación standard	25	Desviación standard	27	Desviación standard	22
Corto Plazo	115	Corto Plazo	146	Corto Plazo	145
Mediano Plazo	105	Mediano Plazo	135	Mediano Plazo	136
Largo Plazo	96	Largo Plazo	126	Largo Plazo	128
Geosito	PP-C	Geosito	PP-D	Geosito	PP-T-R
Cueva Los Pincheira	140	Peñón del Diablo	176	Salto Trubunleo	170
Peñón del Diablo	135	Salto Trubunleo	172	Peñón del Diablo	167
Piedra del Indio	127	Fundo Los Petriles	167	Saltos de Malalcura	161
Sector Fumarolas	127	Valle glaciario relleno de lavas	158	Escalada Villa Peluca	159
Anticlinal Volcado Curamallín	124	La Punilla	158	La Punilla	158
La Cortina	124	Escalada Villa Peluca	155	La Cortina	158
La Punilla	122	Saltos de Malalcura	155	Fundo Los Petriles	155
Glaciar Cerro Blanco	121	Puente Inglés	154	Puente Inglés	153
Junta Del Gato	119	La Cortina	154	Piedra del Indio	153
Saltos de Malalcura	119	Valle de la Luna	152	Valle glaciario relleno de lavas	152
P.L.C.L.	119	Salto Renegado	150	Gruta Los Pangués	151
Salto Trubunleo	117	Junta Del Gato	147	Cueva Los Pincheira	147

Para ejemplificar, nuestros cuerpos físicos se componen por muchas vidas (y la misma ciencia occidental así lo confirma, somos verdaderos cúmulos de bacterias), cada una de ellas en función de las otras, que nos permiten sentir, pensar, hacer y mantener la pervivencia del Ser. Esta afirmación de la multiversidad y pluriversidad se diferencia de la clásica idea de uni-verso y uni-versalidad, o única afirmación, única ideología, en donde se sobrepone el interés uniformista por sobre la diversidad en el ser humano. Por tanto, Itrofill mogen: todas las vidas, todos los que existen. Este concepto abarca el ciclo de transformación de la vida. A diferencia de otros tecnicismos que buscan proteger un elemento en particular, éste pone énfasis en las relaciones que se producen con y entre el todo, esencial si como disciplinas científicas, queremos generar iniciativas de conservación que tengan un impacto efectivo en nuestra sociedad.

“Sentado en las rodillas de mi abuela –monolingüe del mapudungún, el idioma de la Tierra– oí las primeras historias de árboles y piedras que dialogan entre sí, con los animales y con la gente. Nada más, me decía, hay que aprender a interpretar sus signos y a percibir sus sonidos que suelen esconderse en el viento. También con mi abuelo, jefe de la comunidad (bilingüe en mapudungún y castellano), compartimos muchas noches a la intemperie. Largos silencios, largos relatos que nos hablaban del origen de la gente nuestra, del Primer Espíritu mapuche arrojado desde el Azul. De las almas que colgaban en el infinito, como estrellas. Nos enseñaba los caminos del cielo, sus ríos, sus señales.

Cada primavera lo veía portando flores en sus orejas y en la solapa de su vestón o caminando descalzo sobre el rocío de la mañana. También lo recuerdo cabalgando bajo la lluvia torrencial de un invierno entre bosques enormes. Con mi madre y mi padre salíamos a buscar remedios y hongos; con ellos aprendí los nombres de las flores y de las plantas.

Los insectos cumplen su función. Nada está de más en este mundo. El universo es una dualidad, lo positivo no existe sin lo negativo. La Tierra no pertenece a la gente. Mapuche significa gente de la Tierra, me iban diciendo”.

Fragmento “Relato de mi sueño azul”.

Elicura-Chihuailaf.

Este conocimiento ancestral sobre los ecosistemas, nos demuestra la profunda comprensión que desarrollaron de los procesos naturales y su interdependencia. La presencia de estos

seres demuestra que para el pueblo mapuche, la naturaleza no es un agregado de recursos bajo potestad del ser humano; al contrario, sociedad y naturaleza portan espíritu y conforman un todo relacional. En consecuencia, en un mismo espacio conviven fuerzas visibles o materiales, con otras más sutiles y de apariencia diversa. Sin embargo, en el conocimiento científico occidental también han existido corrientes de pensadores que han entendido la tierra como una fuerza interdependiente y autoregulada. Desde poetas como William Wordsworth o Johann von Goethe, filósofos como Immanuel Kant o naturalistas como Alexander von Humboldt o Charles Darwin, entre otros, han generado una comprensión del mundo a partir de la contemplación de la naturaleza y la relación de conceptos de distintas disciplinas. Esto también les llevó a comprender el impacto que generaban las relaciones coloniales con la Tierra. El científico Alexander von Humboldt denunció la degradación de los suelos y el agua del lago Valencia en Venezuela, producto de las plantaciones coloniales del siglo XVIII y fue el primero en hablar del cambio climático producido por los humanos. Advirtió que los seres humanos estaban interfiriendo en el clima y eso podía tener unas “consecuencias imprevisibles para las futuras generaciones” (Wulf, 2016).

Los efectos de la acción antrópica industrial en las comunidades, ecosistemas y el clima global, son irrefutables. Por esta razón, han surgido desde diversos ámbitos sociales, organizaciones que alzan la voz por sus territorios. Desde la comunidad científica también han surgido advertencias con respecto al rumbo que sigue nuestra sociedad. Hace 25 años, la asociación norteamericana Union of Concerned Scientists y más de 1500 científicos independientes, incluyendo la mayoría de los Premios Nobel en Ciencias que vivían en 1992, escribieron “La advertencia de los científicos del mundo a la Humanidad”. Estos profesionales preocupados, reclamaron a la humanidad que se frenase la destrucción ambiental y avisaron que “sería necesario un gran cambio en nuestra forma de cuidar la Tierra y la vida sobre ella, si quería evitarse una enorme miseria humana”. En su manifiesto, mostraban que los seres humanos estaban en rumbo de colisión con el mundo natural. Expresaron preocupación acerca de daños actuales, inminentes y potenciales sobre el planeta Tierra por la destrucción de la capa de ozono, la disponibilidad de agua dulce, el colapso de la pesca marina, el incremento de zonas muertas en los océanos, la pérdida de masa forestal, la destrucción de biodiversidad, el cambio climático y el crecimiento continuado de la población. Proclamaron que cambios fundamentales eran urgentes y

necesarios para evitar las consecuencias que nuestro actual rumbo podrían acarrearlos. (Ripple *et al.*, 2017)

La rápida reducción mundial de las sustancias que destruían la capa de ozono, nos demuestra que podemos hacer cambios positivos cuando actuamos de manera decidida. También hemos hecho avances importantes para reducir la pobreza extrema y el hambre (www.worldbank.org). Otros progresos notables incluyen: rápida reducción de las tasas de fertilidad en muchas regiones mediante políticas educativas entre mujeres y jóvenes (www.un.org/esa/population), la prometedora reducción de la tasa de deforestación en algunas regiones y el rápido despliegue de energías renovables. Hemos aprendido mucho desde 1992, pero el progreso de los cambios necesarios y urgentes en políticas ambientales, comportamiento humano y reducción de las inequidades globales está, todavía, lejos de ser suficiente.

Para prevenir pérdidas catastróficas de biodiversidad y un deterioro generalizado de las condiciones de vida humana, la humanidad debe poner en práctica una forma de vida más sostenible ambientalmente que la actual. Pronto será demasiado tarde para cambiar el rumbo de la actual trayectoria que nos llevará al colapso como humanidad y nos estamos quedando sin tiempo. Debemos reconocer, en nuestras vidas diarias y en nuestras instituciones de gobierno, que la Tierra con toda su vida es nuestro único hogar (Ripple *et al.*, 2017). De esta manera, las ciencias de la Tierra, deben tener un rol clave en el entendimiento de los ecosistemas, pero también en su vinculación con la sociedad, invitando a la reflexión de nuestros estilos de vida.

8. CONCLUSIONES

Las estrategias de geoconservación, ponen de manifiesto ciertas problemáticas en los territorios, que es necesario gestionar para poder conseguir los objetivos propuestos. Una de ellas es el acceso a lugares con patrimonio geológico de interés para uso de la comunidad. En el caso de Antuco, existen ciertos valles en los cuales el acceso es denegado, ya sea por Colbún o predios forestales. Se debe buscar un acuerdo entre las empresas que operan en el sector y los intereses de la comuna y sus habitantes.

En total, han sido reconocidos 64 geositos dentro de la Reserva de la Biósfera; 13 corresponden a Donoso (2017), 20 a Rivera (2014) y 31 a la presente investigación, representando los distintos contextos geológicos reconocidos en ella. Además, las investigaciones han generado sus respectivos mapas geológicos, que se relacionan con la evolución de los distintos geositos reconocidos. Han sido propuestas 17 georutas, las cuales permiten reconocer la evolución geológica de la zona, recorriendo los geositos inventariados, incluyendo aquellos no considerados en el inventario final. De esta manera, los operadores turísticos pueden ofrecer rutas de trekking, cabalgatas u otros servicios, incluyendo en el relato un contenido geológico, que le entrega un valor agregado a sus servicios. También se han propuesto 6 miradores de interés geológico, incluido el de Rivera (2014), los cuales consideran la importancia de proponer sitios de interés geológico, que permitan comprender la evolución de la tierra, a través de la observación de los distintos componentes geomorfológicos que afloran en un lugar.

Los resultados de estas investigaciones sugieren que se debe realizar un estudio técnico para normalizar la información generada, junto con cubrir el territorio aún inexplorado. Un estudio concreto que se combine con actividades educativas en los colegios, permitirá despertar el interés por los jóvenes en esta área del turismo, para generar instancias laborales que les permitan mantenerse en su zona. Como material inmediato, con las investigaciones realizadas es posible generar paralelamente al estudio técnico, capacitaciones para operadores y personal de áreas silvestres protegidas sobre la evolución geológica del sector. De esta manera, se generan las bases para desarrollar nuevos

productos geoturísticos en la reserva de la biósfera, a partir de la innovación de productos turísticos asociados a entornos naturales, donde existen elementos relevantes de la geodiversidad.

El potencial geológico de carácter científico, turístico y educativo, tiene la capacidad de proyectar la reserva como un destino geológico de nivel internacional. Dentro de ella se encuentran la Reserva Nacional Ñuble, el Parque Nacional Laguna del Laja, Volcán Antuco, Sierra Velluda, Complejo Volcánico Nevados de Chillán, Laguna de la Plata, Cerro Malalcura, Río Diguillín, Polcura, Ñuble, Laja, entre otros, como los principales atractivos turísticos y geológicos. Sin embargo, la gran mayoría de los atractivos geológicos en el sector no se encuentran valorizados, ni enmarcados dentro de alguna iniciativa de protección legal. El turismo se configura como uno de los principales motores económicos a nivel internacional, cobrando más fuerza en zonas aisladas, siendo estas áreas geográficas ricas en recursos culturales y naturales. En este sentido, la valoración del patrimonio geológico permite generar iniciativas de conservación y potenciar nuevas formas de educación y trabajo, que fomenten el cuidado con el medio natural. El geopatrimonio utiliza patrimonio existente, por lo que no es necesaria gran implementación de infraestructura, de la cual se puede beneficiar la comunidad, además como suele encontrarse en zonas rurales, tiende a potenciar estos lugares aislados.

El principal trabajo para avanzar en la generación de estrategias de geoconservación y geoturismo, es el reconocimiento del patrimonio geológico de un área determinada. Las investigaciones realizadas dentro del Corredor Biológico NdCh-LL, dan cuenta del enorme valor geológico que presenta el sector y las potencialidades que éste presenta para generar programas geoturísticos y educativos. Azman *et al.* (2010), sugieren que mayores programas de concientización y diálogos, como workshops, organizados por autoridades públicas y académicas, ayudan notablemente a mejorar el entendimiento sobre el concepto de geoparque. La base para aumentar el conocimiento y la comprensión del patrimonio geológico radica en el desarrollo de programas de educación pública sólidos, prácticos y alcanzables, a través de equipos dedicados a ello. Es clave conocer las necesidades de la comunidad, lo que garantiza mayor efectividad en los programas educativos y recursos. El desafío es crear motivaciones que fomenten la conciencia y la convicción, en lugar de hacer que la gente haga algo para obtener beneficios a cambio (Burkey, 1993).

Levine *et al.* (2005) sugieren que la comprensión de la gente sobre el patrimonio crea un sentido de apego y pertenencia a un sentido común, y el conocimiento del patrimonio permite empoderar a la gente y las comunidades, estimulando un sentido de pertenencia y propiedad de la riqueza natural de la comunidad, esencial para asegurar la sustentabilidad. Los Geoparques se han convertido en figuras de ordenamiento territorial muy interesantes para ciertas áreas. Éstos requieren que el territorio tenga plan de desarrollo, que permita integrar la conservación del patrimonio geológico, junto con otros tipos de patrimonio natural, con la preservación de la identidad cultural de las comunidades. Basándose en la educación y el turismo, los geoparques generan herramientas de gestión autónoma, que permiten definir de manera comunitaria, los lineamientos para un desarrollo sostenible. Postular un territorio a la Red Global de Geoparques, serviría como plataforma de difusión e intercambio de experiencias, entre sus distintos miembros. En el caso del Corredor Biológico, optar a este distintivo puede ser difícil e innecesario, debido a que la UNESCO no prioriza entregar dobles reconocimientos a un mismo territorio. Por esta razón, se proponen las siguientes opciones:

- Generar estrategias de geoconservación y geoturismo dentro del territorio de la Reserva de la Biósfera.
- Establecer un Geoparque en el mismo territorio, sin plantearse que éste sea reconocido por la UNESCO en un principio. Es posible que sea reconocido a nivel nacional o latinoamericano, a través de GEACHILE o la Red Latinoamericana de Geoparques, respectivamente.
- Desarrollar un proyecto de Geoparque con límites distintos al de la reserva.

Considerando los resultados de esta investigación y el amplio valor geológico existente en Alto Biobío, además de atractivos naturales como la Laguna el Barco, Pirquinco o Liay; los volcanes Copahue y Callaqui; el impresionante río Biobío y su importancia para la cosmovisión mapuche; entre otros, es que se propone que sus habitantes, municipios e instituciones, trabajen en conjunto para generar un proyecto que considere las comunas de Yungay, Antuco, Santa Bárbara y Alto Biobío.

En este mundo en constante desarrollo, los geoparques no solucionarán los problemas de las comunidades. Sin embargo, proporcionan a las comunidades oportunidades de desarrollo autónomas, que en el proceso además, ayudarán a fomentar una visión más

interconectada del funcionamiento de nuestro planeta, promoviendo la conservación del patrimonio de manera sostenible.

9. REFERENCIAS

- Empresa Nacional de Electricidad S.A. (ENDESA). (1981). *Central Hidroeléctrica Antuco*. Santiago, Chile.
- Angermann, D., & Klotz, J. &. (1999). Space-geodetic estimation of the Nazca–South American Euler vector . *Earth and Planetary Sciences Letters*, v. 171, p. 329–334, doi: 10.1016/S0012-821X(99)00173-9.
- Aravena Bendeck, N. (2014). Geología y geopatrimonio del área de Cerro Castillo XI Región de Aysén, Chile. *Memoria para optar al Título de Geólogo (inédito)*, Universidad de Chile, Departamento de Geología. Disponible en <http://repositorio.uchile.cl/handle/2250/131545>.
- Azman, N., Halimb, S. A., Liu, O. P., Saidin, S., & Komoo, I. (2010). Educación pública en conservación del patrimonio para una comunidad de Geoparque. *Elsevier Ltd., Procedia Social and Behavioral Sciences* 7(C) 504–511.
- Benado, J. (2013). Patrimonio geológico del proyecto Geoparque Cajón del Maipo (Región Metropolitana -Chile). *Tesis de magister, Universidade do Minho, Portugal*. Disponible en <http://hdl.handle.net/1822/27649>.
- Brilha, J. (2005). Patrimonio Geológico y Geoconservación: la conservación de la naturaleza en su vertiente geológica.
- Brilha, J. (2016). Inventory and quantitative assessment of geosites and geodiversity sites: a review. *Geoheritage*, 1-16.
- Burkey, S. (1993). *People first: A guide to self-reliant participatory rural development*. London & New York: Zed Books.
- Carcavilla, L., J., L.-M., & Durán, J. (2007). Patrimonio geológico y geodiversidad: investigación, conservación, gestión y relación con los espacios naturales protegidos. *Instituto Geológico y Minero de España, Serie Cuadernos del Museo Geominero, n° 7, Madrid, 360 p.*
- Carpinelli, A. (2000). *Análisis estratigráfico, paleoambiental, estructural y modelo tectono-estratigráfico de la Cuenca Cura-Mallín VIII y IX Región, Chile. Provincia del Neuquén, Argentina*. Memoria de Título, Universidad de Concepción, Chile.

- Ceballos, Z., Alarcón, A., Jelves, I., Ovalle, P., Conejeros, A., & Verdugo, V. (2012). Espacios ecológico-culturales en un territorio mapuche de la región de la Araucanía en Chile. *Chungara, Revista de Antropología Chilena*, Volumen 44, N° 2. Páginas 313-323.
- Charrier, R., Flynn, J., Wyss, A., & Croft, D. (2015). Marco geológico-tectónico, contenido fosilífero y cronología de los yacimientos cenozoicos prepleistocénicos de mamíferos terrestres fósiles de Chile. *Publicación Ocasional del Museo Nacional de Historia Natural, Chile*, 63: 293-338.
- Chen, a. Lu, Y. & Ng, C. (2015). The principles of geotourism. Springer Berlin Heidelberg.
- Corporación Nacional Forestal (CONAF). (1993). *Plan de Manejo Parque Nacional Laguna del Laja*. Región del Biobío, Chile.
- Corporación Nacional Forestal (CONAF). (1997). *Plan de manejo Reserva Forestal Ñuble*. Región del Biobío, Chile.
- Delpino, D., & Deza, M. (1995). Mapa geológico y de recursos minerales de la Provincia de Neuquén. *Buenos Aires, Secretaría de Minería, Servicio Geológico Neuquino, Argentina, escala 1:500,000*.
- Dong, H., Song, Y., Chen, T., Zhao, J., & Yu, L. (2013). Geoconservación y geoturismo en el Parque Nacional Luochuan Loess, China. *Quaternary International*, <http://dx.doi.org/10.1016/j.quaint.2013.10.023>, 1-12.
- Donoso, G., Jouravlev, A., Peña, H., & Zegarra, E. (2004). *Mercados (de derechos) de agua: Experiencias y propuestas en América del Sur*. Naciones Unidas, Santiago de Chile: CEPAL - SERIE Recursos Naturales e Infraestructura.
- Donoso, L. (2017). Geología, Geomorfología y Caracterización del Patrimonio Geológico entorno a la Cuenca del Río Ñuble, Región del Biobío, Chile. *Memoria para optar al Título de Geóloga*.
- Dourojeanni, A., & Jouravlev, A. (1999). *El Código de Aguas de Chile: entre la ideología y la realidad*. Naciones Unidas, Santiago de Chile: CEPAL - SERIE Recursos Naturales e Infraestructura.
- Drake, R. E. (1976). Chronology of Cenozoic igneous and tectonic events in the central Chilean Andes, latitudes 35°30'S to 36°S. *Journal of Volcanology and Geothermal Research. Volumen 1. P. 265-284*.
- Dudgeon, D. (2000). Large-Scale Hydrological Changes in Tropical Asia: Prospects for Riverine Biodiversity: The construction of large dams will have an impact on the biodiversity of tropical Asian rivers and their associated wetlands. *BioScience*,

- Erfurt-Cooper, P., Sigurdsson, H., & Lopes, R. M. (2015). The Encyclopedia of Volcanoes Volcanoes and tourism.
- Flynn, J., Charrier, R., Croft, D., Gans, P., & Herriott, T. (2008). Chronologic implications of new Miocene mammals from the Cura-Mallín and Trapa-Trapa formations, Laguna del Laja area, south central Chile. *Journal of South American Earth Sciences* 26: 412-423.
- Gajardo, M. (1983). Sistema Básico de Clasificación de la Vegetación Nativa Chilena. *CONAF - Universidad de Chile*.
- García-Cortés, A., Rábano, I., Locutura, J., Fernández-Gianotti, J., Martín-Serrano, A., Quesada, C., y otros. (2000). Contextos geológicos españoles de relevancia internacional: establecimiento, descripción y justificación según la metodología del proyecto Global Geosites de la IUGS. *Boletín Geológico y Minero* 111(6): 5-38.
- García-Cortés, A., Rábano, I., Locutura, J., Bellido, F., Fernández-Gianotti, J., A., M., y otros. (2001). First spanish contribution to the Geosites Project: list of the geological frameworks established by consensus: . *Episodes*, v. 24, no. 2, pp. 79-92.
- García-Cortés, A., & Carcavilla, L. (2009). Documento metodológico para la elaboración del inventario español de lugares de interés geológico (IELIG). *version 12. Instituto Geológico y Minero de España, Madrid, p 61*.
- Giambiagi, L., Ramos, V., Godoy, E., & Alvarez, P. &. (2003). Cenozoic deformation and tectonic style of the Andes, between 33° and 34° south latitude. *Tectonics*, v. 22, p. 1041–1059, doi: 10.1029/2001TC001354.
- González, L. N., González, A., & Mardones, M. (2003). Evaluación de la vulnerabilidad natural del acuífero freático en la cuenca del río Laja, centro-sur de Chile. *Andean Geology*, 30 (1), 3-22. (: [Fecha de consulta: 29 de marzo de 2018] Disponible en:<<http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=173918529001>> ISSN 0718-7092).
- González, O., & Vergara, M. (1962). Reconocimiento geológico de la Cordillera de Los Andes entre los paralelos 35° y 38° S. *Universidad de Chile, Instituto de Geología, Publicación No. 24, 119 p*.
- Hervé, F., Munizaga, F., Parada, M., Brook, M., Pankhurst, R., Snelling, N., y otros. (1988). Granitoids of the Coast Range of central Chile: Geochronology and geologic setting. *Journal of South American Earth Sciences*, v. 1, p. 185–194, doi: 10.1016/0895-9811(88)90036-3.

- Hervé, F., Schilling, M., Calderon, M., & Solari, M. Y. (2012). La difícil tarea de identificar y proteger el patrimonio geológico de Chile. *Actas del XIII Congreso Geológico de Chile, T-10: Geopatrimonio*(Pp 896-890.).
- Instituto Geográfico Militar (IGM). (2001). *Climatología Regional*. Santiago, Chile.
- Instituto Nacional de Estadísticas (INE). (2005). *Plan nacional de recopilación estadística*. Santiago, Chile.
- Jordan, T., Burns, W., Veiga, R., Pángaro, F., Copeland, P., Kelley, S., y otros. (2001). Extension and basin formation in the Southern Andes caused by increased convergence rate: Amid-Cenozoic trigger for the Andes. *Tectonics*, v. 20, p. 308–324, doi: 10.1029/1999TC001181.
- Komoo, I. (2000). Conservation Geology: a multidisciplinary approach in utilization of earth resources without destruction. In Ibrahim Komoo & Tija H.D. (eds) *Geological Heritage of Malaysia – Resource Development for Conservation and Nature Tourism*. Bangi: LESTARI UKM Publication.
- Levine, M. A., Britt, K. M., & Delle, J. A. (2005). Heritage tourism and community outreach: Public archaeology at the Thaddeus Stevens and Lydia Hamilton Smith Site in Lancaster, Pennsylvania USA. *International Journal of Heritage Studies* 11 no. 5: 399-414.
- Lohmar, S. (2000). *Estratigrafía y geoquímica del volcán Antuco y sus depósitos (Andes del Sur, 37°,25'S)*. Concepción, Chile: Universidad de Concepción. Memoria de Título.
- Lopez-Escobar, L., Vergara, M., & Frey, F. (1981). Petrology and geochemistry of lavas from Antuco volcano, a basaltic volcano of the Southern Andes (37° 25'S). *Original Research Article Journal of Volcanology and Geothermal Research, Volume 11, Issues 2–4, Pages 329-331,335-35*.
- Lüth, S. &. (2003). A crustal model along 39°S from a seismic refraction profile. *Revista Geológica de Chile* , v. 30, p. 83–101.
- Mardones, M., & Vargas, J. (2005). Efectos hidrológicos de los usos eléctrico y agrícola en la cuenca del río Laja (Chile centro-sur). *Revista de Geografía Norte Grande*, 33, 89-102.
- Mardones, R. (2012). Valoración de Potenciales Geositios en el Campo Volcánico Pali Aike, XII Región de Magallanes y de la Antártica Chilena, Chile. *Memoria para optar al Título de Geólogo (inédito)*, Departamento de Geología. Universidad de Chile.

- Martínez, P. (2010). Identificación, caracterización y cuantificación de Geositios, para la creación del I Geoparque en Chile, en torno al Parque Nacional Conguillío. *Memoria para optar al Título de Geólogo (inédito)*, Universidad de Chile, Departamento de Geología. Disponible en: <http://www.repositorio.uchile.cl/handle/2250/103845>.
- Martínez, T. (2017). *Valoración de la geodiversidad en la comuna de puerto varas: nuevas perspectivas para el desarrollo local*. Memoria de Título. Universidad de Chile. Departamento de Geología. 193 p.
- Melnick, D., Charlet, F., Echtler, H., & De Batist, M. (2006). Incipient axial collapse of the Main Cordillera and strain partitioning gradient between the central and Patagonian Andes, Lago Laja, Chile. *Tectonics*, Vol. 25, Tc5004, Doi:10.1029/2005Tc001918.
- Melnick, D., Rosenau, M., Folguera, A., & Echtler, H. (2006). *Evolución tectónica neógena del flanco oeste de los Andes de Neuquén (37-39°S)*. Geological Society of America Special Paper 407, p. 73–95, doi: 10.1130/2006.2407(04).
- Millarca, V. (2009). Meteoritos chilenos y su necesidad de protección y preservación como un nuevo tipo de geopatrimonio. XII Congreso Geológico Chileno: Santiago, Chile.
- Ministerio de Desarrollo Social. (2014). *Encuesta de Caracterización Socioeconómica Nacional (CASEN)*. Santiago, Chile.
- Ministerio de Desarrollo Social. (2015). *Encuesta de Caracterización Socioeconómica Nacional (CASEN)*. Santiago, Chile.
- Moreno, H., Lahsen, A., Varela, J., & Vergara, M. (1984). *Estudio Geológico del grupo volcánico Antuco-Sierra velluda*. Departamento de Geología y Geofísica. U. de Chile, para ENDESA, Contrato OICB-03.
- Moreno, H., Lohmar, S., López-Escobar, L., & Petit-Breuilh, M. E. (2000). Contribución a la evolución geológica, geoquímica e impacto ambiental del Volcán Antuco (Andes del Sur, 37°25'S). *IX Congreso Geológico Chileno. Volumen 2. P. 44-48. Puerto Varas, Chile*.
- Mourgues, F. A., Contreras, K., Schilling, M. E., Benado, J., & Partarrieu, D. (2016). Patrimonio geológico y su conservación en América Latina. Situación y perspectivas nacionales. En J. Palacio Prieto (Ed.), *Instituto de Geografía, Universidad Nacional Autónoma de México* (págs. p. 81-120). Coyoacán, México: Colección: Geografía para el siglo XXI. Serie: Libros de investigación, núm. 18.
- Mourgues, F. A., Schilling, M., & Castro, C. (2012). Propuesta de definición de los Contextos Geológicos Chilenos para la caracterización del patrimonio geológico nacional. (págs. Actas, pp. 887-889.). Antofagasta, Chile: Actas, pp. 887-889.

- Namuncura, D. (1999). *Ralco. ¿Represa o pobreza?* (338 p. ISBN: 9562821811 ed., Vol. ISBN: 9562821811). Santiago, Chile: LOM Ediciones.
- Newsome, D., & Dowling, R. (2010). *Geotourism: The tourism of geology and landscape. Goodfellow Publishers Ltd, Oxford. (hbk), ISBN: 978 1 906884 09 3, 246 pp.*
- Neymeyer, H., & Muñoz, J. (1983). *Hoja Laguna de la Laja, región del Bio Bio. Carta Geológica de Chile, escala 1:250.000.* Servicio Nacional de Geología y Minería.
- Niemeyer, H., & Muñoz, J. (1983). Hoja Laguna de la Laja. Región del Bío Bío. Escala 1:250.000. *Carta Geológica de Chile. N° 57. Servicio Nacional de Geología y Minería.*
- Partarrieu, D. (2013). Inventario de geositos en la comuna de Lonquimay, para la creación del Geoparque Kütralkura, IX Región de la Araucanía. *Memoria para optar al Título de Geólogo (inédito), Universidad de Chile, Departamento de Geología.*
- Pereira, D. (2010). Geoturismo y Geoparques en Portugal. *Ciencias Geológicas—Enseñanza e Investigación y su historia, 475-481.*
- Pereira, D. I., Pereira, P., Alves, M. I., & Brilha, J. B. (2006). Inventario temático del patrimonio geomorfológico portugués.
- Petit-Breuilh, M. E. (1994). Actividad volcánica y cronología eruptiva histórica del volcán Antuco (37°24'S-71°22'W), Chile. *Revista Geográfica de Chile Terra Australis. N° 39. P. 79-102. Instituto Geográfico Militar. Santiago de Chile.*
- Petit-Breuilh, M. E. (2000). Efecto de las erupciones históricas del Volcán Antuco en el valle del Río Laja (37°24'S - 71°22' W), Chile. *Informe de Geografía Histórica. Proyecto Fondecyt 198-0136. 34 p. Inédito.*
- Prosser, C., Brown, E., Larwood, J., & Bridgland, D. (2013). Geoconservación para la ciencia y la sociedad - Una agenda para el futuro. *Elsevier Ltd., 124(4) 561–567.*
- Radic, J., Rojas, L., Carpinelli, A., & Zurita, E. (2002). *Evolución tectónica de la cuenca Terciaria de Cura-Mallín región Cordillerana Chileno Argentina (36°30'–39°00'S):. XIV Congreso Geológico Argentino:.*
- Ramírez, G. (2012). Contexto geológico del parque biológico Punta Totalillo y morfología de cavidades en el Zoológico de Piedra, III Región de Atacama, Chile. *Memoria para optar al Título de Geólogo (inédito), Universidad de Chile, Departamento de Geología, 121 p.*
- Reyes, J. (2009). *Actualización Plan de Desarrollo Comunal Antuco 2010-2014.* Antuco, Chile.

- Ripple, W.; Wolf, C.; Newsome, T.; Galetti, M. & 15368 científicos co-fimantes de 184 países. (2017). World Scientists' Warning to Humanity: A Second Notice. *BioScience, Volume 67, Issue 12, 1 December 2017, Pages 1026–1028*, <https://doi.org/10.1093/biosci/bix125>.
- Rivera, R. (2014). Geología, Geomorfología y Geopatrimonio en el Complejo Volcánico Nevados de Chillán, Región del Bío Bío, Chile. Noviembre. *Memoria para optar a título de Geóloga. Universidad de Concepción, Chile*.
- Schilling, M. P., Contreras, K., Toro, C., Levy, P., Martínez, H., Moreno, J. A., y otros. (2011). Avances en la creación del Primer geoparque en Chile: Territorio Andino, Región de la Araucanía. I Simposio de Geoparques y Geoturismo en Chile 13-16 Abril de 2011, Melipeuco, Región de la Araucanía, Chile. : p 128-131.
- Seifert, W., & Rosenau, M. &. (2005). Crystallization depths of granitoids of south central Chile estimated by Al-in-hornblende geobarometry: Implications for mass transfer processes along the active continental margin. *Neues Jahrbuch für Geologie und Paläontologie—Abhandlungen*, v. 236, p. 115–127.
- Seifert, W.; Rosenau, M.; Echter, H. (2005). Crystallization depths of granitoids of south central Chile estimated by Al-in-hornblende geobarometry: Implications for mass transfer processes along the active continental margin: *Neues Jahrbuch für Geologie und Paläontologie—Abhandlungen*, . v. 236, p. 115–127.
- Servicio Nacional de Turismo (SERNATUR). (2012). *Estrategia Nacional de Turismo 2012 - 2020*. Santiago, Chile.
- Servicio Nacional de Turismo (SERNATUR). (2016). *Turismo Receptivo Anual 2016*. Santiago, Chile: Subsecretaría de Turismo.
- Sharples, C. (2002). *Conceptos y principios de geoconservación. Tasmanian Parks y Wildlife Service*. [wwwdocument].URL [http://www.dpiw.tas.gov.au/inter.nfs/Attachments/SJON57W3YM/\\$FILE/geoconservation.pdf](http://www.dpiw.tas.gov.au/inter.nfs/Attachments/SJON57W3YM/$FILE/geoconservation.pdf).
- Somoza, R. (1998). Updated Nazca (Farallon) –South American relative motions during the last 40 my: Implications for mountain building in the Andes. *Journal of South American Earth Sciences*, v. 11, p. 211–215, doi:10.1016/S0895-9811(98)00012-1.
- Suárez, M., & Emparan, C. (1997). Hoja Curacautín, Regiones de la Araucanía y del Biobío. . *Servicio Nacional de Geología y Minería, Carta Geológica de Chile 71: 105 p., 1 mapa 1:250.000*.

- Subsecretaría de Turismo. (2016). *Estudio de Tipificación de la Demanda Turística. Temporada Estival Tomo I. Resumen ejecutivo. Informe final*. PragmaConsultingSpA.
- Tebbens, S., & Cande, S. (1997). Southeast Pacific tectonic evolution from early Oligocene to Present. *Journal of Geophysical Research*, v. 102, p. 12,061–12,084, doi: 10.1029/96JB02582.
- Thiele, R., Moreno, H., Elgueta, S., Lahsen, A., Rebolledo, S., & Petit-Breuilh, M. E. (1998). Evolución geológico-geomorfológica cuaternaria del tramo superior del valle del río Laja. *Revista Geológica de Chile. Volumen 25. N°2. P. 229-253. Santiago de Chile.* .
- Varela, J., Moreno, H., Lahsen, A., & Vergara, M. (1988). Los depósitos de relleno cuaternario del curso superior del río Laja (VIII Región). *V Congreso Geológico Chileno. Tomo II DI159-DI177*.
- Vergara, M., & Muñoz, J. (1982). La Formación Cola de Zorro en la alta cordillera Andina Chilena (36°–39° Lat. S), sus características petrográficas y petrológicas. *Una revisión: Revista Geológica de Chile, v. 17, p. 31–46*.
- Villalobos, S. (1989). Los pehuenches en la vida fronteriza. En S. Villalobos, *Los pehuenches en la vida fronteriza*. Ediciones Universidad Católica de Chile.
- Wimbledon, W., Ishchenko, A., Gerasimenko, N., Karis, L., Suominen, V., Johansson, C., y otros. (2000). Geositios - Una iniciativa IUGS: ciencia apoyada por la conservación. en D. Baretino, W. A. P. Wimbledon y E. Gallego (eds.), *Patrimonio Geológico: su conservación y gestión, Madrid, España*(pp. 69-94).
- Wulf, A. (2016). *La invención de la naturaleza: El nuevo mundo de Alexander von Humboldt* (ISBN: 9788430618088. 584 p. ed.). Taurus.

ANEXO I: Declaración Internacional Sobre los Derechos de la Memoria de la Tierra (Digne, Francia, 1991).

1. Así como la vida humana es considerada única, ha llegado el momento de reconocer la unicidad de la Tierra.
2. La Madre Tierra nos sostiene: estamos atados a ella, ella representa, por tanto, la unión de todos los humanos para toda su vida.
3. La Tierra tiene una edad de cuatro mil millones de años, y es la cuna de la vida. A lo largo de las eras geológicas, ha habido numerosos cambios que han determinado su larga evolución, que ha conducido a la formación del ambiente en el que vivimos actualmente.
4. Nuestra historia y la de la Tierra son inseparables; su origen y su historia son los nuestros; su futuro será nuestro futuro.
5. La superficie de la Tierra es nuestro ambiente. Éste es distinto, no sólo de aquél del pasado, sino también del futuro. Ahora somos compañeros de la Tierra, y sus guardianes momentáneos.
6. Como un viejo árbol conserva el registro de su vida, la Tierra mantiene la memoria del pasado escrita en sus profundidades y en su superficie, en las rocas y en el paisaje; esta clase de registro puede también ser traducido.
7. Debemos estar atentos a la necesidad de proteger nuestro patrimonio cultural, la “memoria” del género humano. Ha llegado el momento de proteger el patrimonio natural y el ambiente físico porque el pasado de la Tierra no es menos importante que el del hombre. Es la hora de aprender a conocer este patrimonio y poder leer este libro del pasado, escrito en las rocas y en el paisaje antes de nuestra llegada.
8. El hombre y la Tierra forman un patrimonio común. Nosotros y los gobiernos somos solamente custodios de esta herencia. Todos los seres humanos deben comprender que el más pequeño ataque puede mutilar, destruir o producir daños irreversibles. Toda clase de desarrollo debería respetar la singularidad de esta herencia.
9. Los participantes en el I Congreso Internacional de la Conservación de nuestro Patrimonio Geológico que ha previsto la participación de más de 100 especialistas procedentes de más de 30 países piden urgentemente a todas las autoridades nacionales e internacionales el pleno apoyo a la necesidad de tutelar el patrimonio de nuestra Tierra y de protegerlo con todas las medidas legales, financieras y organizativas que pudieran ser

necesarias.



ANEXO II: Red Global de Geoparques (GGN)

La Red Global de Geoparques (GGN, por sus siglas en inglés) fue fundada el año 2004 e inicialmente fue conformada por los 17 miembros de la Red Europea de Geoparques (EGN) y 8 geoparques chinos con el apoyo de UNESCO, desarrollando modelos de mejores prácticas y estableciendo estándares de calidad para territorios que integran entre sus estrategias el desarrollo económico sustentable y la conservación y preservación del patrimonio geológico. Además es una organización sin fines de lucro sujeta a la legislación francesa, y desde el año 2014 es una organización no gubernamental.

Debido a que el año 2015 se crea un nuevo programa International Geoscience and Geoparks Program (IGGP) de Geoparques esta vez desde UNESCO se ha establecido una asociación formal entre estas dos entidades (GGN y UNESCO) con objetivos comunes cambiando el nombre de la red global a “UNESCO GLOBAL GEOPARKS”.

La Red Mundial de Geoparques promueve la creación de redes a nivel regional. De esta forma, redes regionales como la Red de Geoparques de Asia-Pacífico (GNPA) 42 y la Red Europea de Geoparques (EGN) actúan como redes regionales en dichos territorios. La GGN prioriza en la creación de nuevas redes regionales similares, que reflejen las condiciones locales en otras partes del mundo. Un ejemplo de esto es la reciente red de Geoparques de Latinoamérica y el Caribe que fue creada el presente año 2017.

Por otra parte, esta red global organiza conferencia cada dos años (en China 2004; Irlanda 2006; Alemania 2008; Malasia 2010; Japón 2012; Canadá 2014; y Inglaterra 2016 en el Geoparque Torkay) generando cada vez más adherentes. Entre el año 2005 y el año 2017 muchísimos Geoparques han sido incluidos en la GGN y a la fecha cuenta con 127 Geoparques, en 35 países distribuidos en 5 continentes.

Objetivos de la Red Mundial de Geoparques

1. Promover el establecimiento geográficamente equitativo, el desarrollo y la gestión profesional de los Geoparques Globales.
2. Avanzar en el conocimiento y la comprensión de la naturaleza, la función y el papel de los Geoparques Mundiales.

3. Ayudar a las comunidades locales a valorar su patrimonio natural y cultural.
4. Preservar el patrimonio de la Tierra para las generaciones presentes y futuras.
5. Educar y enseñar al gran público acerca de los problemas en las geociencias y su relación con los temas ambientales y los riesgos naturales.
6. Asegurar el desarrollo socio-económico y cultural sostenible basado en un sistema natural (o geológico).
7. Fomentar las relaciones multiculturales entre el patrimonio, la conservación y el mantenimiento de la diversidad geológica y cultural, utilizando esquemas participativos en asociaciones y gestión.
8. Estimular la investigación cuando sea apropiado.
9. Promocionar iniciativas conjuntas entre la GGN (p.ej. de comunicación, publicaciones, intercambio de información, de asistencia recíproca).

Por otro lado, la GGN, establece normas éticas que deben ser adoptadas y respetadas por todos los profesionales relacionados con esta red. Además, organiza la cooperación y asistencia mutua entre sus geoparques y profesionales.

La Red Mundial de Geoparques inicia y coordina Redes Regionales de Geoparques que fomenten la cooperación internacional y la promoción del desarrollo sostenible. Además, representa, promueve y difunde el conocimiento en la gestión de geodiversidad y otras disciplinas relacionadas con los estudios en geoconservación, geoturismo, geoeducación y/o la gestión y las actividades de Geoparques Globales.

Pasos a seguir para proposición de un Geoparque a la UNESCO.

1. Presentación de solicitudes del 1 de octubre y 30 de noviembre.

Antes de que cualquier solicitud formal, cualquier aspirante Geoparque Mundial de la UNESCO debe manifestar su interés en la creación de un Geoparque a través de un canal oficial como la Comisión Nacional UNESCO de cada país o un organismo gubernamental encargado de las relaciones con la UNESCO, con la participación, de existir, el Comité/Foro Nacional de Geoparques. Una vez listo, el expediente formal⁴⁸ completo y cuidadosamente revisado debe ser presentado a la UNESCO por el canal oficial antes mencionado. Es importante que dentro de las solicitudes se envíen material de apoyo que entregue información de que el parque ha funcionado desde hace al menos 1 año con las orientaciones de un Geoparque Mundial de la UNESCO. También documentación de apoyo de todas las autoridades locales y regionales relevantes y por una carta de apoyo de la Comisión Nacional de UNESCO. El expediente de solicitud debe seguir con precisión el formato descritos⁴⁹ y destacando las debilidades y fortalezas del territorio.

Hay que tener en cuenta que un máximo de dos postulaciones pueden ser efectuadas por estado.

2. Verificación de la completitud los documentos a partir del 1 de diciembre.

El Secretariado de UNESCO revisara las candidaturas y verá si todos los documentos están completos y con formatos correctos. Una vez revisada la postulación, el secretariado de la Unesco somete los documentos geológicos a la IUGS para su evaluación.

3. Las evaluaciones de escritorio al 30 de abril.

Todos los documentos entregados, serán revisados en un estudio de escritorio por un grupo independiente de expertos que verifiquen el proyecto Geoparque Mundial de la UNESCO. Los documentos ya completos deberán demostrar que el área propuesta es ya de facto un Geoparque en funcionamiento que cumple con los lineamientos de un Geoparque Mundial de la UNESCO, de no ser concluyente una misión examinadora deberá llevarse a cabo. Si el expediente de solicitud se considera listo para su evaluación, el Consejo Mundial de Geoparques de la UNESCO aprobará un trabajo de terreno en la zona propuesta.

4. Evaluación en terreno a partir del 1 de mayo.

Las entidades candidatas, deben costear el traslado y alojamiento de 2 evaluadores enviados por UNESCO para verificar las condiciones del Geoparque en terreno. Después de la misión de campo, un informe de evaluación será enviado al Secretariado de la UNESCO.

Las candidaturas estarán en verificación y cualquier objeción puede resultar en la suspensión de la evaluación.

5. Revisiones de las solicitudes por el Consejo UNESCO Global Geoparks en Septiembre.

El consejo revisará todas las candidaturas, junto con evaluación solicitada a la IUGS y lo relacionado a la evaluación de campo.

6. Decisión por el Consejo Ejecutivo de la UNESCO durante la primavera.

El consejo puede Aceptar, no aceptar o establecer un plazo de 2 años para mejorar la candidatura. Para este último caso, puede ser posible una nueva evaluación de Campo por parte de UNESCO. Después de la aceptación nacional de UNESCO, se firma un documento legal que desliga a UNESCO de toda gestión o actividad económica dentro del Geoparque.

Una reevaluación cada 4 años será realizada en los Geoparques de UNESCO. En estas instancias, se les entregará una tarjeta verde a aquellos Geoparques que estén en correcto funcionamiento, de no ser el caso, una tarjeta amarilla establecerá un plazo de 2 años para establecer mejoras y mantener el estatuto de UNESCO. Si al cabo de 2 años, esto no cambia, entonces UNESCO asigna una tarjeta roja que genera la pérdida del estatuto UNESCO del Geoparque.

ANEXO III: Contextos Geológicos definidos por Mourgues *et al.*, 2012.

Contextos geológicos chilenos preliminares (modificado de Mourgues <i>et al.</i> , 2012). Fuente: Patrimonio geológico y su conservación en América Latina, 2016		
Nº	Código	Contexto geológico
1	MgPz	Magmatismo Paleozoico
2	MgMz	Magmatismo Mesozoico
3	MgVCz	Magmatismo y vulcanismo Cenozoico
4	AcMz	Arco volcánico del Mesozoico
5	VNgsQ	Volcanismo Neógeno sup-Cuaternario y campos geotermales
6	IO	Islas y piso oceánicos
7	TCA	Terrenos exóticos y complejos de acreción
8	SSPz	Series sedimentarias del Paleozoico
9	SCMz	Series continentales mesozoicas y sus fósiles
10	SMTrJ	Cuencas marinas del Triásico, Jurásico y Cretácico basal
11	SMKi	Cuencas marinas del Cretácico Inferior
12	KsMC	El Cretácico Superior marino de Magallanes y Chile central
13	SCCz	Series continentales cenozoicas y sus fósiles
14	SMCz	Series marinas cenozoicas y sus fósiles
15	AFNgQ	Ambientes fluvioaluviales del Neógeno-Cuaternario
16	BC	Borde costero
18	PGGI	Procesos, geformas y depósitos glaciales del centro y sur
17	DA	Desierto de Atacama
19	ACQ	Ambientes continentales del Cuaternario, la megafauna y los primeros habitantes de América
20	CHA	Campos de hielo e inlandsis antártico
21	TEC	Mega estructuras, tectónica andina y neotectónica
22	As	Geoformas por impactos y materiales del sistema solar incorporados a la Tierra

Contextos geológicos representados en los Geositios y Miradores de Interés Geológico.

Sitio de Interés Geológico	Código	MgVCz	SCMz	VNgsQ	TEC	PGGI
Mirador Valle del Laja	G1	-		-		
Salto de Malalcura	G2	x				
Salto Trubunleo	G3			x		

Deslizamiento Sierra Velluda	G4					
Peñón del Diablo	G5			x		
Sitio de Interés Geológico	Código	MgVCz	SCMz	VNgsQ	TEC	PGGI
Pahoehoe Toes	G6			x		
Mirador Sendero las Chilcas	G7		-	-		-
Salto Las Chilcas- Torbellino	G8		x	x		
Cerro Amarillo Avalancha	G9			x		
Cerro El Cóndor	G10			x		
Quebrada Sierra Velluda	G11			x		x
Centro Eruptivo Los Pangues	G12			x		
Cantera río Polcura	G13	x				
Escalada Villa Peluca	G14		x			x
Centro Eruptivo Herradura	G15			x		
Mirador Laguna del Laja	G16		-	-	-	
Anticlinal Curamallín	G17		x	x		
Deslizamiento Cerro Campamento	G18					
Cerro Campamento	G19		x			
Anticlinal Volcado Curamallín	G20		x		x	x
Piedra del Indio	G21					
Laguna El Toro - Los Cóndores	G22					x
Cerro El Toro	G23		x			
Fuerte Ballenar	G24			x		
Mirador Paso Pichachén	G25		-	-		-
La Cortina	G26		x		x	
Valle de la Luna	G27			x		
Valle glaciar relleno de lavas	G28	x		x		x
Salto Viuda Blanca	G29					
Laguna el Potro	G30					
Cañón Salto río Seco	G31				x	
Salto Estero Piedras Azules	G32			x		
Salto El Blanquillo	G33			x		

Cerro Mariposas	G34		x			
Sitio de Interés Geológico	Código	MgVCz	SCMz	VNgsQ	TEC	PGGI
Termas Los Peucos	G35			x		
Total contexto representado		3	8	16	3	5
Geositio más representativo del contexto		Salto de Malalcura	Cerro Mariposas	Centro Eruptivo Los Pangues	Anticlinal Volcado Curamallin	Valle Relleno Lavas



ANEXO IV: Muestras memoria título Lohmar, Silke (2000).

Muestra	Este	Norte	Tipo	Código	Unidad	Nombre
010283-1	294200	5861400	Lava	QvaI3	Antuco I	Basalto de olivino y clinopiroxeno
010283-6	283600	5858700	Lava	QvaI2	Antuco I	Andesita basáltica de olivino y piroxeno
201098-4	292700	5861900	Lava	QvaI3	Antuco I	Andesita basáltica de olivino y clinopiroxeno
211098-4	291100	5861300	Lava	QvaI2	Antuco I	Andesita basáltica de olivino y clinopiroxeno
230199-1	292600	5854500	Filón manto	QvaI1	Antuco I	Dacita de anfíbol y ortopiroxeno
230199-2	292500	5854400	Lava	QvaI1	Antuco I	Andesita basáltica de olivino y ortopiroxeno
230199-3	292500	5854300	Lava	QvaI1	Antuco I	Basalto de olivino y piroxeno
230199-4	292400	5854200	Lava	QvaI1	Antuco I	Basalto de olivino y ortopiroxeno
230199-5	292400	5854100	Lava	QvaI1	Antuco I	Andesita basáltica de olivino y ortopiroxeno
230199-6	292500	5854000	Lava	QvaI1	Antuco I	Basalto de olivino y ortopiroxeno
230199-7	292500	5853900	Lava	QvaI1	Antuco I	Basalto de olivino y ortopiroxeno
230199-8	292400	5853900	Lava	QvaI1	Antuco I	Basalto de olivino y ortopiroxeno
230199-9	292300	5853900	Lava	QvaI1	Antuco I	Basalto de olivino y piroxeno
230199-10	292300	5853800	Lava	QvaI1	Antuco I	Andesita basáltica de olivino y piroxeno
250199-1	296900	5857400	Lava	QvaI1	Antuco I	Dacita de piroxeno
250199-2	296900	5857300	Lava	QvaI1	Antuco I	Andesita media de olivino y clinopiroxeno
250199-3	296900	5857300	Lava	QvaI1	Antuco I	Dacita
250199-4	296900	5857400	Lava	QvaI1	Antuco I	Andesita media
250199-5	297000	5857500	Dique	QvaI1	Antuco I	Dacita
250199-6	297000	5857500	Lava	QvaI1	Antuco I	Basalto de olivino y piroxeno
250199-7	296900	5857500	Lava	QvaI1	Antuco I	Basalto de olivino y piroxeno
250199-8	296900	5857500	Lava	QvaI1	Antuco I	Basalto de olivino
250199-9	297000	5857600	Lava	QvaI1	Antuco I	Basalto de olivino y clinopiroxeno
250199-10	297000	5857500	Lava	QvaI1	Antuco I	Andesita basáltica de olivino y piroxeno
250199-12	296600	5858000	Dique	QvaI1	Antuco I	Pórfido andesítico- basáltico de olivino y clinopiroxeno
260199-3	275400	5864200	Bloque de lava en avalancha volcánica	-	Antuco I	Basalto de olivino vitrocrystalino
010283-3	290600	5860500	Lava	QvaII5	Antuco II	Basalto de olivino y piroxeno
211098-2	292400	5852600	Lava	QvaII2	Antuco II	Andesita basáltica de olivino y clinopiroxeno
211098-3	294000	5852900	Lava	QvaII3	Antuco II	Basalto de olivino y clinopiroxeno
211098-5	282900	5858700	Lava	QvaIII1	Antuco II	Andesita basáltica de olivino y clinopiroxeno
211098-6	282300	5859000	Lava	QvaIII1	Antuco II	Andesita basáltica de olivino y

						clinopiroxeno
220199-4	288900	5860200	Lava	QvaII4	Antuco II	Basalto de olivino y clinopiroxeno
250199-11	296600	5858600	Lava	QvaII3?	Antuco II	Andesita basáltica de olivino y clinopiroxeno
201098-1	285400	5858600	Lava	Qcvlp	CENTROS VOLCANICOS ADVENTICIOS	Basalto de olivino y clinopiroxeno
230199-12	296900	5854500	Lava	Qcvnn	CENTROS VOLCANICOS ADVENTICIOS	Andesita basáltica de olivino y clinopiroxeno
250199-13	295900	5859400	Lava	Qcvlh	CENTROS VOLCANICOS ADVENTICIOS	Basalto de olivino y clinopiroxeno
250199-14	296100	5859600	Lacolito	Qcvlh	CENTROS VOLCANICOS ADVENTICIOS	Basalto de olivino y clinopiroxeno



ANEXO V: Resultados de cuantificación de los geositos en el área de estudio (a) y la Reserva de la Biósfera Nevados de Chillán Laguna del Laja (b).

Geositio (a)	Geositio N°	Categoría de Uso			Suma	RD	UTM	
		Científico	Didáctico	Turístico			Este	Norte
Anticlinal Volcado Curamallín	20	100	85	68	253	33	301261	5847523
Quebrada Sierra Velluda	11	88	81	80	249	13	286624	5854134
Centro Eruptivo Los Pangues	12	89	78	66	233	13	287629	5856367
La Cortina	26	75	79	78	231	49	289580	5860178
Centro Eruptivo Herradura	15	70	81	75	226	25	295969	5859004
Valle glaciar relleno de lavas	28	66	85	75	226	46	279557	5859593
Salto de Malalcura	2	68	79	79	225	50	279402	5860170
Salto Las Chilcas- Torbellino	8	63	80	79	221	30	286587	5859439
Valle de la Luna	27	65	81	70	216	45	291731	5861372
Cerro Mariposas	34	79	64	69	211	8	289905	5891939
Escalada Villa Peluca	14	56	76	75	208	53	267384	5864743
Salto Trubunleo	3	49	81	75	205	61	282679	5858248
Cerro Amarillo Avalancha	9	54	76	73	203	20	286064	5859476
Anticlinal Curamallín	17	74	69	56	199	23	296805	5843620
Salto El Blanquillo	33	53	70	75	198	16	284481	5893928
Cerro El Toro	23	55	63	78	195	15	289107	5866889
Termas Los Peucos	35	70	58	63	190	33	285929	5898907
Cerro El Cóndor	10	64	63	60	186	13	287912	5858103
Pahoehoe Toes	6	51	68	65	184	25	287324	5855655
Laguna El Toro - Los Cóndores	22	40	66	75	181	21	288772	5866181
Cerro Campamento	19	73	48	60	180	28	301447	5841593
Peñón del Diablo	5	51	67	52	170	67	282115	5858578
Cañón Salto río Seco	31	50	59	61	170	10	276384	5902884
Deslizamiento Sierra Velluda	4	45	60	54	159	18	283280	5853512
Laguna el Potro	30	38	61	60	159	23	276430	5902214
Cantera río Polcura	13	41	65	50	156	56	274363	5865495
Salto Estero Piedras Azules	32	26	39	58	123	28	278478	5900548
Deslizamiento Cerro Campamento	18	28	49	43	119	19	298707	5841806
Salto Viuda Blanca	29	18	34	65	116	23	281809	5907294
Fuerte Ballenar	24	36	48	30	114	63	277230	5862098
Piedra del Indio	21	33	33	43	108	80	301884	5844002

Geositorios en la reserva de la biósfera Nevados de Chillán - Laguna del Laja. Nomenclatura: Donoso, 2017 (GD); Rivera, 2014 (GR); Urrutia, 2018 (GU).

Geositorio N°	Geositorio (b)	Categoría de Uso			RD	UTM		PP-C	PP-D	PP-TR
		Científico	Didáctico	Turístico		Este	Norte			
GD1	El Valiente	51	74	83	28	277304	5961947	79	102	112
GD2	Cerro Malalcura	46	70	78	28	276753	5955618	74	98	107
GD3	Estero Piedras	39	72	78	28	277868	5956981	67	100	107
GD4	Laguna La Plata	33	72	88	28	283481	5951860	61	100	116
GD5	Laguna Añil	55	77	88	28	286259	5953789	83	106	116
GD6	La Punilla	55	90	91	67	285640	5941254	122	158	158
GD7	Puente Inglés	40	87	86	67	292624	5939902	107	154	153
GD8	Valle Las Tragedias	40	75	83	28	297056	5941444	68	103	111
GD9	Las Lagunas	55	75	81	24	304907	5951619	78	99	104
GD10	Laguna Chacayal	55	79	77	56	304046	5948932	111	135	134
GD11	Junta Del Gato	55	83	71	64	295269	5936493	119	147	136
GD12	Valle El Gato	55	77	69	39	297710	5932985	94	117	108
GD13	El Roble y Las Minas	42	82	73	47	296449	5932353	89	129	120
GR1	Glaciar Cerro Blanco	100	85	86	21	284912	5920715	121	105	107
GR2	Cueva Los Pincheira	84	91	91	56	272652	5913558	140	147	147
GR3	Subcomplejo Las Termas	82	90	84	17	287972	5917161	99	106	101
GR4	Volcán Parador	81	85	86	31	283138	5916171	112	116	117
GR5	Lavas Shangri-la	64	96	97	32	279882	5915664	96	128	130
GR6	P.L.C.L.	66	81	78	53	283599	59111325	119	134	131
GR7	Patio del Cóndor	54	86	85	21	279419	5910076	74	107	106
GR8	Aguas Calientes	59	69	91	27	289260	5913440	86	96	118
GR9	Sector Fumarolas	65	71	78	62	286124	5912765	127	133	140

GR10	Garganta del Diablo	41	68	97	23	283417	5914627	65	91	121
GR11	Salto Los Pellines	25	93	86	52	266200	5922025	77	14 5	138
GR12	Gruta Los Pangues	36	72	92	58	283599	59111325	95	13 1	151
GR13	Laguna Huemul	30	69	97	23	278520	5915772	54	92	121
GR14	Refugio Waldorf	36	63	92	17	281929	59179805	53	79	109
GR15	Salto Renegado	21	92	74	58	263415	5916091	80	15 0	132
GR16	Fundo Los Petriles	24	91	79	76	276366	5913085	10 1	16 7	155
GR17	Cascada Aserradero	24	55	89	-	281442	5912283	-	-	-
GR18	Palo Huacho	25	72	64	-	279864	5912831	-	-	-
GR19	Ignimbrita El Castillo	34	63	30	-	262943	5918927	-	-	-
GR20	Piedras Comadres	11	44	34	-	271170	5914293	-	-	-
GU1	Anticlinal Volcado Curamallín	84	100	84	41	301261	5847523	12 4	14 1	125
GU2	Quebrada Sierra Velluda	73	96	100	16	286624	5854134	89	11 1	116
GU3	Centro Eruptivo Los Pangues	74	91	83	16	287629	5856367	90	10 7	98
GU4	La Cortina	63	93	97	61	289580	5860178	12 4	15 4	158
GU5	Centro Eruptivo Herradura	58	96	94	31	295969	5859004	90	12 7	125
GU6	Salto de Malalcura	56	93	98	63	279557	5859593	11 9	15 5	161
GU7	Salto Las Chilcas-Torbellino	52	94	98	38	279402	5860170	90	13 2	136
GU8	Valle de la Luna	54	96	88	56	286587	5859439	11 1	15 2	144
GU9	Valle glaciar relleno de lavas	55	100	94	58	291731	5861372	11 3	15 8	152
GU10	Cerro Mariposas	66	75	86	9	289905	5891939	75	84	95
GU11	Escalada Villa Peluca	47	90	94	66	267384	5864743	11 3	15 5	159
GU12	Salto Trubunleo	41	96	94	77	282679	5858248	11 7	17 2	170

GU13	Cerro Amarillo Avalancha	45	90	91	25	286063.7 8	5859475. 7	70	11 5	116
GU14	Anticlinal Curmallín	62	81	70	28	296804.5 7	5843619. 9	90	10 9	98
GU15	Salto El Blanquillo	44	82	94	20	284481	5893928	64	10 3	114
GU16	Cerro El Toro	46	74	97	19	289107	5866889	65	92	116
GU17	Termas Los Peucos	58	68	78	41	285929	5898907	99	10 8	119
GU18	Cerro El Cóndor	53	74	75	16	287911.9 1	5858102. 7	69	89	91
GU19	Pahoehoe Toes	43	79	81	31	287324	5855655	74	11 1	113
GU20	Peñón del Diablo	43	84	75	92	288772	5866181	12 7	16 3	149
GU21	Laguna El Toro - Los Córdores	33	78	94	27	301447	5841593	60	10 5	120
GU22	Cerro Campamento	61	56	75	34	282114.7	5858578	95	90	109
GU23	Cañón Salto río Seco	42	69	77	13	276384	5902884	54	82	89
GU24	Piedra del Indio	27	38	53	100	283280	5853512	12 7	13 8	153
GU25	Deslizamiento Sierra Velluda	38	71	67	22	276430	5902214	59	92	89
GU26	Laguna el Petro	31	72	75	28	274363	5865495	59	10 0	103
GU27	Cantera río Polcura	34	76	63	70	278478	5900548	10 5	14 7	133
GU28	Salto Estero Piedras Azules	22	46	72	34	298707	5841806	56	80	106
GU29	Deslizamiento Cerro Campamento	23	57	53	23	281809	5907294	46	81	77
GU30	Salto Viuda Blanca	15	40	81	28	277230	5862098	43	68	109
GU31	Fuerte Ballenar	30	56	38	78	301884	5844002	10 8	13 4	116

Gráficos con distribución de resultados según categoría de uso.

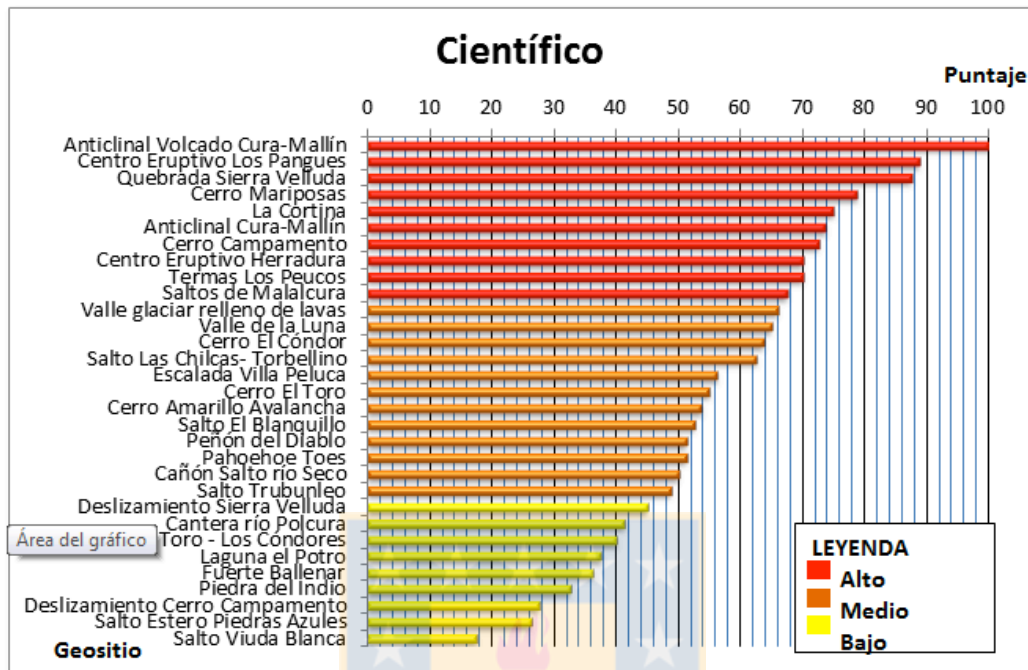


Gráfico: Valoración cuantitativa obtenida en cada geosito para el uso Científico.

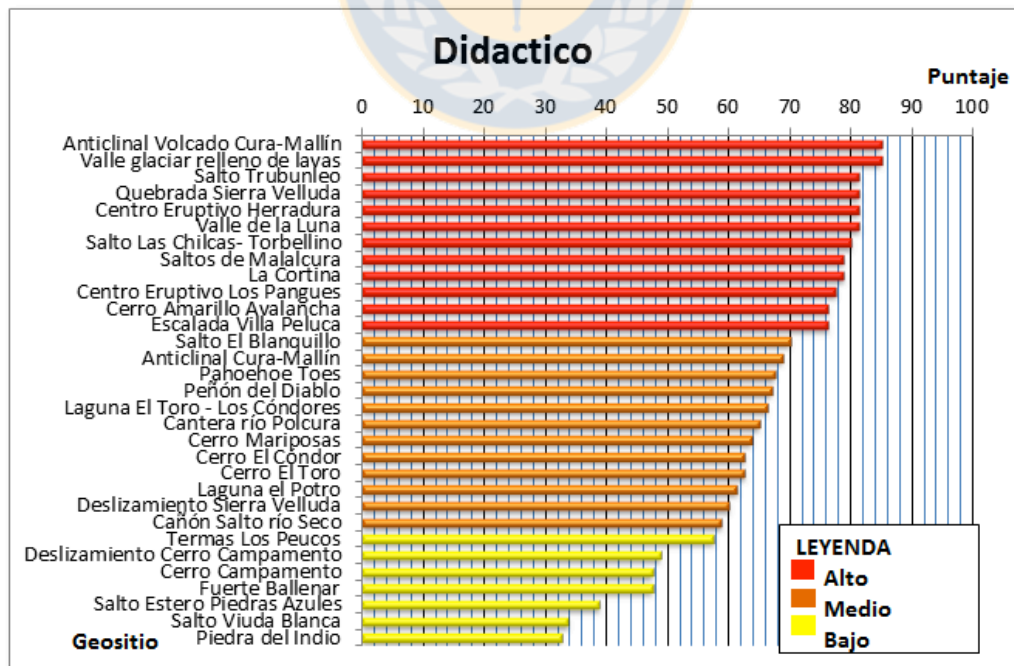


Gráfico: Valoración cuantitativa obtenida en cada geosito para el uso Didáctico.

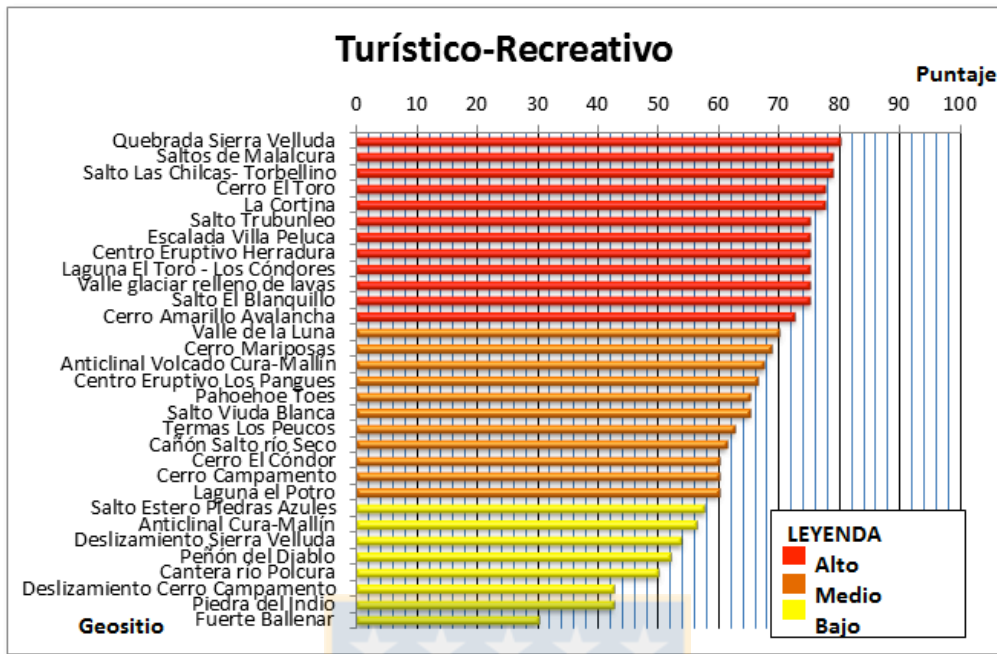


Gráfico: Valoración cuantitativa obtenida en cada geosito para el uso Turístico-Recreativo.

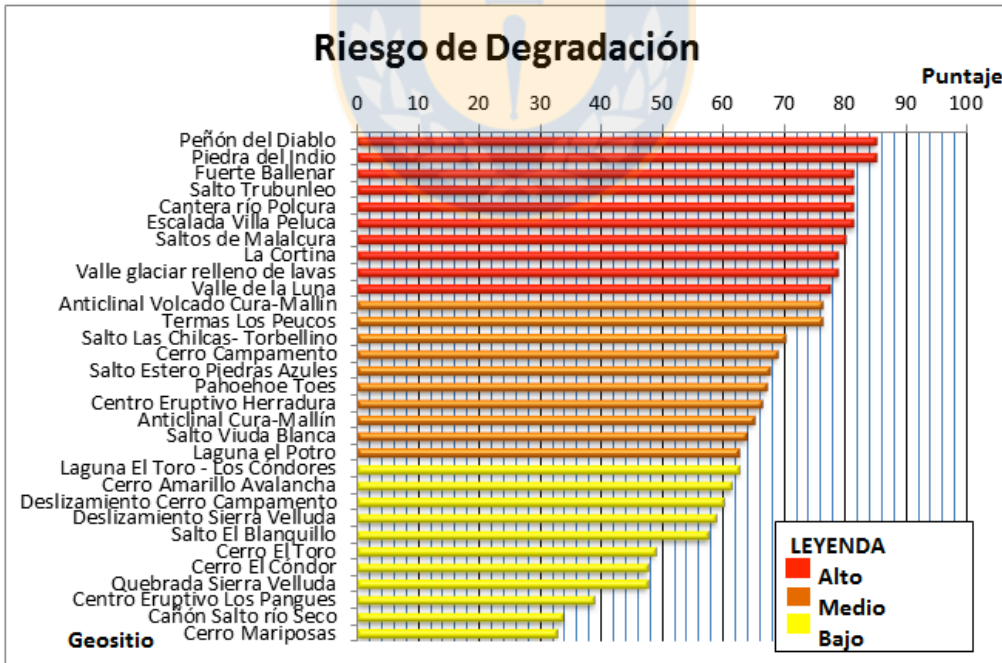


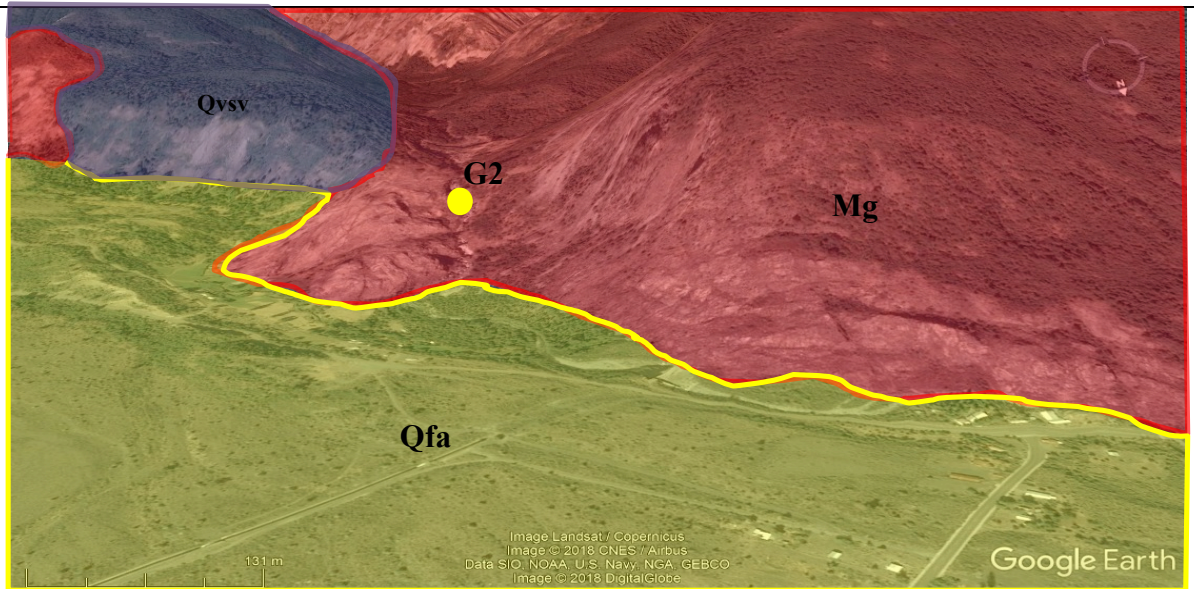
Gráfico: Valoración cuantitativa obtenida en cada geosito para el Riesgo de Degradación.

ANEXO VI: Fichas descriptivas

Código	Nombre		
G2	Saltos de Malalcura		
Coordenadas:	279402	5860170	
Localidad:	Malalcura	Comuna:	Antuco
Poblado(s) más próximo(s) (Km):		Distancia (m) a punto más próximo de acceso en:	
Abanico	1,5	Bus	1000
Antuco	18	Auto	400
Los Angeles	83	4x4	-
Uso Actual:	Turístico-Recreativo		
*Asociación con elementos de índole natural:	Flora y Fauna nativa		
*Asociación con elementos de índole cultural:	Antiguas rutas y sector de pernocte de arrieros		
Contexto(s) Geológico(s) Representado(s):	MgVCz		
Tipo(s) de Interés Geológico:	Hidrogeológico, petrológico, fluvial, estructural.		
Publicaciones que lo incluyen:	Niemeyer y Muñoz (1983), Thiele <i>et al.</i> (1998), Albornoz (In prep.).		
Localidad Tipo	No aplica		
*Estado de Conservación:	No hay daño visible, bien conservada.		
*Condiciones de Observación:	Buenas, requiere infraestructura turística.		
*Situación Legal:	Dentro de la Zona de Transición de la Reserva de la Biósfera Corredor Biológico Nevados de Chillán – Laguna del Laja. Terreno privado.		
*Posibilidad de Recolección de Objetos:	Es posible la recolección de muestras sin alterar el geositio.		
*Fragilidad Intrínseca:	Puede ser destruido, en parte, por intervenciones no muy intensas. Intervenciones de menor escala del punto de vista estético.		
*Vulnerabilidad a los procesos naturales:	Moderada vulnerabilidad. Procesos de remoción en		

	masa han afectado anteriormente laderas de los cerros.
Ubicación y Acceso:	Los Saltos de Malalcura se ubican en la comuna de Antuco, a 18 km del pueblo de nombre homónimo, en dirección al Parque Nacional Laguna del Laja. Existe transporte público hasta el desvío hacia Abanico. Para acceder a este geositio, se debe tomar la ruta Q-45 hasta el camping Malalcura, donde hay que caminar unos 400 metros por un sendero bien marcado, atravesando el río Malalcura.
Descripción:	<p>El Salto Malalcura, que en mapudungún significa “corral de roca”, corresponde a un salto de agua del río del mismo nombre, que fluye a través de un plutón granodiorítico a granítico, generando un pozón utilizado por los turistas durante épocas estivales. Principalmente se observan granitos con textura granular de grano medio a grueso, con fenocristales de cuarzo, plagioclasa, feldespatos potásico, biotita y epidota. A lo largo de los contactos, se observa una epidotización intensa y algunos fenómenos de asimilación e incorporación de la roca de caja a la masa intrusiva, constituidas por bloques xenolíticos angulosos, de 10-30 cm, dentro de una matriz de material plutónico. Este cuerpo intrusivo es atravesado por numerosos diques de composición diabasa, decamétricos y de colocación verde, interpretados como filones lamprofíricos, además de pequeñas vetillas de composición aplítica. Niemeyer & Muñoz (1983) aseguran que la roca de caja de estos intrusivos, constituye roof-pendants. En algunos lugares es posible observar estrías, que podrían ser de origen glacial o por la brutal erosión que produjo el aluvión generado por la ruptura del lago Laja, como en los cerros Altos del Padre, en la ribera norte del río Laja. Desde este lugar se tiene una vista panorámica al valle superior del Laja y la Sierra Velluda. La roca presenta cambios de coloración, marcado por los bruscos cambios de nivel del río durante crecidas invernales. La avalancha volcánica generada por el volcán Antuco I, represó las aguas de este río, produciendo un pequeño y aislado lago al interior del valle, los cuales al colapsar produjeron flujos de detritos menores (Thiele, 1998). Las intervenciones presentes, no afectan directamente al geositio, pero si ocurren alrededor de éste. En la ladera este, existen caminos forestales abandonados, mientras que aguas abajo del río Malalcura, la central Antuco, desvía completamente las aguas de este río al lado norte del valle, afectando directamente la biodiversidad y el transporte de sedimentos (Endesa, 1981).</p>

Imagen
Satelital:



Fotografias:



Arriba: Izquierda: Salto del río Malalcura.
Derecha: Composición granítica del Plutón
en la zona del salto.

Abajo: Vista desde el camping, del stock
por el que fluye el río Malalcura. Al fondo
el volcán Sierra Velluda. Notar los diques
de coloración verdosa de espesor
decamétrico.



Las aguas pertenecientes al río Malalcura, son retenidas y desviadas por la cortina aguas abajo del camping, a unas decenas de metros de este geosítio. La totalidad de las aguas son desviadas en dirección a la central Antuco, en la ribera norte del río Laja, atravesando de sur a norte el valle.



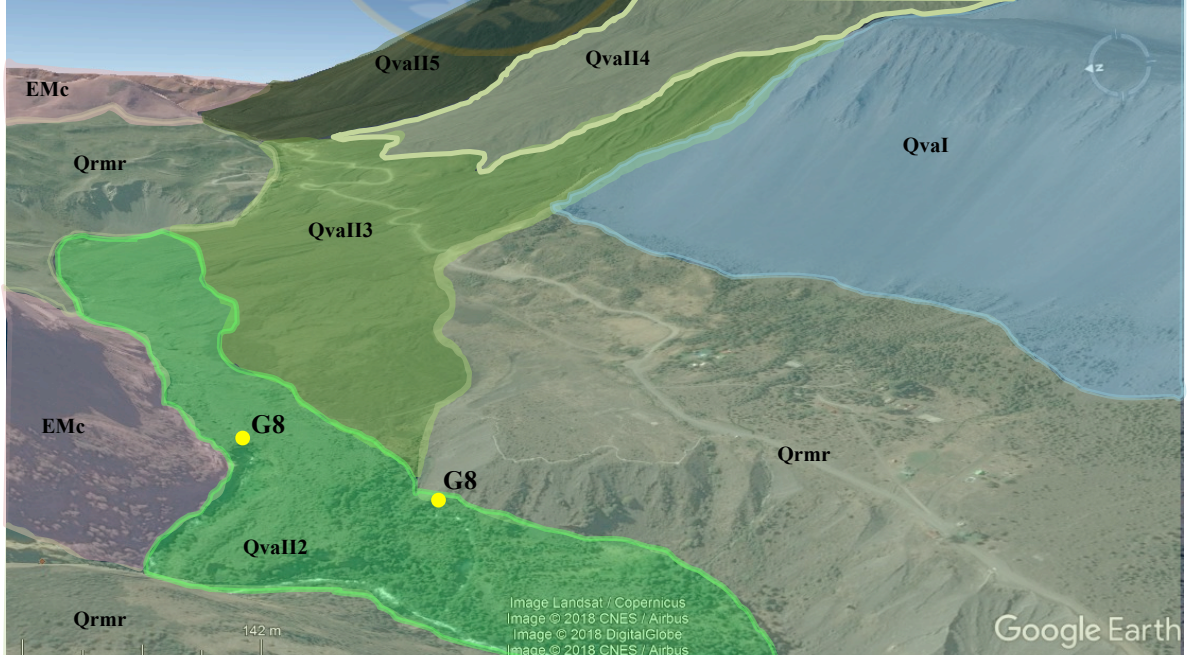
Observaciones

Se recomienda mover mangueras y estanques, para captación de aguas, del punto de

observación. El lugar requiere infraestructura de interpretación, para cruzar el río y de seguridad. Además en dirección al mirador del valle del Laja, que don Segundo Perez guía a los turistas, tiene potencialidades como una pequeña caminata. La impermeabilidad de la roca granítica, permite las acumulaciones de aguas lluvias en pequeñas pozas durante largos períodos de tiempo. En ese lugar se podrían aprovechar las “instalaciones” naturales, para desarrollar un sistema de tinas calientes para los visitantes.



Código	Nombre		
G8	Salto Las Chilcas - Salto El Torbellino		
Coordenadas:	286587	5859439	
Localidad:		Comuna:	Antuco
Poblado(s) más próximo(s) (Km):		Distancia (Km) a punto más próximo de acceso en:	
Abanico	14	Bus	16
Antuco	27	Auto	1
Los Ángeles		4x4	-
Uso Actual:	Didáctico/Turístico-Recreativo. Atractivo estético del P.N. Laguna del Laja. Punto de acceso a la sección del río Laja para kayakistas de río extremo.		
*Asociación con elementos de índole natural:	Flora y Fauna nativa		
*Asociación con elementos de índole cultural:	No se reconocen elementos históricos o culturales.		
Contexto(s) Geológico(s) Representado(s):	SCMz; VNgsQ		
Tipo(s) de Interés Geológico:	Hidrogeológico, geomorfológico, vulcanológico.		
Publicaciones que lo incluyen:	Varela (1988) Lohmar (2000) Plan de Manejo P.N. Laguna Laja		
Localidad Tipo	No aplica		
*Estado de Conservación:	No hay daño visible, bien conservada		
*Condiciones de Observación:	Excelentes. Infraestructura turística existente. Se recomienda modificar la información geológica presentada en los paneles.		
*Situación Legal:	Dentro de la Zona de Núcleo de la Reserva de la Biósfera Corredor Biológico Nevados de Chillán – Laguna del Laja, Parque Nacional Laguna del Laja.		
*Posibilidad de Recolección de Objetos:	Es posible la recolección de muestras sin alterar el geositio.		
*Fragilidad Intrínseca:	Puede ser destruido, en parte, por intervenciones no muy intensas, asociadas principalmente al uso del agua.		
*Vulnerabilidad a los procesos naturales:	Vulnerabilidad muy baja frente a los procesos no antrópicos.		
Ubicación y Acceso:	Los Saltos Las Chilcas y Torbellino se ubican en el Parque Nacional Laguna del Laja. Desde Antuco, se debe tomar la ruta Q-45 por 25 km, hasta la administración de CONAF. En este		

	<p>lugar comienza el circuito inclusivo de caminata, que dura aproximadamente una hora.</p>
<p>Descripción:</p>	<p>Este geositio es un reconocido atractivo paisajístico del Parque Nacional Laguna del Laja. Ambos son parte de un circuito interpretativo del parque, en el que la primera sección es apta para personas de movilidad reducida. Ideal para personas que gusten de la interpretación de abundante flora y su contraste con los diferentes procesos geológicos que han afectado el valle superior del río Laja. En este lugar es posible reconocer el nacimiento del río Laja, proveniente de la infiltración de las aguas del lago. Las rocas grises plegadas que se observan, corresponden a la Formación Curamallín y sobre ellas, se apoyan directamente en discordancia, las coladas de lava de la subunidad Antuco II-2 (QvaII2). El contacto entre ambas unidades, genera un plano de debilidad, que permite la infiltración de las aguas provenientes del Lago Laja. Las coladas de lava están compuestas principalmente de rocas basálticas con fenocristales de olvino y clinopiroxeno.</p> <p>La intensidad de la acción erosiva del Río Laja se reconoce en el Salto Las Chilcas (Ojos del Laja), el cual ha retrocedido 1 km hacia el este (Lohmar, 2000).</p> <p>Desde el punto de vista turístico, en este lugar comienza una sección que es posible realizar en kayak de río hasta la central Abanico, con dificultad clase IV de rápidos continuos, con aguas cristalinas y panorámicas privilegiadas. Se recomienda incentivar este uso para la difusión y conservación de la zona. A CONAF se recomienda revisar información geológica errónea de los paneles informativos del circuito.</p>
<p>Imagen Satelital:</p>	 <p>Image Landsat / Copernicus Image © 2018 CNES / Airbus Image © 2018 DigitalGlobe Image © 2018 CNES / Airbus</p> <p>Google Earth</p>

Fotografías:



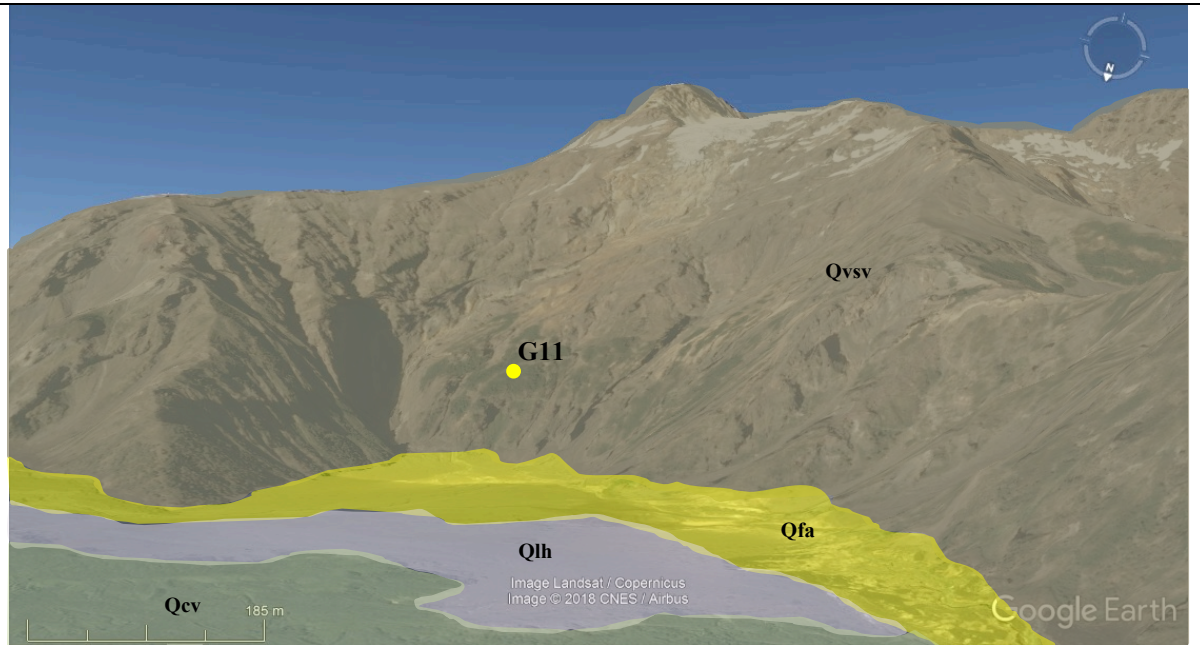
Arriba. A la izquierda el Salto El Torbellino y a la derecha el Salto Las Chilcas u Ojos de Agua.

Izquierda. Flor del Chilco (*Fucsia magellanica*), un arbusto siempreverde que abunda a lo largo del circuito.

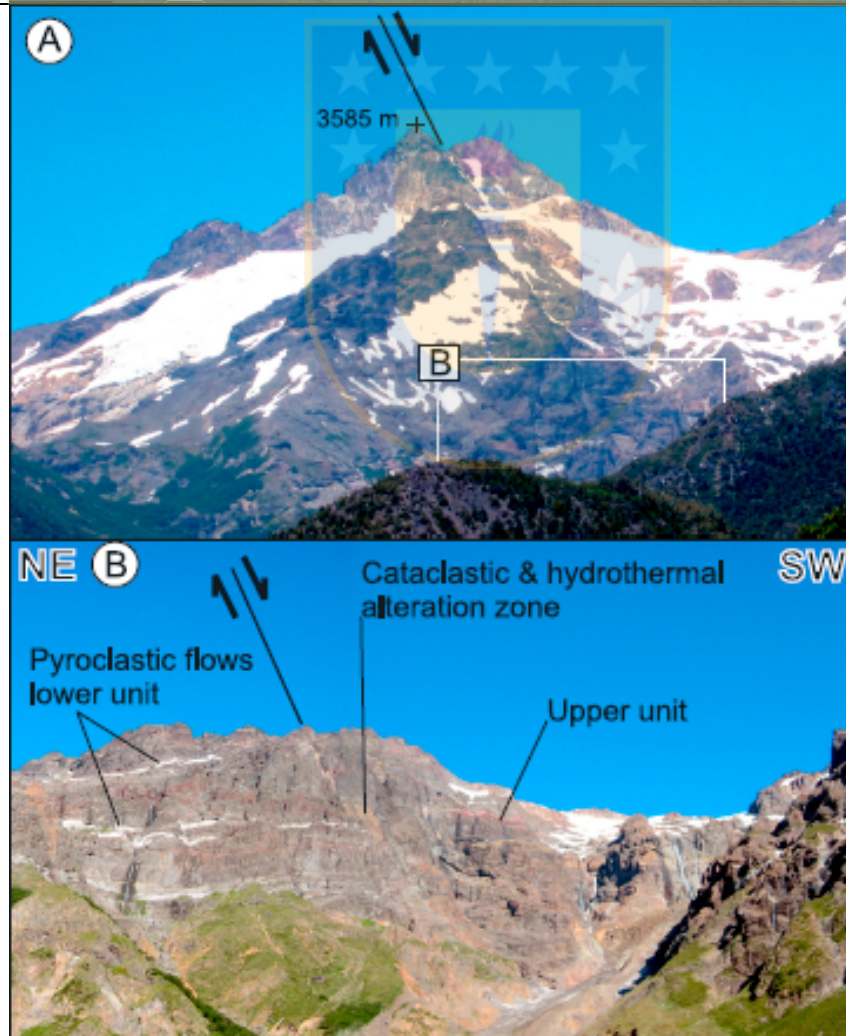
Código	Nombre		
G11	Quebrada Sierra Velluda – Cascadas de Hielo		
Coordenadas:	286624	286624	
Localidad:		Comuna:	Antuco
Poblado(s) más próximo(s) (Km):		Distancia (Km) a punto más próximo de acceso en:	
Abanico	16	Bus	21
Antuco	29	Auto	5
Los Ángeles	95	4x4	-
Uso Actual:	Científico/Turístico-Recreativo/Deportivo. Asociado a rutas de trekking, ski y montañismo. Atractivo estético de carácter nacional.		
*Asociación con elementos de índole natural:	Flora y Fauna nativa		
*Asociación con elementos de índole cultural:	No existen elementos de especial interés histórico o cultural		
Contexto(s) Geológico(s) Representado(s):	VNgsQ, TEC, PGGI		
Tipo(s) de Interés Geológico:	Estratigrafía, vulcanología, glaciología, geomorfología, estructural.		
Publicaciones que lo incluyen:	Arancibia (2009); G Ferran (G Andes); Melnick, (2006); Albornoz (In prep.); Lohmar (2000)		
Localidad Tipo	Reconocido como Centro de Emisión Volcánico.		
*Estado de Conservación:	No hay daño visible.		
*Condiciones de Observación:	Excelentes, estructuras pueden ser observadas e identificadas sin dificultad. La nieve cubre las estructuras en épocas invernales.		
*Situación Legal:	Dentro de la Zona de Núcleo de la Reserva de la Biósfera Corredor Biológico Nevados de Chillán – Laguna del Laja, Parque Nacional Laguna del Laja.		
*Posibilidad de Recolección de Objetos:	Es posible la recolección de muestras sin alterar el geositio.		
*Fragilidad Intrínseca:	Aspecto geomorfológico que, por su tamaño, es difícilmente afectado de manera importante por actividades humanas.		
*Vulnerabilidad a los procesos naturales:	Vulnerabilidad muy baja frente a los procesos no antrópicos.		

	<p>Han ocurrido procesos de remoción en masa importantes en el Valle del Trubunleo. Actualmente la principal vulnerabilidad la tienen los glaciares debido al cambio climático.</p>
<p>Ubicación y Acceso:</p>	<p>El sendero, que lleva al geosítio Quebrada Sierra Velluda (G11), está al lado de la administración del Parque Nacional Laguna del Laja. Para llegar, se debe tomar la ruta Q-45 por 25 km. En este lugar comienza el sendero “Meseta Los Zorros-Sierra Velluda”, que se extiende por unos 5 km, bordeando el Cerro El Cóndor (G10), hasta atravesar las coladas de lava basáltica del Centro Eruptivo Los Pangués (G12).</p>
<p>Descripción:</p>	<p>Esta quebrada corresponde a la ladera noroeste del volcán Sierra Velluda. Junto con el volcán Antuco se ubican en una depresión anular de unos 18 km, originada al parecer por erosión glaciar (Varela, 1988). Ambos volcanes constituyen el grupo volcánico Sierra Velluda-Antuco alineados según lineamientos NE, al igual que el enjambre de diques en Cerro Cóndor y los conos adventicios del volcán Antuco, lo que sugiere una dirección preferencial NE, asociado al ascenso de magma desde el Pleistoceno.</p> <p>En este sector pueden observarse brechas volcánicas, probablemente asociadas a flujos laháricos, flujos piroclásticos y diversos flujos de lava. Además, se encuentra intruida por numerosos filones basálticos y andesítico basálticos, los cuales presentan diferentes orientaciones. Estos depósitos se disponen de manera radial desde el centro de emisión de la Sierra Velluda, que se extienden por más de 10 km, disectadas por valles glaciares. Según Moreno <i>et al.</i> (1984), los materiales volcánicos; lavas, piroclastos y depósitos laháricos cubren un área de más 150 km².</p> <p>El afloramiento se encuentra fuertemente afectado por intensa erosión glaciar. En la quebrada era posible, observar años atrás, cuevas de hielo que se mantenían durante el verano. El retroceso del glaciar que se observa, ha sido notorio en los últimos años, según cuentan guardaparques y pobladores.</p> <p>Este geosítio ha sido propuesto a la Sociedad Geológica de Chile para el inventario nacional. Este tipo de reconocimiento no significa una protección legal y debido a la importancia de este centro volcánico desde el punto de vista cultural, estético, ecológico e hídrico, se sugiere buscar una herramienta de protección legal, como por ejemplo Monumento Natural, que sea propuesta por las diversas comunas que comparten límites con esta montaña.</p>

Imagen
Satelital:



Fotografías:



A. Vista al sureste del volcán Sierra Velluda, desde sector Abanico aproximadamente. Falla normal de la Sierra Velluda.

B. Vista en detalle de la falla, desde la sección alta del valle del Malalcura. La falla yuxtapone la unidad inferior y superior, truncando los depósitos piroclásticos de la unidad inferior. La zona de falla es rellenada por una zona de cataclasita de unos 15m Tomado de Melnick *et al.* (2006).



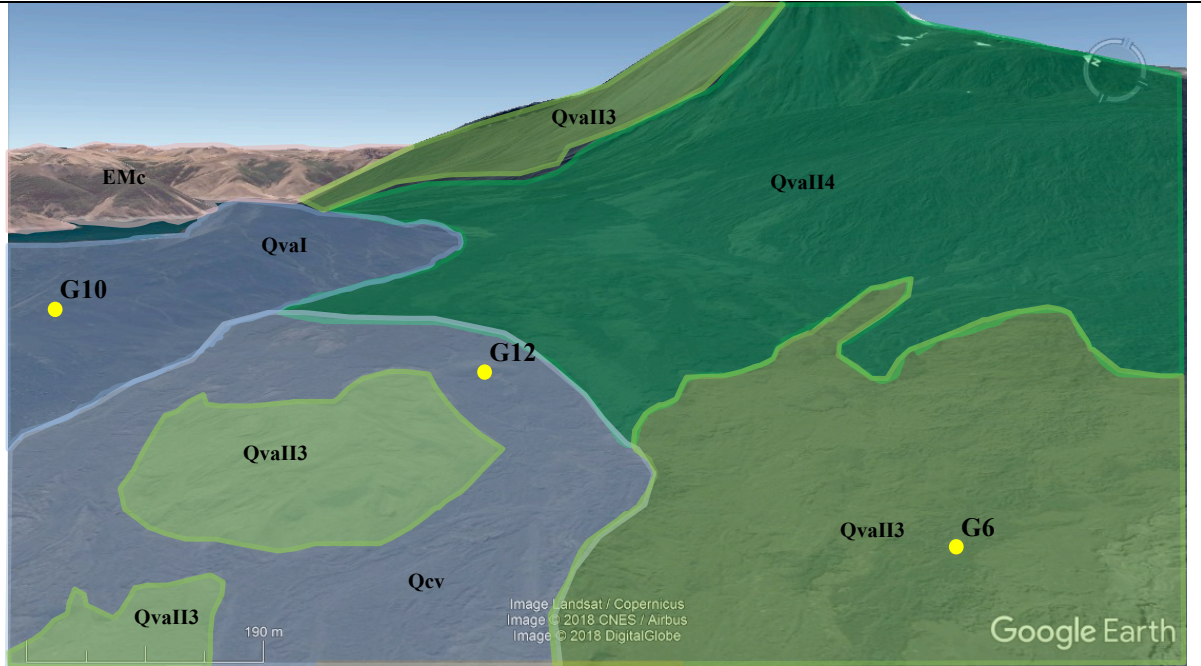
Derecha. Cactus de baja altura llamado Maihuén (*Maihuenia poeppigii*).

Izquierda. Atravesando las coladas de lava del Centro Eruptivo Los Pangues (G12), antes de llegar a la Quebrada Sierra Velluda (G11).

Código	Nombre		
G12	Centro Eruptivo Los Pangues		
Coordenadas:	287629	5856367	
Localidad:		Comuna:	Antuco
Poblado(s) más próximo(s) (Km):		Distancia (Km) a punto más próximo de acceso en:	
Abanico	14	Bus	17
Antuco	27	Auto	3
Los Ángeles	93	4x4	-
Uso Actual:	Científico		
*Asociación con elementos de índole natural:		Flora y Fauna nativa	
*Asociación con elementos de índole cultural:		No existen elementos de especial interés histórico o cultural	
Contexto(s) Geológico(s) Representado(s):		VNgsQ	
Tipo(s) de Interés Geológico:		Vulcanología, petrología, estructural, geomorfología.	
Publicaciones que lo incluyen:		Arancibia (2009), Lohmar (2000), Norambuena (2016).	
Localidad Tipo		Reconocido como Centro de Emisión Volcánico.	
*Estado de Conservación:		No hay daño visible, bien conservada.	
*Condiciones de Observación:		Excelentes, estructuras pueden ser observadas e identificadas sin dificultad	
*Situación Legal:		Dentro de la Zona de Núcleo de la Reserva de la Biósfera Corredor Biológico Nevados de Chillán – Laguna del Laja, Parque Nacional Laguna del Laja.	
*Posibilidad de Recolección de Objetos:		Es posible la recolección de muestras sin alterar el geosítio.	
*Fragilidad Intrínseca:		Aspecto geomorfológico que, por su tamaño, es difícilmente afectado de manera importante por actividades humanas.	
*Vulnerabilidad a los procesos naturales:		Vulnerabilidad muy baja frente a los procesos no antrópicos. Constantemente expuesto a condiciones	

	erosivas invernales.
Ubicación y Acceso:	<p>El sendero, que lleva al geositio Centro Eruptivo Los Pangues (G12), está al lado de la administración del Parque Nacional Laguna del Laja. Para llegar, se debe tomar la ruta Q-45 por 25 km. En este lugar comienza el sendero “Meseta Los Zorros-Sierra Velluda”, donde se debe bordear el Cerro El Cóndor (G10), por unos 3 km, hasta desviarse con dirección Este, hasta llegar al geositio, inmediatamente al oeste del volcán Antuco.</p>
Descripción:	<p>Corresponde a un cono piroclástico escoriáceo, de color gris negro a rojizo, de un diámetro basal cercano a los 250 m y unos 50 m de altura. Las lavas están compuestas por flujos de basalto de olivino, que descendieron por el valle del estero Los Pangues, hasta su desembocadura en el río Laja, a unos 5 km de distancia.</p> <p>Ni el cono ni las coladas, que poseen superficies de tipo “aa”, están afectados por erosión glacial y yacen sobre depósitos morrénicos y coladas de lavas de la Subunidad II3 del Volcán Antuco, las cuales muestran erosión glacial de altura. Por otro lado, los flujos de Los Pangues están parcialmente cubiertos, en su extremo meridional, por depósitos de pequeñas avalanchas laháricas, relacionadas con las erupciones más recientes del Antuco II. Este centro eruptivo al igual que otros conos adventicios del volcán Antuco, el enjambre de diques en Cerro Cóndor y el grupo volcánico Antuco-Sierra Velluda, se encuentra alineado según lineamientos NE, lo que sugiere una dirección preferencial NE, asociado al ascenso de magma desde el Pleistoceno (Arancibia, 2009). Desde el cono, se extiende hacia el suroeste, un lineamiento con esa dirección, donde se reconocen pequeños centros de emisión.</p> <p>Según Petit-Breuilh (1994), estas lavas, que bajaron por el valle del Estero Los Pangues, son producto de la erupción de 1845.</p> <p>Este geositio ha sido propuesto a la Sociedad Geológica de Chile para el inventario nacional, en conjunto con la geóloga Silke Lohmar.</p>

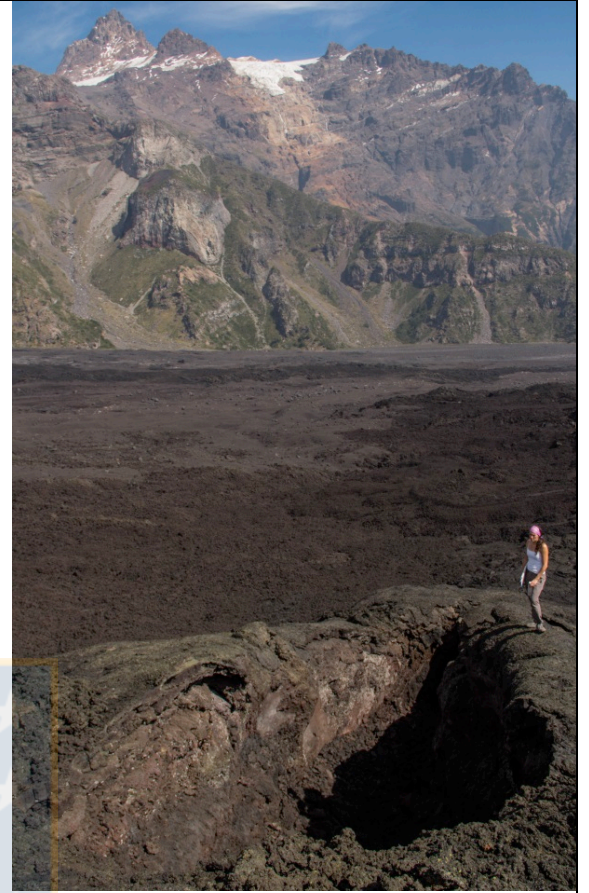
Imagen
Satelital:



Fotografias:



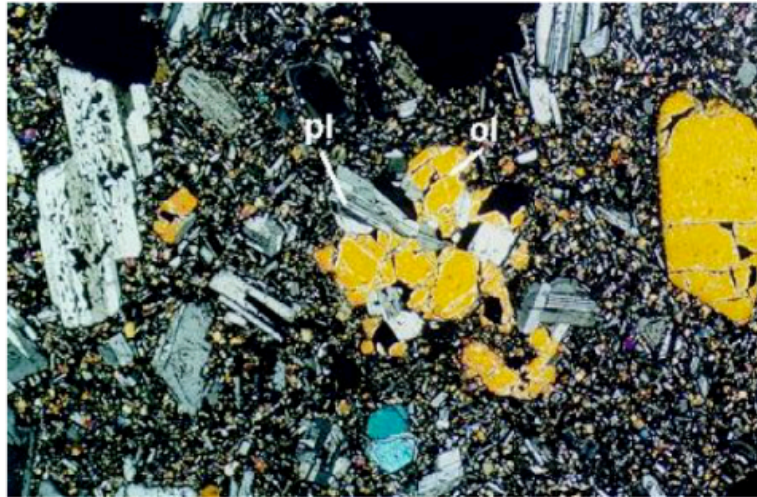
Centro Eruptivo Los Pangués al fondo y fisura que se extiende hacia el suroeste.



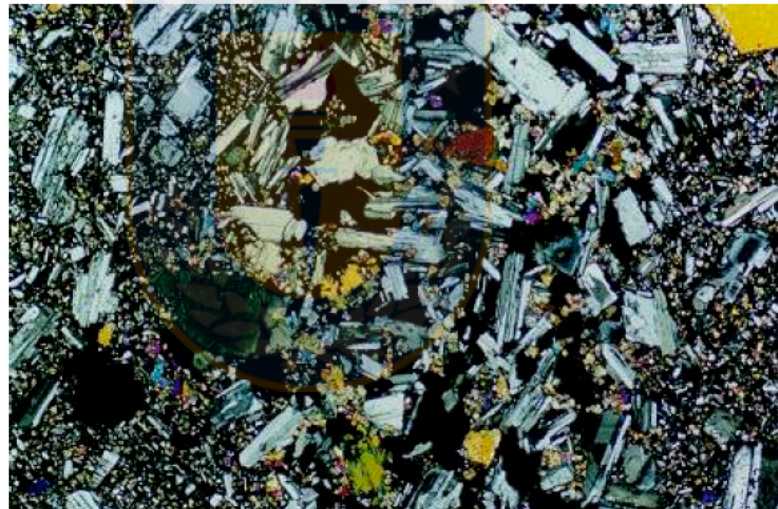
Arriba. Izquierda. Centro de emisión volcánico desde lineamiento NE. Derecha. Fisura NE con aprox. 4 m de profundidad.



Izquierda. Típicas lavas pahoehoe toes, camino el CEV Los Pangues (G12).



Corte transparente de la colada basáltica del Centro Volcánico Los Pangués (Muestra 201098-1), mostrando fenocristales de olivino y plagioclasa, que forman localmente una textura glomeroporfírica. Nícoles cruzados (20x) (Lohmar, 2000).

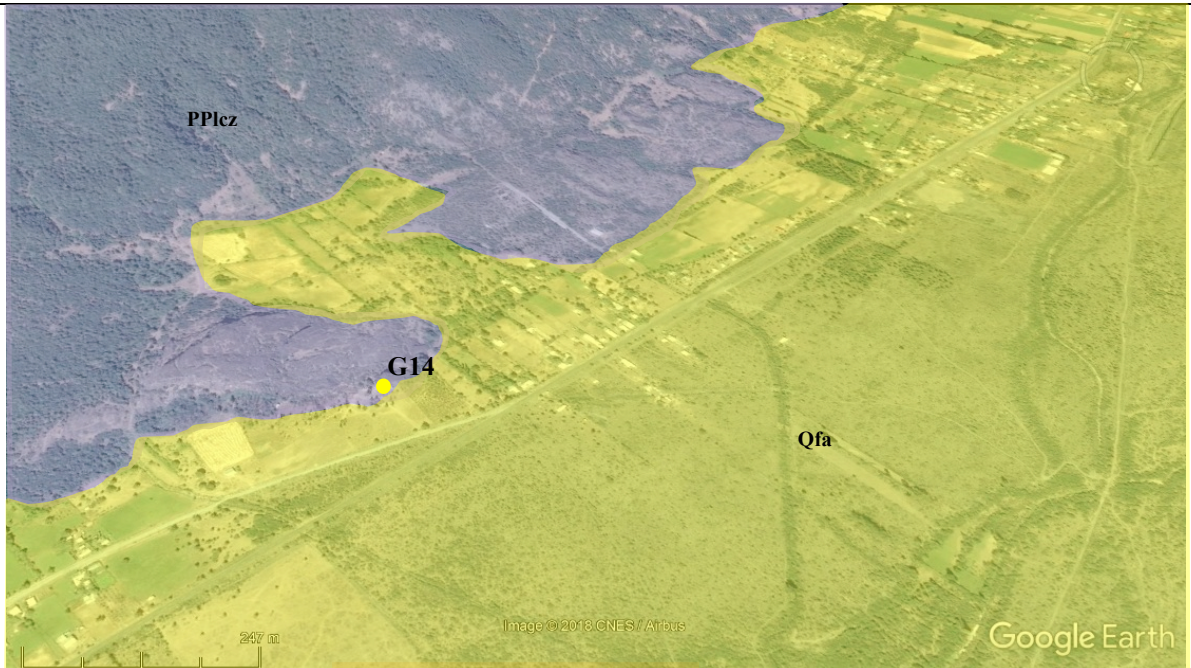


Corte transparente de la misma lava anterior, mostrando un probable xenolito subvolcánico, constituido por plagioclasa, olivino, clinopiroxeno y ortopiroxeno. Nícoles cruzados (20x) (Lohmar, 2000).

Código	Nombre		
G14	Escalada Villa Peluca		
Coordenadas:	267384	5864743	
Localidad:	Peluca	Comuna:	Antuco
Poblado(s) más próximo(s) (Km):		Distancia (Km) a punto más próximo de acceso en:	
Peluca	<1	Bus	<0.2
Antuco	4.6	Auto	<0.1
Los Ángeles	70	4x4	-
Uso Actual:	Turístico-Recreativo/Deportivo. Lugar reconocido a nivel nacional por su potencial para el uso de escalada.		
*Asociación con elementos de índole natural:	Escasos elementos naturales de interés.		
*Asociación con elementos de índole cultural:	No existen elementos de especial interés histórico o cultural.		
Contexto(s) Geológico(s) Representado(s):	SCMz. PGGI		
Tipo(s) de Interés Geológico:	Sedimentario, petrología, geomorfología.		
Publicaciones que lo incluyen:	Thiele (1998)		
Localidad Tipo	No aplica		
*Estado de Conservación:	No hay daño visible, bien conservada		
*Condiciones de Observación:	Condiciones óptimas, pueden ser observadas e identificadas sin dificultad		
*Situación Legal:	Dentro de la Zona de Transición de la Reserva de la Biósfera Corredor Biológico Nevados de Chillán – Laguna del Laja. Terreno privado.		
*Posibilidad de Recolección de Objetos:	Es posible la recolección de muestras sin alterar el geositio.		
*Fragilidad Intrínseca:	Puede ser destruido, en parte, por intervenciones no muy intensas. Posibles proyectos inmobiliarios por la zona.		
*Vulnerabilidad a los procesos naturales:	Vulnerabilidad muy baja frente a los procesos no antrópicos		
Ubicación y Acceso:	Este geositio se ubica en la localidad de Peluca, a unos 5 km del pueblo de Antuco. Para acceder se puede tomar transporte público y caminar 200 metros en un camino de ripio aledaño. En este lugar se debe pedir permiso ya que es un terreno privado a cargo de una		

	inmobiliaria.
Descripción:	<p>El geositio Escalada Villa Peluca (G14) es un sector reconocido a nivel regional y nacional para la escalada deportiva, donde personas que se inician en este deporte y escaladores más avanzados, pueden disfrutar de diferentes rutas. Sin embargo, las condiciones de acceso a este lugar son inciertas, ya que corresponde a un sitio privado.</p> <p>Según Thiele <i>et al.</i> (1998), estas rocas pertenecen a rocas volcánicas pleistocenas dispuestas de forma estratificada, con inclinaciones primarias de hasta 15° y se observan en las cumbres inmediatamente al norte y sur de los flancos respectivos del valle del río Laja. Estas rocas corresponden a secuencias de lavas, brechas volcánicas, conglomerados e ignimbritas, principalmente de composición basáltica a andesítica. En estudios anteriores (González y Vergara, 1962; Niemeyer y Muñoz, 1983) ellas fueron asignadas a la Formación Cola de Zorro de edad plio-pleistocena. Sin embargo, Moreno <i>et al.</i> (1984), identificaron en el área Antuco-Callaqui, dentro de esta formación, secuencias volcánicas muy erosionadas, remanentes de varios estratovolcanes, con edades comprendidas entre 0,9 y 0,3 Ma, Pleistoceno inferior a medio. En consecuencia, es probable que las secuencias observadas inmediatamente al sur del valle del río Laja, entre los ríos Rucúe y Duqueco, pertenezcan a un pequeño estratovolcán erosionado, cuyo centro de emisión se identificaría con el cerro Pan de Azúcar.</p> <p>Las rocas de este afloramiento presentan notorias estrías, posiblemente por la acción erosiva de las glaciaciones pleistocenas o la brutal erosión producto del aluvión generado por la ruptura del represamiento del lajo Laja.</p>

Imagen
Satelital:



Fotografías:



Rocas volcánicas del geosítio Escalada Villa Peluca (G14). Las marcas blancas corresponden al magnesio utilizado por escaladores en las rutas de escalada utilizadas.



Roca brecha volcánica. Clatos de composición pómez, escoria, basalto y andesita. Matrizsoportado. Matriz color verde. Mala selección. Estrías de origen glacial o aluvional.

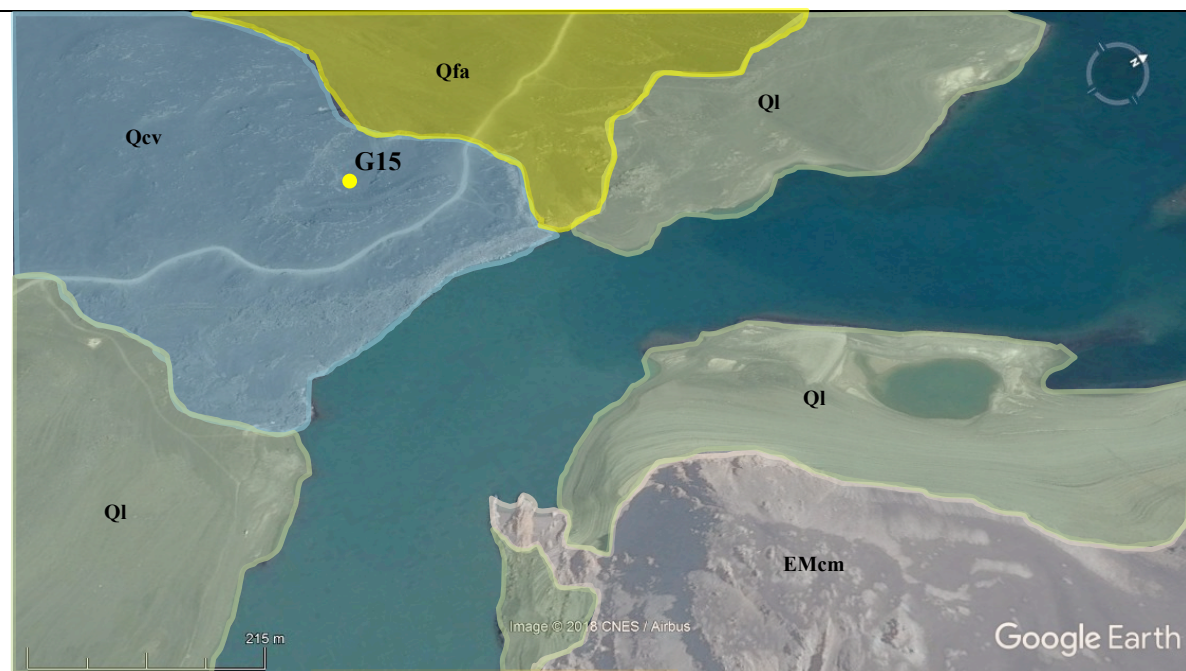


Contacto entre colada de lava andesítica y brecha volcánica. Brecha volcánica con matriz de ceniza. Clastos angulosos a subangulosos de tamaños de 20 a 40 cm de composición basáltica a andesítica. Probable origen lahárico.

Código	Nombre		
G15	Centro Eruptivo Herradura		
Coordenadas:	295969	5859004	
Sector:	Los Barros	Comuna:	Antuco
Poblado(s) más próximo(s) (Km):		Distancia (Km) a punto más próximo de acceso en:	
Abanico	21	Bus	21
Antuco	38	Auto	<200
Los Ángeles	104	4x4	-
Uso Actual:	Científico/Didáctico/Turístico. Visitado por delegaciones de estudiantes de geología.		
*Asociación con elementos de índole natural:	Flora y Fauna nativa. Zona de conservación de Matuastos (<i>Phymaturus palluma</i>).		
*Asociación con elementos de índole cultural:	Existencia de elementos vinculados al área del geosítio, asociada a la Tragedia de Antuco (2005).		
Contexto(s) Geológico(s)	VNgsQ		
Representado(s):			
Tipo(s) de Interés Geológico:	Vulcanología, petrología, geomorfología.		
Publicaciones que lo incluyen:	Arancibia (2009); Lohmar (2000); Melnick (2006); Norambuena (2016).		
Localidad Tipo	Reconocido como Centro de Emisión Volcánico.		
*Estado de Conservación:	Deterioro leve, asociado al camino público que lo atraviesa y el constante flujo vehicular por áreas no habilitadas. Aún así, mantiene las características geológicas esenciales.		
*Condiciones de Observación:	Excelente, estructuras pueden ser observadas e identificadas sin dificultad		
*Situación Legal:	Dentro de la Zona de Núcleo de la Reserva de la Biósfera Corredor Biológico Nevados de Chillán – Laguna del Laja, Parque Nacional Laguna del Laja.		
*Posibilidad de Recolección de Objetos:	Es posible la recolección de muestras sin alterar el geosítio.		
*Fragilidad Intrínseca:	Aspecto geomorfológico que, por su tamaño, es difícilmente afectado		

	de manera importante por actividades humanas. Se recomienda delimitar área del geosítio y limitar tránsito vehicular a zonas habilitadas.
*Vulnerabilidad a los procesos naturales:	Vulnerabilidad muy baja frente a los procesos no antrópicos. Constantemente expuesto a condiciones erosivas invernales.
Ubicación y Acceso:	El Centro Eruptivo Herradura, se ubica en el Parque Nacional Laguna del Laja. Desde Antuco, se debe tomar la ruta Q-45 por 38 km. Se atraviesa el Valle de la Luna (G27) y el memorial de la tragedia de Antuco, hasta llegar al geosítio en el flanco oriental del volcán Antuco. El cráter se encuentra a menos de 200 m del camino que conduce hacia Los Barros.
Descripción:	<p>El cono La Herradura, es un centro eruptivo menor ubicado al noreste de la base del volcán Antuco y al lado del camino que conduce a Los Barros, cercano al lago Laja. Según Melnick <i>et al.</i> (2006), probablemente está relacionado con una falla que se extiende a través del Sistema de Falla Lago Laja.</p> <p>Está constituido por una extensión de lavas basálticas cordadas, cuyo punto de emisión no formó un cráter. En el sitio de la erupción se presenta sólo un cono de unos 50 m de altura. Al lado del camino existe un cráter de 250 m de diámetro, el cual se habría originado por una explosión freática (Moreno <i>et al.</i>, 1984). Al interior existe un lacolito, que se habría inyectado después de la efusión de las lavas. Es un cuerpo de forma ovalada, con la parte central brechizada. Presenta autoclastos alterados, hidrotermalmente, a hematita y limonita. Además, posee diaclasamiento de enfriamiento, es decir, de superficies curvas (Lohmar, 2000). El afloramiento está cortado abruptamente, lo cual puede ser consecuencia directa de la explosión violenta que originó, posteriormente, el cráter. Debido a este evento se derrumbaron las lavas del borde W, quedando a la misma altura que el lacolito. En el cráter se observa material piroclástico (bombas) de color rojizo, lo cual indica el contacto con agua en el momento de su erupción (Lohmar, 2000). En el borde del lago, las lavas de este centro volcánico forman un acantilado, el cual sería producto de erosión fluvial, combinada con caídas gravitacionales. MORENO <i>et al.</i> (1984) correlacionan la edad de este centro volcánico con la de la Subunidad II3 del Volcán Antuco, es decir, Holoceno tardío.</p>

Imagen
Satelital:



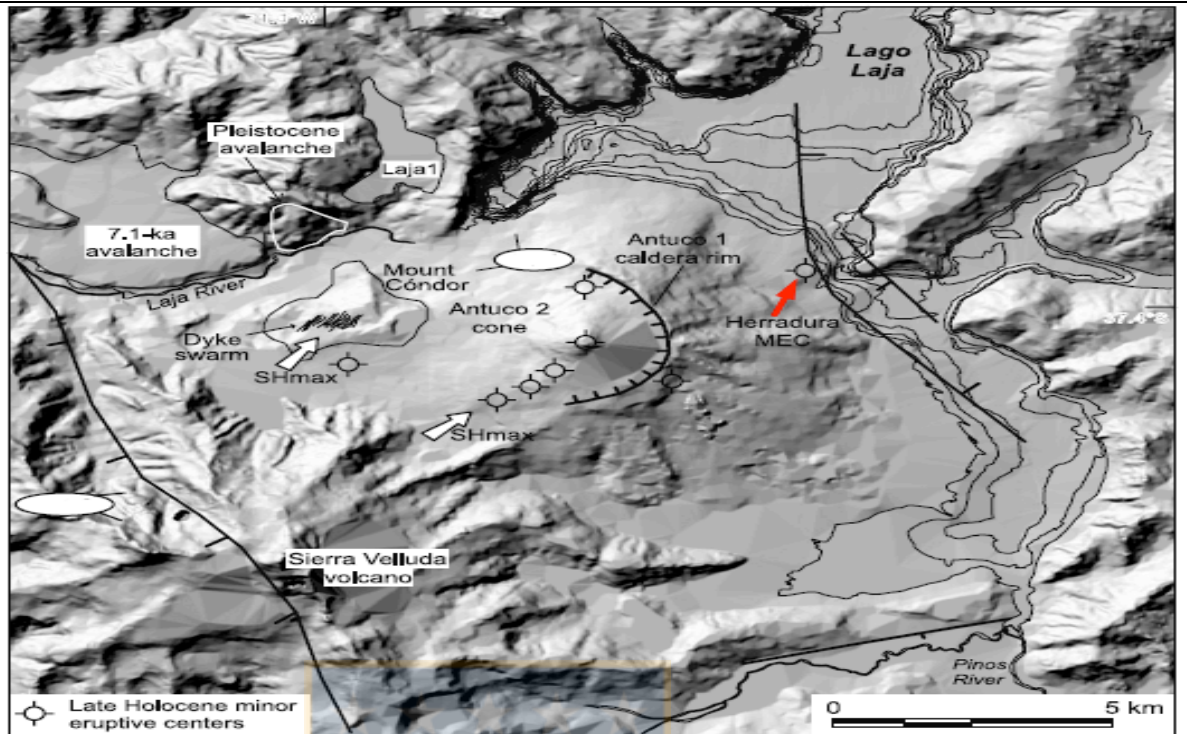
Fotografias:



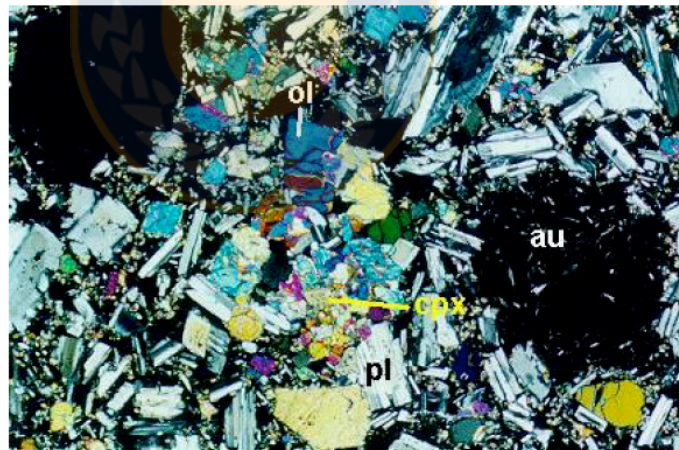
Izquierda. Lavas cordadas basálticas tipo pahoehoe. Derecha. Escoria basáltica, color rojizo, encontrada dentro del cráter del centro eruptivo La Herradura.

El Cráter del centro eruptivo La Herradura de aprox. 250 m de diámetro. Al interior se encuentra el lacolito. Los piroclastos al interior del cráter pueden no corresponder a este centro eruptivo y provienen de zonas altas de la ladera del volcán, ya sea por un flujo o arrastrados por el agua en condiciones normales.





Melnick *et al.* (2006) ilustra en este DEM, la ubicación de los distintos centros eruptivos asociados al volcán Antuco, depósitos asociados a la avalancha volcánica y las fallas que afectan la zona. Notar la falla cercana al centro La Herradura y la distribución de los conos adventicios en dirección noreste.

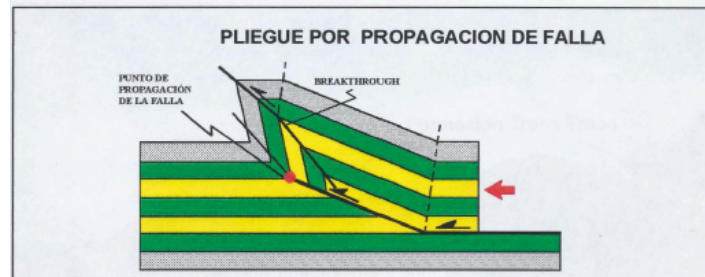


Cortetransparente de una colada basáltica del Centro Volcánico La Herradura. Se aprecia una textura glomeroporfírica, constituida por olivino (ol), clinopiroxeno (cpx) y plagioclasa (pl), además de un probable autolito (au). Nícoles cruzados (20x).

Código	Nombre		
G20	Anticlinal Volcado Curamallín		
Coordenadas:	301261	5847523	
Localidad:	Pichachén	Comuna:	Antuco
Poblado(s) más próximo(s) (Km):		Distancia (Km) a punto más próximo de acceso en:	
Abanico	40	Bus	40
Antuco	58	Auto	<500
Los Ángeles	122	4x4	-
Uso Actual:	Científico/Didáctico. Visitado por delegaciones de estudiantes de geología.		
*Asociación con elementos de índole natural:	Fauna y Flora nativa.		
*Asociación con elementos de índole cultural:	Existencia de elementos históricos y/o culturales. Asociados a zonas de actividad arriera y de pehuenches que habitaban la zona.		
Contexto(s) Geológico(s) Representado(s):	SCMz, TEC, PGGI		
Tipo(s) de Interés Geológico:	Estratigráfico, geología económica, estructural, geomorfológico.		
Publicaciones que lo incluyen:	Niemeyer y Muñoz (1983), Carpinelli (2000), Wyss (2003), Herriott (2006), Melnick (2006), Wertheim (2007), Lynch (2008), Arancibia (2009), Shockey (2012), Charrier (2015), Luna (Preview 2015), Albornoz (In prep.).		
Localidad Tipo	Reconocido como Localidad Tipo.		
*Estado de Conservación:	No hay daño visible, bien conservada		
*Condiciones de Observación:	Excelente, estructuras pueden ser observadas e identificadas sin dificultad. Se debe cruzar el río para acceder al afloramiento. Es necesario instalar un punto de observación con información sobre este geositio, el mejor evaluado.		
*Situación Legal:	Dentro de la Zona de Transición de la Reserva de la Biósfera Corredor Biológico Nevados de Chillán –		

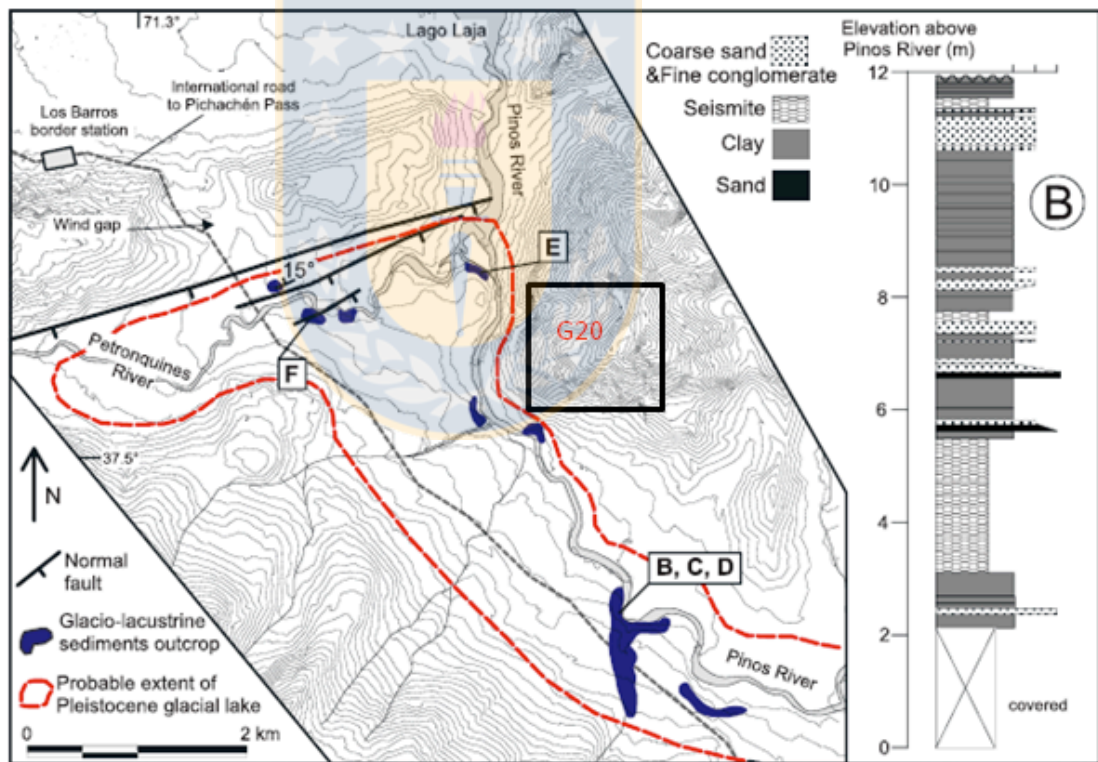
	Laguna del Laja. Terreno privado.
*Posibilidad de Recolección de Objetos:	Posible recolección de algunas muestras pero con restricciones. Existencia de contenido fósil y mineralógico.
*Fragilidad Intrínseca:	Aspecto geomorfológico que, por su tamaño, es difícilmente afectado de manera importante por actividades humanas. Sin embargo, el elevado potencial científico/didáctico/turístico, implica generar estrategias de gestión temprana en este geositio, para evitar la degradación de su contenido fósil y mineralógico.
*Vulnerabilidad a los procesos naturales:	Vulnerabilidad muy baja frente a los procesos no antrópicos.
Ubicación y Acceso:	Este geositio se ubica en el sector oriental del área de estudio. Desde Antuco, se debe tomar la ruta Q-45 por 58 km. Existe un desvío a la izquierda a 5 km de la aduana de Chile. Desde este lugar hay una excelente panorámica del pliegue. Si se desea acceder al afloramiento, es posible avanzar por menos de 500 m, hasta llegar al río Los Pinos, el cual se debe cruzar caminando.
Descripción:	<p>Este geositio corresponde a un anticlinal volcado que aflora 3 km al sur de la Laguna de la Laja, al norte del río Pino. Presenta vergencia al oeste, eje NNW-SSE y leve buzamiento hacia el norte. En base a su geometría a sido interpretado por Carpinelli (2000), como un pliegue asociados a fallas de corrimiento, de la misma manera que el pliegue de la ribera este del estero Trapatrapa o el pliegue anticlinal observado inmediatamente al sur de este geositio. Desde un punto de vista puramente descriptivo corresponden a pliegues por propagación de falla, originados por el avance del extremo propagante de una falla a través de una rampa, hacia estratos no fallados.</p> <p>Las rocas corresponden al miembro volcanoclástico de la Formación Curamallín (Miembro río Queuco). Entre las litologías que son posibles de reconocer en la base del pliegue, se encuentran intercalaciones de tobas líticas y areniscas de grano fino a grueso, algunos niveles de lavas andesíticas con fenocristales de plagioclasa, conglomerados matriz soportados y brechas matriz soportadas. En general los niveles presentan coloración</p>

verdosa.



Esquema de interpretación de la geometría de deformación por Carpinelli (2000).

La morfología de este geositio ha sido fuertemente afectada por la erosión glacial. Al este del pliegue se puede observar un circo glaciar y dos valles glaciares, que depositaron una morrena lateral. También existe un depósito glaciolacustre, interpretado por Melnick *et al.* (2006), como un lago proglacial. Estos mismos autores afirman que la zona estuvo cubierta por un gran lago glaciar pleistoceno, como se ilustra en el siguiente esquema.

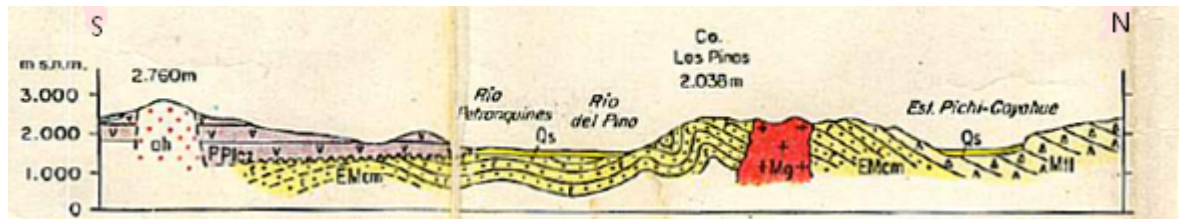


Esquema ubicación probable lago glaciar pleistoceno. Fuente: Melnick *et al.* (2006).

La incisión fluvial del río Pino, una secuencia de depósitos glaciolacustres, que evidencian un paleolago glaciar de unos 10 km² y una superficie sobre los 1400 m s.n.m., unos 50 m más alto que el actual nivel del lago. Probablemente este lago no estuvo conectado con la cuenca del lago Laja. Esto debido a que el tipo de depósitos lacustres presentes, no se

encuentran alrededor y ambas áreas se están separadas por un bloque, atravesado por una falla normal, formado por rocas terciarias. Posteriormente, la erosión del río Pino ha erosionado y conectado ambos sectores.

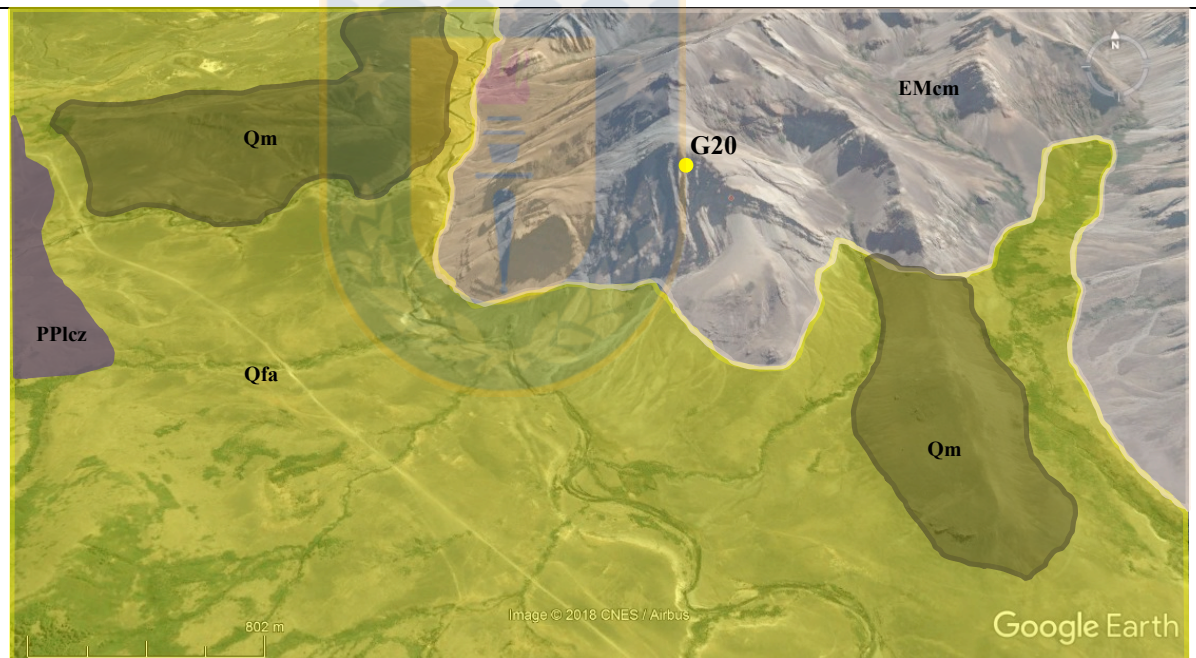
Perfil realizado por Niemeyer & Muñoz (1983), corresponde a una sección transversal realizado entre la Sierra Velluda y el estero Pichi-Coyahue. Se evidencia el pliegue y su disposición con respecto a las otras formaciones en el Cerro Los Pinos (2038 m).



Perfil de la Hoja Laguna del Laja por Niemeyer & Muñoz (1983).

Este geositio ha sido propuesto por este investigador a la Sociedad Geológica de Chile, para ser incorporado al inventario nacional de geositios, el cual fue aceptado.

Imagen
Satelital:



Fotografías:





Código	Nombre		
G26	La Cortina		
Coordenadas:	289580	5860178	
Localidad:		Comuna:	Antuco
Poblado(s) más próximo(s) (Km):		Distancia (Km) a punto más próximo de acceso en:	
Abanico	14	Bus	14
Antuco	32	Auto	<0.2
Los Ángeles	95	4x4	-
Uso Actual:	Científico/Didáctico. Visitado por delegaciones de estudiantes de geología.		
*Asociación con elementos de índole natural:	Fauna y Flora nativa.		
*Asociación con elementos de índole cultural:	Existencia de elementos históricos o culturales vinculados al área del geositio, relacionados con las faenas hidroeléctricas abandonadas de “La Cortina”.		
Contexto(s) Geológico(s) Representado(s):	SCMz, TEC		
Tipo(s) de Interés Geológico:	Estructural, petrológico, estratigráfico.		
Publicaciones que lo incluyen:	Niemeyer y Muñoz (1983), Muñoz y Niemeyer (1984), Drake (1976), Melnick <i>et al.</i> (2006).		
Localidad Tipo	No aplica		
*Estado de Conservación:	Deterioro leve asociado a las faenas hidroeléctricas abandonadas, pero aún mantiene las características geológicas esenciales.		
*Condiciones de Observación:	Óptimas, pueden ser observadas e identificadas sin dificultad.		
*Situación Legal:	Dentro de la Zona de Transición de la Reserva de la Biósfera Corredor Biológico Nevados de Chillán – Laguna del Laja. Terreno privado.		
*Posibilidad de Recolección de Objetos:	Es posible la recolección de muestras sin alterar el geositio.		
*Fragilidad Intrínseca:	Grandes estructuras geológicas que pueden ser afectadas por actividades humanas pero, por su magnitud, su destrucción es poco probable.		
*Vulnerabilidad a los procesos naturales:	Elevada vulnerabilidad frente a los procesos no antrópicos. Se requieren medidas de mitigación de mayor índole. Caídas de roca		

en algunas zonas.

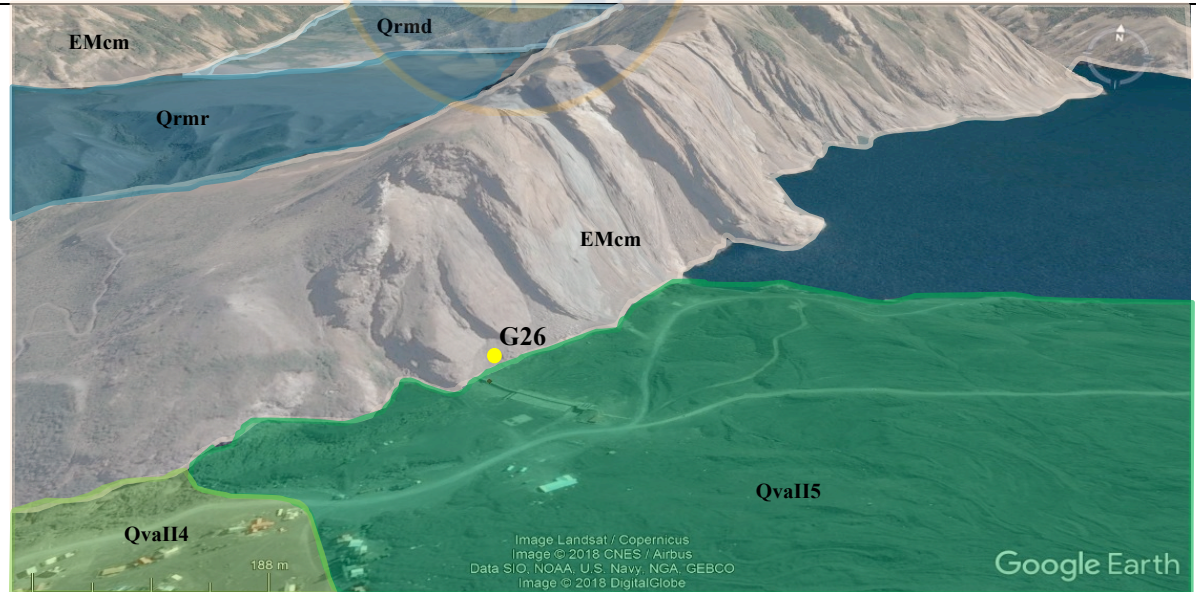
Ubicación y Acceso:

La Cortina es un geosítio ubicado frente al Parque Nacional Laguna del Laja, frente a las antiguas faenas hidroeléctricas de la empresa ENDESA. Desde Antuco, se debe tomar la ruta Q-45 por 32 km, hasta el centro de ski del volcán Antuco. Las montañas del sector Norte, corresponden al afloramiento de este geosítio. Es posible estacionar el vehículo frente a las antiguas faenas y caminar menos de 200 m para visitar estas rocas.

Descripción:

Las rocas que se reconocen en este afloramiento corresponden a brechas volcánicas, lavas andesíticas y tobas, predominando estas últimas. También se reconocen conglomerados gruesos. Los estratos están notablemente plegados según un anticlinal asimétrico, cuyo eje de plano axial, subvertical y de dirección N-S, buza hacia el sur, junto con las laderas del Cerro Las Romazas al oeste del estero El Toro. En el flanco occidental del pliegue existen manteos de 25°-45°WSW, mientras que en el flanco oriental estos alcanzan hasta 70°E (Lohmar, 2000). Fallas en distintas direcciones y abundantes diques cortan la secuencia. Pertenecen al Miembro Río Queuco, de la Formación Curamallín de edad Oligoceno tardío-Mioceno medio. Este cordón de cerros separa el Lago Laja de la Planicie El Toro, erosionado por la acción de glaciares y relleno por sedimentos de la avalancha volcánica del Antuco I. Los túneles que atraviesan el afloramiento, probablemente corresponden a faenas abandonadas de La Cortina, construida en 1953, controlar los vertimientos naturales del lago.

Imagen Satelital:



Fotografias:



Código	Nombre		
G27	Valle de la Luna		
Coordenadas:	291731	5861372	
Localidad:		Comuna:	Antuco
Poblado(s) más próximo(s) (Km):		Distancia (Km) a punto más próximo de acceso en:	
Abanico	16	Bus	16
Antuco	34	Auto	<0.1
Los Ángeles	97	4x4	-
Uso Actual:	Científico. Visitado por delegaciones de estudiantes de geología. Atravesado por la ruta Q-45. Zona de conservación de Matuastos.		
*Asociación con elementos de índole natural:	Flora y Fauna nativa. Zona de conservación del Matuasto (<i>Phymaturus palluma</i>).		
*Asociación con elementos de índole cultural:	Existencia de elementos vinculados al área del geositio, asociada a la Tragedia de Antuco (2005).		
Contexto(s) Geológico(s) Representado(s):	VNgsQ.		
Tipo(s) de Interés Geológico:	Geomorfología, Vulcanología, petrología.		
Publicaciones que lo incluyen:	Moreno (1984), Lohmar (2000).		
Localidad Tipo	Cercano al Centro de Emisión Volcánico.		
*Estado de Conservación:	No hay daño visible, bien conservada.		
*Condiciones de Observación:	Buena para todas las características geológicas relevantes. Es posible atravesar en vehículo o a pie.		
*Situación Legal:	Dentro de la Zona de Núcleo de la Reserva de la Biósfera Corredor Biológico Nevados de Chillán – Laguna del Laja, Parque Nacional Laguna del Laja.		
*Posibilidad de Recolección de Objetos:	Es posible la recolección de muestras sin dañar al geositio		
*Fragilidad Intrínseca:	Puede ser destruido por intervenciones no muy		

	intensas. Vulnerable frente a futuros proyectos de pavimentación de la ruta Q-45.
*Vulnerabilidad a los procesos naturales:	Vulnerabilidad muy baja frente a los procesos no antrópicos.
Ubicación y Acceso:	El Valle de la Luna es un geosítio ubicado en el Parque Nacional Laguna del Laja. Desde Antuco, se debe tomar la ruta Q-45 por 34 km, pasado el centro de ski del volcán Antuco. Luego, en dirección al sector Los Barros, el camino comienza a atravesar las formaciones de este geosítio.
Descripción:	<p>Corresponden a lavas grises oscuras de composición basáltica con fenocristales de olivino, asignadas por Moreno <i>et al.</i> (1984), a la unidad Antuco I (Ver mapa geológico a detalle). Lohmar (2000) recolecta la muestra 211098-4, clasificada como una andesita basáltica, con fenocristales de olivino y plagioclasa. La roca se presenta de forma masiva o en algunos sectores con disyunción columnar. Se reconoce una península de unos 500 m de largo, paralela a la costa, separada de ésta por un cañadón de 150 m de ancho, de bordes abruptos, con un “escalón” en su ladera sureste. Danilchik (1967, en Moreno <i>et al.</i>, 1984) atribuye el origen de esta morfología a erosión fluvial de tipo cascada en retroceso. Abele (1981) a erosión glacial y Moreno <i>et al.</i> (1984) la interpretan como una depresión de tipo graben, limitada por escarpes de fallas normales de dirección N45°E.</p> <p>Los últimos autores argumentan que, en terreno, no se observan rasgos de erosión, sino que la superficie de la lava conserva aún su estructura rugosa original. Además, tampoco existen depósitos de origen glacial ni fluvial y el “escalón” de la ladera sureste indicaría un origen estructural. Sin embargo, no creen en un fenómeno tectónico sino que, más bien, en algún tipo de asentamiento local.</p> <p>Es posible atravesar estas coladas de lava, por el mismo camino que atraviesa el parque, con dirección al Paso Pichachén. Además,</p>

	<p>de los aspectos geológicos, este geosítio tiene otros aspectos de interés. Es una zona de avistamiento y reproducción de Matuastos (<i>Centrura flagellifer</i>), un tipo de lagarto. Durante el trayecto existen numeras señas de la tragedia de Antuco ocurrida el año 2005, en la que 45 jóvenes del regimiento de Los Ángeles, mientras realizaban su servicio militar en invierno. Al costado norte del camino, se encuentran las ruinas del Refugio Universidad de Concepción, lugar en el que se guarecieron los sobrevivientes de esta tragedia.</p> <p>Se recomienda a CONAF ser exigentes con los lugares de tránsito para vehículos motorizados, ya que existen huellas de éstos fuera de los caminos habilitados, afectando la flora y fauna del sector por ruidos y alteración del hábitat.</p>
Imagen Satelital:	
Fotografías:	<p style="text-align: right;">EMcm</p> <p>Uno de los hitos que se pueden observar mientras se atraviesa este geosítio, tienen relación con la Tragedia de Antuco.</p> <p>En la imagen de abajo, se puede observar el Refugio Universidad de Concepción, actualmente con notables signos de deterioro y desuso.</p> <p style="text-align: center;">QvaI</p> <p style="text-align: right;">QI</p>

Código	Nombre		
G28	Valle glaciario relleno de lavas		
Coordenadas:	279557	5859593	
Localidad:	Malalcura	Comuna:	Antuco
Poblado(s) más próximo(s) (Km):		Distancia (Km) a punto más próximo de acceso en:	
Abanico	2	Bus	2
Antuco	20	Auto	<0.1
Los Ángeles	83	4x4	-
Uso Actual:	Científico/Turístico-Recreativo. En el sector existe desarrollo de rutas turísticas, viajes de arrieros al valle del Malalcura, canopy, caminatas, turismo en pirquenes abandonados y rutas de escalada. Sin embargo, no existe la valoración del patrimonio geológico en estas actividades.		
*Asociación con elementos de índole natural:	Presencia significativa de fauna y/o flora nativa.		
*Asociación con elementos de índole cultural:	Existencia de elementos históricos o culturales vinculados al área del geosítio. Asociados a la cultura arriera y antiguas faenas forestales y mineras abandonadas en la zona.		
Contexto(s) Geológico(s) Representado(s):	MgVCz, VNgsQ, PGGI.		
Tipo(s) de Interés Geológico:	Geomorfología, vulcanología, petrología.		
Publicaciones que lo incluyen:	Thiele (1998).		
Localidad Tipo	No aplica.		
*Estado de Conservación:	Deterioro leve, pero aún mantiene las características geológicas esenciales.		
*Condiciones de Observación:	Razonables, buena visibilidad pero hay que moverse alrededor para una observación completa.		
*Situación Legal:	Dentro de la Zona de Transición de la Reserva de la Biósfera Corredor Biológico Nevados de Chillán – Laguna del Laja. Terreno privado.		
*Posibilidad de Recolección de Objetos:	Es posible la recolección de muestras sin dañar al geosítio.		

*Fragilidad Intrínseca:	Grandes estructuras geológicas que pueden ser afectadas por actividades humanas pero, por su magnitud, su destrucción es poco probable.
*Vulnerabilidad a los procesos naturales:	Vulnerabilidad muy baja frente a los procesos no antrópicos o bien es constantemente afectada por la caída de bloques, por lo que no se justifican medidas de mitigación.
Ubicación y Acceso:	El valle glaciar relleno de lava se ubica en la comuna de Antuco, a 20 km del pueblo de nombre homónimo, por la ruta Q-45. Existe transporte público hasta el desvío hacia Abanico. Para acceder a este geositio se debe avanzar por 1 kilómetro desde el comienzo del camino de ripio, hasta llegar a un terreno con oferta turística de trekking/canyoning. En este lugar se debe caminar por 100 metros en un camino forestal abandonado. El camino es privado y se debe pedir permiso o contratar un servicio turístico.
Descripción:	En el flanco sur del valle del Laja, al oriente del río Malalcura, se ubica este geositio que corresponde a un antiguo valle glaciar colgante labrado sobre el plutón granodiorítico que aflora en el sector. Este valle glaciar posteriormente, fue rellenado por coladas de lava provenientes del volcán Sierra Velluda. La evidencia de la acción glaciar del pleistoceno inferior, ha dejado evidencia en las formas aborregadas de este plutón. En la ladera oeste, se pueden observar numerosos diques de composición básica, espesor decamétrico y coloración verdosa, que cortan la roca caja. Este sector presenta un camino por el cual subían camiones a extraer madera, en el valle del río Malalcura, en los años 90's, según cuentan los lugareños. Actualmente existen instalaciones de canopy, utilizadas por un operador local.
Imagen Satelital:	
Fotografías:	Arriba. Valle glaciar en cuerpo granodiorítico en discordancia con coladas de lava del volcán Sierra Velluda. Abajo. Izquierda: Granodiorita grano grueso. Derecha: Múltiples diques atraviesan el plutón granodiorítico.
Código	Nombre
G34	Cerro Mariposas

Coordenadas:	289905	5891939
Sector:	Valle superior del río Polcura	Comuna: Pinto
Poblado(s) más próximo(s) (Km):	Distancia (Km) a punto más próximo de acceso en:	
Los Lleuques	45	Bus 31
Recinto	49	Auto 25
Chillán	91	4x4 17
Uso Actual:	Turístico. Lugar de gran valor escénico para visitantes de la Reserva Ñuble.	
*Asociación con elementos de índole natural:	Fauna y Flora nativa.	
*Asociación con elementos de índole cultural:	No existen elementos de especial interés histórico o cultural.	
Contexto(s) Geológico(s) Representado(s):	SCMz	
Tipo(s) de Interés Geológico:	Estructural, estratigrafía, petrología, geomorfología.	
Publicaciones que lo incluyen:	Niemeyer y Muñoz (1983), Muñoz y Niemeyer (1984), Benavente (2016).	
Localidad Tipo	Reconocido como localidad tipo 'secundaria'.	
*Estado de Conservación:	No hay daño visible, bien conservada.	
*Condiciones de Observación:	Razonables, buena visibilidad pero hay que moverse alrededor para una observación completa.	
*Situación Legal:	Dentro de la Zona de Núcleo de la Reserva de la Biósfera Corredor Biológico Nevados de Chillán – Laguna del Laja, Reserva Ñuble.	
*Posibilidad de Recolección de Objetos:	Es posible la recolección de muestras sin alterar el geosito.	
*Fragilidad Intrínseca:	Aspecto geomorfológico que, por su tamaño, es difícilmente afectado de manera importante por actividades humanas.	
*Vulnerabilidad a los procesos naturales:	Vulnerabilidad muy baja frente a los procesos no antrópicos, procesos erosivos naturales donde es injustificado generar medidas de mitigación.	
Ubicación y Acceso:	El Cerro Mariposas está ubicado en la Reserva Nacional Ñuble, para acceder se debe tomar la ruta N-55 desde Chillán. La ruta asfaltada continúa durante 53 km hasta la localidad de Los Lleuques. Luego se debe virar a la derecha por un camino de ripio hasta el Fundo Los	

	<p>Cipreses. Desde ahí, el camino solamente es apto para vehículos 4x4 o caminando por los siguientes 8 km hasta El Trumao, punto de acceso a la Reserva Nacional Ñuble. Posteriormente, se deben caminar 17 km a través del antiguo camino del gaseoducto trasandino, donde además se debe vadear el río Polcura.</p>
Descripción:	<p>Ubicado en al fondo del cajón homónimo, a orillas del río Polcura, rodeado de coigue, roble y ciprés de la cordillera. Existen vegas en el cerro Mariposas, asociados a afloramientos hídricos y agua acumulada de deshielos, que han sido utilizados previo a creación de la reserva, por ganado de arrieros. Es un buen lugar para acampar, observar aves y pescar. Personal de CONAF, ha instalado cámaras trampa en los alrededores, donde han registrado familias de huemules. La cumbre del cerro Mariposas es un centro de emisión antiguo, muy probablemente correspondería a la Formación Trapatrapa, que se apoya en pseudoconcordancia y discordancia sobre Curamallín. Incluso se adivina una pequeña colada hacia el E de la cima. La secuencia volcánica es posible reconocerla de mejor manera hacia el SO.</p> <p>Este geosítio ha sido presentado por este investigador, a la Sociedad Geológica de Chile, para ser incorporado al inventario nacional de geosítios.</p>
Imagen Satelital:	
Fotografías:	

ANEXO VII: Georutas propuestas en el Corredor Biológico Nevados de Chillán – Laguna del Laja.

Georutas propuestas por las investigaciones de patrimonio geológico realizadas por Rivera (2014), Donoso (2017) y la presente investigación. Nomenclatura geositios: Rivera (GR), Donoso (GD) y Urrutia (GU).

Georuta	Geositios	Distancia (Km)	Duración aprox.	Dificultad
Malalcura	Cerro Malalcura (GD2)- Estero Piedras (GD3)	12	2 días	Baja - Media
Bullileo	Laguna La Plata (GD4) - Laguna Añil (GD5)	13	2 días	Baja - Media
Palo Seco	Las Lagunas (GD9) - Laguna Chacayal (GD10)	17	4 días	Media- Alta
Evolución Geológica del Valle Ñuble	El Valiente (GD1) - Puente Inglés (GD7) - El Roble y Las Minas (GD13) - Valle El Gato (GD12)	57	4 a 5 días	Baja - Media
De Shangri-la al Glaciar Cerro Blanco	Lavas Shangri-la (GR5) - Refugio Waldorf (GR14)- Glaciar Cerro Blanco (GR1)	10	1 a 2 días	Muy alta
De Las Termas al Valle de Aguas Calientes	Sector Fumarolas (GR9) - Aguas Calientes (GR8)	6	1 día	Media- Alta
De Shangri-la al Volcán Parador	Lavas Shangri-la (GR5) - P.L.C.L. (GR6) - Volcán Parador (GR4)	5	1 día	Media
De Shangri a la Garganta del Diablo	Lavas Shangri-la (GR5) - P.L.C.L. (GR6) - Garganta del Diablo (GR10)	7	1 día	Media
Del Hotel Termas de Chillán a la Garganta del	Garganta del Diablo (GR10)	3.5	1/2 día	Media

Diablo				
Del Complejo Ruka-Pirén al Palo Huacho	Cascada Aserradero (GR30) - Palo Huacho (GR31)	3.5	1/2 día	Media
De Shangri-la a la Laguna El Huemul	Laguna Huemul (GR13)	4	1 día	Media-Baja
De Las Trancas a la Laguna El Huemul	Lavas Shangri-la (GR5) - Laguna Huemul (GR13)	2	1/2 día	Alta
De Las Trancas al Patio del Cóndor	Mirador Las Trancas (MIG1) - Patio del Cóndor (GR7)	3.5	1/2 día	Media-Alta
Corredor Biológico Nevados de Chillán-Laguna del Laja.	Puente Inglés (GD7), Junta del Gato (GD11), Roble y Las Minas (GD13), Aguas Calientes (GR8), Termas Los Peucos (GU17), Cerro Las Mariposas (GU10), Laguna El Toro y Cóndores (GU21), Cerro El Toro (GU16)	150	11 días	Alta
Reserva Ñuble-Parque Nacional Laguna del Laja.	Cañón Salto río Seco (GU23) Laguna El Potro (G26), Salto estero Piedras Azules (G28), Salto El Blanquillo (GU15), Cerro Las Mariposas (GU10), Laguna El Toro y Cóndores (GU21), Cerro El Toro (GU16),	74	5 días	Alta
Travesía Volcán Antuco	Cerro Cóndor (GU18), Quebrada Sierra Velluda (GU2), Pahoehoe Toes (GU19), Centro Eruptivo Los Pangués (GU3), Centro Eruptivo Herradura (GU5), Valle de la Luna (GU8), Mirador Laguna del Laja (MIG4), La Cortina (GU4)	36	2 días	Media
Las maravillas de Antuco (Ruta Inclusiva)	Escalada Villa Peluca (GU11), Saltos Malalcura (GU6), Peñón del Diablo (GU20), Salto Trubunleo (GU12), Mirador sendero Las Chilcas (MIG3),	77	1 día	Baja

<p>Cerro Amarillo Avalancha (GU13), La Cortina (GU4), Centro Eruptivo Herradura(GU5), Mirador Laguna del Laja (MIG4), Anticlinal volcado Curamallín (GU1), Piedra del Indio (24), Cerro Campamento (GU22), Mirador Paso Pichachén (MIG5).</p>			
-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	--	--	--



ANEXO VIII: Glosario Geológico

Abanico aluvial: Depósito de sedimentos en forma de abanico, que suele producirse en la juntura entre una quebrada y un valle, en zonas donde la pendiente disminuye de manera abrupta.

Afanítica: Textura de roca en la cual los cristales son demasiado pequeños para ser vistos a simple vista, ya sea la roca cristalizada o vítrea.

Afloramiento: Roca expuesta que difiere del resto de material disperso y sedimentos a su alrededor.

Andesita: Roca volcánica de composición intermedia, respecto a su contenido de sílice. Es la litología más común en la Cordillera de los Andes.

Astenosfera: Es una subdivisión del manto terrestre que se encuentra bajo la litosfera, en la cual el material ya no se comporta de manera rígida, sino que es relativamente más plástico y dúctil. Las rocas que están en esta zona se encuentran en estado sólido, pero tienden a deformarse con más facilidad.

Basalto: Es un tipo de roca volcánica, formada por la cristalización de lavas de composición básica (bajo contenido de sílice). Su color oscuro se debe a la alta concentración de hierro y magnesio.

Batolito: Es una masa de roca ígnea intrusiva de grandes dimensiones (se extienden por más de 100 km²). Estos cuerpos de roca se formaron por cristalización de magma en profundidad, y aparecen hoy expuestos en la superficie debido a procesos de erosión.

Caldera volcánica: Es una gran depresión volcánica, distinta de un cráter, cuyo origen puede deberse a diferentes factores, como por ejemplo la unión de algunos cráteres pequeños o explosiones repetidas que provocan que la cámara magmática se vacíe y no sea capaz de soportar el gran peso del macizo volcánico situado encima, lo que genera inestabilidad y finalmente el colapso y hundimiento de su cobertura.

Cámara magmática: Caverna subterránea ubicada en la corteza, que contiene el magma con los gases y que se conecta con el edificio volcánico a través del conducto de emisión.

Circo glacial: Corresponde a una cuenca semicircular, con forma de anfiteatro, que se genera debido a la erosión producida por un glaciar en las cabeceras de un valle.

Corteza terrestre: Capa sólida más externa de la Tierra, que tiene una composición química distinta a la del manto subyacente. Existen dos tipos de corteza: la oceánica, formada principalmente por basaltos, y la continental, más gruesa y de composición más heterogénea. Las rocas de la corteza oceánica suelen ser más densas que las de la continental.

Datación por radiocarbono (^{14}C): Método muy utilizado para estimar la edad de un evento del pasado geológico reciente, ocurrido hace menos de 50.000 años. El procedimiento se basa en el hecho de que existe una variedad del carbono (conocida como carbono-14 ó ^{14}C) cuyo núcleo atómico es inestable y, por lo tanto, tiende a desintegrarse con el tiempo. Todos los seres vivos contienen una pequeña cantidad de este elemento en nuestro cuerpo, pero cuando un ser vivo muere, la proporción de ^{14}C va disminuyendo a medida que se va desintegrando, lo que permite estimar la edad de materia orgánica.

Dique: Es un cuerpo de roca ígnea de aspecto tabular, formado por el magma que ha sido inyectado a través de fracturas en la roca. Suelen disponerse de manera vertical atravesando varias capas de estratos. Al erosionarse la roca circundante, los diques pueden quedar expuestos en la superficie y formar verdaderos muros de roca ígnea.

Diorita: Roca de textura cristalina de composición intermedia a básica respecto a su contenido de sílice. Lo que se refleja en un color más oscuro.

Disyunción columnar: Tipo de fractura que se produce en ciertas coladas de lava durante su enfriamiento al entrar en contacto con la superficie y la atmósfera, por lo que parecen estar formadas por un conjunto de columnas o pilares.

Erosión: Conjunto de procesos geológicos que producen el desgaste de las rocas. Los principales agentes erosivos son las aguas en movimiento (ríos, torrentes, mar), los glaciares y el viento.

Escoria: Es una roca volcánica de color oscuro que se produce cuando una lava de composición básica (de bajo contenido en sílice), se enfría luego de ser expulsada desde el conducto volcánico durante una erupción. Posee gran cantidad de cavidades o ‘vesículas’, que se generan debido al escape de los gases que se encuentran disueltos en el magma.

Estratovolcán: Volcán con forma cónica de grandes dimensiones y de perfil simétrico, que puede alcanzar los 3.000 m de altura. Está compuesto por depósitos volcánicos, incluyendo lavas y productos piroclásticos generados a partir de sucesivas erupciones, que se van acumulando en capas o estratos, hasta formar un gran cono.

Etapas del tiempo geológico: Los geólogos clasifican el tiempo de la tierra en diferentes fases desde su formación, estas están ordenadas respecto a su jerarquía en: Eón, Era, Periodo, Época y Piso, siendo el “piso” la unidad más pequeña de tiempo.

Falla: Plano a través del cual se fractura una masa rocosa. En las fallas, suele apreciarse un desplazamiento relativo de una parte respecto a la otra.

Filón Manto: Es un cuerpo de roca ígnea de forma tabular, formado a poca profundidad, cuando un magma es inyectado entre medio de capas rocosas o estratos. Los filones manto suelen disponerse de manera horizontal o paralela a los estratos, como si fuesen una capa más.

Formación: Unidad de rocas características para un tiempo geológico, distribuidas en un área delimitada y que presentan características únicas que las diferencian de las otras rocas.

Geodiversidad: Corresponde a la variedad de ambientes, fenómenos y procesos geológicos que dan origen a paisajes, rocas, minerales, fósiles, suelos y otros depósitos superficiales que constituyen el sustrato de la vida en la Tierra.

Geoparque: Territorio bien delimitado que contiene un patrimonio geológico de relevancia internacional, cuya área es lo suficientemente amplia para permitir el desarrollo económico y social de sus comunidades, principalmente a través del turismo. Los Geoparques comúnmente usan este patrimonio para promover el conocimiento y buenas prácticas en temas como los riesgos geológicos y la mitigación de desastres, el cambio climático, el uso de recursos naturales y el turismo responsable con el medio ambiente.

Geositio: Lugar con límites definidos que forma parte de la geodiversidad y que refleja aspectos destacados de la historia de la Tierra. Los geositios tienen una relevancia especial desde el punto de vista científico, y también pueden tener interés educativo, paisajístico, cultural o recreativo.

Geoturismo: Turismo que apoya y refuerza el carácter geográfico de un lugar, su medio ambiente, la geología, la cultura, el patrimonio y el bienestar de sus habitantes.

Glaciar: Masa de hielo de grandes proporciones, que se forma en lugares donde existe gran acumulación de nieve. La nieve comienza a compactarse y recrystalizar debido a la presión ejercida por su propio peso, hasta convertirse en hielo glaciar. Si el terreno que contiene a un glaciar tiene cierta pendiente, la masa de hielo se desplaza de manera lenta pero continua. Este movimiento suele generar una importante erosión en el terreno y modificar notoriamente los rasgos del paisaje.

Gondwana: Antiguo supercontinente formado por lo que actualmente es Sudamérica, África, India, Australia y la Antártica. Su fragmentación habría comenzado durante el Jurásico, con la apertura del océano Índico, y se intensificó durante el Cretácico, cuando Sudamérica se separó de África, dando origen al océano Atlántico.

Granito: Es un tipo de roca plutónica, formada por la cristalización de magmas ricos en sílice. Su color se debe a la presencia dominante de minerales claros como el cuarzo y el feldespato.

Granodiorita: Roca de textura cristalina de composición intermedia respecto a su contenido de sílice, lo que se refleja en un color claro.

Hipabisal: Roca con cristales de tamaño fino a medio, que se emplaza a profundidades intermedias respecto a la superficie terrestre (4-1 Km).

Ignimbrita: Depósito piroclástico, compuesto por fragmentos volcánicos procedentes del colapso violento de una columna eruptiva.

Intrusivo: Cuerpo de roca emplazado cercano a la superficie terrestre cortando otros tipo de roca.

Lacolito: Es un cuerpo de roca ígnea que se forma de manera similar a un filón manto, inyectándose entre los estratos de roca. Pero en este caso el magma es más viscoso, por lo que tiende a acumularse y formar una masa lenticular que deforma los estratos superiores.

Lahar: Flujo de lodo o sedimentos que se movilizan por las laderas de los volcanes luego de aguaceros torrenciales, del derretimiento de masas de nieve y hielo, o de la ruptura de un lago de cráter, que ocurre durante o justo después de una erupción volcánica. Los lahares se mueven rápidamente y son capaces de arrastrar grandes fragmentos de roca, árboles y otros objetos que encuentren a su paso, lo que los hace potencialmente muy peligrosos y destructivos.

Lava: Es la porción del magma que asciende por la corteza y alcanza la superficie de la Tierra, produciendo erupciones volcánicas. Las lavas pueden clasificarse como ‘ácidas’ si poseen una alta cantidad de sílice, o ‘básicas’ si su contenido en sílice es relativamente menor. Las lavas ácidas son más viscosas y suelen producir erupciones más explosivas que las lavas básicas.

Litosfera: Capa externa de la Tierra formada por roca rígida y fría. Comprende la totalidad de la corteza terrestre y una parte del manto superior conocida como manto litosférico, que es más rígida que la astenosfera que se encuentra justo por debajo.

Litología: Concepto que abarca distintas formas en que se encuentran las rocas en la superficie de la tierra.

Magma: Los magmas son cuerpos de roca fundida, gases disueltos y cristales, situados al interior de la Tierra. Suelen alcanzar temperaturas entre los 600 y 1.500 °C. Cuando un magma asciende a través de la corteza terrestre y alcanza la superficie, da origen a lo que conocemos como lava.

Manto: Es una de las capas internas de la Tierra, compuesta principalmente por un tipo de roca ígnea muy densa, llamada peridotita. Se ubica justo bajo la corteza y se extiende hasta una profundidad de 2.900 km.

Meandro: Es el nombre que se le da a cada una de las curvas que presentan los ríos a lo largo de su recorrido. Allí donde hay un meandro, el río golpea con mayor fuerza en la

parte exterior del codo que en la ribera interna, pues la corriente lleva mayor energía y velocidad. Esto produce mayor erosión y desgaste en la parte externa del meandro, mientras que en la parte interior comienza a acumularse material depositado por el río.

Obsidiana: Roca volcánica formada total o mayoritariamente por vidrio. Fue utilizada por los primeros habitantes de regiones volcánicas, para la confección de puntas de flecha y otros utensilios.

Piroclasto: La palabra piroclasto proviene del griego (piro = fuego; clasto = roto) y se utiliza para referirse al material que es arrojado a la atmósfera desde la chimenea del volcán durante una erupción. Este material está compuesto por fragmentos de roca, cristales y vidrio volcánico, con tamaños que varían desde un fino polvo (ceniza) hasta bloques de grandes dimensiones. Las partículas mayores a seis centímetros que son expulsadas en forma de lava incandescente, y que se enfrían y solidifican durante su recorrido aéreo, reciben el nombre de ‘bombas piroclásticas’.

Placa tectónica: Corresponde a cada una de las secciones en que está fragmentada la litosfera terrestre. Las placas tectónicas se mueven como bloques rígidos que flotan sobre la astenosfera, produciendo el continuo movimiento de los continentes. En los límites de las placas tectónicas se concentra la mayor cantidad de actividad volcánica y sísmica.

Roca ígnea: Roca que se ha formado por la solidificación (o ‘cristalización’) de un magma al enfriarse. Cuando este proceso ocurre en superficie, el resultado es una roca ígnea ‘volcánica’ o ‘extrusiva’; mientras que cuando el magma cristaliza en profundidad y de manera lenta, da origen a una roca ígnea ‘plutónica’ o ‘intrusiva’.

Valle glacial: Se llama así a los valles que han sido afectados por la erosión glacial. El glaciar erosiona y pule el terreno a medida que se desplaza a lo largo del valle. El principal resultado es que este se ensancha y se profundiza, adquiriendo un suave perfil en forma de U.

Roca metamórfica: Roca que se ha formado a partir de la modificación de otras rocas preexistentes. La transformación de una roca en otra suele ocurrir en el interior de la Tierra, debido a las elevadas temperaturas y presiones a las que la roca es sometida.

Roca sedimentaria (detrítica): Roca formada a partir de sedimentos o material rocoso que ha sido extraído de rocas preexistentes para luego ser transportado, depositado, compactado y cementado. Un ejemplo de roca sedimentaria lo constituye la arenisca, que es una roca formada por granos de arena que han sido compactados y unidos por un cemento.

Toba: Roca formada por la acumulación y consolidación de material piroclástico que ha sido expulsado por un volcán. Así, las tobas suelen estar compuestas por vidrio volcánico, cristales y fragmentos de roca de distintos tamaños.

Viscosidad: Este término se usa para referirse a la resistencia de un líquido a fluir. Aplicado al volcanismo, las lavas de composición básica son menos viscosas que las lavas de composición ácida y, por lo tanto, tienen mayor capacidad de fluir.

Volcán activo: Se consideran volcanes activos aquellos donde se infiere actividad eruptiva ocurrida durante el Holoceno, es decir, durante los últimos 11.700 años. Si no hay evidencias de lo anterior, un volcán también se considera activo si se observan signos medibles de actividad volcánica tales como desgasificación, anomalías térmicas, microsismicidad o deformación de su superficie.

Volcán inactivo: Son todos aquellos volcanes que no han dado muestras de actividad volcánica durante el Holoceno, es decir, en los últimos 11.700 años, como es el caso de la Sierra Velluda.