



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



**GEOCONSERVACIÓN EN LOS VALLES EXPLORADORES Y LEONES  
(CAMPO DE HIELO NORTE, REGIÓN DE AYSÉN, CHILE):  
INVENTARIO, CUANTIFICACIÓN, MEDIDAS DE PROTECCIÓN Y  
DIVULGACIÓN**

**Memoria para optar al Título de Geólogo**

**Felipe Sebastián Andrade Andrade**

**Profesor Patrocinante:** Msc. Abraham Elías González Martínez

**Profesional Guía:** Msc. José Miguel Benado Wilson

**Profesores Comisión:** Sr. Ramiro Ulises Bonilla Parra

Dr. Luis Arturo Quinzio Sinn

**Concepción, 2018**



Para Ema

# ÍNDICE

	<b>Páginas</b>
RESUMEN	
1. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1. DIAGNÓSTICO.....	1
1.2. JUSTIFICACIÓN DEL ESTUDIO.....	2
1.2.1. Problema.....	2
1.2.2. Intervención.....	5
1.3. OBJETIVOS.....	6
1.4. METODOLOGÍA.....	7
1.4.1. Inventario.....	7
1.4.2. Cuantificación.....	10
1.4.3. Protección.....	10
1.4.4. Divulgación.....	10
2. DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO.....	12
2.1 UBICACIÓN Y ACCESOS.....	12
2.2 ANTECEDENTES GEOMORFOLÓGICOS DEL ÁREA DE ESTUDIO.....	13
2.3 HIDROGRAFÍA.....	15
2.4 CLIMA.....	17
2.5 FLORA Y FAUNA DEL ÁREA DE ESTUDIO.....	19
3. ANTECEDENTES SOBRE GEOCONSERVACIÓN.....	22
3.1 ANTECEDENTES INTERNACIONALES.....	22
3.2 ANTECEDENTES NACIONALES.....	24
3.2.1 Inventario Nacional.....	24
3.2.1.1 Proyectos de geoparques en Chile.....	26
3.2.1.2 Otros antecedentes en Chile.....	27
4. GEOLOGÍA.....	29
4.1 HISTORIA GEOLÓGICA.....	29
4.2 MARCO GEOTECTÓNICO.....	35
4.3 GEOLOGÍA DE LA ZONA DE ESTUDIO.....	36
4.3.1 UNIDADES PALEOZOICAS.....	37
4.3.1.1 Complejo Metamórfico Andino Oriental (¿Devónico?-Carbonífero).....	37
4.3.1.2 Plutón Granito El León (Carbonífero Superior).....	38

4.3.2 UNIDADES MESOZOICAS .....	39
4.3.2.1 Formación Ibáñez (Jurásico Superior – Cretácico Inferior bajo) .....	39
4.3.2.2 Cuerpos Hipabísales Avellano – Levicán (Jurásico Sup.-Cretácico Sup.).....	39
4.3.2.3 Grupo Coyhaique (Titoniano-Aptiano) .....	40
4.3.2.4 Formación Divisadero (Aptiano).....	41
4.3.2.5 Batolito Norpatagónico .....	42
4.3.2.6 Hipabísales Básicos (Cretácico Inferior – ¿Cretácico Superior?).....	43
4.3.2.7 Cuerpos Hipabísales y Domos de Cerro Bayo (Aptiano).....	43
4.3.3 UNIDADES CENOZOICAS .....	44
4.3.3.1 Formación Ligorio Márquez (Paleoceno superior) .....	44
4.3.3.2 Basaltos Inferiores de la Meseta de Chile Chico (Paleoceno sup. - Eoceno)...	44
4.3.3.3 Formación San José (Eoceno Inferior) .....	45
4.3.3.4 Formación Guadal (Oligoceno tardío - Mioceno temprano bajo) .....	45
4.3.3.5 Formación Santa Cruz (Mioceno inferior alto) .....	46
4.3.3.6 Basaltos Superiores de la Meseta de Chile Chico (Mioceno medio - tardío)...	47
4.3.3.7 Complejo Plutónico Paso las Llaves (Mioceno superior) .....	48
4.3.3.8 Basaltos Pico Sur (Plioceno).....	48
4.3.3.9 Plutón las Nieves (Plioceno inferior) .....	49
4.3.4 CUATERNARIO .....	49
4.3.4.1 Depósitos Morrénicos (Pleistoceno superior).....	49
4.3.4.2 Depósitos Glaciofluviales (Pleistoceno superior).....	50
4.3.4.3 Depósitos Glaciolacustres (Pleistoceno superior) .....	50
4.3.4.4 Depósitos Deltaicos (Pleistoceno superior alto).....	50
4.3.5 HOLOCENO .....	51
4.3.5.1 Depósitos Morrénicos.....	51
4.3.5.2 Depósitos Lacustres.....	51
4.3.5.3 Depósitos de Abanicos Aluviales .....	52
4.3.5.4 Depósitos Fluviales y de Llanuras de Inundación .....	52
4.3.5.5 Depósitos de Remoción en Masa.....	53
4.3.5.6 Depósitos Coluviales .....	53
4.3.5.7 Depósitos Deltaicos .....	53
4.3.5.7 Depósitos Eólicos .....	54
5. INVENTARIO .....	55
5.1 CARACTERIZACIÓN DE LOS GEOSITIOS DE LA ZONA DEL VALLE EXPLORADORES.....	57

5.1.1 Santuario de la Naturaleza Capillas de Mármol.....	57
5.1.2 Cantera de Mármol.....	64
5.1.3 Contacto Batolito Norpatagónico y Complejo Metamórfico Andino Oriental .....	68
5.1.4 Pared Truncada del río Norte .....	71
5.1.5 Dique y falla Normal del lago Bayo.....	75
5.1.6 Glaciar Exploradores y sus sistemas de morrenas frontales .....	78
5.1.7 Macizo del Chileno .....	86
5.2 CARACTERIZACIÓN DE LOS GEOSITIOS DE LA ZONA DEL VALLE LEONES ...	91
5.2.1 Delta del río Leones .....	91
5.2.2 Plutón El León.....	95
5.2.3 Depósitos eólicos del valle río Leones.....	99
5.2.4 Depósitos de paleodeltas del río Meliquina .....	104
5.2.5. Depósito de vaciamiento abrupto del lago proglaciar Mapuche .....	107
5.2.6 Morrena frontal del glaciar Leones .....	113
5.2.7 Lago Leones .....	117
5.2.8 Península del lago Leones.....	121
5.2.9 Glaciar Leones.....	125
6. CUANTIFICACIÓN .....	131
6.1 VALORIZACIÓN CUANTITATIVA.....	131
6.2 RESULTADOS DE LA CUANTIFICACIÓN.....	135
6.3 ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	138
7. INICIATIVAS DE PROTECCION Y DIVULGACION.....	142
7.1. PROTECCIÓN .....	142
7.2 DIVULGACIÓN .....	145
8. CONCLUSIONES Y RESULTADOS.....	149
9. REFERENCIAS .....	153

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figuras</b>	<b>Páginas</b>
Figura 1.1. Postales de la ciudad de Coyhaique..	4
Figura 2.1. Mapa de ubicación y accesos de la zona de estudio..	¡Error! Marcador no definido.2
Figura 2.2. Perfil esquemático de la región de Aysén. ....	¡Error! Marcador no definido.3
Figura 2.3. Sectores geomorfológicos de la Región de Aysén. ....	¡Error! Marcador no definido.
Figura 2.4. Mapa dela red hidrográfica de las zonas de los valles Exploradores y Leones. ....	17
Figura 4.1. Mapa geológico regional.....	30
Figura 4.2. Mapa geológico de la zona de estudio. ....	31
Figura 4.3. Mapa tectónico simplificado del margen convergente continental.....	36
Figura 5.1. Ubicación relativa de los 7 geositos inventariados en el valle Exploradores. ....	55
Figura 5.2. Ubicación relativa de los 9 geositos inventariados en el valle Leones.....	56
Figura 5.3. Localización de sitio N° 1, Santuario de la Naturaleza Capillas de Mármol.....	59
Figura 5.4. Colores del Mármol.....	61
Figura 5.5. Mármoles con intercalación, láminas de micas y cuarzo. Sector isla Panichini. ....	61
Figura 5.6. Foliación principal. Sector Catedral de Mármol.....	62
Figura 5.7. Marcas de erosión glaciár. ....	62
Figura 5.8. Paleolínea de Costa.....	62
Figura 5.9. Relieve kárstico en el Santuario de la Naturaleza Capillas de Mármol.....	63
Figura 5.10. Localización del sitio N° 2, Cantera de Mármol.....	65
Figura 5.11. Intercalación de mármoles.....	66
Figura 5.12. Panorámica de la cantera de mármol. ....	66
Figura 5.13. Foliaciones principales en la cantera de marmol.....	67
Figura 5.14. Localización del sitio N° 3, Contacto BNP y CMAO.....	69
Figura 5.15. Zona de contacto entre el Batolito Norpatagónico y el CMAO.....	70
Figura 5.16. Localización del sitio N° 4, Pared Truncada del río Norte. ....	72
Figura 5.17. Pared truncada del rio Norte. ....	74
Figura 5.18. Pared truncada en su extensión longitudinal.....	74
Figura 5.19. Localización del sitio N° 5, Dique y falla normal del lago Bayo. ....	76
Figura 5.20. Falla normal de la ribera norte del lago Bayo. ....	77
Figura 5.21. Falla y dique de la ribera norte del lago Bayo. ....	78
Figura 5.22. Localización del sitio N° 6, Glaciár Exploradores y sus sistemas de morrenas. ....	80
Figura 5.23. Vista generalizada del glaciár Exploradores con sus tres afluentes.....	82
Figura 5.24. Vista panorámica del glaciár Exploradores.....	83
Figura 5.25. Columna estratigráfica de la morrena terminal principal, escala 1:1.000.....	83
Figura 5.26. Vista hacia el oeste de la morrena terminal principal. ....	84
Figura 5.27. Vista panorámica hacia el norte del sistema de morrenas.....	84
Figura 5.28. Vista panorámica hacia el oeste del sistema de morrenas.....	84
Figura 5.29. Vista hacia el noreste desde la cima de la morrena principal. ....	85
Figura 5.30. Localización del sitio N° 7, Macizo del Chileno. ....	87
Figura 5.31. Vista sureste del Macizo del Chileno.....	89
Figura 5.32. Vista panamica del valle del Macizo del Chileno.....	90
Figura 5.33. Vista frontal del valle del Macizo del Chileno. ....	90

Figura 5.34. Vista noroeste del valle del Chileno. ....	90
Figura 5.35. Localización de sitio N° 8, Delta del río Leones. ....	92
Figura 5.36. Perfil transversal de un delta tipo Gilbert de grano grueso. ....	94
Figura 5.37. Esquema de un delta tipo Gibert de grano grueso que prograda su línea de costa. ...	94
Figura 5.38. Vista noroeste del delta del río Leones. ....	95
Figura 5.39. Localización de sitio N° 9, Plutón El León. ....	96
Figura 5.40. Fotografía y esquema del Plutón El León. ....	98
Figura 5.41. Figura del perfil transversal E-W del Plutón El León. ....	98
Figura 5.42. Localización de Geositio N° 10, Depósitos eólicos del valle río Leones. ....	100
Figura 5.43. Afloramiento de los depósitos eólicos del valle del río Leones. ....	102
Figura 5.44. Deposito eólicos con laminación paralela. ....	102
Figura 5.45. Columna Dunas de valle Leones. ....	103
Figura 5.46. Localización de Geositio N° 11, Depósitos de paleodeltas del río Meliquina. ....	105
Figura 5.47. Vista panorámica hacia el este del depósito paleodeltaico del río Meliquina. ....	106
Figura 5.48. Localización de sitio N° 12, Depósito de GLOF del lago proglacial Mapuche. ....	108
Figura 5.49. Vista hacia el sur del valle del glaciar Mapuche. ....	111
Figura 5.50. Vista hacia el suroeste del abanico del depósito de GLOF del glaciar Mapuche. ...	111
Figura 5.51. Fotografías del depósito de GLOF. ....	111
Figura 5.52. Vista sur del dique. ....	112
Figura 5.53. Vista hacia el norte de la laguna proglacial. ....	112
Figura 5.54. Vista panorámica sureste del valle del glaciar Mapuche. ....	112
Figura 5.55. Localización de Geositio N° 13, Morrena frontal del glaciar Leones. ....	114
Figura 5.56. Vista hacia el sur de la morrena frontal del glaciar Leones. ....	116
Figura 5.57. Localización de sitio N° 14, Lago Leones. ....	118
Figura 5.58. Vista panorámica este del lago Leones. ....	119
Figura 5.59. Vista panorámica oeste del lago Leones. ....	120
Figura 5.60. Batimetría del lago Leones y perfil de los arcos morrénicos sumergidos. ....	120
Figura 5.61. Localización de sitio N° 14, Península del lago Leones. ....	122
Figura 5.62. Rocas aborregadas en la península del lago Leones. ....	124
Figura 5.63. Bloques erráticos sobre las rocas aborregadas. ....	124
Figura 5.64. Rocas aborregadas de composición tonalita de anfíbol y biotita. ....	125
Figura 5.65. Localización de sitio N° 16, Glaciar Leones. ....	126
Figura 5.66. Vista oeste del frente del glaciar Leones. ....	129
Figura 5.67. Vista hacia el glaciar Leones. ....	129
Figura 5.68. Modelados de abrasión glacial en la ribera sur del frente del glaciar leones. ....	129
Figura 7.1. Entrada principal del proyecto arquitectónico privado. ....	143
Figura 7.2. Construcción de casas sobre el relieve kárstico en una de las islas Panichini. ....	144
Figura 7.3. Mapa de planta de las zonas propuestas como Santuario de la naturaleza. ....	145
Figura 7.4. Capacitación a 35 profesores sobre la geología presente en valle Leones. ....	146
Figura 7.5. Folleto explicativo (parte portada y contraportada) del Santuario. ....	147
Figura 7.6. Díptico explicativo (parte interior) sobre la geología del Santuario. ....	148

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 6.1. Descripción de los parámetros cuantitativos de evaluación.....	131
Tabla 6.2. Parámetros cuantitativos de evaluación, con sus respectivas ponderaciones y alternativas.....	133
Tabla 6.3. Resultados de la etapa de cuantificación para cada sitio seleccionado.....	136
Tabla 6.4. Puntajes finales y ranking de los puntajes.....	137
Tabla 6.5. Resumen de los 4 geositios con mayores puntajes.....	139



## RESUMEN

La región de Aysén del General Carlos Ibáñez del Campo posee una historia geológica de más 300 Ma y una diversidad de procesos y elementos geológicos que la hacen única a nivel mundial. Un ejemplo de esta situación es Campo de Hielo Norte, la masa de hielo continental más cercana a la línea del Ecuador, con aprox. 4.200 km<sup>2</sup> de superficie.

Con la finalidad de contribuir al entendimiento geológico de Campo de Hielo Norte, junto con conservarlo y divulgarlo para el conocimiento y disfrute de la comunidad, en el siguiente trabajo se seleccionó, caracterizó y cuantificó sitios de especial interés científico (geositios) en los valles Exploradores y Leones, dos valles modelados por glaciares que bajan desde su zona nororiental y cuyos ríos desembocan en la ribera suroeste del lago General Carrera, una mega-estructura lacustre que corta la Cordillera de los Andes.

La selección de los geositios respondió a 4 criterios cualitativos: i) Contenido científico; ii) Integridad; iii) Rareza; iv) Representatividad; junto con buscar que todos los elementos y procesos de la diversidad geológica presentes en los valles estuviesen homogéneamente incorporados en el inventario. Para tales efectos se realizó un trabajo exhaustivo de recopilación de antecedentes científicos publicados, entrevistas con entendidos de la geología de la zona, y 30 días de trabajo efectivo en terreno.

Las actividades antes nombradas permitieron seleccionar 16 geositios, 9 en el valle Leones y 7 en el valle Exploradores, los cuales fueron caracterizados en detalle respecto a su geología. Posteriormente, y con el objetivo de entregar antecedentes para futuros planes de conservación de los geositios ya caracterizados, éstos fueron evaluados de forma cuantificativa respecto a sus potenciales usos científico y turístico, además de su potencial riesgo de degradación.

El geosítio que obtuvo el mayor puntaje en su uso científico es el “Depósito de vaciamiento abrupto del lago proglaciar Mapuche”, razón por la cual fue postulado (y aceptado) al inventario de patrimonio geológico liderado por la Sociedad Geológica de Chile. El geosítio que obtuvo el mayor ranking de uso turístico y riesgo de degradación es el Santuario de la Naturaleza Capillas de Mármol, razones que motivaron la presentación de una propuesta formal al Consejo de Monumentos Nacionales de redefinición de los límites del Santuario, y la confección y publicación de una “Guía explicativa de la geología del Santuario de la Naturaleza Capillas de Mármol” cuyo público objetivo son los operadores turísticos locales.

# 1. INTRODUCCIÓN

## 1.1. DIAGNÓSTICO

Entre 1939 y 1945, buscando un refugio de naturaleza virgen contra la violencia de la segunda guerra mundial, el geólogo y alpinista suizo Arnold Heim viajó por la desconocida Patagonia chilena. Aunque su objetivo era ascender el imponente monte San Valentín en Campo de Hielo Norte, Heim dejó plasmado en su diario muchas de las maravillas que observó durante su travesía (Staub y Barrientos, 2009):

- i) *“...un islote de unos 25 m de altura conformado por mármol estriado de diferentes colores y erosionado por el agua del lago y el viento... ¡que soberbio espectáculo!...con un bote a remo se puede recorrer las grutas de esta verdadera capilla de mármol y gozar de la imagen romántica que brinda sus formas, colores y reflejos...”*
- ii) *“...el yacimiento conocido como mina Silva constituye un fenómeno extraordinariamente raro, ya que se trata de un yacimiento digno de explotación y que no se encuentra subterráneamente, en donde debe extraerse de socavones y chiflones, si no está allí a cielo abierto, intacto en un acantilado, tal como en los tiempos prehistóricos...”*
- iii) maravillado por los fósiles que le muestran los lugareños de Puerto Guadal, decide recorrer las montañas aledañas y escribe *“...de súbito, comprendí toda la situación geológica de la zona...gran cantidad de conchas fósiles de caracoles marinos, de moluscos como ostras y ostiones, braquiópodos que revelan una edad Terciario Medio...con esto pude confirmar que la cordillera está dividida en dos partes...”*

Hoy, aproximadamente 70 años después de la expedición de Heim, las Capillas de Mármol poseen la categoría de Santuario de la Naturaleza, la antigua mina Silva es el Monumento Histórico Mina Puerto Cristal y los fósiles son parte de la identidad de la localidad de Puerto Guadal. Sin embargo,

no existe claridad de cuál es el área declarada Santuario<sup>1</sup>, y lugareños han informado que las capillas han sido pintadas y piezas de mármol extraídas; en Puerto Cristal existen sendos tranques de relave que impiden su uso turístico y amenazan con contaminar el lago General Carrera; los fósiles de Puerto Guadal son sustraídos por los turistas, situación que es penada por la ley y acabará, a corto plazo, con este importante registro.

Estos antecedentes mostraran que en la región existe un importante patrimonio geológico, pero muy pocas acciones se han realizado para identificarlo correctamente, protegerlo, ponerlo en valor y divulgarlo a la sociedad para su conocimiento y disfrute.

## **1.2. JUSTIFICACIÓN DEL ESTUDIO**

### **1.2.1. Problema**

La región de Aysén del General Carlos Ibáñez del Campo presenta, como pocos lugares en el mundo, circunstancias naturales muy particulares que determinan la presencia de gran diversidad de elementos y procesos geológicos excepcionales. Ejemplos de estas condiciones son el hecho de estar en un contexto de zona de subducción en que convergen 3 placas tectónicas; los cientos de kilómetros de litoral costero y abundantes recursos hídricos; y la gran diversidad climática, donde destaca el clima de tipo Hielo de las zonas de campos de hielos norte y sur.

Las condiciones antes descritas, entre muchas otras, han generado una vasta geodiversidad que ha marcado la historia y cultura de la región, representando, en la actualidad, diferentes valores para las personas de nuestro territorio. Algunos ejemplos puntuales de estos valores son:

- i) Valor Económico – Los yacimientos minerales presentes en la región son una importante fuente de trabajo e ingreso para la comunidad. A gran escala destacan las compañías mineras Nyrstar El Toqui y Mandalay Resources Corporation (minera Cerro Bayo Ltda.), las cuales extraen

---

<sup>1</sup> Decreto Exento N°281/1994. Ministerio de Educación, República de Chile.

principalmente zinc-plomo y oro-plata, respectivamente, generando en el año 2012 aproximadamente el 4% del PIB regional (Banco Central, 2012). A pequeña escala, la extracción de mármol y oro por parte de diferentes asociaciones gremiales de mineros artesanales presentes en la cuenca del lago General Carrera, son una importante fuente de ingreso complementaria para sus miembros, especialmente durante la temporada invernal, cuando el turismo de la región decae fuertemente.

- ii) Valor Turístico – Según el Observatorio Turístico de la Región de Aysén (OTRA, 2013), la región es líder nacional en el ranking de fortalezas turísticas relacionadas a sus recursos naturales. Entre estos recursos, los lugares más visitados por los turistas son elementos de la geodiversidad destacados por su belleza escénica, como por ejemplo las Capillas de Mármol, el Ventisquero Queulat o la laguna San Rafael, entre muchos otros (OTRA, 2014).
- iii) Valor Científico – La región de Aysén es un verdadero laboratorio natural para el estudio de las ciencias de la tierra, siendo variadas las subdisciplinas que presentan ventajas comparativas para ser estudiadas en su territorio, como son la geología estructural, la glaciología, la hidrología, la vulcanología, la geomorfología, la petrología o los riesgos geológicos. Es importante destacar especialmente los estudios tectónicos y la glaciología, ya que en el territorio regional convergen 3 placas tectónicas, formando un punto triple de contacto en las cercanías de la península de Taitao, y porque en la región existen una infinidad de vestigios de las sucesivas glaciaciones acaecidas durante el periodo Cuaternario, entre ellos los Campos de Hielo Norte y Sur.
- iv) Valor Cultural – Los habitantes de la región de Aysén otorgan a su patrimonio natural una importancia indiscutiblemente alta, siendo las manifestaciones sociales ocurridas durante los últimos años en contra del proyecto hidroeléctrico Hidroaysén un ejemplo paradigmático de esta situación. En particular, por causa de las especiales condiciones geológicas anteriormente descritas, la gran mayoría del patrimonio natural de la región es abiótico. Algunos ejemplos acotados a las cercanías de la ciudad de Coyhaique, su capital regional, son el cerro Mackay (ver Figura 1.1), el cordón Divisadero, la Piedra del Indio, la Muralla China, el Queque Inglés o sus diferentes ríos entre muchos otros. Todos estos lugares son parte de la identidad regional,

y están asociados a los primeros poblamientos de las ciudades, la historia regional o sus mitos y leyendas como se muestra en la Figura 1.1.



Figura 1.1. Postales de la ciudad de Coyhaique. Se muestra que independiente del año de las fotografías, la identidad de la ciudad de Coyhaique siempre ha estado asociada a la presencia del cerro Mackay. La fotografía de arriba a la izquierda es de aprox. 1930 y fue encontrada en la página [www.memoriachilena.cl](http://www.memoriachilena.cl). La imagen de arriba a la derecha es de aprox. 1940 y pertenece a una muestra de antiguas fotografías presentadas durante el año 2014 en el centro cultural de Coyhaique. La fotografía en colores es del año 2014 y fue tomada desde el mirador Marchant.

A pesar de la vital relevancia de los valores de la geodiversidad regional, se identifica que: i) el recurso está subutilizado, por ejemplo a nivel turístico, ya que los operadores, en su gran mayoría, no cuentan con la capacidad para entregar información de cuándo y cómo se formaron los elementos geológicos, situación que los deja en desventaja competitiva frente a los operadores turísticos de localidades con geografías similares y que sí están capacitados; ii) aunque los habitantes de la región presentan una estrecha relación de identidad con su patrimonio natural abiótico, éste no ha sido especialmente considerado en los planes de ordenamiento territorial o en

los estudios de impacto ambiental, escenario que ha generado y genera descontento social; iii) los elementos o lugares geológicos de especial importancia científica no han sido debidamente identificados, y muy pocas medidas se han llevado a cabo para protegerlos, hechos que amenazan, ya sea por causa natural o antrópica, con su integridad y potenciales usos futuros.

### **1.2.2. Intervención**

Comprometidos con abordar el problema planteado en el ítem 1.2.1, la Seremi de Minería de la Región de Aysén ha decidido apoyar un trabajo de investigación que busque conservar lugares o elementos de la naturaleza abiótica que presentan valores destacados. Esta decisión se justifica porque:

- Desde un punto de vista social, en los últimos años se ha constatado en la Región de Aysén la articulación de organizaciones que buscan proteger el patrimonio natural, además de fomentar un desarrollo más armónico con el medio ambiente. Producto a lo anterior, generar información sobre lugares de la naturaleza abiótica que poseen valores destacados (científicos), son un aporte para que los habitantes de la región puedan entender y valorizar aún más su territorio y, por tanto, tengan más antecedentes para decidir cómo quieren organizarlo.
- Desde el punto de vista económico, poner en interés y difundir el patrimonio geológico de la región proporciona una entrega de valor agregado al relato de operadores turísticos locales, especialmente al turismo de intereses especiales, el cual fue identificado como uno de los ocho sectores productivos con mayor potencial de crecimiento dentro de la economía chilena por el Consejo Nacional de Innovación para la Competitividad (Gobierno de Chile, 2009).

La región presenta una gran dimensión y una diversidad de lugares de interés geológico. Sin embargo, los recursos económicos y de tiempo para realizar la presente investigación son acotados, por tanto fue necesario limitar el área y objeto de estudio. Debido a lo anterior, la zona de investigación seleccionada son los valles glaciares Leones y Exploradores, localizados entre el lago General Carrera y Campo de Hielo Norte, y el objeto de estudio son los lugares de interés geológico que contengan un especial valor científico. Esta decisión se justifica por:

- La zona de los valles glaciares Leones y Exploradores no cuentan con geología de detalle, por tanto realizar un trabajo de investigación en estas áreas es un aporte al conocimiento de la zona de estudio y región.
- Los glaciares Leones y Exploradores tienen una singular belleza escénica, muy buena accesibilidad, y forman parte del Parque Nacional Laguna San Rafael, el mayor polo de atracción turística de la región (OTRA, 2014). A pesar de estos antecedentes, muy pocas personas los visitan y, los escasos operadores turísticos que trabajan en la zona, entregan exigua y poco fidedigna información sobre sus lugares de interés.
- La Seremi de Minería de la Región de Aysén está levantando el incipiente proyecto de crear un parque reconocido por la Unesco en la Cuenca del Lago General Carrera. Para que un área pueda optar a la categoría antes mencionada, una de las condiciones a cumplir es tener lugares de interés geológico de relevancia internacional (Zouros, 2009). Cómo determinar la relevancia de lugar o elemento geológico puede ser subjetivo y complejo, el autor de este trabajo plantea que mediante un inventario de sitios de valor científico se consiguen los antecedentes de información científica concreta.

### **1.3. OBJETIVOS**

El objetivo general de este estudio es proponer medidas de conservación de los lugares o elementos de la naturaleza abiótica con especial valor científico, para los valles Leones y Exploradores pertenecientes a Campo de Hielo Norte y para la zona del Santuario de la Naturaleza Capillas de Mármol, Región de Aysén del General Carlos Ibáñez del Campo.

Para llevar a cabo el propósito general, se plantean los siguientes objetivos específicos:

- I) Inventariar los lugares de la naturaleza abiótica con especial valor científico, presentes en los valles Leones, Exploradores y para la zona del Santuario de la Naturaleza Capillas de Mármol, Puerto Río Tranquilo.

- II) Cuantificar el potencial uso turístico, científico y de riesgo de degradación, de los lugares inventariados.
- III) Proponer medidas de protección de los lugares más vulnerables, entre los previamente inventariados.
- IV) Proponer un plan o programa de divulgación sobre la geología y procesos formadores de los lugares previamente inventariados.

## 1.4. METODOLOGÍA

### 1.4.1. Inventario

Para realizar el objetivo específico I), se desarrolló una metodología basada en Brilha (2016). Se justifica la elección del trabajo antes citado, ya que: i) es la más actual revisión crítica de metodologías de inventario de lugares de interés geológico, en particular para inventarios de sitios de valor científico; ii) plantea que los lugares de interés deben ser seleccionados por criterios cualitativos, no cuantitativos; iii) la metodología mencionada está diseñada para zonas de gran dimensión, como es el área del presente estudio.

Es importante resaltar que el hecho de seleccionar los lugares de interés a través de criterios cualitativos y no cuantitativos, en este presente trabajo se considera que el patrimonio geológico, al igual que los otros tipos de patrimonio (arqueológico, arquitectónico, biológico, etc.), son una construcción social. No existen elementos en la naturaleza que obliguen *per se* a considerarlos como patrimonial. Por el contrario, el patrimonio es un producto de las sociedades humanas, y como tal depende del contexto en que el objeto es valorizado. Aceptando esta premisa, sólo en su discusión pública y colectiva (por ejemplo, al ser analizados por la Sociedad Geológica de Chile), y no por medio de criterios cuantitativos, es que los lugares de interés geológico podrán constituirse como objeto patrimonial.

Tomando en cuenta el trabajo antes citado, la realización del inventario incluyó las siguientes etapas:

- Recopilación bibliográfica de la zona de estudio. Se recopiló y analizó la bibliografía referente a la geología del sector nororiental de Campo de Hielo Norte y, en particular, de los valles Leones y Exploradores. Esta etapa permitió tener una lista preliminar de lugares de interés y resumir la geología de la zona de estudio.
- Debido a la escasa información geológica existente en el área de los valles Exploradores y Leones, se realizó interpretación de la geología gracias a la información recogida en terreno, la cual incluyó toma de muestras y descripciones *in situ*. En particular, la recopilación de información geológica del lago General Carrera fue resumida fundamentalmente de las siguientes cartas:
  - Geología del Área Puerto Guadal-Puerto Sánchez, Región Aisén del General Carlos Ibáñez del Campo. (De la Cruz y Suárez, 2006).
  - Geología del Área Chile Chico-Río de Las Nieves, Región Aisén del General Carlos Ibáñez del Campo (De la Cruz y Suárez, 2008).
  - Geología del Área Villa Cerro Castillo-Puerto Ingeniero Ibáñez, Región Aisén del General Carlos Ibáñez del Campo. (Quiroz y Bruce, 2010).
  - Mapa Geológico de Chile, escala 1:1.000.000. (SERNAGEOMIN, 2002).
- Trabajo de terreno. Consistió en 30 días, entre los meses de enero, febrero y marzo del año 2014, en los cuales se visitaron los valles Leones y Exploradores. Esta etapa permitió recabar antecedentes geológicos de los lugares previamente preseleccionados, corroborar la información geológica, complementar los antecedentes previos y sumar nuevas propuestas de lugares de interés.

- Trabajo de gabinete. Durante esta etapa se caracterizó los lugares previamente seleccionados, y se realizaron mapas y esquemas explicativos. Además de la realización de mapa geológico del área de estudio, de los valles Exploradores y Leones.
- Selección final de los lugares de interés geológico. Esta etapa permitió seleccionar, entre toda la geodiversidad del área de estudio, 9 lugares de interés geológico con especial valor científico en el valle Leones, y 7 en el valle Exploradores.

Respecto a la selección de los lugares o sitios de interés geológico, tanto en el valle Exploradores como Leones, esta metodología buscó que todos los elementos y/o procesos de la geodiversidad estuviesen homogéneamente representados (e idealmente no repetidos). Teniendo esta premisa en cuenta, para discernir cuando un lugar posee un valor científico, se utilizaron los criterios expuestos por Brilha (2016), los cuales son:

1. **Contenido Científico:** informa la cantidad e importancia de las publicaciones científicas sobre el lugar de interés geológico y/o potencial para futuros estudios. Mientras mayor sea la bibliografía científica y/o su potencial para futuros estudios, mejor será considerado.
2. **Integridad:** refleja el grado actual de conservación del lugar de interés geológico, como consecuencia de las acciones o procesos naturales no antrópicos y/o antrópicos. Mientras mejor conservado, mejor será considerado.
3. **Rareza:** refleja la importancia del lugar de interés geológico, en términos de la escasez de elementos, rasgos o procesos similares en el área de estudio. Mientras más escaso, mejor será considerado.
4. **Representatividad:** refleja la capacidad del lugar de interés geológico para mostrar adecuadamente las características de un elemento, rasgo o proceso particular del área de estudio. Mientras más ilustrativo, mejor será considerado.

### **1.4.2. Cuantificación**

Con el fin de facilitar futuros planes de conservación, los lugares previamente seleccionados fueron evaluados cuantitativamente usando una metodología basada y modificada en Garcia-Cortés y Carcavilla (2009) y Brilha (2016), siendo calculado el potencial uso científico, turístico y de riesgo de degradación de los mismos. Se consideró esta metodología como la más adecuada, ya que los usos antes mencionados son los más habituales en las áreas de estudio y, por su parte, la evaluación del riesgo de degradación permite establecer prioridades de protección entre los lugares seleccionados, junto con restringir sus posibles usos.

### **1.4.3. Protección**

Las medidas de protección fueron acotadas a la iniciativa de redefinir y ampliar los límites del Santuario de la Naturaleza Capillas de Mármol (desde ahora el Santuario), el cual se encuentra entre los lugares de interés geológico seleccionados en el Valle Exploradores. Esta decisión se justifica por: i) entre todos los lugares del inventario, el Santuario obtuvo el puntaje de mayor valor respecto a su potencial uso turístico y de riesgo de degradación; ii) el decreto N° 281/1994 declaratorio del Santuario es ambiguo e impreciso respecto a sus límites, lo cual constituye una amenaza a los elementos patrimoniales del mismo; iii) el Santuario tiene un importante valor científico, escénico, turístico para la comunidad de Puerto Río Tranquilo, económico y de identidad. El Santuario es, además, de los pocos lugares en la región reconocidos como patrimonio geológico de relevancia nacional por la Sociedad Geológica de Chile<sup>2</sup>.

### **1.4.4. Divulgación**

Las acciones destinadas a divulgar la geología y procesos formadores de los lugares previamente inventariados se ejecutaron entre junio del año 2014 a septiembre del año 2015. Se efectuaron un total de 20 charlas, entre las cuales destacan una capacitación a los operadores turísticos de Puerto Río Tranquilo sobre la geología del Santuario, y una capacitación realizada a 30 profesores de diferentes localidades de la región. Esta última actividad fue organizada por el programa PAR

---

<sup>2</sup> <http://www.sociedadgeologica.cl/catedral-de-marmol/>

Explora Conicyt en conjunto con Mininco, e incluyo un día de capacitación teórica y un recorrido en terreno por los distintos lugares inventariados en el valle Leones.

Junto con lo anterior y dada la importancia relativa del Santuario, se elaboró un tríptico explicativo sobre su geología, el cual fue posteriormente editado por SERNATUR y publicado con fondos de la Seremi de Minería de la Región de Aysén.



## 2. DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

### 2.1 UBICACIÓN Y ACCESOS

Las zonas de estudio se encuentran ubicadas en los Andes Patagónicos Septentrionales, en el sector noreste de Campo de Hielo Norte, entre las coordenadas geográficas  $46^{\circ}27'$ - $46^{\circ}32'$  Latitud Sur y  $73^{\circ}13'$ - $73^{\circ}03'$  Longitud Oeste, para el glaciar Exploradores, y entre los  $46^{\circ}43'$ - $46^{\circ}48'$  Latitud Sur y  $73^{\circ}13'$ - $72^{\circ}59'$  Longitud Oeste, para el glaciar Leones (Figura 2.1). Administrativamente se localizan en la Región de Aysén del General Carlos Ibáñez del Campo, específicamente en el extremo suroeste de la provincia de Aysén, capital provincial Puerto Aysén, y la parte occidental de la provincia General Carrera, capital provincial Chile Chico.

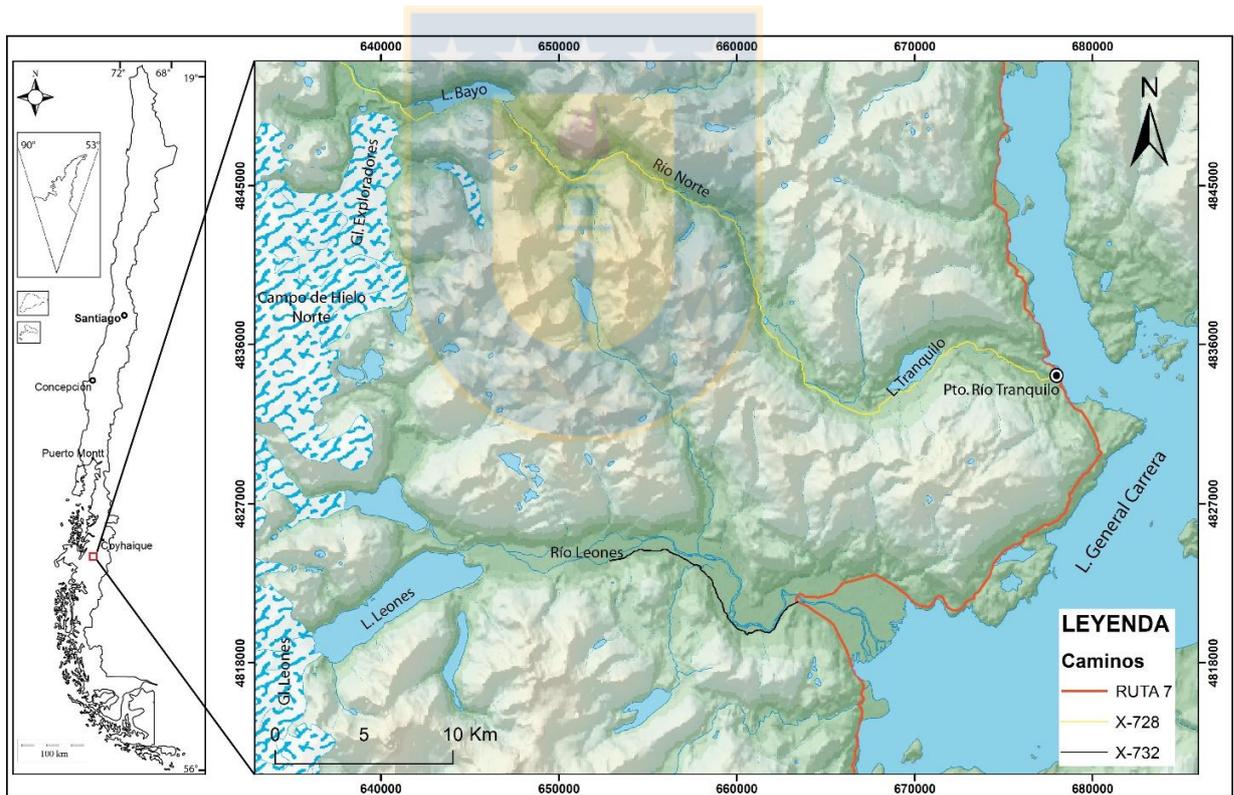


Figura 2.1. Mapa de ubicación y accesos de la zona de estudio. Los valles Exploradores (ruta X-728) y Leones (X-732), se ubica al oriente de Campo de Hielo Norte y la zona occidental del lago General Carrera.

La ruta de acceso principal desde Puerto Río Tranquilo, para ambas zonas de estudio, es la ruta 7, también conocida como Carretera Austral. La localidad más cercana es Puerto Río Tranquilo,

ubicada a 220 km al sur de la ciudad de Coyhaique (capital regional) y emplazada a orillas del lago General Carrera (Figura 2.1).

Desde Puerto Río Tranquilo, la entrada al sector del valle glaciar Exploradores es a través de la ruta X-728. En particular, la morrena frontal es accesible después de 52 km transitables en vehículo, se pueden realizar caminatas de aproximadamente 15 km que recorren la extensión del glaciar, y es posible visitar el lago Bayo, ubicado a los pies de la morrena frontal del glaciar Exploradores, realizando un recorrido total de 8 km en kayak o bote.

También desde Puerto Río Tranquilo, para acceder al valle glaciar Leones se debe recorrer aprox. 30 km por la ruta 7 (Carretera Austral) en dirección sur, hasta la ruta secundaria X-732. Desde el desvío es posible recorrer en vehículo aproximadamente unos 14,5 km, hasta la cadena dispuesta por el dueño del predio Pichimahuida, para luego realizar una caminata de aproximadamente 9,6 km hasta llegar a los pies de la morrena terminal, la cual confina al lago Leones. Desde la morrena terminal es posible realizar una navegación de aproximadamente 10 km hasta el del glaciar Leones.

## 2.2 ANTECEDENTES GEOMORFOLÓGICOS DEL ÁREA DE ESTUDIO.

En los valles de la zona de estudio se identifican, de oeste a este, dos grandes unidades morfoestructurales (Figura 2.2): la Cordillera Principal y la Precordillera.

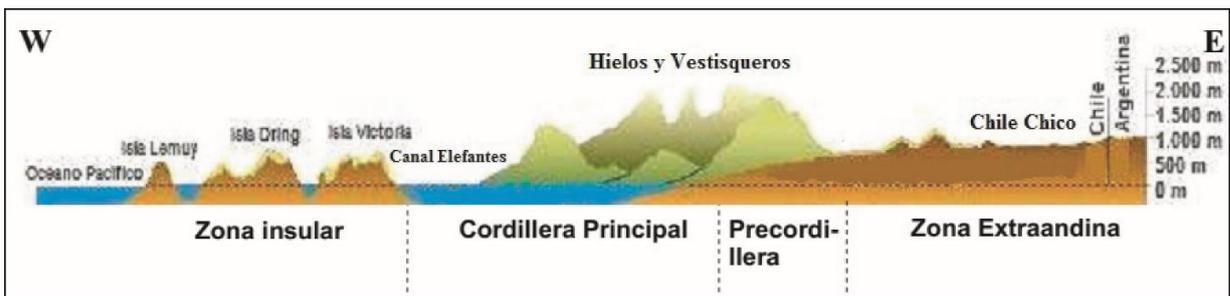


Figura 2.2. Perfil esquemático de la región de Aysén. Los valles Exploradores y Leones abarcan desde la Cordillera Principal hasta la Precordillera (modificado de Niemeyer y Cereceda, 1984).

La Cordillera Principal se reconoce en gran parte de la zona de estudio, pero su mayor expresión se tiene en la zona occidental del área de estudio, donde alcanza sus más altas cumbres (> 2.000 m s.n.m.), destacándose el monte San Valentín (4.058 m s.n.m.), la cumbre más alta de los Andes Patagónicos. Se aloja en esta unidad Campo de Hielo Norte, que por su altitud es la zona de alimentación de las lenguas glaciares, que caen hacia la zona septentrional y/o a las depresiones lacustres orientales. Las rocas que afloran en esta unidad corresponden a diversos plutones graníticos (Niemeyer y Cereceda, 1984) que en su conjunto conforman el Batolito Norpatagónico. La Precordillera se ubica adyacente a la Cordillera Principal, en la zona oriental, corresponde a cordones montañosos con altitudes que no sobrepasan los 2.000 m s.n.m. Está constituida por rocas volcanoclásticas y sedimentarias, marinas y continentales de edades Meso-Cenozoica (De la Cruz et al., 2003), además de depósitos no consolidados del Cuaternario.

Los dos valles de la zona de estudio, presentan evidencias vivas de la acción glacial pleistocénica, siendo ejemplos de esto las diferentes unidades litológicas que presentan diversos modelados glaciares.

Ambos valles se encuentran en la zona nororiental de la región Patagónica y Polar del Inlandis Antártico, en la unidad morfológica definida por Börgel (1983) como de Glaciación y Hundimiento y, específicamente, en las subregiones de Ventisqueros patagónicos del Pacífico (sector 1) y la subregión Patagónica con ríos y lagos de control tectónico (Figura 2.3).

La subregión Ventisqueros patagónicos del Pacífico se caracteriza por ser un glaciar de tipo Calota, con un sistema alpino en los grandes valles interiores. Desde el centro de la gran explanada de hielo surgen las lenguas glaciares que caen tanto hacia las depresiones lacustres, ubicadas en la parte oriental, como hacia el occidente, emplazándose en las zonas de fiordos y canales del océano Pacífico. La subregión Patagónica con ríos y lagos de control tectónico, se caracteriza por presentar fallas y lineamientos de primer orden, asociados a la Zona de Falla de Liquiñe-Ofqui, además de presentar una gran evidencia del paso de los glaciares, que modelaron el paisaje.

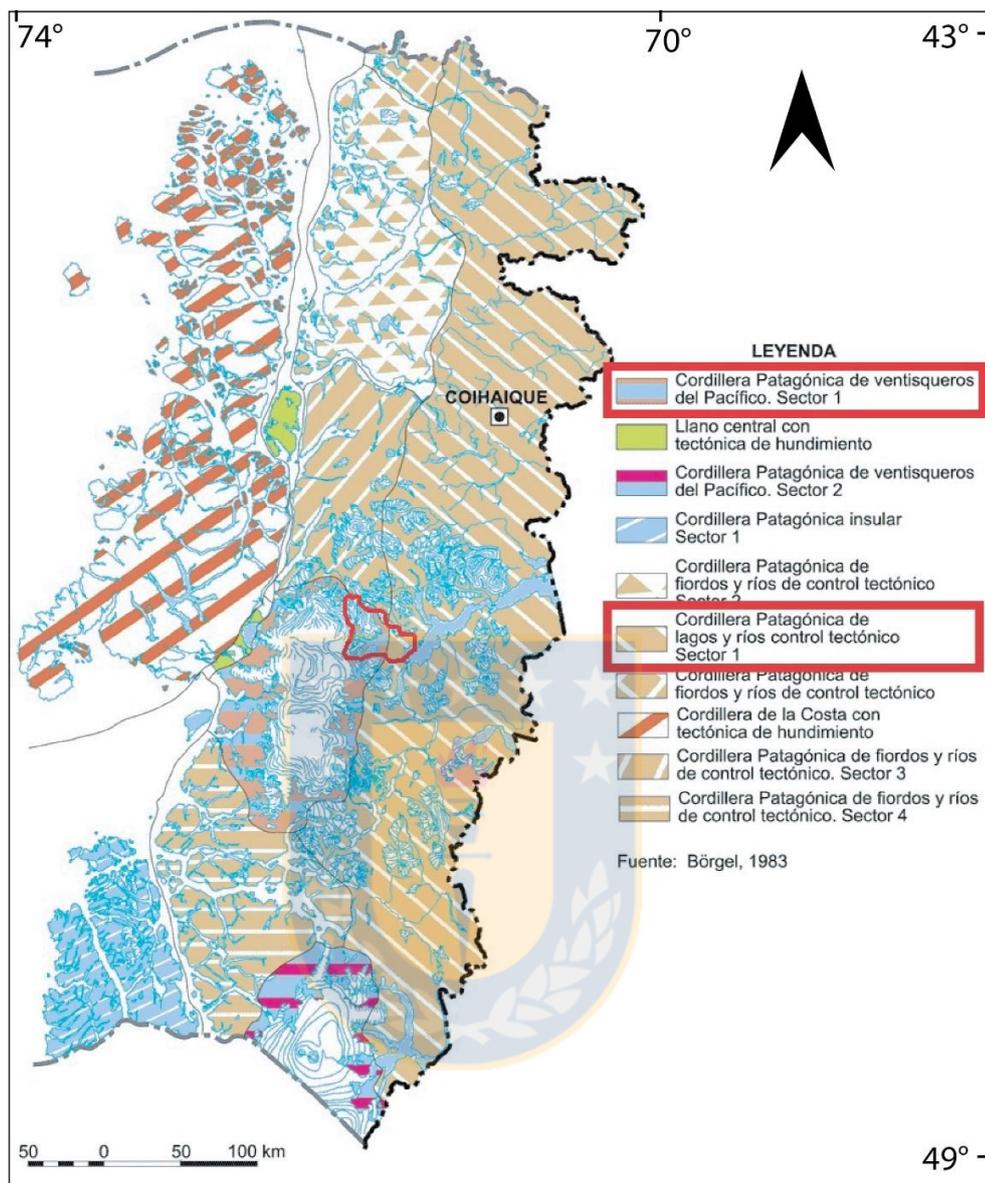


Figura 2.3. Sectores geomorfológicos de la Región de Aysén. La Ubicación de los valles Exploradores y Leones en el conjunto regional (modificado de Börguel, 1983).

## 2.3 HIDROGRAFÍA

Las redes hidrográficas de los ríos Exploradores y Leones (Figura 2.4) se ubican en la parte central continental de la región de Aysén, específicamente entre el golfo Elefantes y el lago General Carrera, al nororiente de Campo de Hielo Norte. Los ríos tienen su origen de los glaciares Exploradores y Leones respectivamente, ambos de tipo templado, caracterizados por no alcanzar

temperaturas lo suficientemente bajas como para congelar el agua de escorrentía. Esta agua de fusión en superficie rellena grietas y se infiltra hasta la base, produciendo escurrimiento intraglaciario y subglaciario lo que provoca un deslizamiento mayor en los periodos de verano.

El glaciar Exploradores posee una orientación norte-sur, un área de aprox. 86 km<sup>2</sup> y un espesor medio de 138,5 m de hielo (Aniya, 1988). El glaciar Leones se orienta oeste-este, está conformado por la confluencia de tres lenguas glaciares que son afluentes que bajan directo desde Campo de Hielo Norte, y alcanzan una superficie promedio de 44.5 km<sup>2</sup> (Aniya, 1988). Debido al avance y retroceso del glaciar Leones, se conforma su morrena terminal, que confina el lago proglaciario homónimo. Este lago tiene un área aproximada de 22 km<sup>2</sup> y una profundidad de 350 m (Harrison, 2008).

El río Exploradores se ubica en el extremo poniente del lago Bayo, y nace del glaciar Exploradores (producto de uno de los dos de los ríos que drenan al glaciar) y de la confluencia con el desagüe del lago Bayo. La cuenca del río Exploradores tiene una superficie de 1.730 km<sup>2</sup> (Niemeyer, 1984) y se identifican a lo largo de su cauce diversos sistemas de drenajes ortogonales, paralelos y rectos, causados, muy probablemente por lineamientos y estructuras, posteriormente la acción glaciaria que erosionó y modeló los diferentes valles.

El caudal del río Exploradores posee una gran variabilidad, crece con la intensificación de las lluvias produciendo aumentos de caudal e inundaciones y con el derretimiento de los hielos glaciares en las épocas estivales.

El río Leones nace del drenaje del lago homónimo y recorre aproximadamente unos 28 km hasta su desembocadura en forma de delta, en el lago General Carrera. Durante todo el cauce se observa un amplio valle modelado por la acción glaciaria y la acumulación de una extensa planicie de descarga de sedimentos finos fluvio-glaciares. A lo largo de su recorrido, el río Leones es alimentado por diversos tributarios, entre los cuales destacan el río Fiero, río Claro y río Meliquina. Todos estos ríos forman parte de la cuenca del río Baker, la cual presenta una superficie 20.944,98 km<sup>2</sup> (SERPLAC XI, 2005).

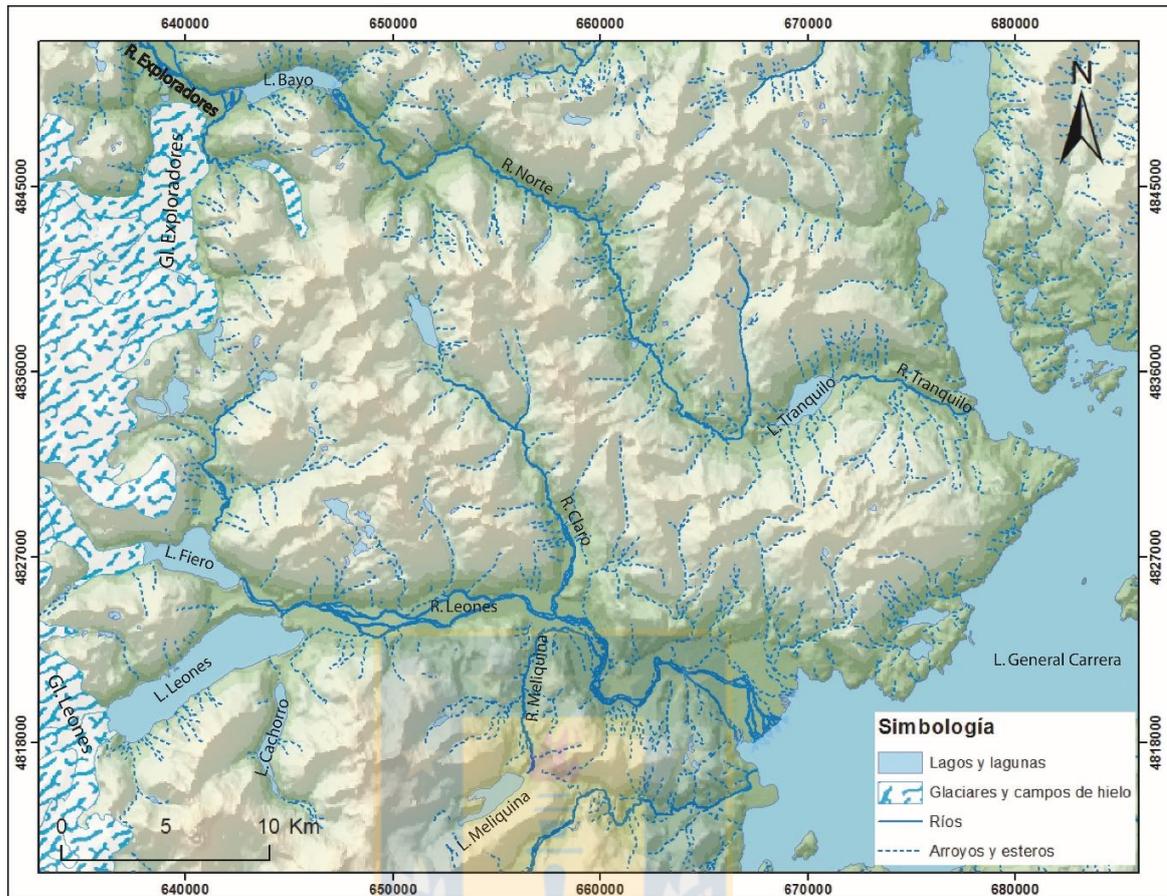


Figura 2.4. Mapa de la red hidrográfica de las zonas de los valles Exploradores y Leones.

## 2.4 CLIMA

Así como la altura y la coherencia de las montañas son controles de primer orden para la existencia de numerosos climas locales en la región de Aysén. Existen además diferentes factores secundarios, que tienen dominio sobre los distintos valles glaciares que rodean las zonas aledañas a Campo de Hielo Norte y del lago General Carrera, tales como los vientos húmedos del oeste, precipitaciones y el descenso de la altitud de la línea de equilibrio glacial (ALE) (Fuenzalida, 1965).

Los valles Exploradores y Leones tienen una influencia directa de los vientos que provienen principalmente desde el oeste (westerlies). Estos vientos son producidos por altas presiones durante su largo recorrido oceánico, descargando gran parte de la humedad en las laderas de barlovento. Sin embargo, el descenso de la Altitud de la Línea de Equilibrio Glacial (ALE) cerca de los 1.800

m s.n.m, acompañado del descenso térmico ocurren significativas acumulaciones de nieve y neviza. Las precipitaciones para la zona de Campo de Hielo Norte, tienen un promedio anual sobre los 4.000 mm, a una altitud promedio de 2.000 m (Romero, 1985).

En la zona de estudio se reconocen dos franjas climáticas paralelas de norte a sur, con climas totalmente diferentes, evidencia de esto es la gran diferencia vegetacional, que poseen estas franjas. De oeste a este, se tiene la franja occidental, consta de una tendencia climática de alta pluviometría y con una notable constancia térmica a través del año. La franja oriental o trasandina ubicada hacia la zona de la cuenca del lago General Carrera, se identifica como un clima árido y con mayores oscilaciones térmicas anuales, recibiendo fuertes influencias de los bioclimas limítrofes con Argentina (Di Castri y Hajek, 1976).

Según los estudios de Fuenzalida (1965), se identifican tres tipos climáticos con un gradiente de oeste a este, identificados en la zona de Campo de Hielo Norte hasta el lago General Carrera, los cuales son:

- i) Clima templado frío de costa occidental con máxima invernal; ubicado en la parte oeste de las áreas de estudio, corresponde a todo el sector de los canales y fiordos australes y la parte occidental de la Cordillera Patagónica. La principal característica son las intensas precipitaciones que ocurren todo el año, alcanzando un promedio anual de 4.000 mm, e identificándose una diferencia en los periodos de mayo a agosto, los cuales son los meses más lluviosos y donde cae el 45% de la precipitación del total anual, producto al dominio marítimo. La temperatura media anual para esta zona es inferior a 10°C, tiene una oscilación diaria a través del año entre 5° y 7°C.

Otras de las características de esta zona climática es el predominio de los vientos provenientes del noroeste y norte, acompañados de un gran predominio de nubosidad presente durante todo el año.

- ii) Clima de hielo por efecto de altura; corresponde a las zonas de Campo de Hielo Norte ubicadas sobre los 800 m s.n.m., permitiendo que existan temperaturas lo suficientemente

bajas para mantener hielos eternos. Esta zona climática tiene una amplia distribución en la zona de estudio.

Otra de las características de este clima, es la alta pluviometría, en especial en las laderas de barlovento que descienden hacia la zona de los canales o fiordos. Se estima que las temperaturas máximas deben superar los 0°C solo en los meses de verano y las temperaturas mínimas medias son inferiores a 0°C gran parte del año y temperaturas extremas bajo cero en invierno que permiten la preservación de hielos eternos.

- iii) Clima continental trasandino con regeneración esteparia; ubicado en la zona distal oriental de zona de estudio, posee un régimen pluviométrico que se ve considerablemente reducido a la ladera occidental, ya que las máximas cantidades de precipitación que traen los sistemas frontales se descargan en la ladera occidental y en las zonas altas de la Cordillera Patagónica. Entre los meses de mayo a agosto existe un aumento de las concentraciones de precipitaciones, donde llueve cerca del 50% del total anual. Por otra parte, dada las bajas temperaturas en el periodo de invierno, existe un predominio de precipitaciones en forma de nieve.

La característica de continentalidad del clima de la parte oriental de los valles queda de manifiesto con la disminución general de las temperaturas, acompañadas del incremento de las amplitudes térmicas. De esta forma, por ejemplo, la diferencia de temperatura entre el mes más cálido (enero) y el más frío (julio) es del orden de 12° C, las diferencias entre las máximas y mínimas diarias varía entre los 8° y los 10° C a lo largo del año, y las temperaturas medias son de 1° a 2° C inferiores a las del clima templado frío de costa occidental con máxima invernal.

## **2.5 FLORA Y FAUNA DEL ÁREA DE ESTUDIO**

Según la clasificación de Gajardo (1994), se identifican, de modo general, tres regiones vegetacionales dentro de las zonas de estudio, las cuales poseen un fuerte control climático ejercido por Campo de Hielo Norte, y una variación de gradientes de vegetación de dirección oeste-este a

lo largo de los valles. A continuación, se describen las tres regiones vegetacionales existentes en la zona de estudio:

- i) Región del bosque andino patagónico: se ubica en el extremo oeste de la zona de estudio y ocupa el límite altitudinal superior de la vegetación. Corresponde a la zona de la cordillera andina austral cubierta con bosques y una de sus características ecológicas esenciales es recibir precipitación mayoritariamente bajo la forma de nieve. Se caracteriza por la existencia dominante de lenga (*Nothofagus pumilio*), que es un tipo de caducifolio.

Esta región vegetal se encuentra muy afectada y altamente alterada producto de los incendios aquejados en la época de colonización a comienzos del siglo XX. Debido a lo anterior, se tiene un predominio de sotobosque ralo y escasa formación de suelo.

- ii) Región del bosque siempre verde y de las turberas: geográficamente se aloja en las laderas occidentales de la cordillera patagónica, observándose en sectores aledaños a Campo de Hielo. Se caracteriza por las altas precipitaciones y las bajas temperaturas que se mantienen constantes durante todo el año. Sin embargo, tiene un limitado desarrollo de la vegetación.

La asociación vegetal de esta región es compleja, posee una alternancia de comunidades boscosas, con matorrales muy húmedos y turberas. En base a las diferentes características que se reconocen en los valles de la zona de estudio, se reconocen dos subregiones: bosque siempre verde micrófilo y la de turberas, matorrales y estepa pantanosa.

- iii) Región de la estepa patagónica: esta región se identifica al este del área de estudio y corresponde al extremo árido-frío de la distribución de la vegetación del extremo austral de Chile. Se caracteriza como una estepa con gramíneas (coirones) y arbustos bajos, en el límite occidental existe una fuerte penetración de rasgos vegetacionales de los bosques andino-patagónicos.

La mayor diversidad faunística existente en la zona de estudio, se concentra en las subregiones de bosques siempre verdes y de turberas, donde destacan especies de mamíferos mayores como el puma del sur (*Puma concolor magellanicus*), Huemul (*Hippocamellus b. bisulcus*), Zorro culpeo (*Pseudalopex culpaeus*) y, en menor medida, pequeños roedores y anfibios en las zonas de mayor humedad. Existe también gran diversidad de especies de aves, dentro de las cuales destacan el Cóndor (*Vultur gryphus*), Chucao (*Scelorchilus rubecula*), Caiquén o avutarda (*Chloephaga picta*), Pitio (*Colaptes pitius*) y el Rayadito (*Aphrastura spinicauda*), entre otras.



### 3. ANTECEDENTES SOBRE GEOCONSERVACIÓN

(Tomado de Benado y Andrade, 2014)

#### 3.1. ANTECEDENTES INTERNACIONALES

A partir de los años 90, las principales organizaciones internacionales ligadas a la protección de la naturaleza y a la Geología, tomaron conciencia de la necesidad de crear programas especialmente dedicados a conservar los elementos de valor excepcional entre la geodiversidad del Planeta. Dos ejemplos destacados de esta situación son:

i) Programa *Global Geosite*, liderado desde el año 1996 por la Unión Internacional de Ciencias Geológicas (IUGS) con el apoyo, principalmente, de la Asociación Europea para la Conservación del Patrimonio Geológico (ProGeo). El objetivo de este proyecto es realizar un inventario del geopatrimonio de mayor valor científico a nivel mundial. La IUGS ha propuesto directrices generales sobre cómo realizar los inventarios y qué criterios deben cumplir los lugares a escoger, pero, a semejanza del programa de patrimonio mundial de la Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (UNESCO), en el proyecto Global Geosite son los países participantes los encargados de seleccionar su propio patrimonio (Brilha, 2005).

ii) Programa Mundial de Geoparques<sup>3</sup>, liderado desde el año 1997 por la UNESCO. Este programa reconoce la necesidad de proteger la geodiversidad, de la misma manera que el programa Reserva de la Biosfera. Según UNESCO (2014), un geoparque es un territorio con límites bien definidos, que tiene como objetivo contribuir al desarrollo económico local en base al geoturismo. Los geoparques han tenido una creciente popularidad a nivel mundial, comprobándose que se trata de una poderosa herramienta para realizar prácticas educativas relativas a las ciencias ambientales, fomentar el desarrollo sostenible e incentivar el turismo de intereses especiales (Palacio, 2013). En

---

<sup>3</sup><http://www.unesco.org/new/es/natural-sciences/environment/earth-sciences/global-geoparks/some-questions-about-geoparks/what-is-the-ggn/>

la actualidad existen 101 miembros reconocidos en la Red Global de Geoparques bajo el amparo de UNESCO, ninguno de ellos en Chile.

Comprometidos con estos proyectos globales, los ministerios de Minería, Geología o Medio Ambiente de países pertenecientes a todos los continentes, han liderado iniciativas a nivel nacional para identificar, proteger y poner en valor el patrimonio geológico. Algunos antecedentes al respecto son:

i) En Europa, la gran mayoría de todos los países llevan a cabo programas de geoconservación, destacando entre ellos Alemania, Francia, Italia, Portugal, Inglaterra y España (Wimbledon & Smith-Meyer, 2012). Inglaterra, tal vez por su antigua tradición naturalista, es una de las sociedades más avanzadas respecto a la valoración y acervo social sobre la importancia de proteger la naturaleza abiótica. Además de contar con leyes específicas dedicadas al patrimonio geológico, cuenta con un amplio inventario con más de 3.000 geositios<sup>4</sup> y sobre 50 grupos<sup>5</sup> amateur dedicados a la geoconservación. También es importante recalcar el caso de España, que a través de su Instituto Geológico y Minero lleva más de 10 años desarrollando interesantes medidas de divulgación y puesta en valor del patrimonio geológico, como son la publicación de guías geológicas de Parques Nacionales, instalación de paneles que explican los procesos de formación de sitios de interés geológico y la creación de senderos y aplicaciones tecnológicas (tablet, Smartphone, etc.) descargables, entre otros<sup>6</sup>.

ii) En Asia, como herramienta de conservación son especialmente populares los geoparques bajo el amparo de la UNESCO, existiendo una red regional integrada por Japón, China, Indonesia, Corea, Malasia y Vietnam<sup>7</sup>. En particular, China cuenta 29 geoparques reconocidos, los cuales son visitados por millones de habitantes y constituyen una importante fuente de ingreso para las comunidades locales. Un ejemplo destacado en este sentido fue la creación en el año 2001 del Geoparque Yuntaishan. En tan solo 1 año de funcionamiento, el número de visitantes al territorio

---

<sup>4</sup><http://jncc.defra.gov.uk/page-2947>

<sup>5</sup>[http://wiki.geoconservationuk.org.uk/index.php5?title=Main\\_Page](http://wiki.geoconservationuk.org.uk/index.php5?title=Main_Page)

<sup>6</sup><http://www.igme.es/patrimonio/default.htm>

<sup>7</sup><http://asiapacificgeoparks.org/>

comprendido por el parque aumento de 600.000 a 940.000 personas, además de duplicar sus ingresos en dinero (Jiangjung *et al.*, 2007).

iii) En Sudamérica, los países más avanzados en la conservación de la naturaleza abiótica son Argentina, Uruguay y Brasil. Algunos ejemplos destacables en Brasil son (Sá dos Santos, 2014):

- el Ministerio de Minas y Energía, a través del Grupo de Sitios Geológicos y Paleobiológicos (SIGEP), desde el año 1997 desarrolla un programa de geoconservación que tiene por objetivo identificar su patrimonio geológico, gestionar medidas para dar a conocer estos lugares a la sociedad y proteger los que sean más vulnerables. A la fecha, SIGEP cuenta con 200 geositios seleccionados, de los cuales 108 han sido caracterizados e incluidos en 2 publicaciones;
- el Programa de Geoparques, liderado desde el año 2006 por el Departamento de Gestión Territorial y que tiene como objetivo identificar, caracterizar y proponer medidas de puesta en valor de lugares con potencialidad para ser futuros geoparques bajo el amparo de la UNESCO. A la fecha, Brasil cuenta con 1 geoparque reconocido y 30 áreas analizadas para futuras propuestas;
- el Proyecto Caminos Geológicos, liderado desde el año 2001 por el Departamento de Recursos Minerales de Rio de Janeiro (DRM-RJ), que busca divulgar los Monumentos Naturales de ese Estado por medio de la instalación de paneles explicativos. Hasta el año 2013 se habían instalado 93 paneles.

## **3.2 ANTECEDENTES NACIONALES**

### **3.2.1 Inventario Nacional**

A gran escala, los primeros trabajos sobre patrimonio geológico en Chile fueron encabezados por la Sociedad Geológica de Chile (SGCh), en especial por el Dr. Francisco Hervé, quien fuese Vice-

Presidente de la IUGS, institución donde tomó conocimiento del proyecto Global Geosites y del Programa de Geoparques bajo el amparo de la UNESCO antes descritos.

Comprometidos con estas iniciativas, la SGCh creó un grupo de trabajo en patrimonio geológico y desde el año 2007 promueve el levantamiento de un inventario nacional de geositos<sup>8</sup>. El procedimiento para que un elemento o lugar de interés geológico pueda ser considerado en el inventario nacional, requiere de las siguientes etapas (Calderón *et al.*, 2009): i) postulación del lugar de interés, por una persona natural o institución, mediante la presentación de una ficha estándar confeccionada por la SGCh, donde se describe las características generales (nombre, ubicación, interés geológico, descripción geológica, etc.) del lugar; ii) el grupo de trabajo en geopatrimonio evalúa el mérito de la postulación, y recomienda su aprobación o rechazo al Directorio de la SGCh; iii) el Directorio resuelve sobre si el postulante cumple los méritos, o no, para ser parte del inventario nacional.

Tomando los debidos resguardos que cada situación amerite, los lugares o elementos postulantes que resultan aprobados son expuestos en la página web de la SGCh, con el propósito de informar su valor, y promover mecanismos para su preservación y conocimiento por parte de la sociedad. A octubre del presente año, la SGCh ha seleccionado 52 lugares.

Acorde con los lineamientos del programa Global Geosite, Mourgues *et al.* (2012) propusieron una lista de 22 Contextos Geológicos para el territorio chileno, con el propósito de que toda la geodiversidad este homogéneamente representada en el inventario nacional. Este trabajo aún debe ser discutido por la comunidad geocientista, pero se espera que en futuro cercano ayude a estructurar y mejorar la caracterización del patrimonio geológico presente en el País.

A escala regional, algunos proyectos relevantes de geoconservación en Chile son:

---

<sup>8</sup>[www.sociedadgeologica.cl](http://www.sociedadgeologica.cl)

### 3.2.1.1 Proyectos de geoparques en Chile

A octubre del año 2014, existen en Chile dos proyectos de creación de geoparques que siguen los lineamientos de UNESCO, “Kutralkura” y “Cajón del Maipo”.

Kutralkura (“Piedra de Fuego” en lengua mapudungun) fue una iniciativa financiada por el proyecto INNOVA CHILE “Modelo de Geoparque en Chile, Etapa I”, con un presupuesto total de \$ 565.319.000 pesos. Este proyecto fue ejecutado entre los años 2009 – 2013 por SERNAGEOMIN, con el apoyo del Gobierno Regional de la Araucanía, la Corporación Nacional Forestal (CONAF) y el Ministerio de Medio Ambiente entre otras instituciones. Su objetivo fue impulsar la creación del primer geoparque de Chile en torno al volcán Llaima y al Parque Nacional Conguillío, en la Región de la Araucanía (Schilling *et al.*, 2012).

Entre los logros o productos obtenidos durante la ejecución del proyecto, es importante destacar la elaboración de un inventario de cerca de 50 geositios; la realización de talleres de capacitación durante el año 2011, donde participaron actores locales relacionados al turismo, la educación, la conservación y la gestión pública del territorio; la ejecución del proyecto de educación en Ciencias de la Tierra y del Ambiente “Exploradores del Volcán Llaima”, en el cual participaron 100 niñas y niños que habitan en las cercanías de este volcán; el diseño de 15 rutas geoturísticas que son actualmente ofrecidas por operadores turísticos locales; la construcción de paneles interpretativos para 16 geositios y la adaptación del Centro de Interpretación Ambiental del Parque Nacional Conguillío; la elaboración de una Guía Geoturística, un documental audiovisual, un spot publicitario y una página web<sup>9</sup> sobre el proyecto. Actualmente se está trabajando por dotar a Kutralkura de una estructura administrativa, y se espera que durante el presente año se realice la postulación oficial a la Red Global de Geoparques bajo el amparo de UNESCO.

El proyecto de geoparque “Cajón del Maipo” es liderado por la SGCh y, a diferencia de Kutralkura, es todavía una iniciativa incipiente. Localizada en los andes centrales a tan sólo 50 km de la ciudad de Santiago, la comuna de San José de Maipo, también conocida como Cajón del Maipo, es un reconocido destino ecoturístico con más de 160 millones de años de historia geológica y amplia

---

<sup>9</sup>[www.kutralkura.cl](http://www.kutralkura.cl)

geodiversidad, la cual han sido profusamente estudiado por investigadores como Charles Darwin, Ignacio Domeyko, y los primeros geólogos fundadores de la Universidad de Chile.

Como primera etapa para la futura creación del geoparque, se realizó un inventario de los principales lugares de valor científico presentes en la comuna (Benado *et al.*, 2013), y un reportaje televisivo para dar a conocer el proyecto y el patrimonio geológico del territorio<sup>10</sup>. Además del inventario antes mencionado posee 4 lugares que son actualmente reconocidos como geositos de interés nacional por la SGCh.

### 3.2.1.2 Otros antecedentes en Chile

Otras iniciativas de conservación del patrimonio geológico a nivel nacional son:

- Desde el año 2000 SERNAGEOMIN también ha abordado la temática del patrimonio geológico a una escala regional. En el marco de la Serie de Geología Ambiental de la Carta Geológica de Chile, profesionales de esta institución han identificado y descrito sitios de interés patrimonial en las ciudades de Puerto Montt - Frutillar, Osorno, Valdivia, Temuco y Antofagasta (SERNAGEOMIN, 2009).
- Proyecto Geositos de Magallanes, realizado durante el año 2009 por el Instituto Antártico Chileno (INACH), en colaboración con CONAF, el Servicio Nacional de Turismo (SERNATUR) y la Empresa Nacional de Petróleo (ENAP). Estas instituciones identificaron 11 geositos en la XII región de Magallanes y la Antártica Chilena, materializaron la construcción de paneles explicativos en algunos de ellos y crearon una página web para divulgarlos<sup>11</sup>.
- Proyecto Ruta Geológica del Maule, liderado por el Centro de Geomática de la Universidad de Talca con el apoyo de la Universidad de Dresden, Alemania<sup>12</sup>. Esta iniciativa busca

<sup>10</sup><https://www.youtube.com/watch?v=pgp38LDzcCY>

<sup>11</sup><http://www.inach.cl/geositos/>

<sup>12</sup><http://www.otalca.cl/link.cgi//SalaPrensa/RSU/5791>

poner en valor el patrimonio geológico de la Región del Maule y contempla, a largo plazo, la creación de un geoparque bajo el amparo de la UNESCO. Como primer paso se realizó un inventario regional donde se caracterizaron 21 geositios y, a la fecha, está en desarrollo la publicación de un libro que explique la geología de la región y un museo que muestre la geodiversidad presente en su territorio.

- Desde el año 2007, se han realizado varias memorias de título de Geólogo en la Universidad de Chile destinadas a identificar y evaluar el patrimonio geológico en diversas zonas del País, como son el Parque Nacional Torres del Paine, Región de Magallanes (Fernández, 2007), Parque Nacional Conguillío en la Región de la Araucanía (Martínez, 2010), Parque Nacional Pale-Aike ubicado en la Región de Magallanes (Mardones, 2012), áreas costeras de la Región de Atacama (Ramírez, 2012), comuna de Lonquimay en la región de la Araucanía (Partarrieu, 2013), en la zona de cerro Castillo, región de Aysén (Aravena, 2014) y en la zona urbana de la ciudad de Santiago Región Metropolitana (Rodríguez, 2013), en la zona costera de Puchuncavi en la Región de Valparaíso (López, 2016), en la zona del lago General Carrera Región de Aysén se realizó una identificación de unidades volcánicas y plutónicas (Valenzuela, 2017). Además, el año 2014 se desarrolló la primera tesis para optar al título de Geólogo en la temática del patrimonio en la Universidad de Concepción, con estudio en el Complejo Volcánico Nevados de Chillan, Región del Bío-Bío (Rivera, 2014), le siguieron los trabajos de valorización de geositios del límite Cretácico – Paleógeno en la Provincia de Concepción y Arauco, Región del Bío-Bío (Torres, 2016) y caracterización del patrimonio geológico entorno a la cuenca del río Ñuble, Región del Bío-Bío. En la actualidad existe una tesis de magíster realizada en la Universidad de Minho, Portugal, sobre el patrimonio geológico presente en la comuna de San José de Maipo, región Metropolitana (Benado, 2013).

## 4. GEOLOGÍA

### 4.1 HISTORIA GEOLÓGICA

Las áreas de estudio se localizan en la Región de Aysén, específicamente entre la zona nororiental de Campo de Hielo Norte y en la Cuenca del Lago General Carrera, territorio comprendido entre los paralelos 46° y 47° de latitud sur (Figura 4.1).

Las rocas más antiguas en esta zona son del Paleozoico, constituyen el basamento y fueron descritas como parte del Complejo Metamórfico Andino Oriental (Hervé, 1993). Estas rocas están compuestas principalmente por esquistos que provienen de secuencias siliciclásticas (turbiditas), acompañadas, en menor medida, de intercalaciones de mármoles, que posee un protolito principalmente de calizas. Este basamento se encuentra sometido a diferentes procesos de deformación, metamorfismo y plutonismo syntectónico, asociado a la subducción de la litósfera oceánica (Niemeyer, 1975), las cuales son evidencias de la evolución que ha presentado el margen occidental de América del Sur.

Ya en el Mesozoico, específicamente en el Jurásico Inferior, comienza el registro de la subducción en el margen occidental de Sudamérica y de un tectonismo de tipo extensional, este último manifestado en el desarrollo del extenso volcanismo calcoalcalino que cubrió gran parte de la Patagonia conformando la provincia ígnea de Chon Aike (Pankhurst *et al.*, 1999). Forman parte de esta provincia las rocas volcanosedimentarias del área de estudio de edad Jurásico Superior, las cuales están dispuestas en contacto de paraconformidad sobre el Basamento paleozoico y han sido agrupadas bajo el nombre de Formación Ibáñez (Niemeyer *et al.*, 1984; Suarez *et al.*, 1999). Producto del ambiente tectónico de subducción continuó en el margen occidental de Patagonia, desde el Jurásico Superior y hasta el Mioceno superior, se generó la intrusión de una franja con orientación norte - sur de granitoides calcoalcalinos, que han sido denominados como Batolito Norpatagónico (Pankhurst *et al.*, 1999; Suárez y de la Cruz, 2001).

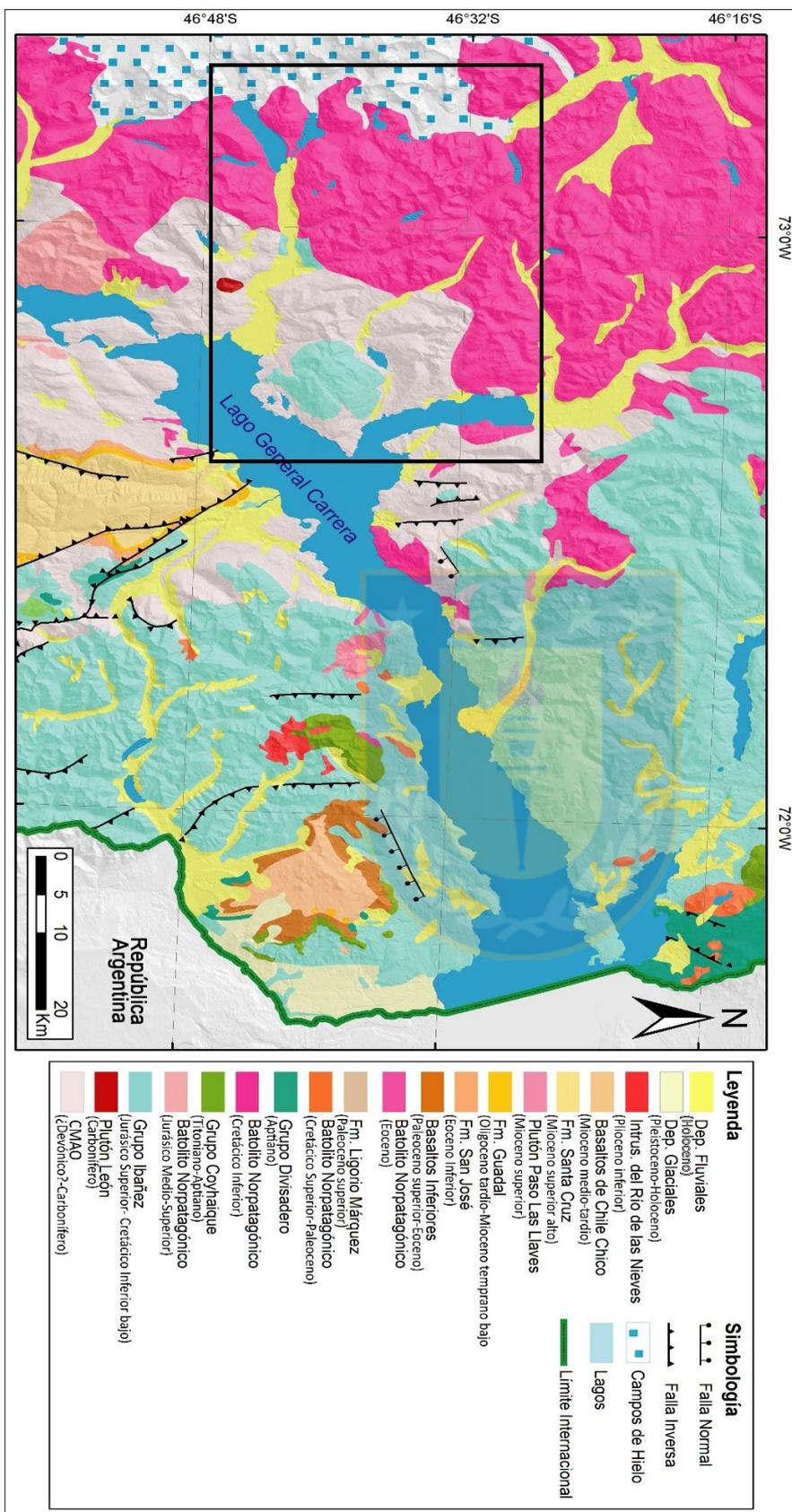


Figura 4.1. Mapa geológico regional. Zona comprendida entre los paralelos 46°-47° y los meridianos 71°-73°. En recuadro negro la zona de estudio. Modificado de Mapa SERNAGEOMI N 1: 1.000.000 (SERNAGEOMI, 2002).

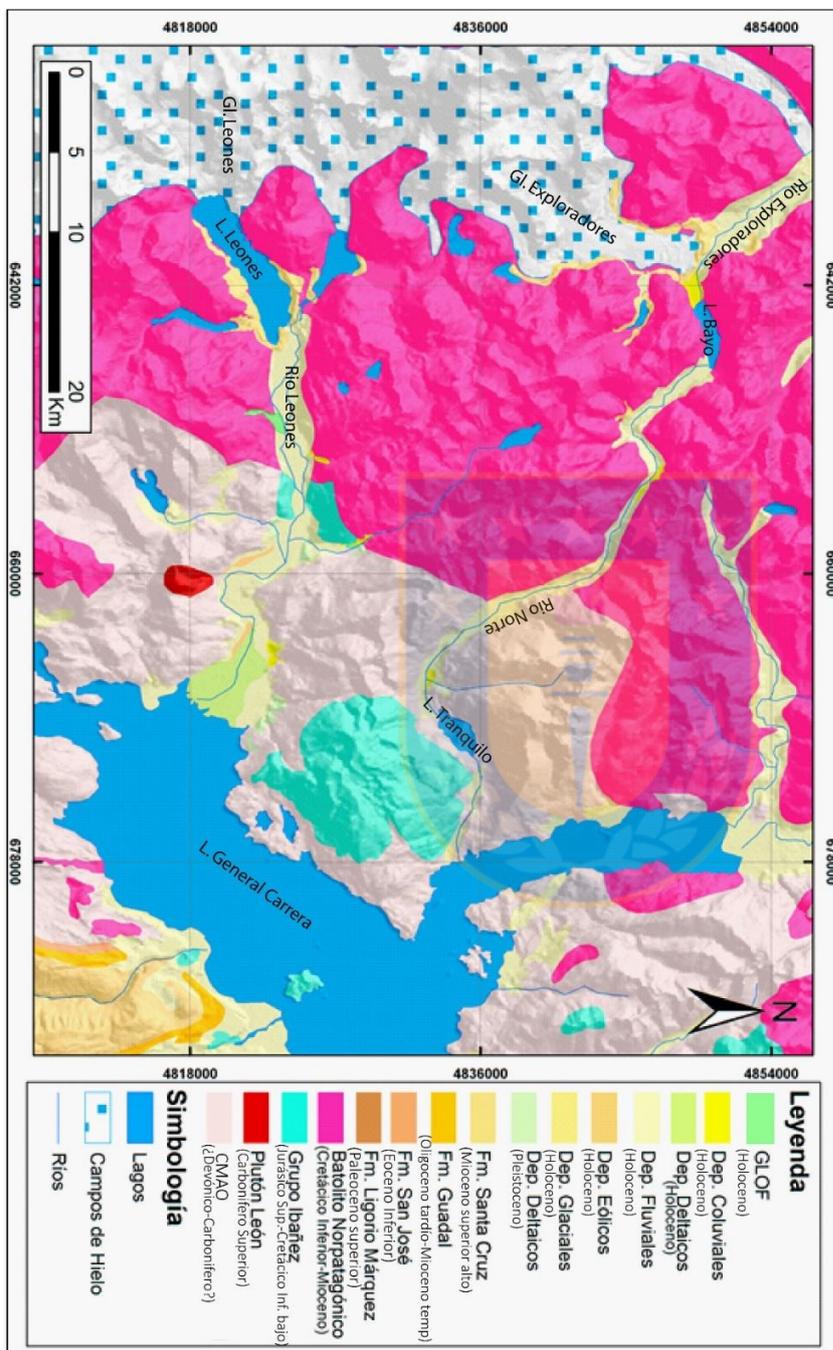


Figura 4.2. Mapa geológico de la zona de estudio, área de los valles Exploradores y Leones. Modificado de mapa geológico SERNAGEO MIN, 1:1.000.000 (SERNAGEO MIN, 2002).

Desde el Jurásico Superior y hasta el Cretácico Inferior, sobreyaciendo a la Formación Ibáñez y engranándose lateralmente, se depositaron tres formaciones sedimentarias marinas que representan sucesiones de transgresión – regresión (De la Cruz *et al.*, 2003) y que han sido denominadas como Grupo Coyhaique (Haller y Lapido, 1980). El Grupo Coyhaique constituido por las Formaciones Toqui, Katterfeld y Apeleg, corresponden al desarrollo de una transgresión marina, que generó una cuenca epicontinental de trasarco (Cuenca Austral) (Covacevich *et al.*, 1994; De la Cruz *et al.*, 1996; Pankhurst *et al.*, 2003; Suárez *et al.*, 2005), presentando un registro estratigráfico continuo en el tiempo y proporcionando una evidencia de la continentalización del ambiente.

En paraconcordancia sobre el Grupo Coyhaique, o en discordancia angular sobre las rocas de la Formación Ibáñez, se encuentran depósitos de un volcanismo subaéreo de naturaleza ácida y explosiva (Niemeyer *et al.*, 1984) de edad Aptiano, que Heim (1940) denominó como Formación Divisadero.

Posterior al volcanismo agrupado bajo la Formación Divisadero, entre el Cretácico Inferior alto y el Paleoceno inferior, se produjo un periodo de *hiatus*, de no acumulación o erosión de las unidades sedimentarias del Cretácico Superior, debido, probablemente, a un alzamiento asociado a un tectonismo compresivo (De la Cruz *et al.*, 2003). Durante este periodo se produjo la exhumación de gran parte del Complejo Metamórfico Andino Oriental, y de las formaciones Ibáñez y Toqui.

Durante el Paleoceno superior, como consecuencia de la erosión de los terrenos alzados en el Cretácico Superior, se acumularon en discordancia angular sobre rocas previamente deformadas del Complejo Metamórfico Andino Oriental y de la Formación Ibáñez, depósitos fluviales que han sido agrupados bajo el nombre de Formación Ligorio Márquez (Suarez *et al.*, 2000a).

Durante el Eoceno inferior se desarrolló un nuevo sistema fluvial representado por la Formación San Jose (Flint *et al.*, 1994), la cual sobreyace en discordancia angular al Complejo Metamórfico Andino Oriental y en concordancia sobre la Formación Ligorio Márquez. Relativamente coetáneo a la Formación San José, entre el Paleoceno superior y el Eoceno inferior, se desarrolló un tectonismo de tipo extensional, el cual produjo una franja volcánica de orientación norte - sur y en un volcanismo de tipo básico. Estas secuencias de lavas fueron agrupadas con el nombre de

Basaltos Inferiores de la Meseta de Chile Chico, y se disponen en inconformidad sobre la Formación Ligorio Márquez (Demant *et al.*, 1996).

Una vez finalizado el volcanismo básico localizado en las mesetas de Chile Chico y del lago General Carrera, entre el Eoceno medio y el Oligoceno superior, se reconoce otro *hiatus* de erosión. Posterior a éste, durante el Oligoceno superior – Mioceno inferior, se tiene una trasgresión marina cuyos sedimentos y restos fósiles poseen una amplia distribución en la actual región de Aysén, y han sido agrupados bajo el nombre de Formación Guadal (Heim, 1940; Niemeyer, 1975). Consecuencia de un tectonismo compresivo ocurrido durante el Cretácico Superior - Paleoceno, la cuenca de la Formación Guadal se habría encontrado separada por un cordón montañoso (Biddle *et al.*, 1986), siendo todavía materia de discusión la afinidad (del Pacífico o del Atlántico) de su registro fósil (Ramos, 1982a; Malumíán, 1999).

Durante el Mioceno inferior se habría originado la somerización de la cuenca antes mencionada, generando la acumulación de depósitos continentales fluviales. Estos sedimentos sobreyacen en contacto de disconformidad a la Formación Guadal y han sido agrupados bajo el nombre de Formación Santa Cruz (Ameghino, 1889; Hatcher, 1900; Flint *et al.*, 2002). En base a la observación de pliegues de crecimiento en rocas de la Formación Santa Cruz al norte del lago General Carrera, Lagabrielle *et al.* (2004) plantean que estos sedimentos se habrían depositado bajo un régimen sintectónico compresivo.

Durante el Mioceno medio ocurrió un extenso volcanismo básico de *plauteu*, cuyas rocas sobreyacen en disconformidad a la Formación Santa Cruz (Lagabrielle *et al.*, 2007, 2004; De la Cruz y Suárez, 2006) y han sido agrupadas con el nombre de Basaltos Superiores de la meseta de Chile Chico (Charrier *et al.*, 1978).

Durante el Mioceno tardío e inicio del Plioceno se observa un *hiatus*, asociado a la actividad tectónica, reconociéndose, sólo localmente, lavas basálticas de edades entre 5 a 3 Ma (De la Cruz y Suárez, 2008), que subyacen a las lavas agrupadas en los Basaltos Superiores de la meseta de Chile Chico.

En base al reconocimiento de fallas normales que cortan depósitos glaciales de fines del Mioceno en territorio argentino, entre otros factores, Lagabrielle *et al.* (2007) señalan que entre los 6 – 3 Ma atrás se habría desarrollado una etapa de tectonismo extensional. Este tectonismo se interpreta como producto de la subducción de la Dorsal de Chile y, consecuentemente, la formación de una ventana astenosférica bajo la zona de la Cuenca del Lago General Carrera. Consecuencia de este tectonismo se habría emplazado y exhumado del plutón granítico Las Nieves (Welkner, 2000; Suárez y De la Cruz, 2001; Morata *et al.*, 2002) y, probablemente, habría cambiado el sentido del drenaje de muchos ríos de dirección este a oeste (Lagabrielle *et al.*, 2007).

Durante el periodo cuaternario esta zona experimentó varias etapas glaciares (Figura 4.2), existiendo registros de 1 a 0,016 Ma de antigüedad (Kaplan *et al.*, 2004; Singer *et al.*, 2004), y de una gran diversidad de depósitos (morrenas, planicies fluvio-glaciares, terrazas glaciolacustres, entre otros) y procesos erosivos (valles en forma de “u”, rocas aborregadas, circos glaciares, paredes truncadas, entre otras). Entre los registros de depósitos glaciares los más antiguos corresponden a depósitos de morrenas laterales, morrenas frontales y depósitos fluvio-glaciares del río Jeinimeni, asignadas al Pleistoceno tardío (Singer *et al.*, 2004).

Destacan en el paisaje la amplia distribución de depósitos glaciolacustres, deltaicos y fluviales que se encuentran alzados respecto al nivel base del lago General Carrera. Estos depósitos alzados indican que durante el Cuaternario han habido varios descensos relativos del nivel base del lago, siendo las probables causas el reajuste isostático post desglaciación, tectonismo (De la Cruz y Suárez, 2006) y/o vaciamientos abruptos (Bell, 2008).

También existen en el paisaje una gran presencia de depósitos de remoción en masa como derrumbes, desprendimientos, caída de rocas, flujos de detritos, aluviones y flujos de barro, que son evidencia de la dinámica actual de las diferentes litologías y depósitos de rocas que se tiene en la zona de estudio.

## 4.2 MARCO GEOTECTONICO

En un contexto geotectónico, el área de estudio se localiza en la zona sur de los Andes de Chile, la cual es un orógeno activo asociado a la subducción hacia el este de las placas de Nazca y Antártica bajo la placa Sudamericana (Mpodozis y Ramos, 1989) (Figura 4.3). En particular, según la división de Stern (2004), el área de estudio se ubica en el límite entre la Zona Volcánica Sur (33° a 46° S) y el Gap o vacío Volcánico Patagónico (46° a 49° S), la cual se caracteriza por la escasa presencia de actividad volcánica.

En la Región de Aysén, en específico en la península de Taitao, convergen las placas de Nazca, Antártida y Sudamericana, generando una zona denominada como Punto Triple (Figura 4.3). Este punto ha migrado en dirección sur a norte, a lo largo del margen continental, desde el Mioceno (14 Ma) hasta la actualidad, y hasta alcanzar el margen continental (Cande y Leslie, 1986 y Cande *et al.*, 1987).

Asociados a los diferentes procesos originados por la colisión de la dorsal de Chile con la placa Sudamericana, se han producido distintas respuestas mecánicas y termales del margen continental (Nelson *et al.*, 1993). Entre ellas destaca especialmente la Zona de Falla de Liquiñe – Ofqui, la cual presenta una estrecha vinculación con el origen de las principales estructuras tectónicas de la Zona Volcánica Sur.

La Zona de Falla de Liquiñe - Ofqui (Figura 4.3) está constituida por un arreglo de fallas y lineamientos de primer orden, de rumbo general N13°E (Weischet, 1960), además de lineamientos secundarios que poseen orientaciones NNW-SSE y NNE-SSW (Steffen, 1944).

Lavenu y Cembrano (1999) interpretan la Zona de Falla Liquiñe - Ofqui como un dúplex de rumbo dextral de raíz cortical profunda, que ha controlado en gran parte la deformación en la Cordillera Patagónica. Por su parte, Thomson (2002) y Cembrano *et al.* (2002) caracterizan esta zona como una estructura en flor positiva, con diferentes grados de exhumación de niveles profundos de la corteza y una tasa de exhumación desde el Plioceno superior a 1,6 mm/año.

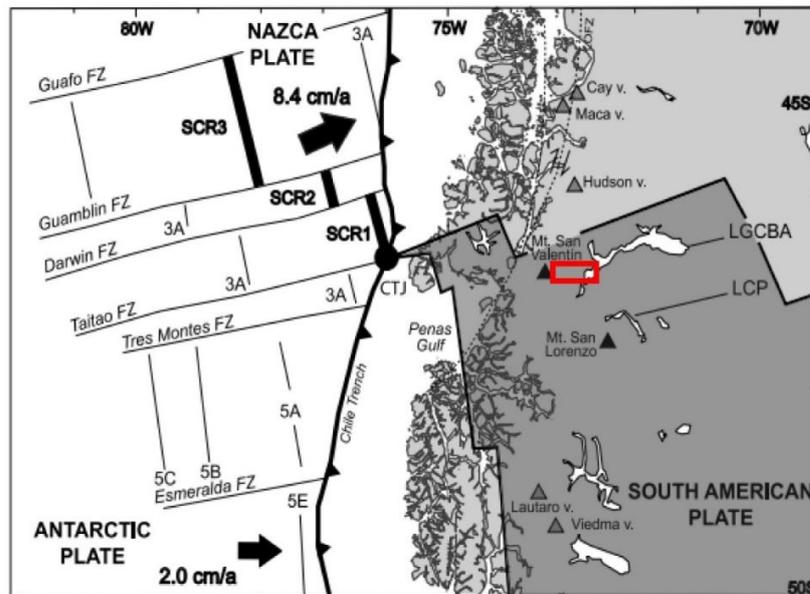


Figura 4.3. Mapa tectónico simplificado del margen convergente continental entre los 44° y 45° de latitud sur. El mapa muestra la zona del punto triple de Chile (CTJ), la Zona de Falla de Liquiñe - Ofqui y el marco tectónico de la subducción del Rigde del sur de Chile (SCR). En rojo se representa la zona general de estudio. Modificado de Scalabrino *et al.*, 2010.

La zona de fallas Liquiñe - Ofqui habría servido como canal de ascenso para los magmas y habría ejercido un control en los mecanismos de transporte, almacenamiento cortical y diferenciación de los mismos, determinando una distribución y naturaleza del volcanismo en la Zona Volcánica Sur (López-Escobar *et al.*, 1995; Cembrano y Lara, 2009). Se estima que el régimen de deformación de transpresión dextral que parece estar controlado por la subducción oblicua, ha dominado al largo de los últimos 20 Ma (Somoza, 1998; Somoza & Ghidella 2005).

#### 4.3 GEOLOGÍA DE LA ZONA DE ESTUDIO

A continuación, se describirán las distintas unidades geológicas presentes entre los paralelos 46° y 47°, y los meridianos 71° y 73°. Estas descripciones son resumidas de las cartas geológicas individualizadas en el subcapítulo 1.4.1.

### 4.3.1 UNIDADES PALEOZOICAS

#### 4.3.1.1 Complejo Metamórfico Andino Oriental (¿Devónico?-Carbonífero)

La unidad Complejo Metamórfico Andino Oriental (CMAO) fue definida por Hervé en 1993, a las rocas que afloran al este del Batolito Patagónico, desde el Lago General Carrera (46° S), hasta el límite norte de los Campos de Hielo Sur y se correlaciona con la Formación Río Lácteo definida en Argentina (Leanza, 1972). Sus rocas constituyen el basamento y presentan una amplia distribución en toda la cuenca del lago General Carrera. En particular, las rocas del CMAO corresponden aproximadamente a un 40% de las litologías que afloran en el valle Leones y aproximadamente un 25% del valle Exploradores (Figura 4.2).

El CMAO está compuesto por rocas plegadas, principalmente por esquistos y filitas de cuarzo–muscovita y subordinadamente, por mármol y esquistos verdes (Figura 4.2). Ha experimentado a lo menos 4 eventos de deformación (Bell y Suárez, 2000), junto con metamorfismo de bajo grado de facies subesquistos verdes a esquistos verdes (Ramírez, 1997; Lacassie, 2000). Evidencia de las intensas deformaciones y metamorfismo se observan en la orientación de la estratificación, paralela al rumbo, entre grandes unidades de mármol y esquistos verdes. El CMAO presenta un rumbo regional NE-SW y un manteo de 45° hacia el NW (Bell y Suárez, 2000).

Las rocas del CMAO subyacen en contacto de inconformidad con las rocas de las formaciones Ibáñez, Ligorio Márquez y Guadal, y se encuentran intruidas por rocas plutónicas del Paleozoico (localmente), del Jurásico Superior, del Cretácico y del Mioceno. En base a estudios realizados sobre el contacto entre el intrusivo El León y el CMAO, De la Cruz y Suárez (2006) asignan a este último una edad mínima Devónico Superior-Carbonífero Superior.

El origen del CMAO es aún motivo de discusión: i) según Hervé *et al.* (1998) el gradiente P-T de aprox. 25°C/km calculado para el CMAO, descarta su formación en un prisma de acreción y, por el contrario, plantea que su formación estaría relacionada a un ambiente de margen continental de plataforma y talud, con gran espesor de sedimentos detríticos y con formación local de depósitos calcáreos; ii) según Bell y Suárez (2000) el origen del CMAO sería el núcleo cristalino de un cordón

orogénico, muy probablemente resultante de la acumulación de microplacas; iii) Ramírez - Sánchez *et al.*(2005) estudiaron temperaturas y presiones en metapelitas del CMAO, concluyendo que su origen se asocia al margen oeste convergente de Gondwana, específicamente a una posición de cuenca de antearco y con una cercana relación a un prisma de acreción.

#### **4.3.1.2 Plutón Granito El León (Carbonífero Superior)**

El Granito El León corresponde al único cuerpo intrusivo de edad Paleozoico descrito en la zona oriental de la Cordillera Principal (De la Cruz y Suárez, 2006) (Figura 4.2). Aflora en las cercanías del delta del río Leones, en el límite este, en las cercanías del delta de desembocadura del río Leones.

Esta unidad agrupa principalmente a monzogranitos y en menor medida a granodioritas de grano grueso a medio. Además, presenta cristales deformados de feldespato alcalino, cuarzo, anfíboles y biotitas, atribuido a propiedades cataclásticas (De la Cruz y Suárez, 2006).

El plutón se encuentra intruyendo a esquistos verdes, esquistos de cuarzo - muscovita y localmente mármoles, pertenecientes al CMAO. Hacia el este del contacto se reconocen sistemas de diques leucograníticos que intruyen a esquistos verdes con intercalaciones de mármol, mientras que en el borde oeste del contacto se observan localmente zonas de metamorfismo de contacto por falla.

Dataciones realizadas en muscovitas secundarias entregaron valores de aproximadamente. 310 Ma en  $Ar^{40}/Ar^{39}$  y  $310 \pm 7$  Ma en análisis de K-Ar, lo cual indicaría la edad aproximada del metamorfismo dinámico (De la Cruz y Suárez, 2006). En muestras de muscovita y biotita de rocas cataclásticas, se obtuvo un valor en K-Ar de  $302 \pm 7$  Ma que representa la edad mínima de metamorfismo. Esto permite asignar una edad mínima Carbonífero Superior a este plutón.

## 4.3.2 UNIDADES MESOZOICAS

### 4.3.2.1 Formación Ibáñez (Jurásico Superior – Cretácico Inferior bajo)

La Formación Ibáñez fue definida por Niemeyer (1975) en las cercanías de la localidad de Puerto Ingeniero Ibáñez, siendo equivalente a la Formación Lago La Plata en Argentina (Ramos, 1981). Sus rocas están ampliamente distribuidas en las áreas de estudio, representando aproximadamente 8% de las litologías del valle Leones y aproximadamente 15% del valle Exploradores (Figura 4.2).

Esta formación es considerada como uno de los episodios terminales del volcanismo ácido de la Provincia Volcánica de Chon Aike (Pankhurst *et al.*, 1998, 2003; Riley y Leat, 1999; Riley *et al.*, 2001). En la zona de estudio tiene un predominio de naturaleza calcoalcalino, se ha relacionada con procesos de subducción (Suárez *et al.*, 1999), y corresponden principalmente a secuencias de rocas volcánicas y volcanoclásticas de composición ácida a intermedia, depositadas en un ambiente subaéreo. En específico, esta unidad está constituida principalmente por rocas piroclásticas y lávicas, de composición riolítica y dacítica, con intercalaciones andesíticas y subordinadamente flujos de lavas basálticas y domos (Suárez *et al.*, 1999; Quiroz, 2000; Bruce, 2001 en De la Cruz *et al.*, 2003). Sus afloramientos alcanzan espesores entre los 800 m y 2.000 m.

La Formación Ibáñez sobreyace en inconformidad a las rocas pertenecientes al CMAO (Niemayer, 1984; De la Cruz y Suárez, 2006), y subyace en una relación de contacto concordante a la Formación Toqui. La edad de la Formación Ibáñez ha sido estimada mediante el análisis en rocas volcánicas y de plutones emplazados en dicha unidad, por medio de los métodos K-Ar (Suárez y De la Cruz, 1997; De la Cruz y Suárez, 2006) y de  $Ar^{40}/Ar^{39}$  (Parada *et al.*, 2001), junto con dataciones de U-Pb SHRIMP en circones (Pankhurst *et al.*, 2003). El último de estos estudios entregó un rango de edades que van desde los  $158,9 \pm 1,5$  Ma y los  $138,4 \pm 1,3$  Ma.

### 4.3.2.2 Cuerpos Hipabisales Avellano – Levicán (Jurásico Superior-Cretácico Superior)

Son aquellos cuerpos intrusivos hipabisales compuestos por diques, sills y posibles lacolitos de composición dacítica a riolítica, y pequeños diques y sills compuestos por andesitas y basaltos.

Estas unidades varían en tamaño desde diques de 1 m de espesor a intrusivos de varios cientos de metros de extensión superficial. Principalmente intruyen secuencias de rocas piroclásticas de la Formación Ibáñez.

Dataciones realizadas en  $Ar^{40}/Ar^{39}$  entregaron valores de edades de  $98 \pm 4$  Ma y  $83,2 \pm 0,3$  Ma. La primera de éstas edades ha sido interpretada como la más cercana a la intrusión, mientras que la segunda sería una edad mínima (Bruce, 2001).

#### 4.3.2.3 Grupo Coyhaique (Titoniano-Aptiano)

El Grupo Coyhaique fue definido como Formación Coyhaique por Lahsen (1966), y posteriormente redefinido por Haller y Lapido (1980). Corresponde a secuencias sedimentarias marinas, principalmente siliciclásticas con niveles calcáreos, sumado a niveles piroclásticos hacia la base de la secuencia sedimentaria. Estos sedimentos representan la transgresión marina de la Cuenca Austral (cuenca tras arco), que tuviera lugar desde el Titoniano al Aptiano inferior (Covacevich *et al.*, 1994; De la Cruz *et al.*, 1996; Suárez *et al.*, 2005). De base a techo el Grupo Coyhaique está constituido por las siguientes formaciones:

- Formación Toqui, definida por Suárez y De la Cruz (1994a), compuesta principalmente por areniscas, tuffitas, tobas y capas calcáreas con gran abundancia de fósiles marinos, que indican un ambiente marino somero. En general no supera los 70 m de espesor. Sobreyace e interdigita a la Formación Ibáñez, y subyace a la Formación Katterfeld. Se le asigna una edad Titoniano – Valanginiano (Covacevich *et al.*, 1994; De la Cruz *et al.*, 1996; Suárez *et al.*, 2005).
- Formación Katterfeld, descrita por Ramos (1976), compuesta por secuencias de lutitas y limonitas negras con niveles de concreciones de fósiles marinos, subhorizontales y, localmente plegadas. Las características de sus facies permiten inferir que se habría acumulado en un ambiente de plataforma marina anóxico y, localmente, de prodelta (Suárez y De la Cruz, 1994). Su espesor va de los 300 m a los 500 m. Esta formación sobreyace en contacto concordante y transicional a la Formación Toqui, y subyace en contacto

concordante y transicional a la Formación Apeleg (Bell y Suárez, 1997). Se le asigna una edad Valanginiano – Hauteriviano (Ramos 1976; Bell y Suárez, 1997; Olivero y Aguirre-Urreta 2002; De La Cruz *et al.*, 2003).

- Formación Apeleg, definida por Ploszkiewicz y Ramos (1977), compuesta por secuencias de areniscas grises verdosas, de grano fino a grueso, bien seleccionadas, con presencia de bioturbaciones, estratificación cruzada y registro de retrabajo de flora continental. Además, presenta láminas pelíticas e intercalaciones de lutitas negras fisibles en la base de la unidad. El ambiente de sedimentación corresponde a un ambiente marino de plataforma somera, con influencia de depósitos deltaicos y costeros (De la Cruz *et al.*, 2003; Bell y Suárez, 1997). La potencia promedio de esta unidad es de 400 m. Sobreyace concordante y transicional a la Formación Katterfeld, y subyace en contacto concordante y transicional a la Formación Divisadero. La edad asignada para esta formación es Hauteriviano – Aptiano inferior (De la Cruz y Suárez, 2008).

#### **4.3.2.4 Formación Divisadero (Aptiano)**

La Formación Divisadero fue definida por Heim (1940) en el cerro homónimo, al sureste de la ciudad de Coyhaique. Sus rocas tienen una amplia distribución en el centro de la región de Aysén, y en la zona de estudio se observan al norte de la ribera norte del lago General Carrera (Figura 4.1).

La Formación Divisadero se encuentra bien estratificada, es de color verdoso a gris claro y está constituida principalmente por rocas piroclásticas, en gran parte ignimbritas, y subordinadamente coladas de lavas, domos y cuerpos hipabisales, diques y filones manto, de composición riolítica, dacítica y andesítica, de carácter calcoalcalino, además de intercalaciones sedimentario – volcanoclásticas (Belmar, 1996). Posee una potencia promedio de 1.000 m (De la Cruz *et al.*, 2003).

Se interpreta que el ambiente en que se depositaron las rocas de la Formación Divisadero era proximal a un centro emisor de actividad volcánica, y en interacción con un ambiente marino somero con influencia deltaica. En particular, la abundancia de depósitos piroclásticos hacia el techo de la formación, sugieren un cambio a un ambiente subaéreo de deposición distal de la

actividad volcánica, la cual era predominantemente explosiva (Niemeyer *et al.*, 1984; De la Cruz *et al.*, 2003).

Las rocas que conforman la Formación Divisadero sobreyacen en paraconcordancia y en discordancia angular sobre la Formación Apeleg y en discordancia de erosión sobre la Formación Ibáñez, y subyacen en contacto discordante a rocas terciarias expuestas aisladamente (Quiroz, 2000). Dataciones en circones U-Pb SHRIMP mostraron edades de  $118 \pm 1,1$  y  $116,1 \pm 1,0$  Ma (Pankhurst *et al.*, 2003), por lo que se le asigna una edad Cretácico Inferior (Aptiano).

#### 4.3.2.5 Batolito Norpatagónico

El Batolito Norpatagónico (BN) corresponde a uno de los complejos magmáticos asociados a subducción más grandes del mundo. Se extiende desde los  $41^\circ$  a los  $47^\circ$  de latitud sur, formando una gran franja de dirección norte – sur que abarca gran parte de la Cordillera Principal de la región de Aysén, además tiene un ancho que varía de los 20 km a los 130 km, con un largo de 1.700 km (Pankhurst y Hervé, 1994). Es una de las litologías predominantes en las dos zonas de estudio (Figura 4.2).

Esta unidad se encuentra constituida por rocas intrusivas calcoalcalinas (Pankhurst y Hervé, 1994), y tienen edades que varían entre el Cretácico Inferior y el Mioceno (Pankhurst *et al.*, 1999; Suárez y De la Cruz, 2001; Morata *et al.*, 2002; De la Cruz *et al.*, 2003).

En la Cuenca del Lago General Carrera el BN se divide en dos segmentos:

- i) Segmento compuesto principalmente de monzogranitos, granodioritas, monzonitas cuarcíferas de anfíbol y tonalitas, de grano grueso (localmente cataclásticas y de tendencia porfídica) (De la Cruz *et al.*, 2003). Este segmento del Batolito Norpatagónico aflora en un 40% en las zonas de los valles Exploradores y Leones. Intruye mayoritariamente a rocas del CMAO y en sus márgenes se reconocen aureolas de metamorfismo de contacto. Localmente se encuentra en contacto por falla con la Formación Ibáñez (De la Cruz y Suárez, 2006). Dataciones en K-Ar (en biotitas poco cloritizadas) entregaron una edad

Cretácico Inferior, específicamente de  $124 \pm 3$  Ma y de  $116 \pm 3$  Ma (Suárez y De la Cruz, 2001).

ii) El segundo segmento se reconoce en la ribera sur del lago General Carrera, y corresponde al Complejo Plutónico Paso Las Llaves (Vargas y Hervé, 1995). Está compuesto por un stock de granodioritas de anfíbol y biotita, dioritas y gabros. Estas rocas están en contacto por falla y por intrusión y en contactos abruptos a la Formación Ibáñez. Dataciones en trazas de fisión en circones entregaron una edad  $10,1 \pm 1$  (Mioceno superior) (Thompson *et al.*, 2001).

#### **4.3.2.6 Hipabísales Básicos (Cretácico Inferior – ¿Cretácico Superior?)**

Son un pequeño grupo de cuerpos hipabísales, de composición básica a andesítica, con intensa alteración hidrotermal, presencia de pirita y pirrotina diseminada y en vetillas. Los cuerpos tienen diferentes formas de emplazamiento, tales como diques, filones manto y *stocks*, con dimensiones de metros a decenas de metros, que instruyen principalmente a rocas de la Formación Divisadero y aisladamente a rocas del Grupo Coyhaique y de la Formación Ibáñez. Se le asigna una edad Cretácico Inferior – ¿Cretácico Superior? (Quiroz y Bruce, 2010).

#### **4.3.2.7 Cuerpos Hipabísales y Domos de Cerro Bayo (Aptiano)**

Corresponden a domos y cuerpos hipabísales de composición dacíticos y riolíticos, alojados en la Formación Ibáñez. Se encuentran controlados por sistemas de fallas de orientación norte–sur, las cuales habrían facilitado la creación de ductos de fluidos hidrotermales, generando zonas de alteración hidrotermal (principalmente argílica). Se les asigna una edad Aptiano (De la Cruz y Suárez, 2008).

### 4.3.3 UNIDADES CENOZOICAS

#### 4.3.3.1 Formación Ligorio Márquez (Paleoceno superior)

Unidad descrita por Suárez *et al.* (2000) y definida en los cerros al norte de la laguna Los Flamencos, 27 km al sur de la localidad de Chile Chico. Aflora en la ribera sur del lago General Carrera, en las cercanías de la localidad de Puerto Guadal, y al norte y sur de la naciente del río Las Horquetas.

Está constituida por areniscas y conglomerados de cuarzo con estratificación cruzada, e incluye intercalaciones de areniscas de grano fino a muy fino, lutitas y algunos niveles de lutitas carbonosas y carbón, con restos de flora y troncos. Tiene una potencia mínima de 200 m. Su ambiente de depositación de ríos trenzados, con amplias planicies fluviales intercaladas con depósitos aluviales y lacustres de baja profundidad (De la Cruz y Suárez, 2006).

Sobreyace en discordancia angular al CMAO, y en discordancia angular y paraconcordancia a la Formación Ibáñez y en paraconcordancia a la Formación Toqui. Subyace en contacto concordante a la Formación San José y, localmente, en discordancia angular a los Basaltos Inferiores de la Meseta de Chile Chico (De la Cruz y Suárez, 2006). Mediante su registro fósil, *Bignonia gigantifolia*, se le ha asignado una edad Paleoceno superior (Troncoso *et al.*, 2002)

#### 4.3.3.2 Basaltos Inferiores de la Meseta de Chile Chico (Paleoceno superior - Eoceno)

Unidad constituida por secuencias de lavas de composición basálticas, específicamente por basaltos, basanitas y traquibasaltos, con potencias que alcanzan hasta los 350 m. En sus rocas es posible identificar distintas estructuras y depósitos, tales como oleadas basálticas, basaltos brechosos con diques de basaltos y diatremas (Charrier *et al.*, 1978) (Figura 4.1).

Estas rocas están constituidas por elementos trazas y razones isotópicas que indican un origen mantélico, como consecuencia de la generación de una ventana astenosférica durante el proceso de subducción de la dorsal oceánica en esta región (Espinoza *et al.*, 2005).

Los Basaltos Inferiores de la Meseta de Chile Chico sobreyacen en discordancia de erosión a las Formaciones Ibáñez, Toqui, Divisadero y Ligorio Márquez, y subyacen en disconformidad a las Formaciones Guadal y a los Basaltos Superiores. Abundantes dataciones en K-Ar acotan la edad de esta unidad entre los  $57\pm 3$  a  $34\pm 0,7$  Ma (Paleoceno superior-Eoceno) (Charrier *et al.*, 1979; Espinoza *et al.*, 2003).

#### **4.3.3.3 Formación San José (Eoceno Inferior)**

Esta unidad fue definida por Flint *et al.* (1994), aflora en la ribera sur del lago General Carrera, específicamente en las cercanías de la localidad de Puerto Guadal (Figura 4.2).

En su sección basal conformada por conglomerados clastosoportados de base erosiva y areniscas de grano grueso, con alternancia de tobas riolíticas. En su sección superior tiene una alternancia de limonitas rojas y purpuras. Además, se identifican estructuras de paleocanales de conglomerados y areniscas volcanoclásticas, estratificación cruzada planar, clastos imbricados y niveles con restos de paleoflora (De la Cruz y Suárez, 2006). Los espesores varían entre 80 m y 200 m (De la Cruz y Suárez, 2006).

La Formación San José sobreyace en contacto concordante a la Formación Ligorio Márquez y en inconformidad al CMAO (De la Cruz y Suárez, 2006), y subyace a la Formación Guadal. Mediante estudios de descripción de flora se acotó su edad al Eoceno inferior (Troncoso *et al.*, 2002).

#### **4.3.3.4 Formación Guadal (Oligoceno tardío - Mioceno temprano bajo)**

Descrita por primera vez por Heim (1940) y posteriormente por Niemeyer (1975), esta unidad se encuentra ubicada principalmente en la ribera sur del lago General Carrera, siendo su localidad tipo el cerro aledaño a la localidad homónima (Figura 4.2).

Corresponde a una secuencia de rocas sedimentarias marinas fosilíferas, principalmente de areniscas e intercalaciones de limolitas, areniscas verdes finas con fósiles marinos de bivalvos,

gastropodos, crustáceos, braquiópodos y equinodermos. Tiene una potencia de aprox. 110 m (Flint *et al.*, 1994).

El ambiente de depositación de la Formación Guadal es de tipo marino de plataforma con episodios carbonatados, los cuales dan evidencia de diferentes periodos de transgresión – regresión, con influencia de planicies fluviales y llanuras de inundación (Frassinetti y Covacevich, 1999).

La Formación Guadal sobreyace en paraconformidad a la Formación San José, y subyace en conformidad a la Formación Santa Cruz. Aunque todavía es materia de discusión su rango de edad, en base a su registro fósil se le ha asignado una edad Oligoceno superior – Mioceno inferior (Frassinetti y Covacevich, 1999).

#### **4.3.3.5 Formación Santa Cruz (Mioceno inferior alto)**

Esta unidad fue tempranamente descrita por Ameghino (1887, 1889). Tiene una distribución en la ribera sur del Lago General Carrera, en las cercanías de la localidad de Puerto Guadal, y en la ribera del río Jeinimeni (Figura 4.1).

Está constituida principalmente por areniscas de grano muy fino a fino y limolitas con intercalaciones canalizadas de areniscas y conglomerados. Además, tiene intercalaciones lenticulares métricas, con extensión lateral y espesores variables, compuestas mayoritariamente de areniscas de grano fino a gujarrosas a conglomerádicas. Se observa una base erosiva y deformación sinsedimentaria con pliegues apretados y monoclinales. Posee estructuras sedimentarias (estratificación cruzada plana), bioturbaciones y restos fósiles de flora y fauna continental (mamíferos) (De la Cruz y Suárez, 2006).

Según Flint (1994), el ambiente de depositación de la Formación Santa Cruz habría sido de tipo fluvial sinuoso, con llanuras de inundación y canales arenosos. Esta unidad aflora ampliamente en Argentina, exponiendo una potencia mínima de 900 m (Ameghino, 1887 y 1889).

La Formación Santa Cruz sobreyace en contacto concordante a la Formación Guadal, no presenta techo expuesto y, según Guivel *et al.* (2006), existe un *hiatus* entre esta unidad y las secuencias lávicas que la sobreyacen. Mediante el análisis de sus registros faunísticos, se le asigna una edad Mioceno inferior alto (Flynn *et al.*, 2002).

#### 4.3.3.6 Basaltos Superiores de la Meseta de Chile Chico (Mioceno medio - tardío)

Unidad descrita por Charrier *et al.* (1978). Está constituida por rocas basálticas, específicamente por basaltos, basanitas, traquibasaltos, traquiandesitas basálticas y tobas riolíticas, que conforman una meseta que corona el sector cordillerano alto, al suroeste de Chile Chico (Figura 4.1). Esta unidad presenta una potencia máxima de 350 m.

Mediante estudios geoquímicos, De la Cruz y Suárez (2008) interpretan que la proveniencia de esta unidad correspondería a la fusión parcial de bajo grado a medio, de una fuente mantélica primitiva, aunque, para las características transicionales, muestra una participación de componentes de actividad de subducción. Guivel *et al.* (2006) postulan que estas rocas son el producto de la ascensión de magmas, a través de zonas de desmembramiento de la placa de Nazca durante el Mioceno medio en adelante. Gorrington y Kay (2001) y Espinoza *et al.* (2005) proponen que el ascenso de los magmas fue a través de una ventana astenosférica generada entre las placas de Nazca y Antártica, como consecuencia de la subducción de la Dorsal de Chile desde el Mioceno tardío. Unificando los dos modelos antes descritos, Guivel *et al.* (2006) explican la diferencia temporal de eventos proponiendo un modelo de fractura del “slab” que precedería al choque de la dorsal oceánica con la placa continental.

Los Basaltos Superiores sobreyacen con discordancia de erosión y con *hiatus* a la Formación Guadal, y subyacen discordantes a los 'Basaltos Pico Sur' del Plioceno (De la Cruz y Suárez, 2008). Dataciones K-Ar en roca total (anfíbol, biotita y plagioclasas) han entregado edades entre 16 y 7 Ma (Charrier *et al.*, 1979; Baker *et al.*, 1981; Flynn *et al.*, 2002; Espinoza, 2003)

#### 4.3.3.7 Complejo Plutónico Paso las Llaves (Mioceno superior)

El Complejo Plutónico Paso Las Llaves aflora al sur del lago General Carrera, entre Puerto Guadal y Chile Chico, cubre un área aprox. de 3 km<sup>2</sup>, y se emplaza en rocas de la Formación Ibáñez (Figura 4.1). Se caracteriza por una variación petrográfica desde granodiorita a gabro, y por la presencia de pegmatitas graníticas. Las rocas incluyen abundantes xenolitos orientados de esquistos y metacuarcitas del CMAO (De la Cruz y Suárez, 2006).

Esta unidad posee correlación y continuidad en sus contactos con el cuerpo intrusivo Monzonita Cuarcífera Avilés y tienen la misma edad (De la Cruz y Suárez, 2006). Sin embargo, estos cuerpos intrusivos han sido individualizados como unidades distintas (De la Cruz y Suárez 2006; De la Cruz y Suárez, 2008)

Dataciones radiométricas, para esta unidad, han entregado edades cercanas a los 10 Ma (Pankhurst *et al.*, 1999; Thomson *et al.*, 2001 en De la Cruz y Suárez, 2006; De la Cruz y Suárez, 2008).

#### 4.3.3.8 Basaltos Pico Sur (Plioceno)

Unidad definida por De la Cruz y Suárez (2008), secuencia de lavas basálticas ubicadas en los cordones cordilleranos más altos al suroeste de Chile Chico, en las inmediaciones del cerro Pico Sur (Figura 4.1).

Estas rocas tienen características geoquímicas equivalentes a la unidad Basaltos Superiores de la Meseta Chile Chico (Espinoza *et al.*, 2005) que los sobreyacen, sin embargo, son considerados unidades diferentes, debido a tienen distintas edades las cuales generan un *hiatus* (De la Cruz y Suárez, 2008). Según De la Cruz y Suárez (2008), le asignan una edad Plioceno. Mediante análisis de K-Ar en roca total entregaron un rango de edades entre los  $5,7 \pm 0,3$  y los  $3,7 \pm 0,2$  Ma (Charrier *et al.*, 1979; Baker *et al.*, 1981; Espinoza *et al.*, 2005).

#### **4.3.3.9 Plutón las Nieves (Plioceno inferior)**

Complejo intrusivo a subvolcánico, compuesto principalmente por monzonitas cuarcíferas, granodioritas, dacitas y riolitas, dispuesto en forma de stock (De la Cruz y Suárez, 2008). Análisis de K-Ar en biotita entregaron una edad de  $3,0 \pm 0,3$  Ma, lo cual evidencia una rápida exhumación (Morata *et al.*, 2002).

#### **4.3.4 CUATERNARIO**

A continuación, se detallarán los principales depósitos semiconsolidados a no consolidados, que se encuentran en la cuenca del lago General Carrera y en las zonas periféricas a Campo de Hielo Norte. Estos depósitos son evidencias de las glaciaciones pleistocénicas y cuaternarias que cubrieron y modelaron esta región. Evidencias de estas es su amplia distribución y dinámica activa actual que tienen estos depósitos en la zona de estudio de los valles Exploradores y Leones (Figura 4.2).

##### **4.3.4.1 Depósitos Morrénicos (Pleistoceno superior)**

Corresponden a sedimentos no consolidados, pero bien compactados, conformados por bloques y gravas matriz soportadas, sin estructura interna y con una matriz de arenas y arcilla. Representan el remanente de morrenas laterales y frontales de glaciares que ocuparon parte de la cuenca del lago General Carrera (De la Cruz, y Suárez, 2008).

Estos depósitos están bien representados al sur de Chile Chico, donde conforman cordones morrénicos localizados entre los 470 y los 1.200 m s.n.m., alternados con depósitos fluvio-glaciares. Se distinguen dos subunidades en aquellos depósitos donde es posible concluir la edad relativa entre ambos, los más antiguos de aprox. 23.000 años y los más jóvenes de aprox. 15.800 años (Ton-That *et al.*, 1999; Singer *et al.*, 2004).

#### 4.3.4.2 Depósitos Glaciofluviales (Pleistoceno superior)

Corresponden a sedimentos poco consolidados, compuestos por gravas clasto y matriz soportada, localmente imbricadas, interestratificadas con bancos de arenas y limos con estratificación horizontal y cruzada. Los clastos son polimícticos, subredondeados y alcanzan, localmente, tamaños de bloques métricos. Se interpretan como depósitos fluvio-glaciares de descarga frontal (De La Cruz, *et al.*, 2008).

Por su continuidad lateral con depósitos expuestos en Argentina, en el margen oriental del lago, específicamente con los depósitos glaciofluviales asociados a los complejos morrénicos Fénix y Menucos, se le asigna una edad Pleistoceno tardía (Singer *et al.*, 2004).

#### 4.3.4.3 Depósitos Glaciolacustres (Pleistoceno superior)

Depósitos conformados por sedimentos no consolidados que constituyen secuencias arcillosas y limosas finamente laminadas (varves). Localmente la granulometría de los depósitos puede alcanzar el rango de las arenas finas. Presentan, en general, laminación de disposición horizontal, plegamientos y fallamiento sinsedimentario y, localmente, inclusiones de bloques subredondeados o *dropstones* (De la Cruz y Suárez, 2006).

Producto a la alternancia que presentan con los cordones morrénicos del Pleistoceno tardío, se interpreta que tiene una edad Pleistocena tardía (De la Cruz y Suárez, 2006). Estos depósitos se encuentran principalmente en las cercanías del lago General Carrera.

#### 4.3.4.4 Depósitos Deltaicos (Pleistoceno superior alto)

Están constituidos por sedimentos no consolidados, principalmente por gravas, arenas finas, limos y, en menor medida, bloques (métricos) que forman potentes acumulaciones sedimentarias de 100 a 150 m de espesor, desarrolladas en la desembocadura de algunos ríos y cuerpos lacustres (De la Cruz y Suárez, 2008)

Morfológicamente y observados en planta, estas unidades sedimentarias conservan, en parte, estructura de abanicos limitados por pendientes abruptas y constituyen deltas tipo ‘Gilbert’. Internamente muestran estratificación de alto ángulo generada por la progradación del frente deltaico y, en la parte superior de los depósitos, estratificación plana subhorizontal con suave manto hacia la parte terminal del depósito. En el techo de estas terrazas se pueden observar depósitos de ríos trenzados y planicies de inundación (De la Cruz y Suárez, 2006). Estos depósitos tienen una amplia distribución en las riberas del lago General Carrera, también en el valle Exploradores, en las cercanías del lago Tranquilo y en el valle Leones específicamente en las riberas de los ríos Meliquina y Claro.

#### **4.3.5 HOLOCENO**

##### **4.3.5.1 Depósitos Murrénicos**

Depósitos compuestos por sedimentos pobremente a no consolidados, matriz soportada conformada por gravas, arenas y limos, mal seleccionadas. Además, poseen bloques que pueden alcanzar tamaños métricos a decimétricos, comúnmente facetados y, en algunos casos con estrías glaciales. Estas unidades tienen formas de montículos elongados o curvos, ubicados en los márgenes de lagos glaciares (lago Leones, laguna El Mapuche y lago Tranquilo), paredes que conforman los valles Exploradores y Leones, además en los frentes y márgenes de los glaciares Exploradores y Leones (Figura 4.2).

##### **4.3.5.2 Depósitos Lacustres**

Sedimentos no consolidados de limos y arcillas laminadas, tipo varves, que ocupan pequeñas cuencas lacustres de superficies menores a 30.000 m (De la Cruz y Suárez, 2006), además se identifican a lo largo de los valles Exploradores y Leones, con formas de pequeñas terrazas adyacentes a las paredes de los valles y en las zonas cercanas a los lagos actuales (Figura 4.2).

#### 4.3.5.3 Depósitos de Abanicos Aluviales

Son depósitos de sedimentos no consolidados, generados por transporte hídrico estacional. Principalmente se desarrollan en la base de cordones montañosos y en las intersecciones de valles secundarios con principales, donde forman conos con pendientes suaves a fuertes (De la Cruz y Suárez, 2006).

Están constituidos por bloques redondeados, gravas, arenas de grano medio a grueso y limos. La distribución y estructura de estos componentes al interior del abanico depende del régimen energético del transporte. Se desarrollan depósitos de bloques y gravas generados por flujos de detritos, depósitos de gravas, arenas y limos, con estratificación plana y cruzada, generados por transporte hídrico canalizado. Desde la parte alta del abanico hacia la parte baja distal, el tamaño de los clastos tiende a disminuir, pero también existen depósitos de flujos de detritos con bloques que cubren los sectores distales (De la Cruz y Suárez, 2006). Estos depósitos son comparados con los depósitos de vaciamientos abruptos de lagos glaciares (*glacier lake outburst flood*, cuya sigla en inglés es GLOF) (descrito en subcapítulo 5.2.5, ficha N°12.), debido a sus similitudes en su morfología y composición (Figura 4.2).

#### 4.3.5.4 Depósitos Fluviales y de Llanuras de Inundación.

Corresponden a sedimentos no consolidados, generados por transporte hídrico de cursos actuales (ríos, arroyos y esteros). Se componen de grava con matriz arenosa, asociados a bancos de arena y limos, con estratificación plana y cruzada. Ocupan cursos fluviales activos (De la Cruz y Suárez, 2006), como es el caso de los ríos Norte, Exploradores y Leones (Figura 4.2).

Especialmente significativos son los depósitos de llanura de inundación, los cuales poseen arenas finas, sedimentos limosos y arcillosos, y por materia orgánica originados por decantación durante crecidas de ríos (De la Cruz y Suárez, 2006). Estos depósitos tienen una amplia distribución en el valle del río Leones, en las zonas cercanas al lago Bayo y en menor medida en el nacimiento del río Exploradores.

#### **4.3.5.5 Depósitos de Remoción en Masa**

Son sedimentos caóticos no consolidados, mal seleccionados, con clastos subangulosos de tamaño grava y por bloques (métricos), gravas, arenas, limos y arcillas, frecuentemente masivos y carentes de estratificación. Son generados por procesos rápidos de movilización gravitacional, deslizamientos de tierra y flujos de detritos. Se asocian a zonas de escarpes de cornisas de derrumbes o de deslizamientos (De la Cruz y Suárez, 2006). Estos depósitos tienen una amplia distribución en las paredes y en las zonas altas de los valles Exploradores y Leones (Figura 4.2), también en la gran mayoría de los valles secundarios que convergen, en los valles principales nombrados anteriormente.

#### **4.3.5.6 Depósitos Coluviales**

Están constituidos por sedimentos clásticos no consolidados, mayoritariamente brechas de matriz y clasto soportadas, de tamaño variables, como bloques, gravas, arenas, limo y arcillas. Poseen mala selección y estratificación pobre o nula. Estos depósitos son originados principalmente, por caída gravitacional y también por arrastre hídrico de derrubios apoyados por escorrentía superficial en laderas de cerros, cabeceras de quebradas y escarpes rocosos. Morfológicamente tienen forma de conos o abanicos de fuertes pendientes y reducidas extensiones, como también en depósitos sin morfología característica (De la Cruz y Suárez, 2006). Tienen una amplia distribución en los sectores de las paredes valle del lago Leones y en menor medida ubicado en las partes bajas del valle del río norte camino hacia el valle Exploradores y en las zonas de montaña del glaciar Exploradores (Figura 4.2).

#### **4.3.5.7 Depósitos Deltaicos**

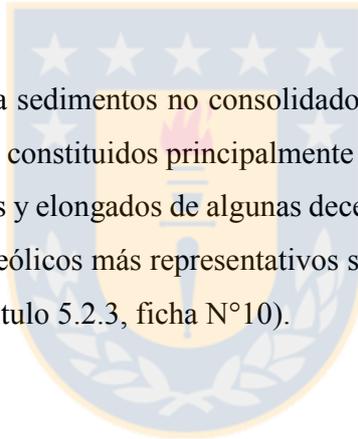
Corresponden a depósitos de sedimentos no consolidados que en planta tienen forma de abanico. Se registran principalmente en las desembocaduras de ríos en el lago General Carrera (Figura 4.1 y 4.2), como por ejemplo el río Leones que se encuentra en uno de los valles de la zona de estudio. Se caracterizan por progradar los depósitos de la línea de costa (Bell, 2008).

Están compuestos por gravas con redondeamiento regular a bueno, intercalaciones de bancos de arena y subordinadamente limos. Poseen estratificación horizontal, cruzada e imbricación. Las facies sedimentarias son, mayoritariamente, las de un delta de tipo Gilbert. En particular, la zona subaérea de estos depósitos corresponden a ríos trenzados, mientras que las del frente deltaico, generalmente sumergidas en el agua, estarían constituidas por depósitos con mega estratificación inclinada que engranan lateralmente con depósitos de origen lacustre (De la Cruz y Suárez, 2006)

Según Bell (2008), la acumulación de depósitos deltaicos observados en la cuenca del lago General Carrera habría comenzado después del retiro de los hielos en la zona, y una vez establecida la actual configuración de desagüe del mismo (hacia el Océano Pacífico).

#### **4.3.5.7 Depósitos Eólicos**

Estos depósitos corresponden a sedimentos no consolidados, generados por la acción del viento. Poseen buena selección y están constituidos principalmente por arcillas, limos y arenas muy finas. Conforman montículos aislados y elongados de algunas decenas de metros de longitud (De la Cruz y Suárez, 2006), los depósitos eólicos más representativos se encuentran en la desembocadura del río Leones (descrito en subcapítulo 5.2.3, ficha N°10).



## 5. INVENTARIO

A continuación se describirán las fichas de caracterización de los lugares de especial interés científico inventariados en los valles Leones y Exploradores. Las fichas incluyen la justificación de la elección y la caracterización geológica y patrimonial de los mismos.

Como se menciona en el capítulo de Introducción, subcapítulo 1.4 Metodología, la selección de los elementos se realizó mediante la metodología de Brilha (2016), es decir, se escogieron los lugares o sitios más destacados por su Contenido Científico, Integridad, Rareza y/o Representatividad. Sin embargo, también es importante mencionar que existieron casos aislados en que para seleccionar se ocuparon criterios adicionales, como son la cantidad de elementos o procesos de geodiversidad y/o su accesibilidad.

El resultado de este proceso es la selección y caracterización de 16 geositos (Figura 5.1 y 5.2), 7 en el valle Exploradores y 9 en el valle Leones, que a criterio del autor, y según la metodología sugerida y aplicada (Brilha, 2016), corresponderían al patrimonio geológico de mayor valor científico de la zona de estudio.

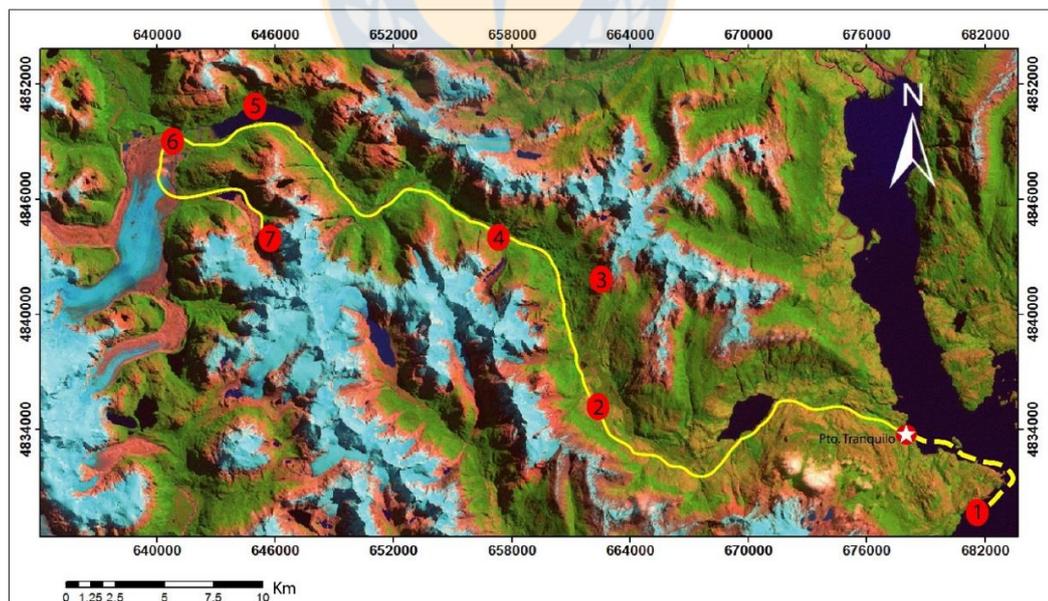


Figura 5.1. Ubicación relativa de los 7 geositos inventariados en el valle Exploradores. Línea amarilla indica ruta que une a los geositos y línea amarilla segmentada es la ruta de navegación. La figura es una imagen satelital Landsat +7, combinación de bandas 7, 4 y 2.

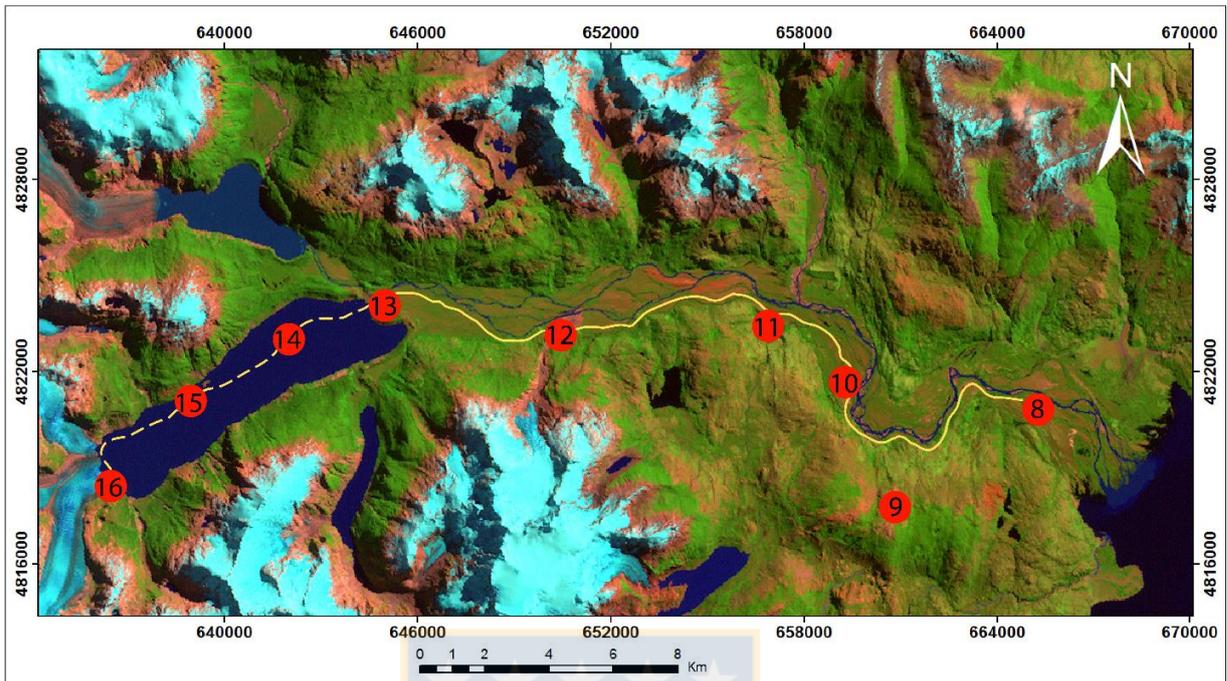


Figura 5.2. Ubicación relativa de los 9 geositos inventariados en el valle Leones. Línea amarilla indica la ruta que conecta los geositos, línea amarilla segmentada indica ruta de navegación. La figura es una imagen satelital Landsat +7, combinación de bandas 7, 4 y 2.

Los valles Exploradores y Leones se encuentran relativamente cercanos a la localidad de Puerto Río Tranquilo. Esta localidad se ubica a aprox. 220 km al sur de la ciudad de Coyhaique y es accesible por la ruta 7 (o Carretera Austral), la cual es mayoritariamente de ripio. Desde Puerto Río Tranquilo se accede a los valles Exploradores y Leones mediante rutas secundarias, ruta X-728 y camino vecinal X-732, respectivamente. Estas rutas secundarias, son las únicas vías de acceso terrestre hacia el Parque nacional Laguna San Rafael.

Es importante mencionar que 6 de los lugares seleccionados se encuentran dentro del área protegida Parque Nacional Laguna San Rafael, mientras que los otros 10 se encuentran en terrenos de propiedad privada.

## 5.1 CARACTERIZACIÓN DE LOS GEOSITIOS DE LA ZONA DEL VALLE EXPLORADORES

A continuación, se describen los 7 sitios de especial valor científico seleccionados en la zona del valle Exploradores. Sin embargo, la incorporación del Santuario de la Naturaleza Capillas de Mármol a los sitios existentes en el Valle Exploradores (Figura 5.1), justificado anteriormente en el capítulo Introducción, subcapítulo 1.4 Metodología, sumado a los argumentos expuestos anteriormente es de relevancia su impresionante belleza escénica, también su importancia científica, logrando el reconocimiento de la Sociedad Geológica de Chile, como uno de los dos geositios en la región de Aysén. Debido a que no está en el valle propiamente tal, la localidad de Puerto Tranquilo es la puerta de entrada para los valles glaciares de Campo de Hielo Norte (Exploradores y Leones) y lugar de paso obligado, para los turistas que pretenden recorrer la cuenca del lago General Carrera y la Carretera Austral Sur, y lugar de embarque para la navegación hacia el Santuario de la Naturaleza Capillas de Mármol.

### 5.1.1 Santuario de la Naturaleza Capillas de Mármol

N° 1	Santuario de la Naturaleza Capillas de Mármol			
<b>Coordenadas</b>	4.830.030 N	681.499 E	<b>Altura</b>	203 m s.n.m.
<b>Localidad más cercana</b>	Puerto Río Tranquilo		<b>Comuna</b>	Río Ibáñez
<b>Justificación</b>				
<p>El Santuario de la Naturaleza Capillas de Mármol se escogido por ser el lugar más representativo de toda la cuenca del lago General Carrera y en la zona de estudio por su particular morfología kárstica, y en sus paredes se distinguen diferentes rasgos de modelados de erosión que evidencian el paso de los glaciares.</p> <p>El Santuario de la Naturaleza de Capillas de Mármol, es el único Geositio en la zona de la cuenca del lago General Carrera, el segundo en la Región de Aysén, reconocido por la Sociedad Geológica de Chile.</p>				

**Uso Actual**

El Santuario de la Naturaleza Capillas de Mármol presenta un uso principalmente turístico. Desde Puerto Río Tranquilo se pueden encontrar tours guiados en embarcaciones menores que realizan viajes hacia el Santuario, visitando las distintas morfologías kársticas ubicadas en los sectores de “La Puntilla”, “Cabeza de Perro”, los islotes de “Capillas y Catedral de Mármol”.

En las Islas Panichini, localizadas frente a Puerto Sánchez y donde se observan morfologías kársticas de mayores dimensiones, en época invernal donde el nivel del lago es menor, debido a los pocos deshielos proveniente de los glaciares, se realizan caminatas al interior de sus cavernas y la actividad de buceo con snorkel. Además, las islas Panichini son usadas habitualmente como zona de pastoreo, específicamente caprino.

**Situación Legal**

Tanto el sector de las islas Panichini y a zona del borde costero lacustre del sector de Capillas de Mármol y la Puntilla, se encuentran bajo el dominio de privados. Además, justamente sobre el sector de las Capillas, existe una concesión minera de explotación perteneciente a ENAMI.

**Tipo (s) interés geológico**

Petrográfico, Kárstico.

**Ubicación y Acceso**

El Santuario de la Naturaleza de Capillas de Mármol se encuentra aproximadamente a 12 km al sur de la localidad de Puerto Río Tranquilo. El acceso al Santuario es exclusivamente por navegación lacustre desde Puerto Río Tranquilo (Figura 5.3). El tour común recorre en lancha todo el borde lacustre sureste y tiene una duración aproximada de 3 hrs (dependiendo de las condiciones del lago General Carrera).

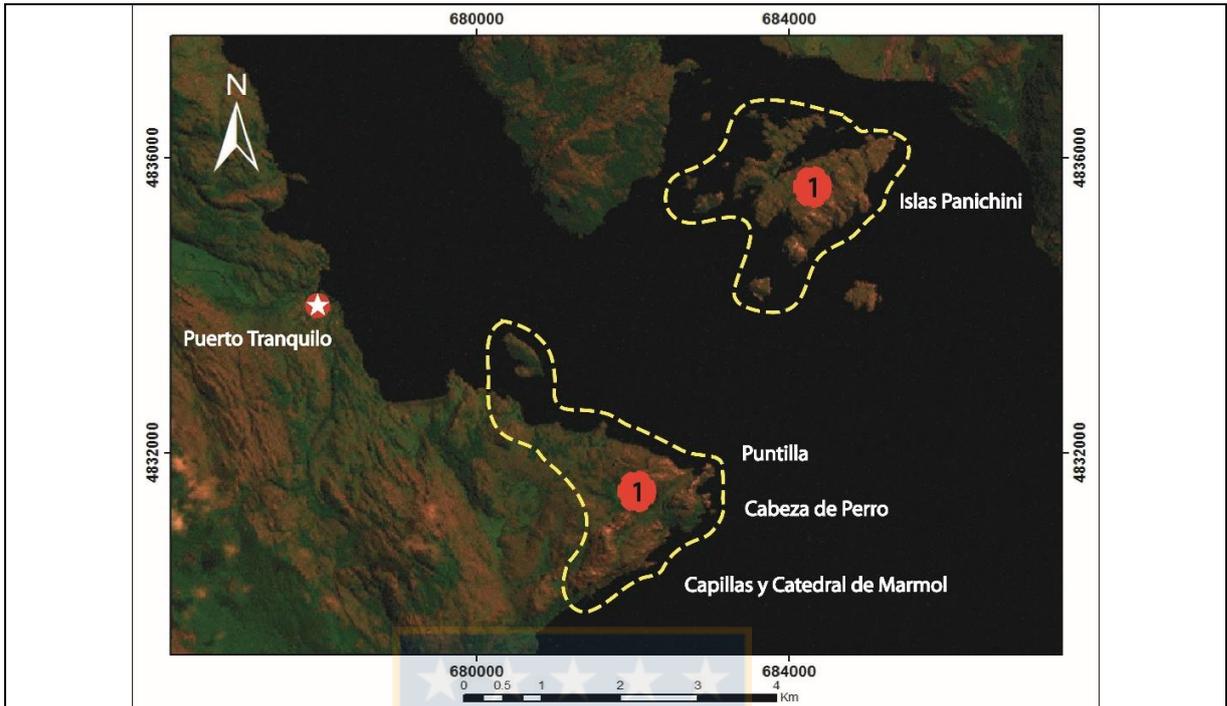


Figura 5.3. Localización de sitio N° 1, Santuario de la Naturaleza Capillas de Mármol. La línea segmentada amarilla indica el área del Santuario de la Naturaleza Capillas de Mármol. La imagen satelital es una Landsat +7, combinación de bandas 7, 4, 2.

El sector de islas Panichini también se accede por medio de navegación lacustre, siendo posible contratar este servicio en Puerto Río Tranquilo, desde donde hay 3 a 4 horas de navegación, también se puede acceder desde la localidad de Puerto Sánchez. Esta última localidad se ubicada en la ribera norte del lago General Carrera, aproximadamente a 25 km desde la localidad de Puerto Murta y a unos 55 km desde Puerto Tranquilo.

### Descripción

Las rocas del Santuario de la Naturaleza Capillas de Mármol corresponden a la unidad definida por Hervé (1993) como Complejo Metamórfico Andino Oriental (CMAO), con una edad ¿Devónico?-Carbonífero (De la Cruz y Suárez, 2006), son las rocas más antiguas de toda la región. Su protolito es de areniscas, lutitas y calizas, que se habrían depositado en un ambiente subacuático, probablemente marino (Bell y Suárez, 2000).

El CMAO está compuesto por rocas plegadas, principalmente por esquistos y filitas de cuarzo–muscovita, y subordinadamente por mármol y esquistos verdes (Bell y Suárez, 2000). En la zona

del Santuario, petrográficamente el mármol tiene desde colores blancos variando a tonalidades grises y rosadas (Figura 5.4). Es un mármol foliado, con una fábrica definida por un bajo porcentaje de alternancia de láminas de micas y calcita (Figura 5.5). En algunas zonas se identifican áreas claras que corresponden a bandas de cuarzo recrystalizado y entrecrecidos con calcita, dependiendo de la foliación principal; mientras que en otras zonas se identifican áreas oscuras que corresponderían a clorita en entrecrecimiento con calcita (De la Cruz y Suárez, 2006).

Estructuralmente estos mármoles estuvieron bajo esfuerzos de deformaciones principales, como por ejemplo se evidencia en el sector oeste del islote denominado Catedral de Mármol (Figura 5.6), en este sector se distinguen dos foliaciones: i) foliación principal S1, corresponde a la deformación más antigua registrada en la zona de estudio, teniendo lugar en el Paleozoico tardío (Bell y Suárez, 2000). Presentan una orientación NE-SW y una disposición paralela a los contactos entre mármol y esquistos grises; ii) foliación S2, la cual se observa paralela al plano axial de pliegues asimétricos apretados. Es difícil de distinguir, ya que se traslapa localmente a la foliación principal (S1).

Otros de los rasgos de interés en los mármoles del Santuario es la evidencia del paso de los glaciares durante los últimos periodos glaciares, ocurridos aproximadamente hace unos 23.000 a 14.000 años (Kaplan, 2004). Ejemplos de esto son los modelados de erosión glaciar en el sector norte del islote Catedral de Mármol, existen marcas de estrías glaciares y marcas de arranque (Figura 5.7), indicadores de la dirección del flujo del hielo glaciar.

Debido al retroceso glaciar desde el último periodo glaciar hasta la actualidad, el agua de ablación de los glaciares ha conformado el lago General Carrera. Este lago ha experimentado diferentes variaciones de cambios del nivel base (Bell, 2009), la cual queda en evidencia entre los sectores “La Puntilla” y “Cabeza de Perro”, donde se encuentra un antiguo nivel de paleolíneas de costa (Figura 5.8).

Producto a la interacción del mármol con el agua, esta última proveniente de los eventos de desglaciación, se produce meteorización química y relieve kárstico en el Santuario,

específicamente por la disolución química del carbonato de calcio, presente en el mármol. Resultado de esto, es el tan particular relieve y morfologías que hacen únicos los mármoles del lago General Carrera (Figura 5.9).

### Ilustraciones

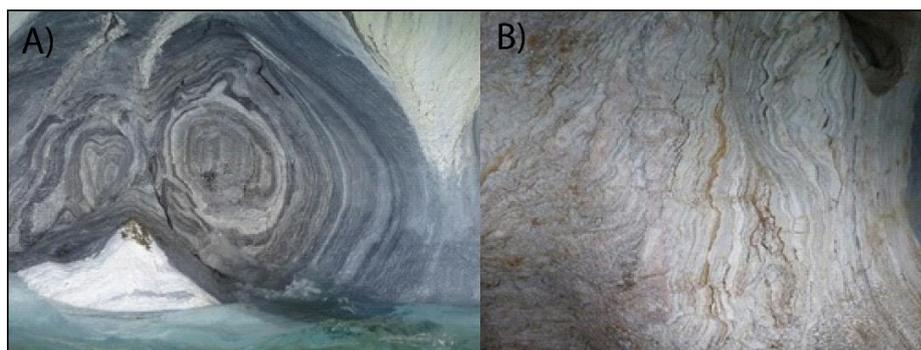


Figura 5.4. Colores del Mármol. A) Tonalidades con bandas grises y blancas, B) tonalidades blancas y rosadas.



Figura 5.5. Mármoles con intercalación, láminas de micas y cuarzo. Sector isla Panichini.

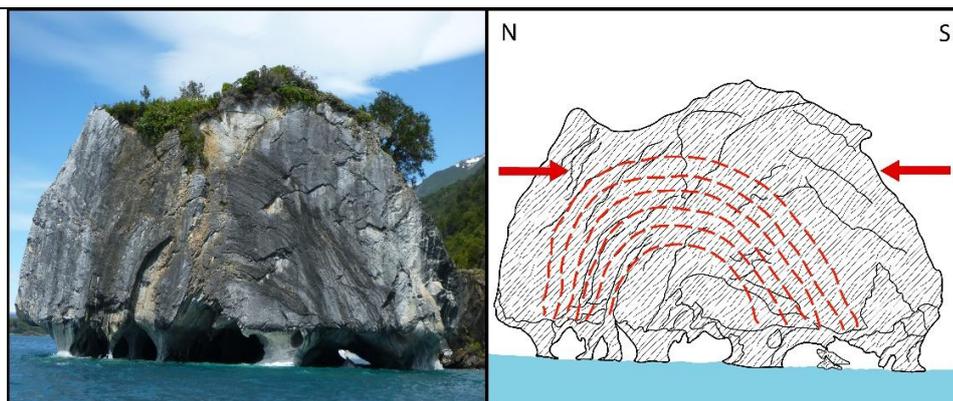


Figura 5.6. Foliación principal (S1) en líneas rojas segmentadas y en flechas rojas la dirección del esfuerzo de deformación. Sector Catedral de Mármol.

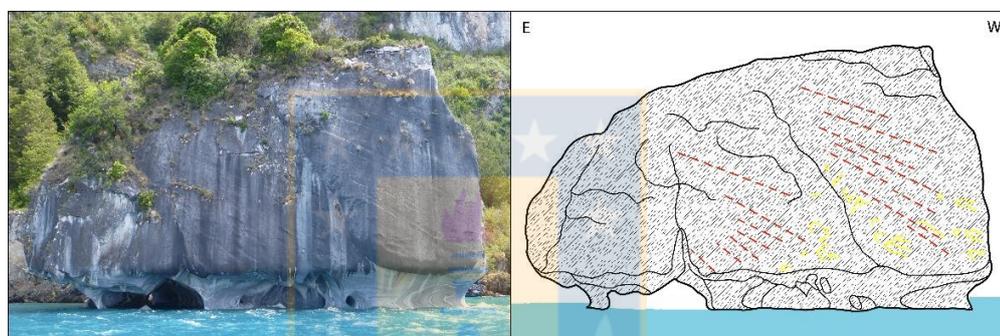


Figura 5.7. Marcas de erosión glacial, estrías (líneas rojas segmentadas) y marcas de arranque (líneas en amarillo), evidencias del contacto y la dirección del flujo del hielo glacial.

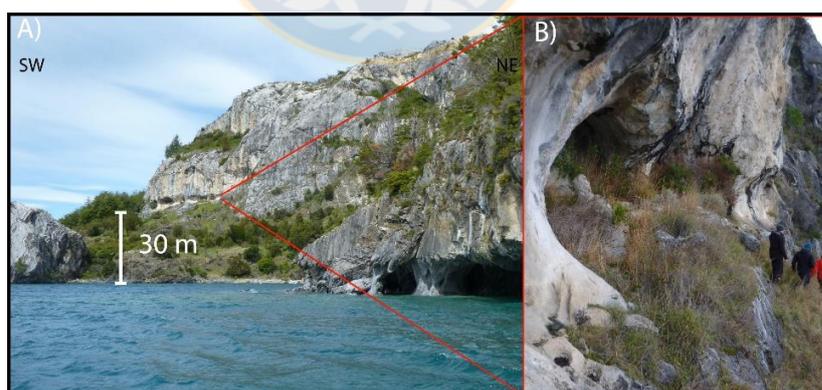


Figura 5.8. Paleolínea de Costa, entre los sectores La Puntilla y Cabeza de Perro.  
A) Se observa un desnivel de 30 m con respecto al nivel actual del lago y en B) morfología kárstica en detalle.

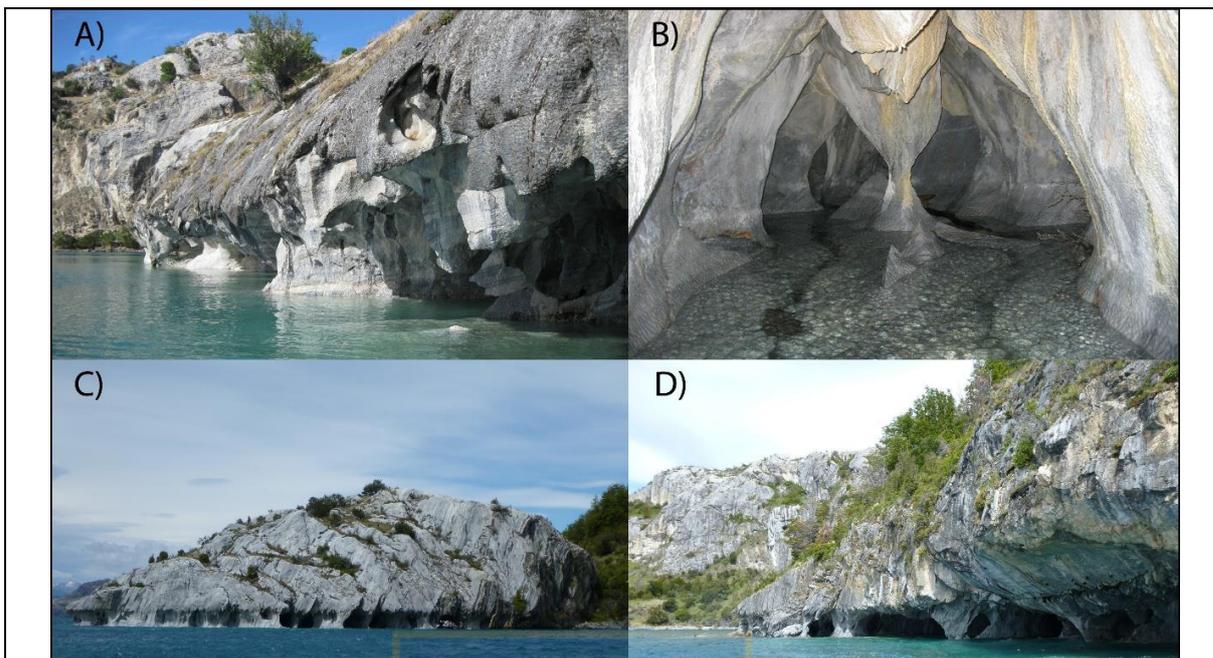


Figura 5.9. Relieve kárstico en el Santuario de la Naturaleza Capillas de Mármol. A) y B) sector Isla Panichini, C) sector Cabeza de Perro y D) Sector La Puntilla.

### Propuesta de Intervención

Se sugiere estudios de datación para establecer la edad máxima del Complejo Metamórfico Andino Oriental. Además, se propone la generación de estudios en detalle de los distintos eventos de deformación que han afectado a esta unidad.

Se propone un estudio de plan de manejo y de protección de los distintos usos turísticos que se llevan a cabo en la zona del Santuario de la Naturaleza Capillas de Mármol. Además de realizar charlas y/o capacitaciones a la comunidad y operadores turísticos, de la importancia del patrimonio geológico y de la geodiversidad de la cuenca del lago General Carrera.

### 5.1.2 Cantera de Mármol

N° 2	Cantera de Mármol			
<b>Coordenadas</b>	4.834.575 N	663.703 E	<b>Altura</b>	340 m s.n.m.
<b>Localidad más cercana</b>	Puerto Río Tranquilo		<b>Comuna</b>	Río Ibáñez
<p><b>Justificación</b></p> <p>El sitio fue escogido debido a que es el mejor afloramiento, a orilla de camino (X-728), para estudiar el Complejo Metamórfico Andino Oriental. En particular, en este sitio se observa la asociación litológica de mármol en intercalación con esquistos grises y se identifican los diferentes esfuerzos de deformación (S1 y S2).</p>				
<p><b>Uso Actual</b></p> <p>La cantera es usada por la agrupación mineros artesanos del mármol de Puerto Río Tranquilo, quienes extraen una cuota inferior a 5.000 toneladas de roca por mes.</p>				
<p><b>Situación Legal</b></p> <p>Extracción minera artesanal de mármol que presenta una concesión minera de exploración vigente, perteneciente al Sr. Antonio Cornejo.</p>				
<p><b>Tipo (s) interés geológico</b></p> <p>Petrográfico y Estructural.</p>				
<p><b>Ubicación y Acceso</b></p> <p>La Cantera de Mármol se encuentra ubicada aproximadamente a 18 km al oeste de la localidad de Puerto Río Tranquilo y aproximadamente a 7,6 km al oeste del lago Tranquilo. Se ubica paralela a la ribera sur del río Norte, a orillas de la ruta X-728 (camino que conecta con bahía Exploradores). La ruta X-728 es el único acceso posible en vehículo terrestre y se encuentra habilitada durante prácticamente todo el año (Figura 5.10).</p>				

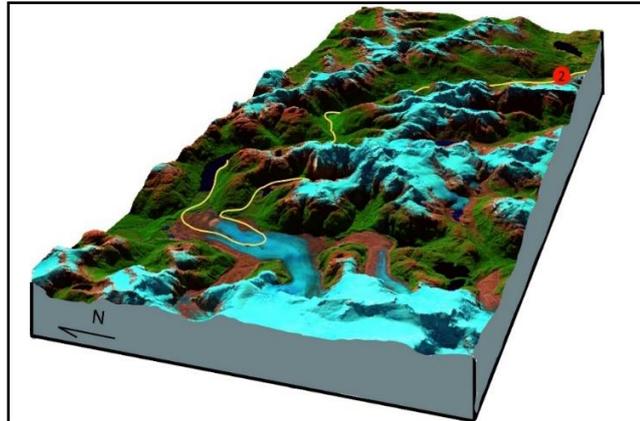


Figura 5.10. Localización del sitio N° 2, Cantera de Mármol. Línea amarilla representa el recorrido de la ruta de sitios. Bloque diagrama de pendiente realizado con una imagen satelital Landsat +7, combinación de bandas 7, 4, 2.

### Descripción

Este sitio consiste en un yacimiento de mármol con dimensiones aproximadas de 230 m de ancho y 300 m de alto, explotado en forma artesanal por artesanos en roca de la localidad de Puerto Río Tranquilo (Figura 5.11).

Las rocas de la cantera se correlacionan con los mármoles del Santuario de Naturaleza Capillas de Mármol. La litología predominante de este yacimiento es el mármol; el cual tiene color blanco y tonalidades grises y se intercalan con capas de esquistos grises, verdes y filitas de cuarzo-moscovita. Las capas poseen espesores que van aproximadamente entre 3 a 10 m, pero regionalmente existen grandes extensiones de intercalaciones de esquistos grises y mármol (Figura 5.12). Petrográficamente corresponde a un mármol foliado con fábrica definida por un bajo porcentaje de láminas de micas y alternancia entre capas de carbonatos (calcitas) y, en menor cantidad, capas de cuarzo. Localmente, en las zonas de contacto entre mármol y esquistos micáceos grises, se observan bandas de cuarzo recristalizado entrecrecidos con calcita, según la foliación principal, y zonas de clorita en entrecrecimiento con calcita.

Al igual que las rocas del Santuario de la Naturaleza Capillas de Mármol, estructuralmente las litologías de la cantera están dominadas por direcciones principales de deformación. Se distinguen en este afloramiento la foliación principal S1 y S2: i) la primera de éstas corresponde

a la deformación más antigua registrada en la zona de estudio, tuvo lugar en el Paleozoico tardío (Bell y Suárez, 2000), con orientación NE-SW y una disposición paralela a los contactos entre mármol y esquistos grises; ii) la segunda foliación se presenta sobrepuesta localmente a la foliación principal (S1), se reconoce paralela al plano axial de pliegues asimétricos apretados y presentando una orientación  $\sim N30^{\circ}W$  (Figura 5.13).

### Ilustraciones

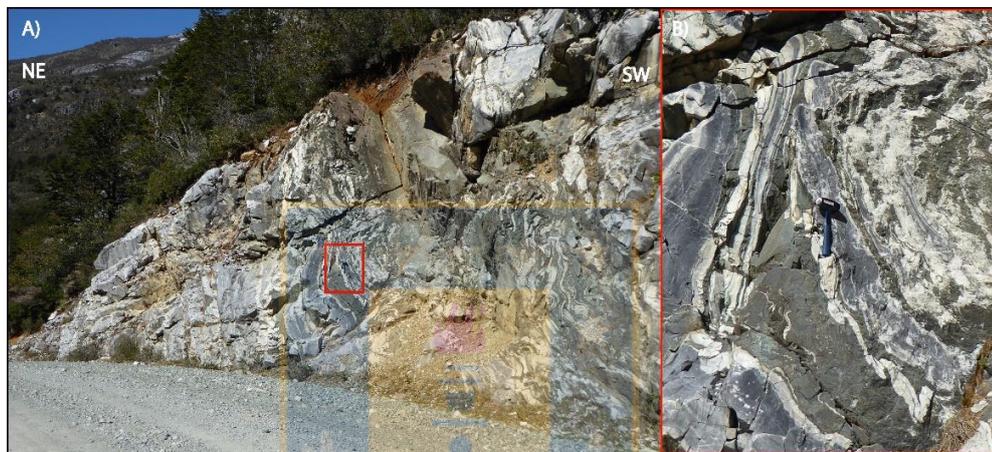


Figura 5.11. Panorámica de la cantera de mármol. A) Se observa el afloramiento de los mármoles intercalados con esquistos grises y verdes, B) foto en detalle de los mármoles (color blanco, blanco grisáceos) con alternancia de esquistos grises y verdes (gris oscuro y gris verde).

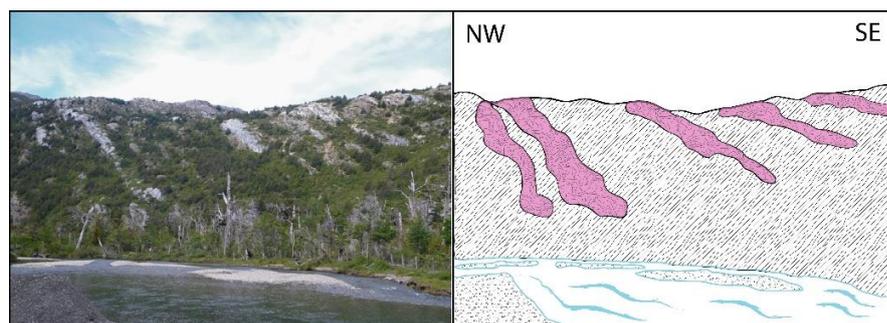


Figura 5.12. Intercalación de mármoles, en color morado se tienen las bandas de mármoles intercalados con esquistos grises en la ribera norte del río Norte.

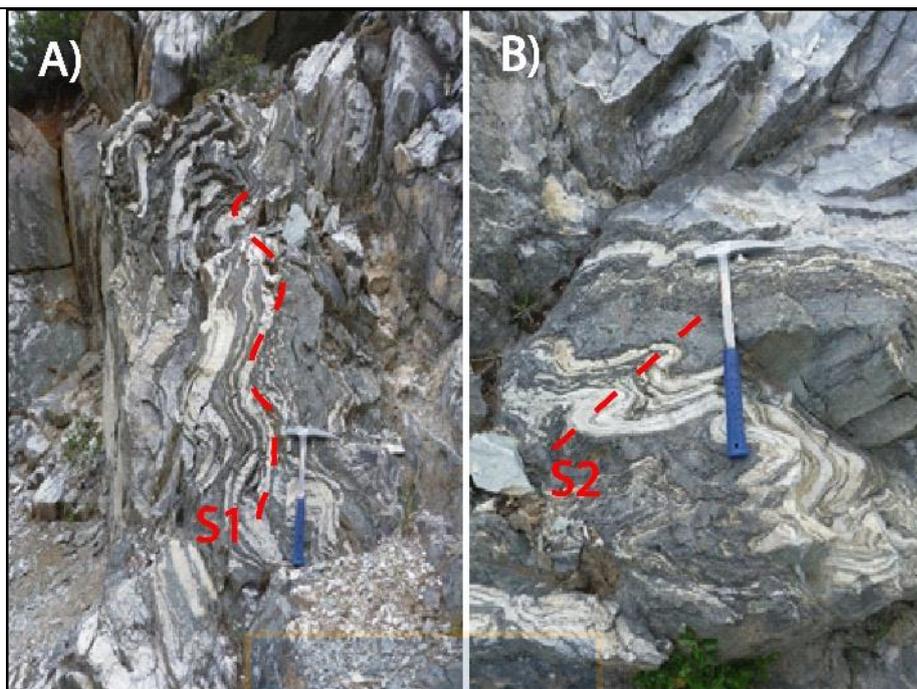


Figura 5.13. Foliaciones principales en la cantera de marmol, en A) foliación S1 paralela al contacto entre mármol y esquisto. B) se observa la foliación S2 paralelo al eje del plano axial.

### Propuesta de Intervención

En términos geológicos, se propone generar una extensión de la carta geológica editada por SERNAGEOMIN (De la Cruz y Suárez, 2006), además de proporcionar una descripción en detalle con estudio de dataciones del Complejo Metamórfico Andino Oriental de la zona oriental de Campo de Hielo Norte.

En términos patrimoniales, se sugiere la realización de mantenimiento y mejoramiento del camino, incluyendo la construcción de barreras de contención para la protección del visitante y la instalación de señaléticas explicativas sobre la geología del sitio.

### 5.1.3 Contacto Batolito Norpatagónico y Complejo Metamórfico Andino Oriental

N° 3	Contacto Batolito Norpatagónico (BNP) y Complejo Metamórfico Andino Oriental (CMAO)			
<b>Coordenadas</b>	4.845.187 N	663.850 E	<b>Altura</b>	1.560 m s.n.m.
<b>Localidad más cercana</b>	Puerto Río Tranquilo		<b>Comuna</b>	Río Ibáñez
<p><b>Justificación</b></p> <p>El sitio fue escogido debido a que es el mejor lugar de observación de la zona de contacto entre las dos unidades litológicas (BNP y CMAO) con mayor distribución en la zona de estudio.</p>				
<p><b>Uso Actual</b></p> <p>Se utiliza en época estival como zona de pastoreo.</p>				
<p><b>Situación Legal</b></p> <p>El sector El Silvestre, en la base del valle, pertenece a privados, mientras las zonas altas corresponden a terrenos fiscales.</p>				
<p><b>Tipo (s) interés geológico</b></p> <p>Petrográfico.</p>				
<p><b>Ubicación y Acceso</b></p> <p>El contacto se encuentra en el sector El Silvestre, ubicado en la ribera sur del valle del río Norte, aproximadamente a unos 27 km al oeste de la localidad de Puerto Río Tranquilo, por la ruta X-728 (camino que conecta a Puerto Tranquilo con Bahía Exploradores). El lugar más adecuado para su observación es en las coordenadas 4.842.395 N/660.102 E, a orilla de la ruta X-728, ribera sur del río Norte (Figura 5.14).</p>				

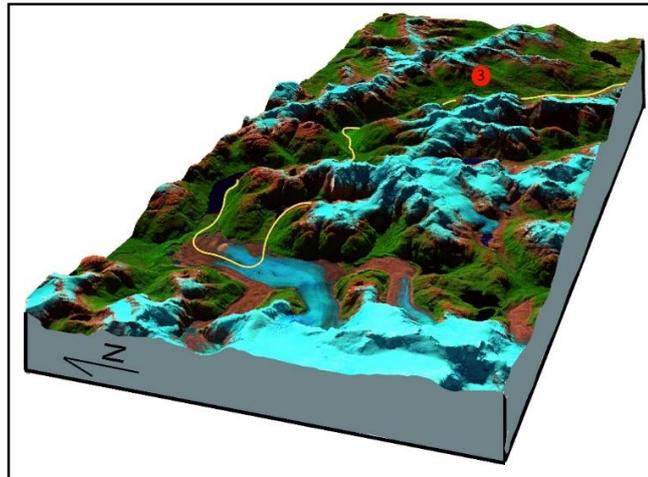


Figura 5.14. Localización del sitio N° 3, Contacto BNP y CMAO. La línea amarilla representa el recorrido de los sitios. La figura es un diagrama de pendiente basado en una imagen satelital Landsat +7, combinación de bandas 7, 4, 2.

### Descripción

La roca huésped es el CMAO (Figura 5.15), de edad ¿Devónico? -Carbonífero (Hervé, 1993; Hervé *et al.*, 1998). Litológicamente, el CMAO está compuesto por rocas plegadas, principalmente por esquistos y filitas de cuarzo–muscovita, y subordinadamente por mármol y esquistos verdes. Esta unidad ha experimentado a lo menos 4 eventos de deformación (Bell y Suárez, 2000), junto con un metamorfismo de bajo grado de facies subesquistos verdes a esquistos verdes (Ramírez, 1997; Lacassie, 2000). Evidencia de las intensas deformaciones y metamorfismo se observan en la orientación de la estratificación, paralela al rumbo, entre grandes unidades de mármol y esquistos verdes. El CMAO tiene rumbo regional NE-SW y manteo de 45° hacia el NW (Bell y Suárez, 2000).

La proveniencia de la unidad CMAO es aún motivo de discusión: i) según Hervé *et al.* (1998) el gradiente P-T es de aproximado 25°C/km calculado para el CMAO, descarta su formación en un prisma de acreción y, por el contrario, plantea que estaría relacionada a un ambiente de margen continental de plataforma y talud, con gran espesor de sedimentos detríticos y sectores de depósitos calcáreos; ii) según Bell y Suárez (2000) el origen del CMAO sería el núcleo cristalino de un cordón orogénico, muy probablemente resultante de la acumulación de microplacas; iii)

Ramírez - Sánchez *et al.* (2005) estudiaron temperaturas y presiones en metapelitas del CMAO y concluyendo que su origen se asocia al margen oeste convergente de Gondwana, específicamente a una posición de cuenca de antearco y una cercana relación a un prisma de acreción.

La unidad que intruye se denomina Batolito Norpatagónico (Figura 5.15) y se encuentra constituida por rocas intrusivas calcoalcalinas (Pankhurst y Hervé, 1994). En particular, en la zona de estudio se reconocen principalmente monzogranitos, granodioritas, monzonitas cuarcíferas de anfíbol y tonalitas de grano grueso (localmente cataclásticas y de tendencia porfídica) (De la Cruz *et al.*, 2003). En la zona de contacto con el CMAO se reconocen localmente aureolas de metamorfismo de contacto. El segmento del Batolito Norpatagónico en la zona de estudio tiene edad, estimada mediante dataciones en K-Ar (en biotitas poco cloritizadas), Cretácico Inferior, específicamente de  $124 \pm 3$  Ma y de  $116 \pm 3$  Ma (Aptiano) (Suárez y De la Cruz, 2001).

### Ilustraciones

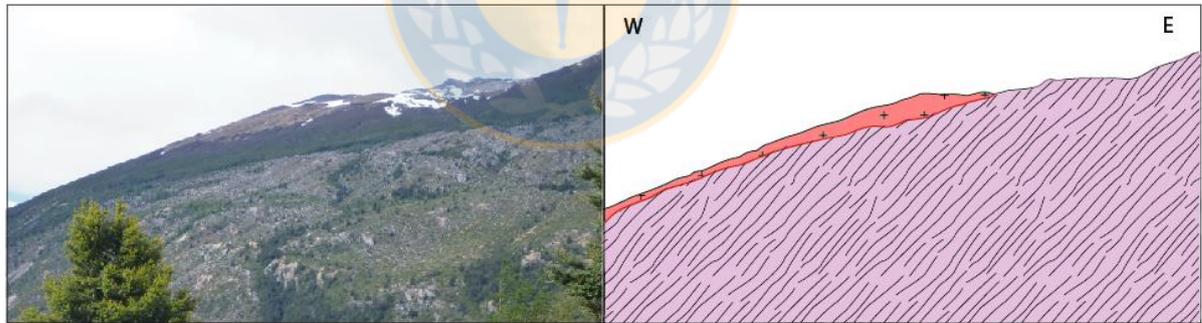


Figura 5.15. Zona de contacto entre el Batolito Norpatagónico (izquierda) y el Complejo Metamórfico Andino Oriental (derecha). La zona de la fotografía se encuentra en la ribera norte del valle río Norte.

### Propuesta de Intervención

Se sugiere: i) expandir la carta geológica realizada por le SERNAGEOMIN (De la Cruz y Suárez, 2006), para poder identificar las zonas de contactos en el área de estudio; ii) realización dataciones a los cuerpos plutónicos aledaños, para poder caracterizar la evolución de los diferentes pulsos magmáticos que lograron generar el Batolito Norpatagónico en la zona oriental de Campo de Hielo Norte; iii) hacer un análisis estructural de las principales estructuras tectónicas que cortan las zonas de contactos, para así complementar análisis de la temporalidad de los distintos eventos en la zona de estudio.

#### 5.1.4 Pared Truncada del río Norte

Nº 4	Pared Truncada del río Norte			
<b>Coordenadas</b>	4.843.796 N	658.505 E	<b>Altura</b>	243 m s.n.m.
<b>Localidad más cercana</b>	Puerto Río Tranquilo		<b>Comuna</b>	Río Ibáñez
<b>Justificación</b>				
Este lugar es escogido por ser un sitio muy representativo de los procesos de abrasión del hielo glaciar.				
<b>Uso Actual</b>				
El sitio no presenta ningún tipo de uso.				
<b>Situación Legal</b>				
El sitio seleccionado pertenece a un terreno de propiedad fiscal.				
<b>Tipo (s) interés geológico</b>				
Glaciológico, Geomorfológico y Estructural				

### Ubicación y Acceso

La “Pared Truncada” se ubica a 30 km en dirección oeste de la localidad de Puerto Río Tranquilo, paralela a la ribera sur del río Norte, a orillas de la ruta X-728 (camino que conecta con Bahía Exploradores). La ruta X-728 es el único acceso posible en vehículo terrestre y se encuentra habilitada durante prácticamente todo el año (Figura 5.16).

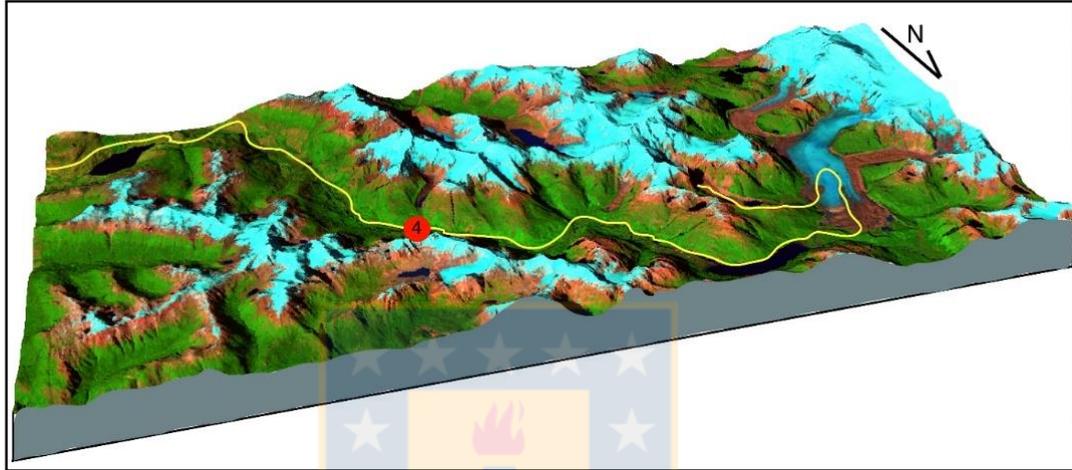


Figura 5.16. Localización del sitio N° 4, Pared Truncada del río Norte. La línea amarilla representa el recorrido de los sitios. La figura es un diagrama de pendiente basado en una imagen satelital Landsat +7, combinación de bandas 7, 4, 2.

### Descripción

El lugar seleccionado corresponde a una pared subvertical, de aproximadamente 80 m de alto y 120 m de ancho, paralela al río Norte y de orientación NW-SE, labrada por la acción erosiva de los glaciares sobre las rocas, que componen las paredes del valle (Figura 5.17).

Litológicamente, la Pared Truncada está constituida por tonalita de hornblenda y biotita de grano medio, correspondientes al Batolito Norpatagónico de edad Cretácico Inferior (Suárez y de la Cruz, 2001).

En esta pared truncada es posible identificar a grandes rasgos dos tipos de procesos erosivos; el de arranque y de abrasión. Según Tarbuck (2005), el arranque es producto de la infiltración del agua de derretimiento del hielo glaciar en espacios y/o grietas del lecho rocoso, la que posteriormente se congela, aumentando su volumen, generando fracturas, ablandando el lecho

rocoso y levanta bloques de roca (gelifracción). Simultáneamente, a medida que el flujo de hielo y el transporte de fragmentos de roca se deslizan sobre el lecho rocoso, este último se va puliendo y excavando, generando así el modelado de abrasión.

Algunas de las estructuras que se observan en la Pared Truncada son grietas y surcos alargados, dando lugar a morfologías de depresiones excavadas en paredes lisas que, debido a una base templada de hielo que transporta material de escombros, van produciendo el arranque del lecho rocoso. Estas morfologías indican un rápido deslizamiento del hielo y la orientación del flujo del hielo glaciar (Glasser y Bennett, 2004) (Figura 5.18). También se reconocen varias estructuras de modelados de erosión de menor escala, como por ejemplo sacados semicirculares y pequeñas estrías alargadas, consecuencia de la presión ejercida ( $>1\text{MPa}$ ) entre el clasto y el lecho rocoso (Glasser y Bennett, 2004) (Figura 5.17).

Otro de los aspectos de interés que presenta la pared truncada es su orientación NW-SE, atribuida posiblemente a lineamientos estructurales consecuencia de planos de debilidad y fallas tectónicas de carácter normal e inversas, de orientaciones E-W, NE-SW y NW-SE a lo largo del valle del río Norte. Estas estructuras frecuentemente coinciden con la orientación de emplazamiento de cuerpos intrusivos que componen el Batolito Norpatagónico y/o zonas de planos de debilidad ocasionados por estructuras tectónicas. Estas zonas de debilidad y estructuras facilitaron el cauce de emplazamiento de los glaciares a lo largo del valle del río Norte y al conjunto de valles que rodean la zona de Campo de Hielo Norte.

**Ilustraciones**

Figura 5.17. Pared truncada del río Norte. Líneas segmentadas en rojo representa estrías; líneas amarillas segmentadas indican sacados semicirculares; líneas segmentadas en verde señalan las grietas elongadas.

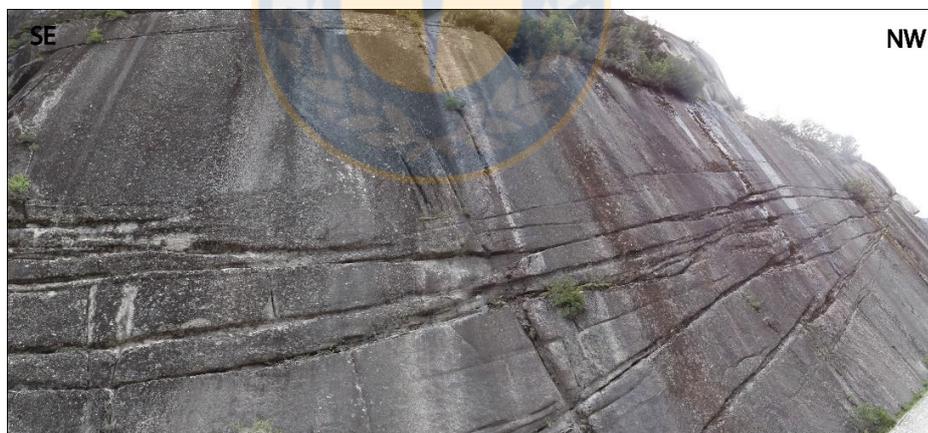


Figura 5.18. Pared truncada en su extensión longitudinal. Se observan surcos extendiéndose en gran parte del largo de la pared truncada.

**Propuesta de Intervención**

Se sugiere efectuar estudios de dataciones radiométricas a las tonalitas que constituyen la Pared Truncada y un análisis estructural regional para la zona del río Norte.

Se propone para este sitio realizar una postulación a geosítio reconocido por la Sociedad Geológica de Chile. Además de identificar como sitio de interés turístico y proponer diferentes medidas de divulgación, tanto panel explicativos y folletos que den cuenta de los elementos y procesos de los modelados de erosión glaciaria.

**5.1.5 Dique y falla Normal del lago Bayo**

<b>Nº 5</b>	<b>Dique y falla normal del lago Bayo</b>			
<b>Coordenadas</b>	4.850.857 N	645.891 E	<b>Altura</b>	134 m s.n.m.
<b>Localidad más cercana</b>	Puerto Río Tranquilo		<b>Comuna</b>	Río Ibáñez
<b>Justificación</b>  El sitio fue elegido debido a su representatividad de estructuras tectónicas, de falla normal y emplazamiento de dique.				
<b>Uso Actual</b>  Debido a la dificultad de acceder a esta zona, no posee el desarrollo de ninguna actividad.				
<b>Situación Legal</b>  El sector del lago Bayo pertenece a privados.				
<b>Tipo (s) interés geológico</b>  Petrográfico, Estructural.				

### Ubicación y Acceso

Este sitio se ubica en el cordón montañoso de la ribera norte del lago Bayo, aproximadamente paralelo al kilómetro 47 de la ruta X-728 (Figura 5.19).

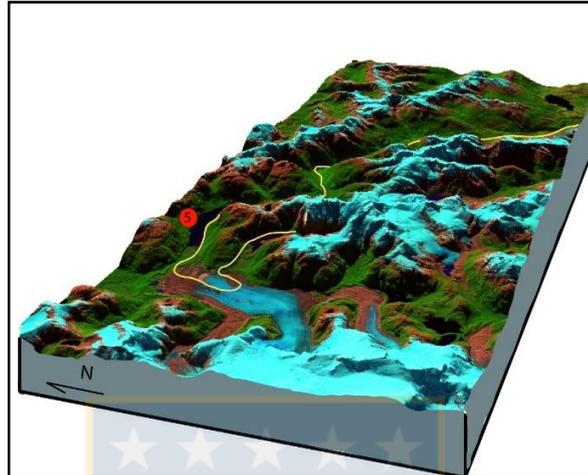


Figura 5.19. Localización del sitio N° 5, Dique y falla normal del lago Bayo. Línea amarilla representa el recorrido de sitios. La figura es un diagrama de pendiente basado en una imagen satelital Landsat +7, combinación de bandas 7, 4, 2.

El único acceso al afloramiento es por vía náutica, a través de kayak o embarcaciones menores a motor, en las cuales se debe recorrer aproximadamente 1,2 km hasta llegar a la base de las estructuras. Sin embargo, desde varios puntos a lo largo de la ribera sur del lago Bayo, paralelo a la ruta X-728, es posible tener una clara visión panorámica de las estructuras de interés.

### Descripción

El lugar de interés está compuesto por dos estructuras, falla normal y dique, que cortan la ladera del cordón montañoso de la ribera norte del lago Bayo.

El cordón montañoso de la ribera norte del lago Bayo está conformado por rocas del Batolito Norpatagónico, de composición calcoalcalina (Pankhurst y Hervé, 1994) y compuesta por monzogranitos, granodioritas, monzonitas cuarcíferas de anfíbol. En particular, en la zona de estudio principalmente afloran tonalitas de anfíbol y biotita, de grano medio a grueso. El Batolito

Norpatagónico tiene una edad que varía entre el Cretácico Inferior y el Mioceno (Pankhurst *et al.*, 1999; Suárez y De la Cruz, 2001; Morata *et al.*, 2002; De la Cruz *et al.*, 2003).

Se tiene una falla normal que se observa a lo largo del cordón montañoso del cordón montañoso de la ribera norte del lago Bayo. En la base de esta estructura se tiene un plano de falla que tiene una longitud aproximada de 14 m de alto y 3 m de ancho, rumbo NNE-SSW y un ángulo de manto de  $65^{\circ}$ SW (Figura 5.20a). En la mitad del plano de falla se reconoce un bloque caído de aprox. 4 m de longitud (Figura 5.20b).

El dique subvertical es de composición aplítica e intruyen al cordón montañoso en la ribera norte del lago Bayo. Posee una longitud aproximada de 750 m y 65 m de ancho, con orientación NNE-SSW, con un ángulo de manto de  $87^{\circ}$  (Figura 5.21) y representa una intrusión de tipo sintectónica (Arancibia *et al.*, 1999; Cembrano, 2002). Según Arancibia *et al.*, (1999), las estructuras que se encuentran intruyendo el Batolito Norpatagónico se habrían producido por la acción de esfuerzos de cizalle dúctil asociados a un régimen de transpresión, generando intrusiones sintectónicas de cuerpos magmáticos, de edad Mioceno-Plioceno.

### Ilustraciones

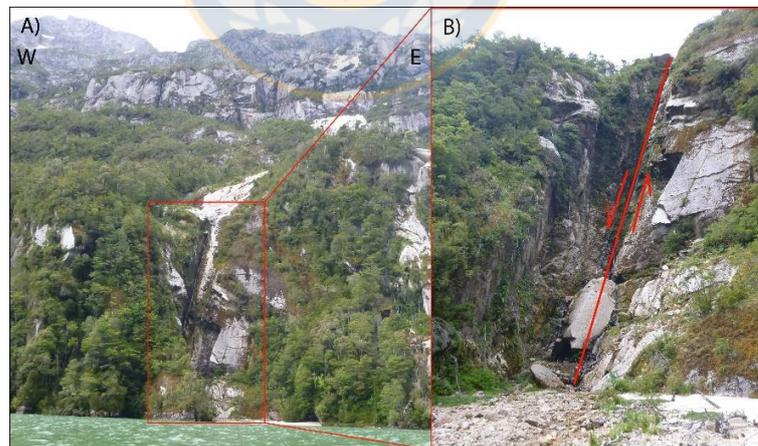


Figura 5.20. Falla normal de la ribera norte del lago Bayo. A) se observa falla normal y dique aplítico, en B) se tiene la zona basal de la falla normal y su plano de falla con un bloque de 4 m.



Figura 5.21. Falla y dique de la ribera norte del lago Bayo. En naranja se destaca toda la extensión del dique aplítico, en rojo se delimita la falla normal que atraviesa todo el cordón montañoso.

### Propuesta de Intervención

Se propone realizar dataciones radiométricas a los diferentes cuerpos intrusivos que componen al Batolito Norpatagónico, además de complementar y expandir la carta geológica de la zona oriental de Campo de Hielo Norte. También se propone como medidas de divulgación generar charlas y capacitaciones a los operadores turísticos de los diferentes elementos y procesos geológicos existentes en la zona del valle Exploradores.

#### 5.1.6 Glaciar Exploradores y sus sistemas de morrenas frontales

Nº 6	Glaciar Exploradores y sus sistemas de morrenas frontales			
<b>Coordenadas</b>	4.848.786 N	641.261 E	<b>Altura</b>	246 m s.n.m.
<b>Localidad más cercana</b>	Puerto Tranquilo		<b>Comuna</b>	Puerto Aysén
<b>Justificación</b>				
Se escogió este sitio debido a que es el más representativo y de mejor accesibilidad de los glaciares de valle del tipo templado y que posee una morrena terminal compuesta con un sistema				

<p>de arcos morrénicos modernos recientes, además uno de los más estudiados de la zona Nororiental de Campo de Hielo Norte</p>
<p><b>Uso Actual</b></p> <p>El sitio tiene un importante uso turístico, en particular como mirador del glaciar Exploradores y del monte San Valentín (4.058 m s.n.m.).</p>
<p><b>Situación Legal</b></p> <p>El glaciar es parte del Parque Nacional Laguna San Rafael. La mitad sur de la morrena terminal también pertenece al Parque. Sin embargo, su mitad norte es de privados. Actualmente CONAF oficializo una entrada con guardaparques en el sector del río Deshielo (borde oriental de la morrena terminal del glaciar Exploradores).</p>
<p><b>Tipo (s) interés geológico</b></p> <p>Glaciológico, Geomorfológico y Sedimentológico.</p>
<p><b>Ubicación y Acceso</b></p> <p>La morrena terminal del glaciar Exploradores está ubicada aproximadamente a 52 km al oeste de la localidad de Puerto Río Tranquilo, siguiendo la ruta X-728. Al sur, la morrena terminal se encuentra limitada por un arco morrénico moderno (de menor edad) y el glaciar Exploradores, mientras que por el norte limita con la ruta X-728, la cual bordea paralelo el río Exploradores en este sector (Figura 5.22).</p> <p>Existen dos entradas oficiales a la morrena terminal, uno administrado por un privado y otro a cargo de la Corporación Nacional Forestal (CONAF). El primero es a través de un sendero de trekking, previo al pago de una entrada al ingreso, cuyo inicio es en la carretera y después de aproximadamente 525 m y culmina en la parte superior de la morrena, donde existe un mirador hacia la explanada del glaciar Exploradores. El segundo acceso se encuentra actualmente en construcción, busca dar una entrada público al glaciar, y está restringido a pequeños grupos liderados sólo por guías turísticos previamente autorizados.</p>

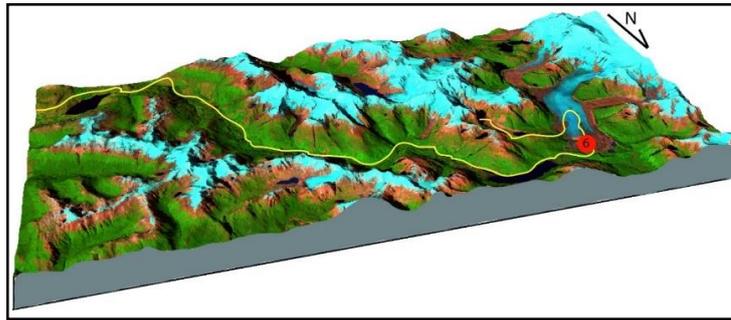


Figura 5.22. Localización del sitio N° 6, Glaciar Exploradores y sus sistemas de morrenas frontales. Línea amarilla representa el recorrido que conectan los sitios. La figura es un diagrama de pendiente basado en una imagen satelital Landsat +7, combinación de bandas 7, 4, 2.

### Descripción

El glaciar Exploradores es un glaciar de valle de tipo templado, tiene una superficie total de 94,5 km (Aniya, 1988) (Figura 5.23), posee una pendiente de relieve de aprox.  $10,2^\circ$  y radio de área de acumulación de 0,66 km (Aniya, 1988) Este último depende principalmente de la caída de nieve y/o avalanchas de hielo provenientes de la ladera oriental del Monte San Valentín (4.058 m s.n.m.) (Aniya, 1988) (Figura 5.24).

El glaciar está conformado por tres lenguas afluentes de hielo, que no se encuentran conectadas con Campo de Hielo Norte (Figura 5.23). Estas lenguas transportan fragmentos rocosos que caen sobre el hielo glaciar desde las paredes de los valles, sumado a los fragmentos arrancados desde el lecho rocoso que también son incorporados al hielo y transportados, para luego formar los depósitos de morrena cuando se alcanza un estado de equilibrio entre la ablación y la acumulación de hielo, tal como sucede en la gran morrena terminal del glaciar Exploradores. Actualmente existe sólo una lengua afluente que conecta con el cuerpo principal del glaciar Exploradores, situado en la parte suroeste. Los otros dos afluentes se encuentran en la parte sureste y oeste del cuerpo glaciar principal y, producto a la disminución del volumen de hielo del glaciar, debido a su retroceso, han quedado desconectadas del cuerpo de hielo principal.

Durante los últimos periodos de avances registrados en el glaciar Exploradores se fue construyendo el sistema de morrena terminal principal, el cual, en la actualidad, es un arco continuo de una altitud aproximada de 246 m s.n.m y tiene una longitud de aproximadamente 4,4

km. Este arco morrénico se caracteriza por tener en su lado próximal una altura aproximada de 80 m y una pendiente de aproximada de  $50^\circ$ . En el lado distal y desde el río Exploradores (156 m s.n.m.), el desnivel topográfico es de aproximadamente 140–200 m, con una pendiente de ladera inferior a  $25^\circ$  (Aniya, 2007). Desde la cima de la morrena es posible observar el lago proglaciar Bayo y su planicie fluvial de descarga (Figura 5.29).

En la parte oriental del sistema terminal principal la pendiente proximal, en su parte superior, se encuentra totalmente desprovista de vegetación, por lo que al caer precipitaciones se genera una activa erosión y deslizamientos de rocas. En esta zona existe una intensa infiltración de agua en la base de la morrena, indicando, posiblemente, la existencia de un gran núcleo de hielo en su parte central (Aniya, 2007).

La morrena principal está constituida por clastos (centimétricos) y bloques (métricos) de rocas ígneas de composición tonalítica, granodiorita y rocas metamórficas como el mármol, esquistos grises, y en menor porcentaje por gneiss. Estos clastos están en una matriz soportada fina a media, ligeramente consolidada, constituida principalmente por arcillas y arenas. En la parte superior de la morrena posee pequeños niveles de estratificación con una inclinación hacia el noreste, mientras que en la parte inferior (Figura 5.25) tiene una disminución en la concentración de bloques métricos y del material fino (arcillas y arenas) que compone la matriz, predominando los clastos subredondeados a subangulares y gravas sueltas, indicando una fuerte interacción del agua. El sistema de morrena terminal principal posee una asociación directa con las morrenas laterales ubicadas en los bordes del valle (Figura 5.26), limitada en ambos extremos por dos ríos de deshielo del glaciar Exploradores (ríos Deshielo y Huemula). Las morrenas laterales se encuentran adosadas a las paredes del valle, tienen como altura promedio 60 m y un ángulo de pendiente aproximada de  $70^\circ$ , y están constituidas por material diamétricos, con gran predominio de bloques métricos y decimétricos, en una matriz semiconsolidada de arcillas y arenas.

Apegado al sistema antes descrito se forma un arco de morrenas modernas. Según Aniya (2005) es posible dividir, de acuerdo a su cobertura vegetal, tamaño, morfología y grado de erosión de las rocas, este sistema en dos (Figura 5.27): i) el primer sistema se ubica en el borde oriental del glaciar Exploradores, a orillas del río Deshielo (Figura 5.28). Está constituido por varias crestas

pequeñas y orientadas transversalmente a la dirección del flujo del glaciar. Poseen vegetación de la especie *Nothofagus*, con diámetro de troncos promedio entre 40-50 cm. En las zonas sin vegetación se tienen bloques de mármol con bandas de cuarzo y filitas; ii) el segundo sistema se ubica en la zona central y occidental del glaciar exploradores, contiguos al lado proximal de la morrena terminal principal (Figura 5.23) y está limitado por una laguna proglaciar y el frente glaciar (Figura 5.27). A diferencia con el sistema de morrena oriental, su topografía es mayoritariamente plana, con algunas zonas de montículos aislados. Posee abundantes núcleos de hielo debajo de delgadas capas de sedimentos de aproximadamente de 30 cm de espesor. La invasión de la cobertura vegetal es reciente, de pequeños renovales de *Nothofagus* con diámetros de troncos entre 15-20 cm en promedio.

Mediante dataciones de  $C^{14}$  en restos de árboles y troncos, se ha estimado la edad entre los 9.250 años y 820 años para la morrena terminal principal. Sin embargo, la edad mínima es de 820 años (Aniya, 2007), coincidente con la pequeña edad del hielo. Debido a antecedentes previos de cobertura vegetal y análisis de anillos de troncos de árboles, se interpreta que la formación de esta morrena estaría dada entre el siglo XII y XVII (Aniya, 2007).

Mediante el análisis de fotografías aéreas de Trimetrogon, Aniya (2007) interpreta que el sistema de morrenas oriental se habría formado en los inicios y la mitad del siglo XIX, mientras que el sistema de morrena occidental y central, se habría formado posterior a 1944-1945.

### Ilustraciones

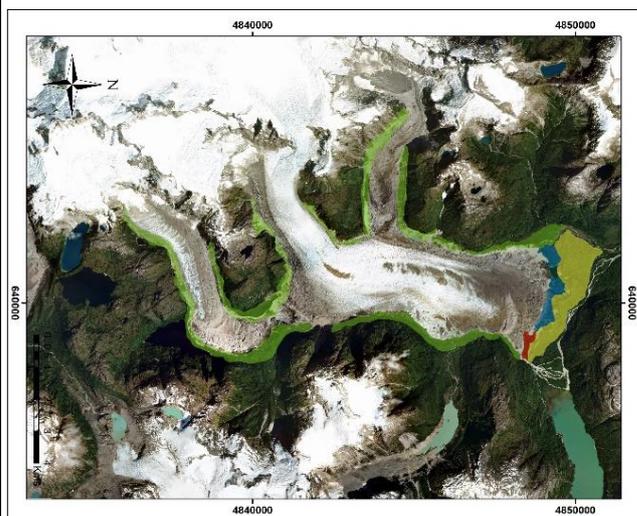


Figura 5.23. Vista generalizada del glaciar Exploradores con sus tres afluentes. En amarillo la morrena terminal principal. En azul el sistema de morrenas modernas occidentales. En rojo el sistema de morrena moderna oriental y en verde las morrenas laterales.

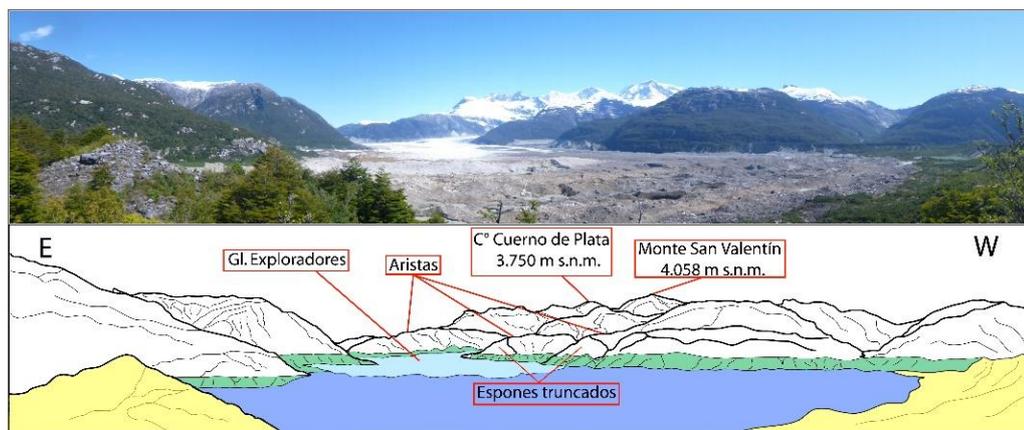


Figura 5.24. Vista panorámica del glaciar Exploradores. En celeste se resalta la explanada del glaciar Exploradores; en amarillo la morrena terminal principal; en verde morrenas laterales; en azul el sistema de morrenas occidentales. También se observan el Monte San Valentín y cerro Cuerno de Plata, además los relieves de erosión glacial, espolones truncados y aristas glaciares.

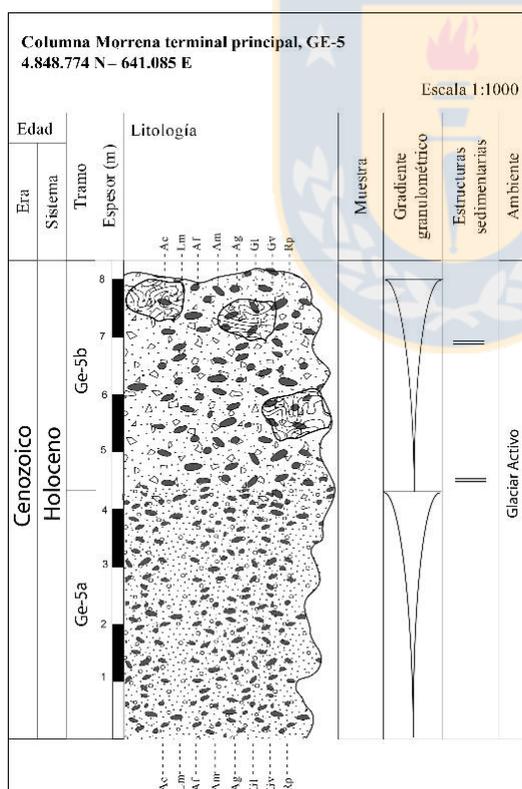


Figura 5.25. Columna estratigráfica de la morrena terminal principal, escala 1:1.000. En el tramo Ge-5a se observan gravas con clastos subredondeados, inmersas en una matriz soportada compuesta principalmente de arena fina a media, poco consolidada. Posee una granulometría granocreciente, también presenta estructuras laminares de sedimentos finos (posible facie glaciolacustre). En el tramo Ge-5b se tienen clastos de tamaño centimétricos a decimétricos y bloques, inmersos en una matriz soportada compuesta por arcillas y arenas finas, semiconsolidada a consolidada, con una granulometría de secuencia granocreciente, donde además el tamaño de los bloques aumenta hacia la zona superior. En la zona central se observan estructuras de laminaciones de sedimentos finos (posible facie glaciolacustre).

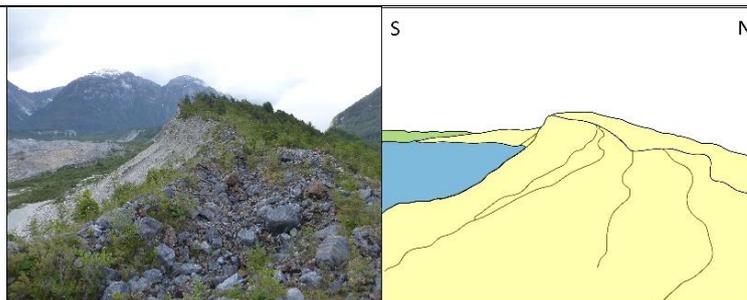


Figura 5.26. Vista hacia el oeste de la morrena terminal principal. En verde se destacan las morrenas laterales y en azul el sistema occidental.

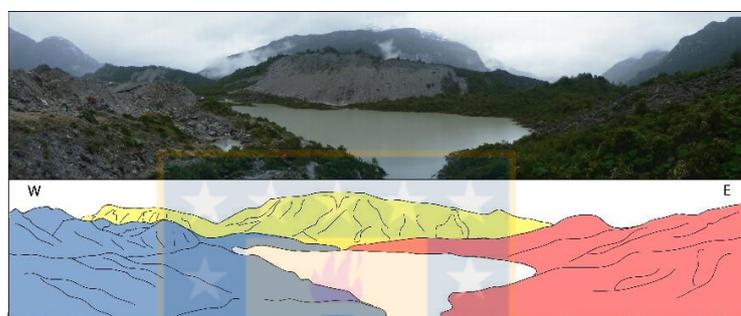


Figura 5.27. Vista panorámica hacia el norte del sistema de morrenas. En amarillo se destaca el sistema de morrena terminal principal, en azul el arco morrénico occidental y en rojo el arco oriental.

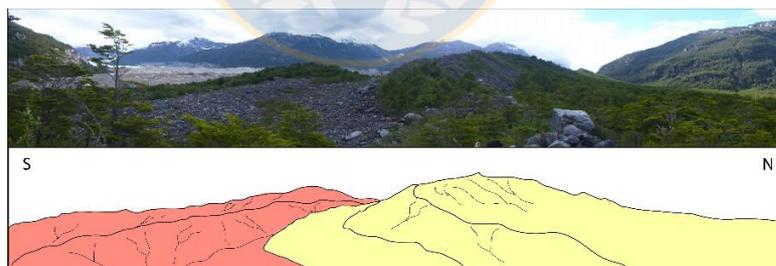


Figura 5.28. Vista panorámica hacia el oeste del sistema de morrenas. En amarillo se destaca la morrena terminal principal y en rojo el arco oriental.



Figura 5.29. Vista hacia el noreste desde la cima de la morrena principal. Se observa la planicie de descarga fluvio-glacial (Sandur) y al fondo el lago Bayo.

### **Propuesta de Intervención**

En términos geológicos se sugiere realizar estudios detallados del retroceso del glaciar, mediante imágenes satelitales y espesores de hielo, anualmente, y un estudio de la geología estructural del sector del glaciar.

En términos patrimoniales se propone un mejoramiento de los senderos de acceso, en particular la construcción de pasamanos y barreras de protección al visitante. Además, es pertinente la instalación de señaléticas que expliquen los diferentes elementos de interés del área.

Es importante volver a mencionar que, lamentablemente, la mitad norte de la morrena principal pertenece a privados. Se sugiere realizar una mejora en la delimitación del Parque Nacional Laguna San Rafael, mediante criterios geológicos.

### 5.1.7 Macizo del Chileno

N° 7	Macizo del Chileno			
<b>Coordenadas</b>	4.844.587 N	646.991 E	<b>Altura</b>	1.505 m s.n.m.
<b>Localidad más cercana</b>	Puerto Tranquilo		<b>Comuna</b>	Río Ibáñez
<p><b>Justificación</b></p> <p>Este sitio es escogió debido a su rareza y representatividad, producto a su forma modelada por la acción del paso de glaciares y limitada por estructuras que cortan el macizo.</p>				
<p><b>Uso Actual</b></p> <p>Este sector es ocupado ocasionalmente por montañistas, escuela de guías de montaña y escaladores.</p>				
<p><b>Situación Legal</b></p> <p>El Macizo del Chileno se encuentra administrativamente en el área del Parque Nacional Laguna San Rafael.</p>				
<p><b>Tipo (s) interés geológico</b></p> <p>Petrológico, Geomorfológico y Estructural.</p>				
<p><b>Ubicación y Acceso</b></p> <p>El Macizo del Chileno se ubica al sureste del valle homónimo, el cual corresponde a un valle secundario localizado al este del glaciar Exploradores.</p> <p>El único acceso al valle del Chileno es por vía terrestre, siendo necesario realizar una caminata de dificultad media a alta, por una distancia total de aproximadamente de 10,5 km y donde, en gran parte de la ruta, es necesario usar zapatos especiales para caminar en hielo (Figura 5.30). Es posible dividir la ruta en 3 tramos:</p>				

- I) Morrena Terminal y Explanada del Glaciar: el trekking hasta el macizo del Chileno comienza con un ascenso hasta la morrena terminal del glaciar Exploradores, y continua con una caminata a lo largo de la explanada del glaciar. Este primer tramo se extiende por aprox. 3,5 km, y durante su recorrido es posible observar diferentes sistemas de grietas superficiales, morrenas y una gran diversidad de rocas ígneas y metamórficas.
- II) Lengua principal y terraza lacustre del lago proglaciar del Chileno: la segunda parte de la ruta, cruza la lengua glaciar hacia el borde oriental del glaciar Exploradores, en la cual existe un pequeño lago entre el hielo y la pared del valle, conectándose por medio de un puente de hielo y morrena lateral, para luego continuar por el borde de la pared oriental del valle Exploradores, para luego seguir valle arriba por la ribera norte del río que desagua el lago proglaciar del Chileno, atravesando la morrena terminal del valle del Chileno que confina el lago (Figura 5.25). Se continúa hasta la terraza lacustre del lago proglaciar del Chileno, ubicada a orillas del mismo (Figura 5.25). Este tramo se extiende por aprox. 3,4 km, siendo necesario buscar los lugares más adecuados para acercarse al valle del glaciar Chileno. Cabe resaltar que, durante el verano del año 2014, la conexión de mayor accesibilidad con el valle del Chileno, era a través de un pequeño puente, constituido principalmente de hielo y depósitos de morrena lateral.
- III) Morrena lateral – base del Macizo del Chileno: ya en la terraza lacustre, la tercera parte de la ruta consiste en aproximadamente 3,6 km de caminata bordeando la ladera sureste del lago, a través de la morrena lateral del glaciar, hasta alcanzar la base del Macizo del Chileno.

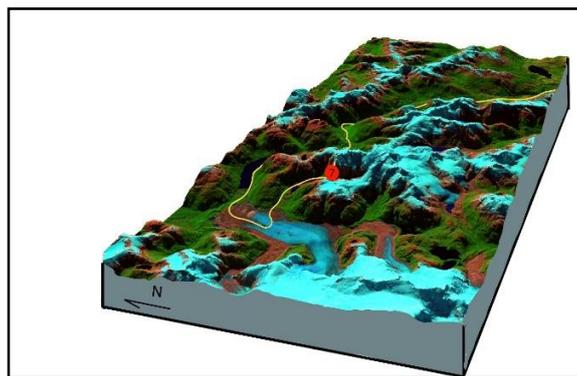


Figura 5.30. Localización del sitio N° 7, Macizo del Chileno. Línea amarilla representa el recorrido de los sitios. La figura es un diagrama de pendiente basado en una imagen satelital Landsat +7, combinación de bandas 7, 4, 2.

## Descripción

El Macizo del Chileno es una imponente pared truncada de aproximadamente 1.170 m de altura y una superficie de aproximadamente 1.860 km<sup>2</sup>, que aflora en el sector sureste del valle del Chileno. Su atractiva morfología es consecuencia de la acción de estructuras tectónicas que dominan el valle donde se encuentra emplazado, junto a la acción erosiva del hielo glaciar (Figura 5.31).

Este macizo está constituido, mayoritariamente, por rocas intrusivas calcoalcalinas, pertenecientes al Batolito Norpatagónico (Pankhurst y Hervé, 1994), que en la zona intruyen a las rocas del Complejo Metamórfico Andino Oriental. Estas rocas intrusivas presentan una edad que varía entre el Cretácico Inferior y Mioceno (Pankhurst *et al.*, 1999; Suárez y De la Cruz, 2001; Morata *et al.*, 2002; De la Cruz *et al.*, 2003).

Litológicamente las rocas que constituyen el Macizo del Chileno tienen color gris y texturas seriadas e hipidiomórfica granular, con tamaño de grano medio (0,25 – 2 mm), compuestas principalmente por tonalitas y granodioritas de biotita-anfibola o anfíbola-biotita y, en menor medida, xenolitos de monzogranitos y dioritas cuarcíferas, que varían de una composición a otra en forma gradual. Además, se observan pequeños enjambres de diques aplíticos que intruyen la roca de caja constituida y, muy localmente, se reconocen algunas alteraciones tales como epidota, clorita, arcillas.

Estructuralmente, el emplazamiento del Macizo del Chileno está limitado al este por el valle del río Norte y al oeste se encuentra limitado por una estructura de orientación N-S. A lo largo del valle se tienen sistemas de fallas normales de orientaciones NW-SE, NNW-SSE y NE-SW, junto con una estructura que genera el lineamiento del valle del Chileno de rumbo NNW-SSE. En particular, en la pared frontal suroeste del Chileno posee una falla normal que corta el macizo, con orientación N80°E y manteo subvertical (Figura 5.32).

Junto al factor estructural, es importante en la morfología del Macizo del Chileno la influencia del modelado glaciar, donde destaca su abrupta pared truncada como consecuencia de los

procesos erosivos de arranque y abrasión (Descripción del subcapítulo 5.1.3, “Pared Truncada”), y un representativo circo glaciar, con su forma de anfiteatro y flancos abruptos, en la zona superior de la cara sureste del macizo (Figura 5.31).

Otros elementos complementarios de interés en la zona son: i) al suroeste del Chileno se encuentra el glaciar homónimo con su respectivo lago proglaciar, confinado por la morrena terminal, y terrazas glaciolacustres con altura aproximada de 3 m que presentan estratificación cruzada planar de grano medio a fino y, sobre ellas, una pequeña cubierta vegetal de aprox. 15 cm. Este glaciar habría sido el causante de la erosión en la pared del Chileno; ii) un sistema de morrenas laterales del glaciar Chileno de composición diamíctica, ubicadas adyacente a los márgenes del valle y a al macizo (Figura 5.33), con altura aproximada de 35 m y pendiente de  $\sim 70^\circ$ . Es importante destacar que sobre las morrenas laterales se observan renovales (Figura 5.33 y Figura 5.34), los cuales pueden ser utilizados para acotar la edad de las morrenas (muy probablemente menores a 100 años).

### Ilustraciones



Figura 5.31. Vista sureste del Macizo del Chileno. Es posible reconocer la morfología de erosión glaciar de pared truncada y en la zona superior un circo glaciar. En la base se observan morrenas laterales y el glaciar del Chileno cubierto por morrenas superficiales. El frente del glaciar termina en una laguna proglaciar.



Figura 5.32. Vista panorámica del valle del Macizo del Chileno. En rojo se muestran las diferentes estructuras en el valle del Chileno. De noreste a suroeste estas son: i) falla normal de orientación NWW-SSE; ii) falla normal inferida con basculamiento hacia el suroeste con orientación de NE-SW; iii) estructura que corta la pared del Chileno con orientación  $N80^{\circ}E$  y un manteo subvertical. Junto con estas estructuras, cabe destacar que el valle del chileno presenta orientación N-S, probablemente originada por una estructura que limita al Macizo.

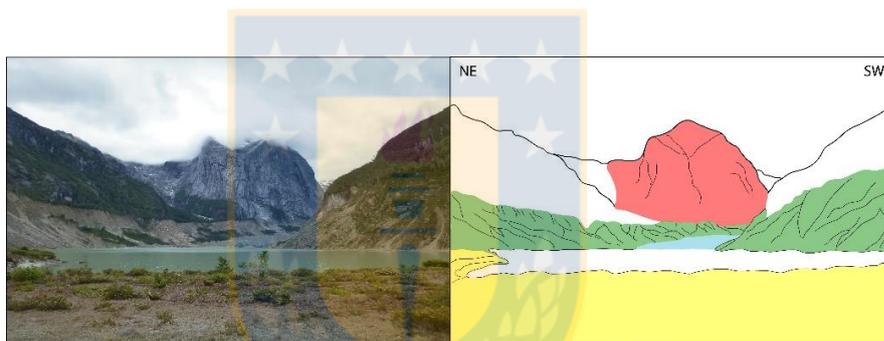


Figura 5.33. Vista frontal del valle del Macizo del Chileno. En el esquema se diferencian los distintos elementos que acompañan a la pared del macizo (en rojo), como por ejemplo el glaciar del Chileno con sus morrenas superficiales (en celeste), el sistema de morrenas laterales y abanicos aluviales (en verde), y las terrazas glaciolacustres (en amarillo).

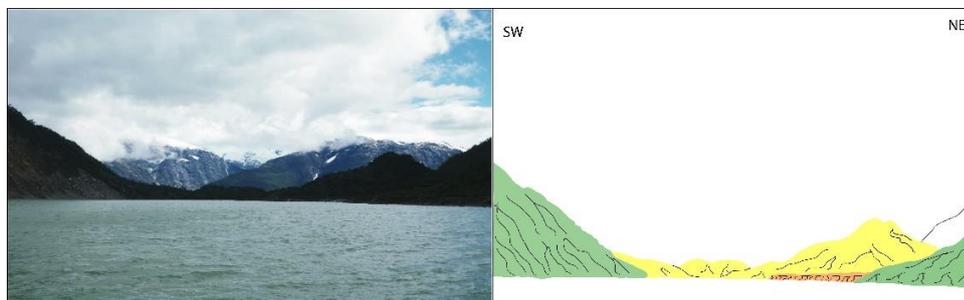


Figura 5.34. Vista noroeste del valle del Chileno. Se observa la morrena terminal que confina el lago del Chileno (en amarillo), las morrenas laterales (en verde) y una terraza lacustre (en naranja).

### Propuesta de Intervención

En términos geológicos se sugiere completar la carta geológica realizada por el SERNAGEOMIN (De la Cruz y Suárez, 2006). En particular, se propone identificar las unidades litológicas existentes en la zona, realizar dataciones radiométricas a los cuerpos plutónicos aledaños a la zona de campo de Hielo Norte y establecer la evolución de los diferentes pulsos magmáticos que lograron generar el Batolito Norpatagónico, y realizar un análisis estructural de las principales estructuras.

En términos patrimoniales, se propone diseñar un sendero que conecte el valle del Exploradores con el valle del Chileno, además de generar información de los puntos levantados a lo largo del valle exploradores a los funcionarios de CONAF y al público en general.

## 5.2 CARACTERIZACIÓN DE LOS GEOSITIOS DE LA ZONA DEL VALLE LEONES

A continuación, se especificarán los antecedentes geológicos y patrimoniales de los 9 lugares seleccionados a lo largo del valle del río Leones, de acuerdo a la metodología de selección están explicadas en el capítulo de Introducción, subcapítulo 1.4 Metodología:

### 5.2.1 Delta del río Leones

N° 8	Delta del río Leones			
<b>Coordenadas</b>	4.821.189 N	670.622 E	<b>Altura</b>	237 m s.n.m.
<b>Localidad más cercana</b>	Puerto Río Tranquilo		<b>Comuna</b>	Chile Chico
<p><b>Justificación</b></p> <p>Se escogió el sitio del Delta del río Leones debido a que es el más representativo (por su tamaño) y estudiado sistema de delta en el área de estudio que desemboca en el lago General Carrera.</p>				

### Uso Actual

Las principales actividades desarrolladas en este punto son de tipo agropecuaria, pastoreo, debido a la cobertura vegetal y terrenos de baja pendiente. Por otro lado, como este sitio se ubica en la desembocadura del río Leones, también se realizan actividades turísticas de menor escala, asociadas a la pesca deportiva y navegación de embarcaciones menores.

### Situación Legal

El área del delta del río Leones le pertenece a privados y no existe ningún acceso público.

### Tipo (s) interés geológico

Sedimentológico e Hidrológico

### Ubicación y Acceso

El delta del río Leones se ubica a unos ~27 km al sur de la localidad de Puerto Tranquilo y su único acceso es la ruta 7 o Carretera Austral (Figura 5.35), que además recorre todo el borde occidental de la llanura deltaica por más de ~13 km. Durante este recorrido y dada la extensión del Delta del río Leones, se reconocen varios puntos de observación donde poder apreciar el delta desde la Carretera Austral. Sin embargo, la mejor visibilidad del sistema deltaico del río Leones se encuentra en el mirador ubicado en el Cerro los Fósiles (682.355 E // 4.805.569 N), situado cercano a la localidad de Puerto Guadal, allí se puede apreciar en su totalidad (Figura 5.38).

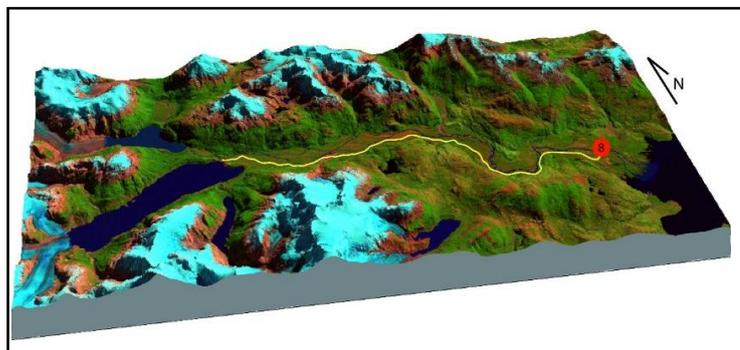


Figura 5.35. Localización de sitio N° 8, Delta del río Leones. Línea amarilla representa el recorrido de los sitios. La figura es un diagrama de pendiente basado en una imagen satelital Landsat +7, combinación de bandas 7, 4, 2.

## Descripción

La desembocadura del río Leones corresponde a un delta de desembocadura lacustre, de aproximadamente 24 km<sup>2</sup>, limitado en superficie al occidente por la zona de ríos trenzados y barras abandonadas y al oriente por la línea de costa del lago General Carrera. Visto en planta el delta presenta una forma de abanico. Está constituido por sedimentos no consolidados que progradan los depósitos de línea de costa y que sobreyacen en contacto de inconformidad a las rocas del Complejo Metamórfico Andino Oriental (CMAO).

El río Leones tiene una longitud aproximada de 33,5 km y recorre de oeste a este su valle homónimo, cuyo sustrato rocoso principal está constituido por rocas del Batolito Norpatagónico (55% de distribución en el área de estudio), y rocas del CMAO (40% de distribución en el área de estudio), subordinadamente, por rocas de la Formación Ibáñez y depósitos cuaternarios. La ribera norte del río se caracteriza por tener rocas volcánicas Mesozoicas de la Formación Ibáñez, que sobreyacen al CMAO. En la ribera sur afloran rocas del CMAO, las cuales se encuentran intruidas por el Batolito Norpatagónico (De la Cruz y Suárez, 2006). En particular, hacia las zonas de margen del delta se disponen sobreyaciendo en discordancia angular depósitos de abanicos aluviales actuales. Éstos están conformados principalmente por sedimentos no consolidados (matriz clasto soportados), generados por cursos de aguas y flujos de detritos (gravas y bloques de matriz soportada) (De la Cruz y Suárez, 2006). Sobre la planicie deltaica se reconocen localmente depósitos eólicos dispuestos en las barras fluviales abandonadas, de los diferentes canales fluviales.

En terreno sólo es posible observar la parte superior o *topset* del delta del río Leones. Esta zona posee canales trenzados que aportan depósitos de gravas de grano grueso y que, localmente, muestran retrabajo causado por las olas, generando, de esta forma la progradación de la línea de costa. Sin embargo, De la Cruz y Suárez (2006) describen que este sitio tiene una asociación de facies del tipo Gilbert de grano grueso (Nichols, 2009); la misma estructura que observó Bell (2009) en las terrazas deltaicas en la ribera opuesta del lago, en la localidad de Mallín Grande.

Asumiendo lo descrito por De la Cruz y Suárez (2006) y/o extrapolando los estudios de Bell (2009) antes nombrados, el delta del río Leones presentaría, además del *topset*, dos secciones y asociaciones de facies (Figura 5.36): i) engranando con las capas superiores (*topset*), una sección denominada *foreset* o frente del delta, que estaría constituida por capas inclinadas (ángulo de pendiente 30°) de gravas con matriz pobremente soportadas, mezclada con arenas y limos, y gravas matriz bien soportadas producto de los flujos gravitacionales de los granos (Nichols, 2009) (Figura 5.37); ii) intercalados con las capas del frente deltaico, hacia la base de estas capas, se encuentran delgados sedimentos finos y arenas finas, producto a turbiditas y depósitos de material en suspensión en la zona del prodelta. Finalmente, en la zona más distal e inferior (*Bottomset*), típicamente se reconocen depósitos laminares de arcillas y limos, ligados a mayor influencia lacustre (Nichols, 2009) (Figura 5.37).

### Ilustraciones

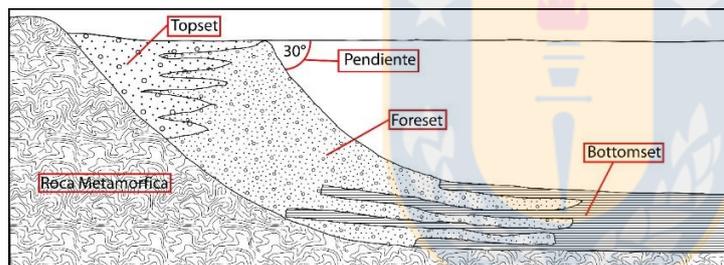


Figura 5.36. Perfil transversal de un delta tipo Gilbert de grano grueso. El esquema muestra el basamento (CMAO) y las distintas secciones que conforman el delta: i) en la parte superior el topset; ii) en la sección media se identifica el frente deltaico o foreset (pendiente de 30°); iii) en la sección distal se intercalan con las capas turbidíticas que forman la sección bottomset.

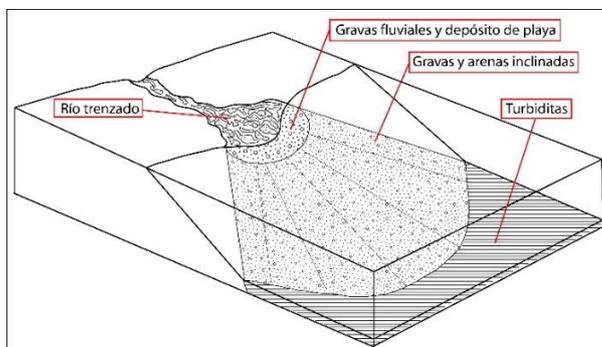


Figura 5.37. Esquema de un delta tipo Gibert de grano grueso que progresa su línea de costa. Se muestran las distintas asociaciones de facies sedimentarias, de cada sección que componen el delta.



Figura 5.38. Vista noroeste del delta del río Leones. Fotografía tomada desde el Cerro Los Fósiles, localidad de Puerto Guadal.

### Propuesta de Intervención

Se propone la generación de estudios sedimentológicos de comparación y correlación con las diferentes terrazas deltaicas existentes en la cuenca del lago General Carrera, además de realizar estudios sobre la evolución del cambio nivel base del lago.

Se sugiere identificar y habilitar, aledaño a la Carretera Austral, un mirador al sistema deltaico con un panel interpretativo que explique sus principales características morfológicas. Por sus condiciones de visibilidad y seguridad, se propone preliminarmente el sector con coordenadas 4.817.042 N // 666.901 E, para tal afecto.

### 5.2.2 Plutón El León

Nº 9	Plutón El León			
<b>Coordenadas</b>	4.817.284 N	660.549 E	<b>Altura</b>	1.245 m s.n.m.
<b>Localidad más cercana</b>	Puerto Río Tranquilo		<b>Comuna</b>	Chile Chico
<b>Justificación</b>				
Se seleccionó este sitio bajo el criterio de rareza y representatividad, ya que es el único plutón Paleozoico en la zona oriental del Batolito Norpatagónico.				

**Uso Actual**

El área donde se emplaza el plutón, al igual que las zonas aledañas, presenta actividades agropecuarias y ganaderas.

**Situación Legal**

El Plutón El León se encuentra en terreno de privados, no existe ningún acceso público.

**Tipo (s) interés geológico**

Petrográfico y Estructural

**Ubicación y Acceso**

El plutón se encuentra aproximadamente a 3,2 km del cruce entre la ruta 7 y el camino vecinal (X-732) que da acceso al valle glaciar Leones, por el camino vecinal (Figura 2.1 y Figura 5.39). El punto con mejor visibilidad del elemento de interés (litologías y zona de contacto) tiene coordenadas 4.819.679N y 660.754E.

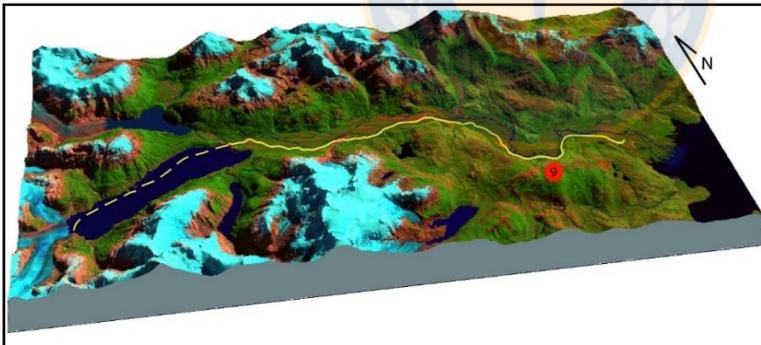


Figura 5.39. Localización de sitio N° 9, Plutón El León. Línea amarilla indica el recorrido de los sitios. La figura es un diagrama de pendiente basado en una imagen satelital Landsat +7, combinación de bandas 7, 4, 2.

**Descripción**

El Plutón El León, corresponde a un cuerpo intrusivo con dimensiones aproximadas de 2 km x 1km y una altura aproximada de 1.245 m s.n.m. Es el único cuerpo intrusivo de edad Paleozoica que aflora en la Cordillera Patagónica, definido por Suárez y De la Cruz (2006), como Plutón Granito El León (Figura 5.40).

Su litología corresponde principalmente a monzogranitos, aunque en algunos sectores se observa sienogranito y, de manera subordinada, granodioritas. Sus rocas poseen granos de tamaños gruesos a medios, observándose cristales rotos y deformados de microclina, plagioclasas, cuarzo y micas y, localmente, secciones de milonita. Además, se identifican xenolitos pertenecientes al CMAO, los cuales exhiben distintos grados de asimilación y bandas de cizalle aisladas. Entre la mineralogía se destaca la presencia de biotita, muscovita, biotita-muscovita, anfíbola-biotita cloritizada y, en partes aisladas granates (Suárez y De la Cruz, 2006).

El cuerpo intrusivo El León intruye litologías de esquistos verdes, esquistos cuarzo–muscovita y mármoles, todos pertenecientes al CMAO, cortando la foliación principal del mismo. En su margen occidental, el plutón tiene un contacto por falla inversa con orientación N32°E (Figura 5.41). Esta estructura podría explicar el intenso diaclasamiento que exhibe el plutón en algunos sectores (Suárez y De la Cruz, 2006). En su margen oriental, el granito muestra sistemas de diques de leucogranitos, encontrándose localmente minerales de cuarzo con estructuras de tipo boudinage (Suárez y De la Cruz, 2006).

Según Suárez y De la Cruz (2006), El León tiene una edad ponderada de  $310 \pm 7$  Ma estimada mediante dataciones en K-Ar, la cual, probablemente, representaría la edad del metamorfismo dinámico en la zona de contacto. Otras dataciones en K-Ar dieron valores de  $302 \pm 7$  Ma (en muscovita y biotita, obtenidas de rocas cataclásticas) y  $268 \pm 8$  Ma (en biotita cloritizadas), representando edades mínimas de este metamorfismo. Las dataciones antes mencionadas permiten asignar una edad mínima Carbonífero superior para el Plutón El León.

## Ilustraciones

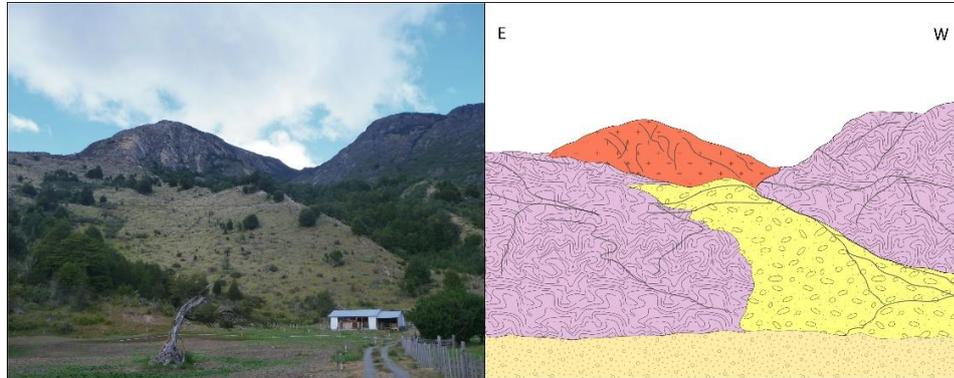


Figura 5.40. Fotografía y esquema del Plutón El León. En rojo se destaca en el Plutón; en amarillo depósitos aluviales; en amarillo oscuro depósitos fluviales y en violeta rocas del CMAO.

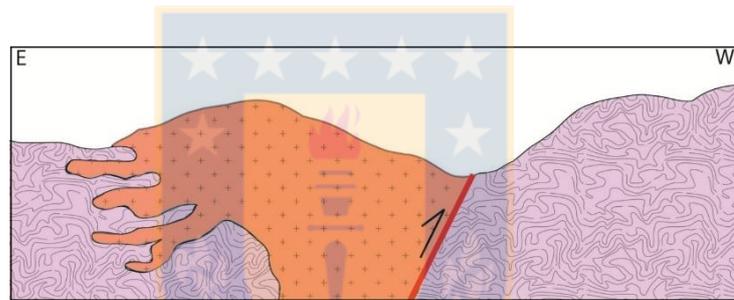


Figura 5.41. Figura del perfil transversal E-W del Plutón El León. En rojo el Plutón El León intruyendo al CMAO (en violeta). Se observa que en el lado este existe un contacto de intrusión por diques leucograníticos, mientras que al oeste hay contacto por falla inversa N32° (se infiere un alto ángulo de manteo).

## Propuesta de Intervención

Se propone la realización de estudios de dataciones radiométricas a las rocas de la unidad Granito El León, para acotar la edad máxima del CMAO y la edad de intrusión. Además, se sugiere efectuar estudios geoquímicos para establecer las distintas zonas mineralógicas del plutón, acompañado por estudios de las diferentes estructuras reconocidas en la zona.

Se sugiere el diseño de un mirador, ubicado en las coordenadas (4.819.679 N//660.754 E), debido a que este sitio posee las mejores condiciones de visibilidad y accesibilidad, con un panel que describa y explique las diferentes características geológicas del lugar.

### 5.2.3 Depósitos eólicos del valle río Leones

N° 10	Depósitos eólicos del valle río Leones			
<b>Coordenadas</b>	4.820.936 N	659.279 E	<b>Altura</b>	220 m s.n.m.
<b>Localidad más cercana</b>	Puerto Tranquilo		<b>Comuna</b>	Chile Chico
<b>Justificación</b>				
<p>Se escogieron los depósitos eólicos, debido a que son uno de los elementos destacados de la diversidad geológica de la zona del valle Leones y han sido previamente estudiadas (Kelm, 1999; Suárez y De la Cruz, 2006), hecho que avala su importancia científica relativa. Junto con lo anterior, cumple con el criterio de rareza, ya que son los únicos depósitos eólicos de ambientes periglaciares cercanos al lago General Carrera.</p>				
<b>Uso Actual</b>				
<p>El sistema de dunas del valle Leones se encuentra en predios privados donde se desarrollan, principalmente, actividades agropecuarias y turísticas.</p>				
<b>Situación Legal</b>				
<p>El sitio se encuentra en terrenos de propiedad privada.</p>				
<b>Tipo (s) interés geológico</b>				
<p>Sedimentológico y Geomorfológico.</p>				

### Ubicación y Acceso

Los depósitos eólicos del valle del río Leones se encuentran aproximadamente a 30,5 km al sur de la localidad de Puerto Río Tranquilo. Existen dos afloramientos, el primero se ubica en el cruce de la ruta 7 (Carretera Austral) con el camino vecinal (X-732) (Figura 2.1), y el segundo, a juicio del autor de este trabajo el afloramiento más representativo, aproximadamente a 6,2 km por el camino vecinal X-732 (ruta de acceso al valle Leones) (Figura 5.42).

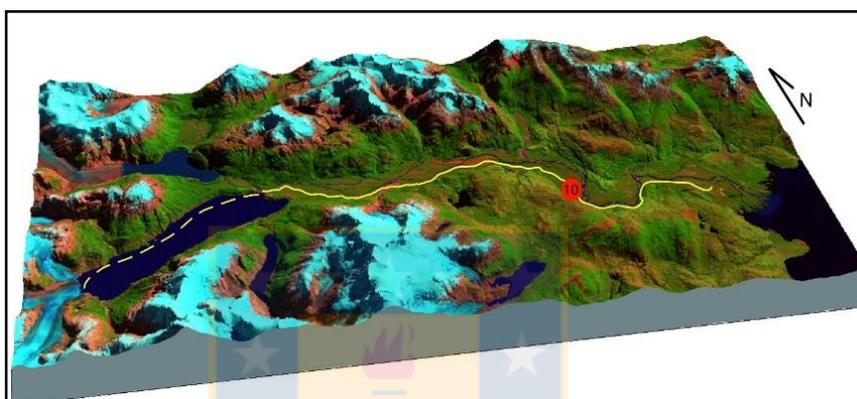


Figura 5.42. Localización de Geosítio N° 10, Depósitos eólicos del valle río Leones. línea amarilla indica el recorrido de los sitios La figura es un diagrama de pendiente basado en una imagen satelital Landsat +7, combinación de bandas 7, 4, 2.

### Descripción

Los depósitos eólicos se localizan en la ribera sur del valle del río Leones y se alojan sobre terrazas constituidas por depósitos de planicies de descarga fluvio-glaciar (*sandur*) y, localmente, en zonas de borde del valle, donde están en contacto de inconformidad con rocas pertenecientes al CMAO.

Se identifican dos afloramientos de sistemas de dunas. El primero de ellos está muy cercano al cruce de la Carretera Austral con la ruta X-732, tiene una superficie de aproximada de 0,04 km y se encuentra bajo una densa capa de vegetación. El segundo afloramiento, considerado el más representativo, se localiza aproximadamente a 6,2 km del primero en dirección al glaciar Leones por el camino vecinal (ruta X-732). Presenta una superficie aproximada de 0,49 km , siendo

posible apreciar las dunas con muy poca cobertura vegetal, casi desnudas, reconociéndose laminaciones y estructuras de estratificación (Figura 5.43).

Sumado a lo anterior, gran parte del lecho del valle del río Leones, esta relleno por depósitos de planicies de descargas fluvio-glaciares (*sandur*). Éstos están compuestos principalmente por flujos fluvio-glaciares provenientes del deshielo de glaciares, desde los últimos 24.000 a 14.000 años (Kaplan, 2005), hasta el presente, que han transportado sedimentos finos y gravas. Estos últimos conforman el piso del valle y pueden ser interpretados como la fuente de proveniencia de los depósitos eólicos, los cuales posteriormente fueron seleccionados, transportados y depositados por el viento en la ribera sureste del río Leones.

Los depósitos eólicos son sedimentos no consolidados, con laminación paralela (Figura 5.44), constituidos principalmente por arcillas, limos y arenas muy finas, que sobreyacen en discordancia angular a los depósitos fluvio-glaciares e inconformidad con rocas del CMAO. Las arenas que los forman tienen un color blanco a gris blanco, compuestas mineralógicamente por un 72% de cuarzo y el resto se reparte entre plagioclasas, feldespato potásico y máficos, además de un porcentaje menor al 2% de óxidos de hierro (Kelm, 1999).

La morfología reconocida en el afloramiento, hacia al interior del valle río Leones, corresponde a montículos aislados y dunas elongadas de decenas de metros de longitud, que se emplazan sobre antiguas barras fluviales, llanuras de inundación y paleocanales antiguos (Kelm, 1999). Sobre la zona superficial de las dunas se distingue un nivel de 10 cm de ceniza volcánica fina proveniente de la última erupción del volcán Hudson (1991) (Figura 5.45). Sin embargo, a lo dinámico que es el sistema eólico del río Leones, es imposible estimar un espesor real de los depósitos eólicos, pero en algunos sectores se han podido distinguir potencias que alcanzan aproximadamente los 7 m (Figura 5.45).

**Ilustraciones**

Figura 5.43. Afloramiento de los depósitos eólicos del valle del río Leones. El afloramiento se ubica aproximadamente a 6,2 km por la ruta X-732. En la base se observan depósitos fluvio-glaciares y al fondo las paredes del valle constituidos por rocas del CMAO.



Figura 5.44. Depósito eólico con laminación paralela. Los depósitos son de color blanco a gris claro, y sobreyacen en discordancia un nivel de cenizas volcánicas.

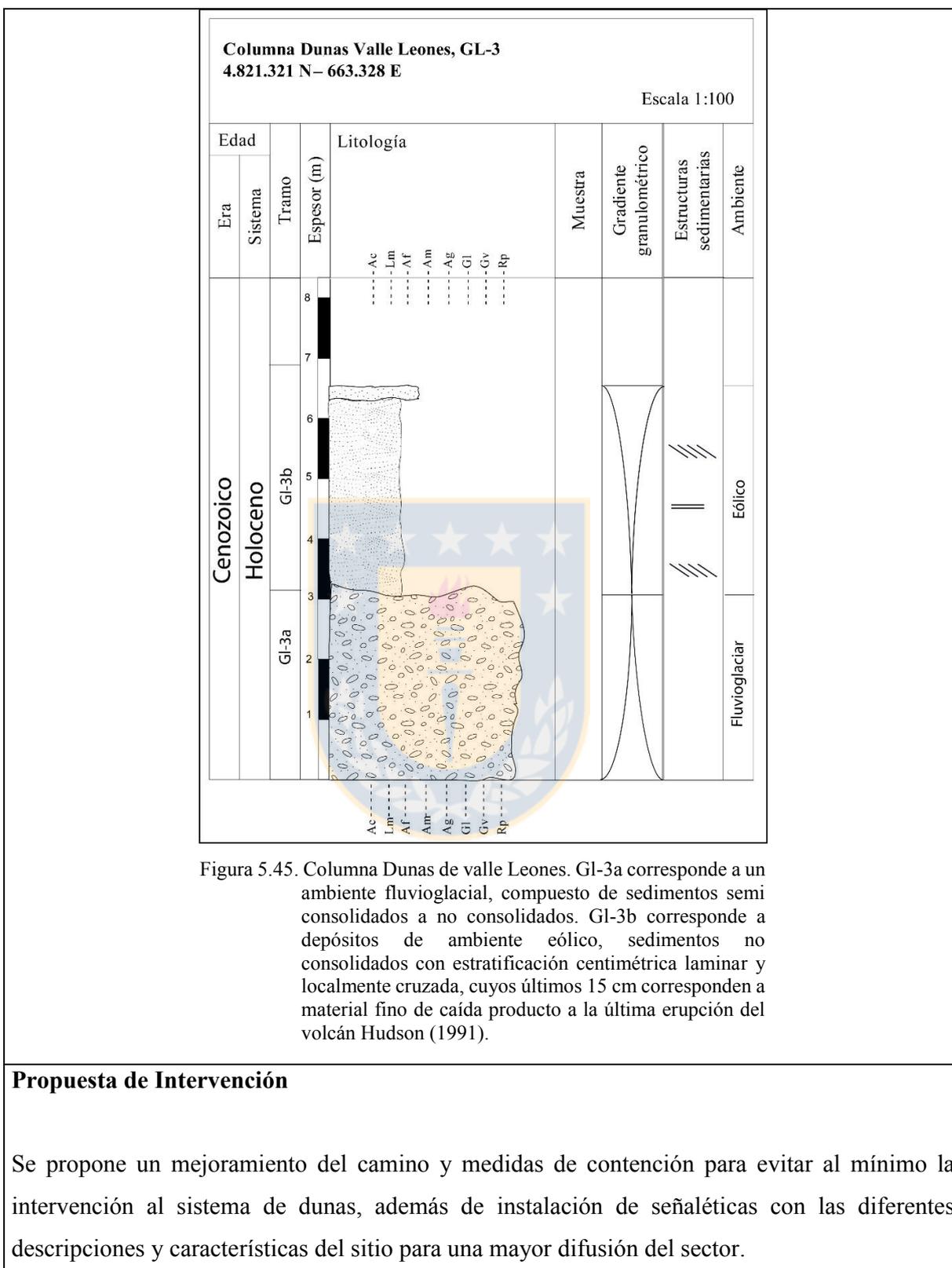


Figura 5.45. Columna Dunas de valle Leones. GI-3a corresponde a un ambiente fluvioglacial, compuesto de sedimentos semi consolidados a no consolidados. GI-3b corresponde a depósitos de ambiente eólico, sedimentos no consolidados con estratificación centimétrica laminar y localmente cruzada, cuyos últimos 15 cm corresponden a material fino de caída producto a la última erupción del volcán Hudson (1991).

### Propuesta de Intervención

Se propone un mejoramiento del camino y medidas de contención para evitar al mínimo la intervención al sistema de dunas, además de instalación de señaléticas con las diferentes descripciones y características del sitio para una mayor difusión del sector.

### 5.2.4 Depósitos de paleodeltas del río Meliquina

N° 11	Depósitos de paleodeltas del río Meliquina			
<b>Coordenadas</b>	4.823.144 N	657.431 E	<b>Altura</b>	317 m s.n.m.
<b>Localidad más cercana</b>	Puerto Río Tranquilo		<b>Comuna</b>	Chile Chico
<p><b>Justificación</b></p> <p>En la cuenca del lago General Carrera los paleodeltas conforman sistemas de terrazas que ocupan un lugar destacado en el paisaje, especialmente entre Puerto Río Tranquilo y Chile Chico. El presente sitio de interés fue seleccionado por ser el lugar más representativo e íntegro de estas morfologías en el área de estudio, las cuales alcanzan una potencia promedio de 140 m de altura, y son evidencia de cómo ha evolucionado el nivel base del lago General Carrera, desde el Pleistoceno superior hasta el presente.</p>				
<p><b>Uso Actual</b></p> <p>El sitio se encuentra ubicado a orillas del río Meliquina, perteneciente al predio de conservación Pichimahuida. En este sector se encuentran las instalaciones del predio (casas habitacionales, galpones). Actualmente se realizan, principalmente, actividades de conservación de la biodiversidad, como reforestación de árboles nativos, creación de senderos e instalación de señalética para acceder al lago Leones (Parque Nacional Laguna San Rafael).</p>				
<p><b>Situación Legal</b></p> <p>Los depósitos de paleodeltas del río Meliquina están el predio privado Pichimahuida, perteneciente al Sr. John Whitelaw.</p>				
<p><b>Tipo (s) interés geológico</b></p> <p>Sedimentológico, Geomorfológico.</p>				

### Ubicación y Acceso

El lugar de interés se encuentra aproximadamente a 10,1 km en dirección al glaciar, desde el cruce de la Carretera Austral con la ruta vecinal X-732 (Figura 2.1). Posteriormente se hace ingreso al predio particular Pichimahuida, donde el camino tiene la figura de camino privado.

El sitio que tiene la mejor visualización del paleodelta se ubicada a orillas del río Meliquina y a un costado del camino privado (Figura 5.46), donde es posible acceder en vehículo 4x4 hasta este mirador. Este lugar posee la mejor accesibilidad y además permite observar otras terrazas de paleodelta ubicadas en la ribera norte del río Leones, en el sector del río Claro.

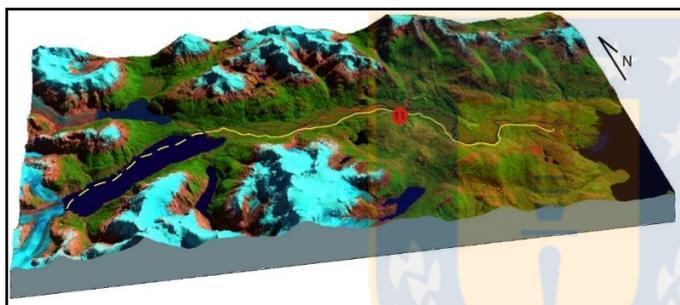


Figura 5.46. Localización de Geositio N° 11, Depósitos de paleodeltas del río Meliquina. Línea y línea segmentada amarilla representa el recorrido de los sitios. La figura es un diagrama de pendiente basado en una imagen satelital Landsat +7, combinación de bandas 7, 4, 2.

### Descripción

Los depósitos deltaicos que tiene el valle del glaciar Leones son una evidencia, que en el pasado al igual que en la actualidad, existieron cursos de aguas provenientes del derretimiento de los glaciares, que desembocaban con baja energía en antiguos lagos. En el presente, estos depósitos poseen un sistema de terrazas dispuestas en contacto de inconformidad sobre las paredes del valle del río Leones, estas últimas constituidas mayoritariamente por rocas del CMAO (Figura 5.47).

Según Bell (2008), lo distintos niveles de terrazas de paleodeltas que se observan en la cuenca del lago General Carrera se explican por la disminución en el nivel base del lago, causado por el cambio y aumento de salidas de drenajes, generados por roturas de antiguas represas naturales. Este fenómeno ha ocurrido desde hace aproximadamente 13.000 años hasta hoy en día, como consecuencia del aumento del volumen de agua por el derretimiento de los glaciares. En

particular, el nivel base de la terraza del río Meliquina está aproximadamente a 32 m sobre el nivel actual del lago General Carrera, el cual se encuentra aproximadamente a 202 m s.n.m (Bell, 2009). La terraza tiene de potencia máxima 103 m. por tanto en el relieve alcanzan una cota máxima de aprox. de 337 m s.n.m.

El depósito de delta del río Meliquina está constituido por sedimentos semiconsolidados característicos de asociaciones de facies sedimentarias del tipo Gilbert. Entre las 3 facies características de este tipo de depósitos es posible observar 2 en este afloramiento; en la base se tiene la secuencia de mayor espesor, posee capas inclinadas con mega estratificación y una pendiente promedio de  $30^\circ$  que corresponden al frente deltaico o *Foreset* (De la Cruz y Suárez, 2006). Las capas que sobreyacen a las secuencias anteriores, están compuestas por sedimentos fluviales de grava con matriz pobremente soportada y clastos localmente imbricados, de un espesor aproximado de 3 m, esta secuencia representa la progradación del sistema fluvial y el antiguo nivel del lago (De la Cruz y Suárez, 2006).

Las asociaciones sedimentarias que se reconocen son principalmente gravas clasto soportadas y matriz soportadas, intercaladas con capas de areniscas gruesas. En la base del afloramiento, localmente se tienen capas de arcillas intercaladas con arenas finas que engranan, con los depósitos lacustres. Estos últimos depósitos no existen en el afloramiento.

### Ilustraciones

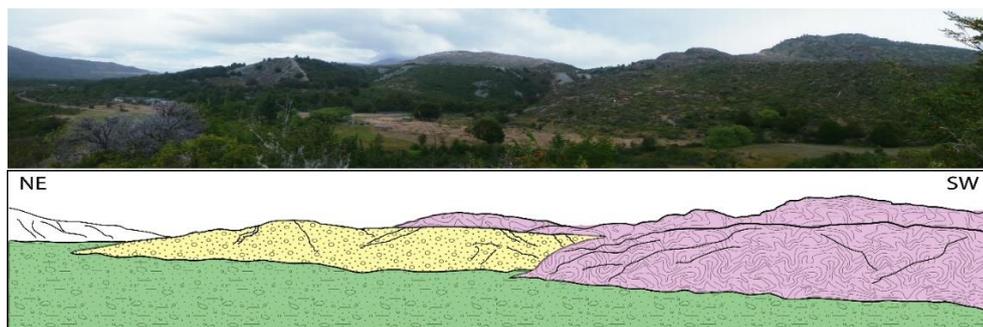


Figura 5.47. Vista panorámica hacia el este del depósito paleodeltaico del río Meliquina. En amarillo se destacan la terraza paleodeltaica, en violeta las rocas del CMAO (que subyacen en contacto de inconformidad al depósito paleodeltaico del río Meliquina), rellenando la zona baja del valle, se destacan en verde los depósitos de planicie de descarga fluvio-glaciario (Sandur).

### Propuesta de Intervención

Se propone realizar estudios de correlación de las terrazas paleodeltaicas ubicadas en la ribera norte del río Leones, con las del río Claro. Junto con lo anterior, estudiar la evolución de los diferentes episodios de cambio de nivel base del lago General Carrera, analizando los depósitos paleodeltaicos de las zonas de Mallín Grande y para los ríos, Jeinimeni, Ibáñez y Las Dunas.

### 5.2.5. Depósito de vaciamiento abrupto del lago proglaciar Mapuche

<b>N° 12</b>	<b>Depósito de vaciamiento abrupto del lago proglaciar Mapuche</b>			
<b>Coordenadas</b>	4.817.284 N	660.549E	<b>Altura</b>	521 m s.n.m.
<b>Localidad más cercana</b>	Puerto Río Tranquilo		<b>Comuna</b>	Chile Chico
<b>Justificación</b>				
<p>Se escogió el depósito de GLOF del lago proglaciar Mapuche por cumplir con los criterios de integridad, representatividad y contenido científico: i) integridad, porque están conservados completos y no fueron, como por ejemplo los del lago Cachet II, arrastrados por el río que drena el lago homónimo, para luego tributar al río Baker; ii) representatividad, ya que forman un muy característico abanico con bloques de dimensiones métricas, de un único evento ocurrido el año 2000; iii) contenido científico, por los diversos estudios efectuados por Harrison <i>et al.</i>(2006), y porque aún hay interesantes potenciales estudios complementarios a generar, de carácter petrológico, estructural, glaciológico y/o sedimentológico.</p>				
<b>Uso Actual</b>				
<p>Actualmente se gestionan, principalmente, actividades de conservación de la biodiversidad, como reforestación de árboles nativos, creación de senderos e instalación de señalética para acceder al lago Leones (Parque Nacional Laguna San Rafael). Además, existe actividad agropecuaria de menor escala.</p>				

### Situación Legal

El depósito de GLOF se encuentra en el área de conservación privada Pichimahuida. En el particular el terreno donde se encuentra el depósito, le pertenece a la Sra. Elena Sobakina

### Tipo (s) interés geológico

Petrológico, sedimentológico y glaciológico.

### Ubicación y Acceso

El depósito de GLOF de la laguna proglacial Mapuche se encuentran a aproximadamente a 17,4 km al oeste del cruce entre la Carretera Austral (ruta 7) y el camino vecinal X-732 (Figura 2.1), siguiendo el valle del río Leones. Accediendo al predio Pichimahuida por el camino privado X-732, se accede en auto hasta el portón con candado, ubicado en el kilómetro 14,5, para luego continuar por un sendero de trekking con señalética provista por la propietaria del predio, recorriendo aproximadamente 2,5 km hasta llegar al depósito de vaciamiento abrupto de lago proglacial del Mapuche (Figura 5.48).

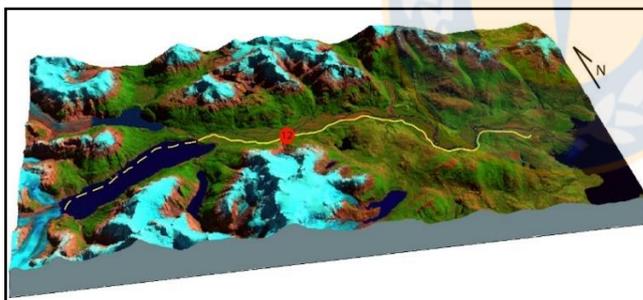


Figura 5.48. Localización de sitio N° 12, Depósito de GLOF del lago proglacial Mapuche. Línea amarilla y segmentada amarilla representan el recorrido de los sitios. La figura es un diagrama de pendiente basado en una imagen satelital Landsat +7, combinación de bandas 7, 4, 2.

En el depósito de GLOF, se puede hacer una caminata de aproximadamente. 2 km, de dificultad moderada a alta, aguas arriba por la ribera oeste del valle Mapuche, es posible llegar hasta la laguna y base del glaciar Mapuche.

### Descripción

El sitio escogido es un área en forma de abanico con detritos y grandes bloques de rocas de dimensiones métricas, incluso superiores a 15 m, fueron transportados de forma abrupta y

repentina alojados en el dique que confinaba la laguna proglaciar Mapuche (Figura 5.49). Este tipo de fenómeno es conocido como vaciamientos abruptos de lagos glaciares, o por sus siglas en inglés como GLOF (*Glacier Lake Outburst Flood*).

Los detritos cayeron desde el valle del glaciar Mapuche, un pequeño y estrecho valle secundario, por la ribera sur del valle principal generado, por el glaciar y río Leones (Figura 5.54). Las paredes del valle Mapuche están conformadas por rocas del Batolito Norpatagónico, compuestas principalmente tonalitas de hornblenda y biotita, granodioritas, que intruyen a rocas más antiguas del CMAO, principalmente por esquistos grises y verdes. Sin embargo, en zonas del valle existen migmatitas evidencia de la fusión parcial de las unidades litológicas que predominan. Las rocas en esta zona poseen un alto grado de fracturamiento y diaclasamiento, probablemente causado por estructuras con orientaciones NNE-SSW y W-E, que contralanzan la zona del valle Leones y Mapuche.

A lo largo del valle del glaciar Mapuche se aprecian evidencias de la continua acción glacial, que erosionó y modeló sus escarpadas paredes. Éstas fueron una importante fuente de detritos y rocas que generaron la morrena terminal del glaciar Mapuche, durante su último avance, en un periodo denominado la Pequeña Edad del Hielo, en el siglo XIX (Harrison *et al.*, 2006). Posterior a este periodo frío, se estima que el glaciar Mapuche ha retrocedido hacia la zona de Campo de Hielo Norte, debido a la pérdida continua de la masa de hielo, se generó la laguna proglaciar homónima confinada por la morrena terminal (Harrison *et al.*, 2006).

La morrena terminal del glaciar Mapuche se encuentra constituida por gravas y arenas gruesas, y principalmente, por bloques de tamaños métricos y decimétricos, junto con una baja concentración de sedimentos finos transportados por el viento. Harrison *et al.* (2006) estiman que la morrena, antes del fenómeno del vaciamiento abrupto del lago proglaciar (GLOF), alcanzaba una altura aproximada de 40 m y un ancho aproximado de 30 m (Figuras 5.52 y 5.53). Su núcleo no presentaba relictos de hielo y estaba constituido mayoritariamente por una gran concentración de clastos de tamaño centimétricos (> 15 cm) y bloques métricos a decimétricos con una alta permeabilidad, situación que facilitaba el flujo de agua por el interior de la morrena, pero sin

llegar a producir la desestabilización de la misma, hasta febrero del año 2000, cuando aconteció el evento GLOF.

Según Harrison *et al.* (2006), el GLOF se originó como consecuencia a una remoción en masa, desde una de las laderas escarpadas del valle del Mapuche, que cayó y deslizo sobre la laguna proglaciar. Estas rocas habrían ocasionado un gran desplazamiento de volumen de agua, produciendo la desestabilización y ruptura de la morrena, junto con el vaciamiento abrupto del agua confinada en dirección valle abajo. El material transportado era un flujo viscoso con altas concentraciones de bloques y clastos gruesos, que en su desplazamiento fue erosionando las morrenas laterales y depositando bloques de dimensiones métricas en las distintas zonas del valle.

Mediante análisis de imágenes satelitales, Harrison *et al.* (2006) estiman que, en el año 2000, antes del GLOF, la superficie de la laguna era de aprox. 28.000 m<sup>2</sup>, mientras que, en el año 2003, posterior al vaciamiento del lago, la superficie era de aproximadamente 14.000 m<sup>2</sup>. El flujo viscoso habría alcanzado una altura máxima de 45 m, en la ladera occidental del valle, siendo posible estimar aproximadamente 0,5 x 10<sup>6</sup> m<sup>3</sup> el volumen de sedimentos depositados en sus zonas altas y medias. En la zona baja del valle, la cual es compartida con el valle principal del río Leones, se generó un abanico de aproximadamente 1,5 km de largo, 800 m de ancho, y un volumen aproximado de 1,5 x 10<sup>6</sup> m<sup>3</sup>.

El abanico del depósito de GLOF tiene un relieve de montículos aislados y barras (Kershaw *et al.*, 2005) (Figura 5.50). En el centro del abanico posee una secuencia granocreciente de gravas arenosas y gravas gruesas con bloques métricos (Harrison *et al.*, 2006), incluso superiores a 15 m (Figura 5.51), compuestos por rocas graníticas, metamórficas y, en menor medida por migmatitas. En las zonas más distales del abanico se tienen facies sedimentarias más finas del depósito (Kershaw *et al.*, 2005), en particular arenas limosas constituidas principalmente por un 70% de arenas y 30% de limos y arcillas (Harrison *et al.*, 2006). Hacia el límite noroeste del abanico, los depósitos del GLOF se traslapan con los fluviales del río Leones, posee una asociación de grava arena limosa, donde bolones y clastos rodados forman relieves de barras alongadas, bermas, y estructuras de canales trenzados.

## Ilustraciones

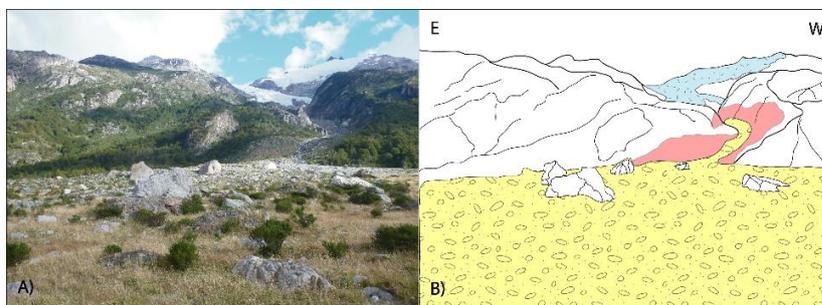


Figura 5.49. Vista hacia el sur del valle del glaciar Mapuche. En amarillo se destaca el depósito de GLOF (se tienen bloques métricos), en celeste el glaciar Mapuche, y en las paredes del valle se observa la superficie erosionada por el vaciamiento del lago proglaciar (en rojo).

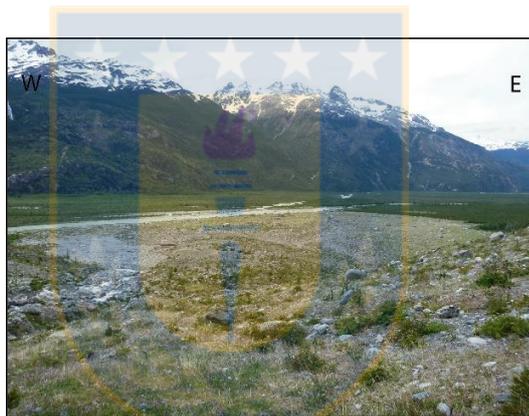


Figura 5.50. Vista hacia el suroeste del abanico del depósito de GLOF del glaciar Mapuche.



Figura 5.51. Fotografías del depósito de GLOF. La fotografía a) bloques de aproximadamente 12 m ubicados en la parte central del abanico. La fotografía b) bloques de tamaño métrico, ubicados en la zona distal a orillas de la ribera sur del río Leones. La fotografía c) es una vista panorámica al suroeste del abanico, en la cual se observan la distribución de los bloques de dimensiones métricas y decimétricas.

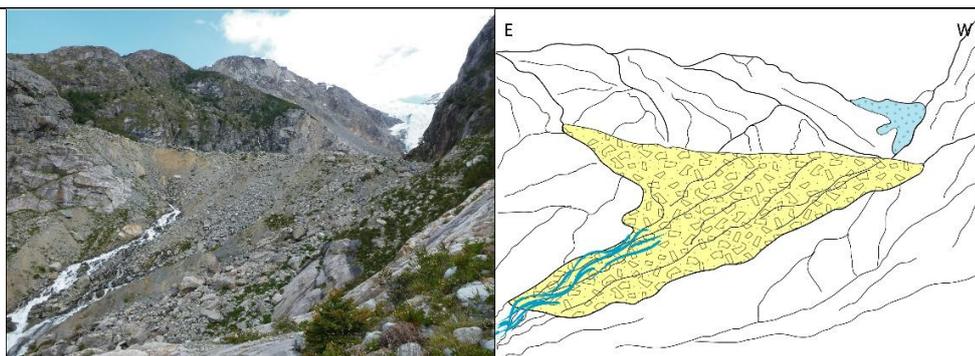


Figura 5.52. Vista sur del dique. En amarillo se tiene el dique que confina la laguna proglaciar.

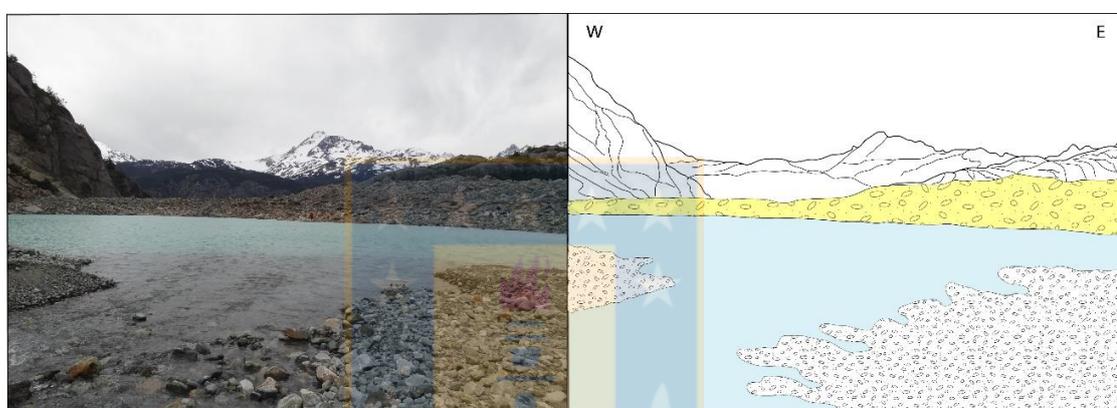


Figura 5.53. Vista hacia el norte de la laguna proglaciar. En amarillo se destaca el dique que confina la laguna.



Figura 5.54. Vista panorámica sureste del valle del glaciar Mapuche. La fotografía fue tomada desde el dique.

### Propuesta de Intervención

Se propone generar un catastro de frecuencias de eventos de vaciamientos para el valle del mapuche y de los diferentes glaciares que rodean la zona de Campo de Hielo Norte. Este estudio debiese incluir investigaciones hidrológicas y glaciológicas.

Junto con lo anterior, se propone un estudio de geología de detalle para la zona del valle del Mapache. Este estudio debiese ser acompañado de dataciones radiométricas, análisis en detalle

de los diferentes eventos magmáticos que dieron origen al Batolito Norpatagónico, en la zona de valle aledaños a Campo de Hielo Norte.

Además, se realizó la postulación como geositio al depósito de vaciamiento abrupto de lago proglaciar Mapuche a la Sociedad Geológica de Chile. Mediante comunicación oral con miembros de la comisión evaluadora, aceptaron este geositio con restricciones de divulgación en la página de la Sociedad Geológica de Chile.

### 5.2.6 Morrena frontal del glaciar Leones

N° 13	Morrena frontal del glaciar Leones			
<b>Coordenadas</b>	4.824.409 N	644.160 E	<b>Altura</b>	429 m s.n.m.
<b>Localidad más cercana</b>	Puerto Río Tranquilo		<b>Comuna</b>	Chile Chico
<p><b>Justificación</b></p> <p>Se seleccionó este sitio, ya que en el área de estudio es una de las evidencias más representativas e íntegras de los últimos avances glaciares.</p>				
<p><b>Uso Actual</b></p> <p>El área donde se localiza la morrena es visitada con fines turísticos y recreacionales, por guías de turismo y público en general, respectivamente. La morrena marca el límite este del Parque Nacional Laguna San Rafael en la zona del valle Leones, corresponde a la entrada oriental a Campo de Hielo Norte, siendo ocasionalmente utilizada como campamento base por expediciones de montañistas que hacen ascensiones al monte San Valentín.</p>				
<p><b>Situación Legal</b></p> <p>La morrena frontal del glaciar Leones marca el límite oriental del Parque Nacional Laguna San Rafael. La zona externa de la morrena hasta el borde con la desembocadura con el lago Leones y el río homónimo pertenecen a privados.</p>				

**Tipo (s) interés geológico**

Geomorfológico, Sedimentológico y Glaciológico.

**Ubicación y Acceso**

Desde el cruce del camino vecinal X-732 con la Carretera Austral (Figura 2.1), hasta la morrena frontal del glaciar Leones son aproximadamente 25 km. El primer tramo desde el inicio del camino vecinal X-732 hasta donde está ubicado el depósito de vaciamiento abrupto del lago proglaciar (GLOF) Mapuche son 18,5km, este trayecto se puede recorrer en vehículo. El último tramo desde el depósito GLOF hasta la morrena frontal, son aproximadamente 6,8 km y solo se pueden recorrer en un sendero de caminata que va bordeando la ribera sur del río Leones hasta llegar a la base de la morrena ubicada a orillas del lago homónimo (5.55). El recorrido a pie tiene una duración de aproximadamente de 2 hr (solo ida).

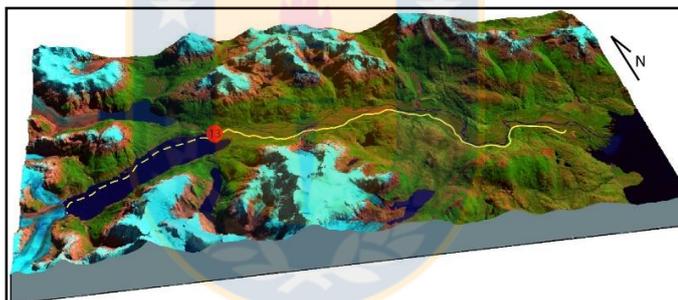


Figura 5.55. Localización de Geosítio N° 13, Morrena frontal del glaciar Leones. Línea amarilla continua y segmentada representa el recorrido de los sitios. La figura es un diagrama de pendiente basado en una imagen satelital Landsat +7, combinación de bandas 7, 4, 2.

**Descripción**

La morrena frontal del glaciar Leones se encuentra a aproximadamente a 10 km del frente del glaciar homónimo, limita por el oriente con el lago Leones y por el norte con la confluencia del río Fiero con el río Leones. Posee una morfología en forma de arco, con altura promedio aproximada de 135 m, que se extiende a lo ancho del valle por aproximadamente 7,2 km y confina el lago Leones (Figura 5.56).

El arco morrénico frontal está constituido por un segundo arco menor adosado al arco morrénico principal. Este segundo arco tiene altura de 30 m. La morrena principal está relacionada y conectada con la morrena lateral que bordea ambas riberas del lago Leones, y está erosionado o truncado por un escarpe vertical de erosión, cuya extensión es de 4 km. Este nivel de escarpe se asocia a un antiguo nivel del lago, que erosionó el sistema de morrenas laterales (evidencia de esto son los horizontes restringidos de laminación paralela de sedimentos finos encontrados en el escarpe). La generación del escarpe se ha interpretado como secuencias de varios retrabajos ocurridos durante el periodo Neoglaciario (Glasser *et al.*, 2005).

La base del arco morrénico frontal está emplazada en contacto de inconformidad sobre rocas del Batolito Norpatagónico. Estas rocas intrusivas conforman las paredes del valle glaciario Leones. Además en contacto lateral están asociadas a la morrena frontal los depósitos de descarga fluvio-glaciario que rellenan el piso del valle Leones, ubicado al este de la morrena frontal.

En la morrena frontal del glaciario Leones se identifican varias facies sedimentarias, destacando especialmente dos: i) facie de grava arenosa con bloques métricos (de hasta 7 m) mal seleccionados. Estos bloques se encuentran cercanos a la zona del lago y debido a su gran tamaño el agua no ha podido transportarlos. Los bloques están compuestos por rocas intrusivas y metamórficas inmerso principalmente en una matriz de grava arenosa, compuesta por grava (60%) y de arena media a gruesa (40%), con clastos subredondeados a subangulares (Harrison *et al.*, 2008). Esta facie es el resultado de una mezcla de diferentes procesos glaciotectónicos y de transporte glaciario, además de diferentes depósitos de sedimentos glaciares (depósitos glaciares basales, depósitos supraglaciares y depósitos fluvio-glaciares) que tienen lugar en el margen glaciario; ii) facie de grava arenosa moderadamente bien seleccionadas. Los clastos provienen de rocas intrusivas y, en menor medida, metamórficas, constituidas por gravas (70%) y arenas (30%), y presentan un índice de redondez que va de subangular a subredondeado. Esta facie correspondería a un retrabajo fluvial de depósitos fluvio-glaciares (Harrison *et al.*, 2008).

Junto con las facies antes descritas, es interesante mencionar que localmente, en los escarpes de erosión de las morrenas laterales, se tienen pequeños horizontes de laminaciones de arcilla y limo, las cuales dan cuenta de la interacción de un ambiente lacustre.

Dataciones de OSL (*Optically Stimulated Luminescence*) demuestra que la morrena frontal del glaciar Leones tendría una edad mínima de 1.100 años y una edad máxima de 2.500 años (Harrison *et al.*, 2008).

### Ilustraciones

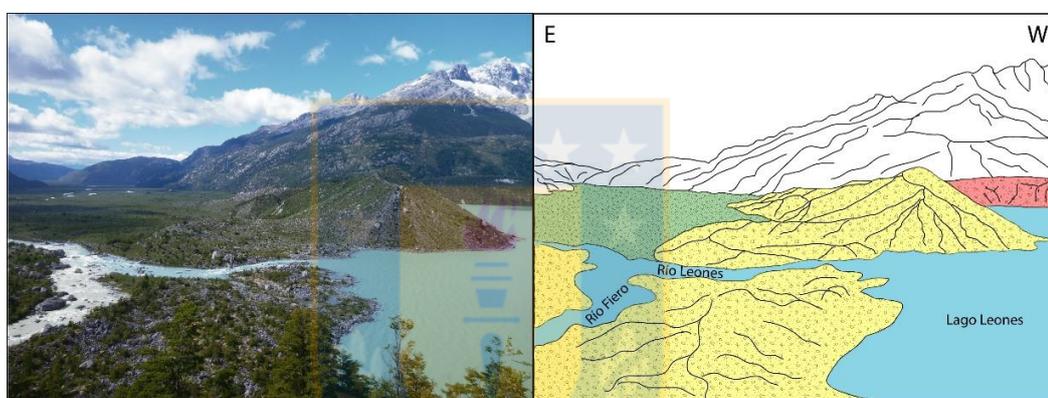


Figura 5.56. Vista hacia el sur de la morrena frontal del glaciar Leones. En amarillo se destaca la el arco morrénico frontal del glaciar Leones, en rojo se tiene la morrena lateral que conecta con la morrena frontal, y en verde corresponde al relleno del piso del valle del río Leones, compuesto por depósitos de descarga fluvio-glaciar.

### Propuesta de Intervención

Se propone efectuar estudios glaciológicos, con la finalidad de reconstruir la dinámica del periodo Neoglacial (últimos 5.000 años), en particular correlacionar los antecedentes de la morrena frontal del glaciar Leones, con las edades y dimensiones de las distintas morrenas del lado oriental de Campo de Hielo Norte.

En términos de conservación, proponer la habilitación de un acceso público al Parque Nacional Laguna San Rafael y una presencia mucho más activa de funcionarios de CONAF con una

instalación de una oficina de guardaparque con entrega de información y ayuda en caso de emergencia, para el sector de Valle Leones.

### 5.2.7 Lago Leones

N° 14	Lago Leones		
<b>Coordenadas</b>	4.823.144 N	642.494 E	<b>Altura</b> 317 m s.n.m.
<b>Localidad más cercana</b>	Puerto Río Tranquilo		<b>Comuna</b> Chile Chico
<p><b>Justificación</b></p> <p>Se seleccionó el lago Leones bajo el criterio de contenido científico, ya que corresponde al único lago de la zona oriental de Campo de Hielo Norte con estudios de batimetría y además por ser el más representativo del retroceso que han experimentado los hielos durante los últimos 2.500 años.</p>			
<p><b>Uso Actual</b></p> <p>El sitio actualmente es utilizado con fines turísticos y actividades recreacionales por guías de turismo, público en general y montañistas, que efectúan navegación del lago Leones para llegar al frente del glaciar homónimo y para las diferentes expediciones buscan ascensiones a Campo de Hielo Norte y al Monte San Valentín.</p>			
<p><b>Situación Legal</b></p> <p>El lago Leones se encuentra en el margen oriental del Parque Nacional Laguna San Rafael.</p>			
<p><b>Tipo (s) interés geológico</b></p> <p>Hidrológico, glaciológico.</p>			

### Ubicación y Acceso

Desde el cruce entre el camino vecinal X-732 con la Carretera Austral (Figura 2.1) a la morrena frontal del glaciar Leones, hay aprox. unos 25 km. El primer tramo que uno puede recorrer en vehículo es de 18,5 km, hasta donde está ubicado el depósito de vaciamiento abrupto del lago proglaciar Mapuche. Para luego continuar el segundo trayecto que es de aproximadamente 6,8 km por un sendero de caminata. Este sendero va bordeando la ribera sur del río Leones hasta llegar a la base de la morrena ubicada a orillas del lago Leones (Figura 5.57), el recorrido de esta caminata tiene una duración de aproximadamente 2 hrs (solo ida).

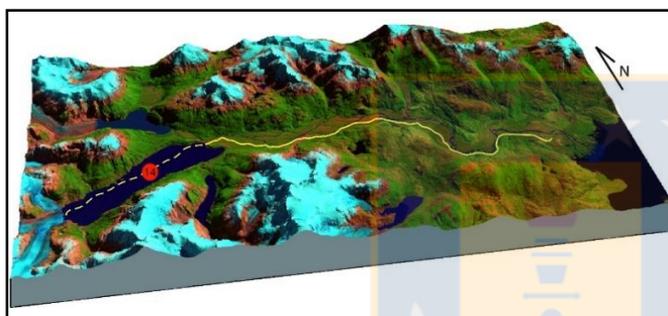


Figura 5.57. Localización de sitio N° 14, Lago Leones. Línea amarilla continua y segmentada representa el recorrido de los sitios. La figura es un diagrama de pendiente basado en una imagen satelital Landsat +7, combinación de bandas 7, 4, 2.

Si las condiciones climáticas reinantes lo permiten, es posible recorrer la totalidad del lago en bote, con motores fuera de borda. Este servicio es ofrecido por operadores turísticos que poseen embarcaciones menores en el lago Leones, el viaje tiene una duración de navegación de aproximadamente de 1 hora y 15 minutos (solo ida), esta navegación está sujeta a las condiciones climáticas en el lago.

### Descripción

El lago Leones es un lago proglaciar que tiene una orientación SW-NE, con aproximadamente. 21 km<sup>2</sup> de superficie, y sus ejes, mayor y menor de aproximadamente 10 km y 2,5 km, respectivamente. El lago limita al occidente con el frente del glaciar Leones (Figura 5.58), es confinado al oriente por la morrena frontal del mismo glaciar (con altura promedio de aproximadamente 135 m) (Figura 5.59) y en las riberas norte y sur por las morrenas laterales (con altura aproximada. de 100 m). En el borde oriental del lago convergen dos valles, el valle

del glaciar Fiero (lengua que baja desde Campo de Hielo Norte), proveniente del sector noroeste; y el valle de origen glaciar conocido como Cachorro, proveniente desde el sur.

La depresión del lago Leones fue generada por el sobrecavamiento del relieve del piso del valle, debido a la acción erosiva del hielo, el cual formó una depresión, que posteriormente fue rellenada con agua de fusión glaciar, resultado del retroceso glaciar durante los últimos 2.500 años (Harrison *et al.*, 2008).

En la actualidad, la principal fuente de alimentación del lago es la ablación del glaciar por medio de la ruptura de fragmentos de hielo en forma de iceberg (*calving*) en el frente del glaciar Leones. También es importante mencionar los aportes a la cuenca provienen desde el lago Cachorro y, en menor medida, los afluentes a través de canales fluvioglaciares de deshielo. El único drenaje del lago Leones es el río homónimo, que tiene una extensión de aproximadamente 27 km para desembocar en el lago General Carrera.

Según estudios de batimetría realizados por Harrison *et al.* (2008), el lago Leones tienen zonas con profundidades superiores a los 350 m, y se identifican tres diferentes cordones, a 3,5, 5,5 y 7 km respectivamente del frente glaciar (Figura 5.60), todos de casi 200 m de altura sobre su fondo y que corresponderían a arcos morrénicos de retroceso de menor edad que la morrena frontal.

### Ilustraciones



Figura 5.58. Vista panorámica este del lago Leones, fotografía tomada desde el frente sur del glaciar Leones.



Figura 5.59. Vista panorámica oeste del lago Leones. Se observa la morrena frontal que confina el lago Leones, el desagüe del lago (nacimiento del río Leones) y al fondo el glaciar Leones.

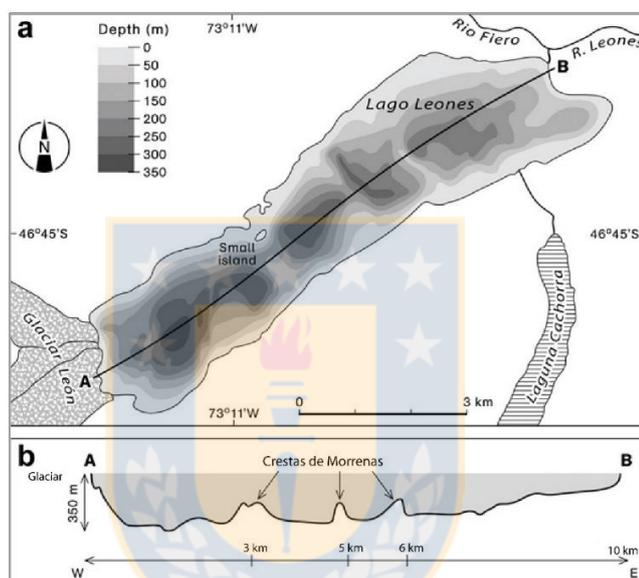


Figura 5.60. Batimetría del lago Leones y perfil de los arcos morrénicos sumergidos. a) Batimetría del fondo del lago Leones y sus respectivas curvas de nivel; b) distribución de los arcos morrénicos sumergidos. Tomado y modificado de Harrison et al., 2008.

### Propuesta de Intervención

Desde el punto de vista científico, se proponen estudios estructurales para la zona del lago Leones con el fin de caracterizar la evolución neotectónica del margen oriental de Campo de Hielo Norte.

En términos patrimoniales, se sugiere regularizar la navegación en el lago, ya que, a pesar de estar en territorio del Parque Nacional Laguna San Rafael, no se cuenta con ningún control ni

equipo de apoyo de rescate ante eventuales accidentes. Además, se sugiere la implementación de personal de CONAF en la zona del lago Leones.

Es importante mencionar que debido a las condiciones climáticas extremas que presenta regularmente el lago Leones, no se recomienda su navegación sin operadores turísticos o guías especializados.

### 5.2.8 Península del lago Leones

N° 15	Península del lago Leones			
<b>Coordenadas</b>	4.822.229 N	639.886 E	<b>Altura</b>	317 m s.n.m.
<b>Localidad más cercana</b>	Puerto Río Tranquilo		<b>Comuna</b>	Chile Chico
<p><b>Justificación</b></p> <p>Se seleccionó el sector de la península del lago Leones por la representatividad de las diversas morfologías que se observan. Ejemplos son los relieves aborregados y bloques erráticos que evidencian el efecto modelador del glaciar Leones en el paisaje circundante.</p>				
<p><b>Uso Actual</b></p> <p>La zona de la península es ocasionalmente utilizada con fines turísticos, en particular por los guías turísticos que navegan el lago Leones.</p>				
<p><b>Situación Legal</b></p> <p>La península del lago Leones se encuentra en territorio del Parque Nacional Laguna San Rafael.</p>				
<p><b>Tipo (s) interés geológico</b></p> <p>Petrológico, geomorfológico y glaciológico.</p>				

### Ubicación y Acceso

Desde el cruce entre el camino vecinal X-732 con la carretera Austral (Figura 2.1), la península del lago Leones se encuentra a aprox. unos 30 km. Entre estos 30 km, el primer tramo de aproximadamente 18,5 km, son desde el cruce hasta el depósito de GLOF de la laguna proglacial Mapuche, los cuales se pueden recorrer en vehículo; el segundo tramo de aproximadamente. 6,8 km son desde el depósito antes mencionado hasta el lago, los cuales sólo se pueden transitar a pie por un sendero que bordea la ribera sur del río Leones, hasta llegar a la base de la morrena ubicada a orillas del lago Leones (aprox. de 2 horas de caminata); luego el tercer tramo restante corresponden a 4,7 km navegables (Figura 5.61) (equivalentes aproximadamente a 45 minutos de navegación) se realizan en lancha o bote, recorriendo hasta la mitad del lago (sujeto a las condiciones climáticas en el lago).

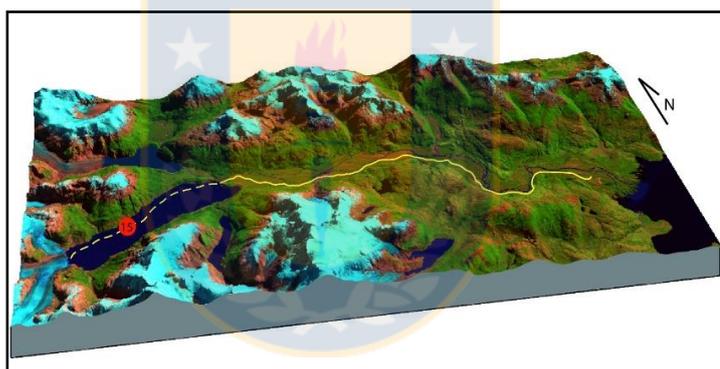


Figura 5.61. Localización de sitio N° 14, Península del lago Leones. Línea amarilla continua y segmentada representa el recorrido de los sitios. La figura es un diagrama de pendiente basado en una imagen satelital Landsat +7, combinación de bandas 7, 4, 2.

### Descripción

La península del lago Leones, tanto el lecho como las paredes del valle, está posee principalmente por rocas intrusivas calcoalcalinas pertenecientes al Batolito Norpatagónico (Pankhurst y Hervé, 1994). Corresponden a rocas de color gris y texturas hipidiomórfica granular, con un tamaño de cristales predominante de grano medio. En menor medida, también tiene rocas con cristales de cuarzo, feldespato potásico o anfíbola de grano grueso y, localmente, rocas con cúmulos de

minerales máficos. En particular, en esta zona el Batolito Norpatagónico está compuesto por tonalitas y granodioritas de biotita y anfíbol. Dataciones en K-Ar (en biotitas poco cloritizadas) entregan una edad Cretácico Inferior, específicamente de  $124 \pm 3$  Ma y de  $116 \pm 3$  Ma (Suárez y De la Cruz, 2001).

En muchas de las rocas de la península se tienen diques y vetillas aplíticos (Figura 5.64). Éstos están comúnmente compuestos de feldspatos, cuarzo y una escasa proporción de minerales máficos (biotita y/o anfíbol), todos con tamaños de cristales de grano medio a fino. En general, los diques y las vetillas tienen espesores que van desde los 5 cm a los 50 cm. Además, en muchas de las rocas y estructuras que conforman la península posee un sistema de vetillas de cuarzo con espesores que van desde los 2,5 cm a los 10 cm.

Durante la última glaciación hasta aproximada 14.600 años, esta zona estuvo cubierta por grandes campos de hielo (Heusser, 2003). Posterior a los 14.000 años comienza un retroceso de los hielos, los cuales no volvieron a avanzar hasta el periodo Neoglaciario (Mercer, 1976). Durante este último periodo se registran a lo menos 4 avances glaciares: hace 3.600 años, 2.300 años, 1.600-1.400 años y en la Pequeña edad del Hielo (Aniya, 1995).

Debido a lo antes descrito, las rocas que conforman la península han sido sucesivamente cubiertas por el hielo y sometidas a diferentes mecanismos de transporte, abrasión y sedimentación glacial, generando diversas formas de erosión. Entre estas formas, destacan especialmente los afloramientos de rocas aborregadas (Figura 5.62): *“rocas o pequeñas colinas asimétricas, orientadas aerodinámicamente a partir de protuberancias del lecho rocoso y en relación estrecha con la fracturación de éste”* (Tarbuck y Lutgens, 2003). Las rocas aborregadas se forman cuando la abrasión glacial alisa la pendiente que está en frente del hielo, y el arranque aumenta la inclinación del lado opuesto (Figura 5.62). Estas morfologías son un vestigio indicador de la antigua dirección del flujo del hielo glacial, ya que la pendiente más suave se encuentra en el lado desde el cual avanzó el hielo.

Localmente, la superficie ondulada de las rocas aborregadas que afloran en la península del lago Leones presenta una delgada capa de 0,5 a 1 m de sedimentos, siendo sus asociaciones de facies

más comunes las gravas arenosas y gravas arenosas con bloques. Probablemente, estos sedimentos deben su origen a los diferentes eventos de remociones en masa que tienen lugar en las laderas inestables de las morrenas laterales, y/o a material transportados por el hielo.

Cabe destacar que en el sector noroeste de la península posee una gran presencia de bloques erráticos sobre las rocas que constituyen la península de Leones. Estos bloques tienen dimensiones diversas que alcanzan hasta los 4 m, presentan caras facetadas y de composición tonalítica (Figura 5.63).

### Ilustraciones

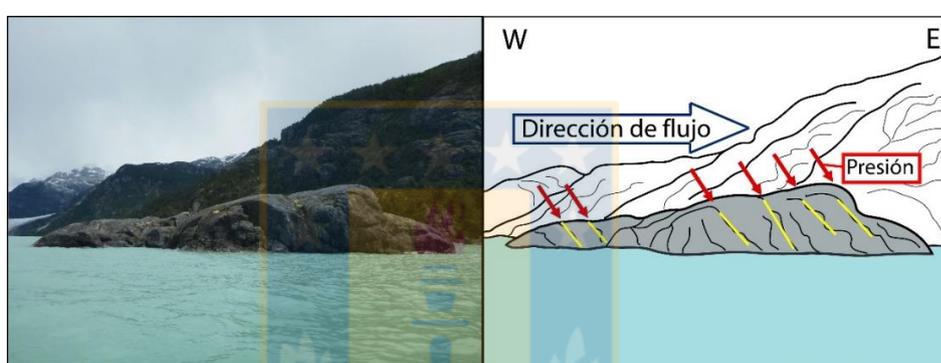


Figura 5.62. Rocas aborregadas en la península del lago Leones. El esquema muestra la relación entre la morfología de la roca aborregada y la dirección del antiguo flujo glacial. En amarillo se representan las diaclasas de tensión causadas por la presión ejercida por el hielo sobre la roca.



Figura 5.63. Bloques erráticos sobre las rocas aborregadas. Se encuentran ubicados en el sector norte de la península del lago Leones.



Figura 5.64. Rocas aborregadas de composición tonalita de anfíbol y biotita. Se tiene una serie de diques aplíticos de espesores de 10 a 60 cm, además de formas de erosión glaciar, pulido y estrías glaciar.

### Propuesta de Intervención

La zona no cuenta con mapas geológicos de detalle, por lo tanto, se propone hacer un levantamiento de la geología básica de la zona del lago Leones, junto con un estudio de dataciones radiométricas a las diferentes litologías que componen el Batolito Norpatagónico del sector oriental de Campo de Hielo Norte. Este último debiese incluir un análisis de correlación y temporalidades de las diferentes estructuras y diques identificadas en el sector del valle Leones.

### 5.2.9 Glaciar Leones

N° 16	Glaciar Leones			
<b>Coordenadas</b>	4.818.924 N	636.210 E	<b>Altura</b>	317 m s.n.m.
<b>Localidad más cercana</b>	Puerto Tranquilo		<b>Comuna</b>	Chile Chico
<b>Justificación</b>				
Se seleccionó el glaciar Leones bajo los criterios de representatividad y contenido científico, ya que corresponde a uno de los ocho principales glaciares que drenan la zona oriental de Campo de Hielo Norte, y es uno de los pocos cuerpos de hielo estudiados en la zona.				
<b>Uso Actual</b>				
El sitio es utilizado como atractivo escénico y, ocasionalmente, como ruta de acceso de montañistas para la zona oriental de Campo de Hielo Norte.				

### Situación Legal

El glaciar Leones forma parte de la zona oriental del Parque Nacional Laguna San Rafael.

### Tipo (s) interés geológico

Glaciológico, hidrológico.

### Ubicación y Acceso

Desde el cruce entre el camino vecinal X-732 con la carretera Austral (Figura 2.1), la península del lago Leones se encuentra aproximadamente a unos 30 km. El primer trayecto es de aproximadamente 18,5 km, corresponde desde el cruce con el camino vecinal X-732 con la carretera Austral hasta el depósito de GLOF de la laguna proglaciar Mapuche, este tramo se puede recorrer en vehículo 4x4; el segundo tramo, corresponde a una distancia aproximada de 6,8 km, los cuales sólo se pueden transitar a pie por un sendero que bordea la ribera sur del río Leones, este trayecto es desde el depósito de GLOF ya mencionado anteriormente hasta llegar a la base de la morrena ubicada a orillas del lago Leones, tiempo de duración aproximadamente 2 hrs; luego el tercer tramo se debe navegar en bote, recorriendo aproximadamente 10 km (equivalentes en tiempo a 1 hora y 20 minutos) hasta el frente del glaciar (Figura 5.65). Esta navegación está sujeta a las condiciones climáticas en el lago Leones.

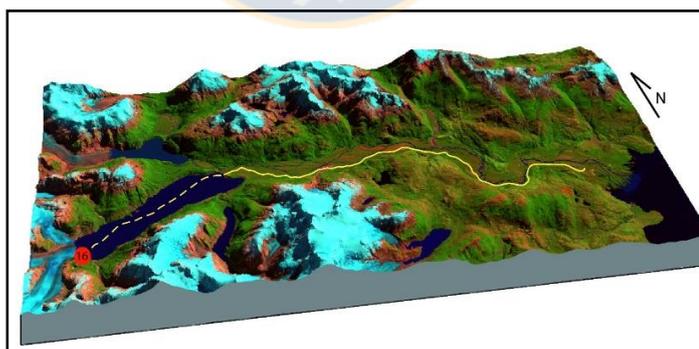


Figura 5.65. Localización de sitio N° 16, Glaciar Leones. Línea amarilla continua y segmentada representa el recorrido de los sitios La figura es un diagrama de pendiente basado en una imagen satelital Landsat +7, combinación de bandas 7, 4, 2.

## Descripción

El glaciar Leones es uno de los 8 principales glaciares que drenan hacia el lado oriental de Campo de Hielo Norte. Tiene una superficie de 44,5 km<sup>2</sup>, extensión longitudinal de 11,4 km y, ya que posee la temperatura de fusión del hielo en toda su masa, se clasifica como de tipo templado. Su zona de acumulación se localiza sobre el *plateau* de Campo de Hielo Norte, a una altura máxima de 3.000 m s.n.m., y su línea de equilibrio se encuentra aproximadamente a 1.350 m s.n.m., siendo su radio de área de acumulación igual a 0,67 (Aniya, 1988).

Una de sus particularidades y fuente de gran atractivo escénico del glaciar Leones, es el hecho de estar conformado por tres lenguas de hielo (Leones Norte, Leones Central y Leones Sur); Leones Norte tiene una orientación SSE-NNW, con una longitud aproximada de 2 km y un ancho de 1 km; Leones Central tiene una orientación W-E, presenta una longitud de 5 km y un ancho de 1,5 km; Sur presenta una orientación NNE-SSW y posee aproximadamente las mismas dimensiones que la lengua de hielo anterior. Estos tres glaciares de valle convergen a una altitud aproximada de 750 m s.n.m., formando un solo gran glaciar, que termina en un frente de ablación tipo *calving* en el lago Leones, a una altitud de 317 m s.n.m. La pendiente de caída desde Campo de Hielo hasta la zona terminal a orillas del lago es de 15° (Harrison *et al.*, 2008) (Figura 5.66).

La zona terminal baja del glaciar tiene un ancho total de frente aproximado de 1,3 km, con una pared conformada por abruptos acantilados que exhiben una altura promedio de hielo de aproximadamente 35 m (Figura 5.67). Comparado con la zona terminal alta, la zona baja muestra un aumento abrupto de la pendiente y de grietas glaciares. Actualmente en zonas del frente glaciar en la ribera sur, el hielo ha quedado colgado y no existe contacto directo con el lago. Se estima si continua el retroceso glaciar existiría un cese de la ablación por *calving* (Aniya, 1988) (Figura 5.67). Otra característica notoria de la zona terminal baja es la ausencia de sedimentos morrénicos, y la presencia de una morrena central-lateral que divide los afluentes Leones Norte y Leones Central, la cual desciende y termina en el lago proglaciar.

En todo el frente del glaciar (Figura 5.66) la dinámica del hielo erosionando el terreno fundamentalmente de dos maneras, por medio del arranque y por abrasión. El arranque es

producto al proceso de gelificación, cuando el agua de fusión penetra en las grietas y en las diaclasas del lecho de roca del fondo del glaciar. En la medida que esta agua se congela, aumenta su volumen y actúa como una enorme palanca que suelta y levanta la roca. El mecanismo de arranque permite que sedimentos de todos los tamaños entren y formen parte de la carga del glaciar. Por su parte, la abrasión es un proceso simultáneo al de arranque, y se produce en la medida que el hielo y su carga de fragmentos de roca se desliza sobre el lecho rocoso, desgastando y puliendo la superficie de las rocas. En las rocas aledañas al glaciar (Figura 5.68) varias formas de abrasión, tales como estrías, surcos, marcas concéntricas y canales de deshielo.

El glaciar Leones habría formado la morrena frontal a los 2.500 años (subcapítulo 5.2.6) (Harrison *et al.*, 2008) y durante la última etapa del periodo Neoglacial (5.000 años AP), el arco frontal habría sido sometida a reiterados eventos de retrabajo (Glasser *et al.*, 2005). Posterior a la formación de la morrena frontal, tiene diferentes etapas de estacionamiento durante el retroceso que tiene registro el glaciar leones hasta los días de hoy, vestigio de esto, son las morrenas de retroceso ubicadas en el fondo del lago Leones (subcapítulo 5.2.7, Figura 5.60), se les asigna una edad relativa desde hace 1600 a 1900 años y corresponderían al periodo frío denominado la Pequeña Edad del Hielo (PEH), ubicados a unos 3,5 km del frente del glaciar actual se estima que el máximo avance de la PEH se produjo en el año 1867 y posteriormente en 1870 se inicia un periodo de retroceso rápido y continuo. Luego existen diferentes periodos de variaciones, donde la generalidad es la tendencia de un retroceso continuo, entre los años 1945-1991 retrocede aproximadamente 300 m, para luego en los años 1994 a 1999 se tiene un reavance, y entre los años 1999-2000, se registra un retroceso de más de 1 km. Según Haresign y Warren (2005), la dinámica del glaciar Leones está condicionada por, el frente del glaciar de tipo *calving* y las características del relieve del lecho rocoso existentes en el valle Leones.

## Ilustraciones



Figura 5.66. Vista oeste del frente del glaciar Leones. Hacia la ribera sur se observa parte del glaciar sin contacto directo con el lago Leones, y hacia la ribera norte se observa ablación tipo calving.

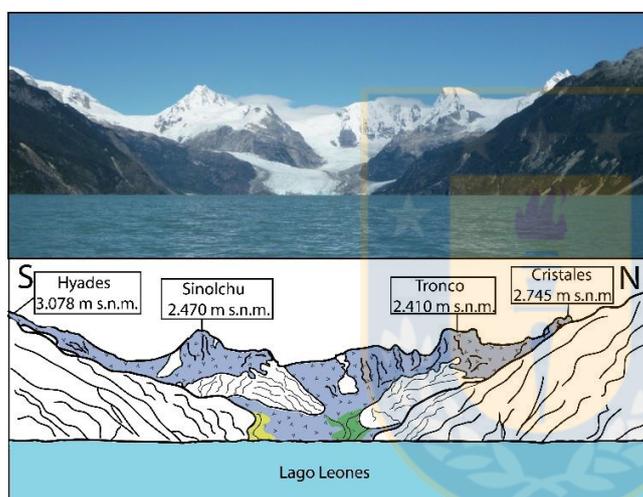


Figura 5.67. Vista hacia el glaciar Leones. En la figura se indican las cumbres de mayor altura que rodean al glaciar. En azul se aprecian las lenguas de hielo (Norte, Central y Sur) que convergen y caen al lago Leones. Además en amarillo, se observa la morrena lateral norte y en color verde se tienen las morrenas superficiales de la zona central del frente glaciar Leones.



Figura 5.68. Modelados de abrasión glaciar en la ribera sur del frente del glaciar leones. Se observan surcos, sacados concéntricos, estrias y rayados glaciares, además de diferentes depósitos de morrenas superficiales sobre el lecho rocoso.

**Propuesta de Intervención**

Se sugiere realizar estudios glaciológicos complementarios a los ya existentes, como por ejemplo de espesor de la capa glaciaria (georradar) y de retroceso de la lengua de hielo a través de imágenes satelitales.

Sumado también, a una propuesta de carta geológica de las diferentes rocas que conforman los cerros y nunatack de la franja oriental de Campo de Hielo Norte.



## 6. CUANTIFICACIÓN

Como se explica en detalle en el capítulo introducción, subcapítulo 1.4 Metodología, para facilitar futuros planes de manejo de conservación para los diferentes sitios geológicos de especial valor científico seleccionados y caracterizados en los valles Exploradores y Leones (u otros en la cuenca del lago General Carrera), posterior a la realización del inventario, se efectuó una cuantificación de potenciales usos científico, turístico y riesgo de degradación de cada lugar.

### 6.1 VALORIZACIÓN CUANTITATIVA

La metodología utilizada es una adaptación de los trabajos de Garcia-Cortés y Carcavilla (2009) y Brilha (2016) que, a modo referencial, es posible resumir de la siguiente manera: i) cada uno de los potenciales usos y el riesgo de degradación se evalúan mediante 17 parámetros (se describen en la Tabla 6.1); ii) cada uno de los parámetros presenta tres indicadores o alternativas que reflejan las diferentes realidades contenidas en los temas condicionados por cada parámetro; iii) cada una de estas alternativas está valorada por diferentes puntajes numéricos de (1, 5 y 10), para los diferentes geositos inventariados en las zonas de Campo de Hielo Norte y de la Cuenca del lago General Carrera.

Tabla 6.1. Descripción de los parámetros cuantitativos de evaluación.

N°	Parámetro	Descripción
1	Representatividad	Refleja la cualidad del geosito para mostrar adecuadamente las características de un elemento, rasgo o proceso geológico particular, de la categoría temática o área de estudio analizada.
2	Rareza	Refleja la importancia del geosito, en términos de la escasez de elementos, rasgos o procesos geológicos similares, en la categoría temática o área de estudio analizada.
3	Referencias bibliográficas	Informa el grado de interés geológico que hacen del geosito, un objeto de publicaciones científicas, y/o estima su potencial para futuras investigaciones.
4	Integridad	Son lugares donde se definieron por primera vez formaciones, se extrajeron muestras que dieron lugar a la primera descripción de un mineral, etc. Refleja

		la importancia del geositio, por ser una referencia en alguna especialidad de la geología a nivel nacional o internacional.
5	Localidad Tipo	Refleja el grado de preservación de las características de interés del geositio.
6	Diversidad geológica	Refleja la cantidad de elementos de interés geológicos en el entorno del geositio.
7	Limitaciones de uso	La existencia de obstáculos (físicos o legales) que dificulten el uso regular para los diferentes usos (científico, turístico).
8	Condiciones de observación	Refleja el grado de facilidad que tiene el entorno, para la adecuada visualización del geositio.
9	Accesibilidad	Informa el grado de dificultad para acceder al geositio.
10	Valoración estética	Estima la opinión de la comunidad sobre la belleza estética del geositio.
11	Seguridad	Refleja el grado de riesgo o peligro que presenta la observación del geositio.
12	Entorno recreativo	Refleja el potencial turístico del geositio, asociado a la cercanía de zonas de interés ecoturísticas.
13	Uso Actual	Refleja el uso (científico y turístico) que se le asigna por la sociedad en general.
14	Vulnerabilidad	Refleja la vulnerabilidad del geositio frente a un potencial uso humano no industrial.
15	Protección legal	Indica el régimen legal de la propiedad del terreno en que se localiza el geositio.
16	Fragilidad Intrínseca	Refleja la fragilidad del geositio frente a los procesos naturales no antrópicos (meteorización, inundaciones, etc.) presentes en el área de estudio.
17	Interés para la industria	Refleja el actual o potencial interés económico industrial del geositio.

En consecuencia, el puntaje final obtenido, para cada lugar de interés y en cualquiera de los usos y riesgo de degradación, es la suma ponderada de los 17 parámetros, siendo el puntaje mínimo posible 100 puntos y el máximo 1.000. En la Tabla 6.2 se describen los 17 parámetros con sus respectivas alternativas y ponderaciones (en azul la ponderación del Uso Científico, en amarillo la ponderación del Uso Turístico y en rojo la ponderación de Riesgo Degradación).

Tabla 6.2. Parámetros cuantitativos de evaluación, con sus respectivas ponderaciones y alternativas. En azul se destaca la ponderación del Uso Científico, en amarillo la ponderación del Uso Turístico y en rojo la ponderación del Riesgo Degradación.

<b>1.- Representatividad (x 30 x 0 x 0)</b>	<b>Puntos</b>
Útil como modelo para representar parcialmente un elemento, rasgo o proceso geológico particular.	1
Útil como modelo para representar, en su totalidad, un elemento, rasgo o proceso geológico.	5
Mejor ejemplo conocido, a nivel del área de estudio y/o del área temática considerada, para representar en su globalidad un elemento, rasgo o proceso geológico particular.	10
<b>2.- Rareza (x 25 x 0 x 0)</b>	<b>Puntos</b>
El geositio es un elemento, rasgo o proceso geológico común en la zona de estudio o área temática analizada.	1
El geositio es un elemento, rasgo o proceso geológico muy escaso en la zona de estudio o área temática analizada.	5
No existe otro elemento, rasgo o proceso geológico de similares características en la zona de estudio o área temática analizada.	10
<b>3.- Referencias Bibliográficas (x 20 x 0 x 0)</b>	<b>Puntos</b>
El geositio es analizado en 1 tesis o publicación científica nacional	1
El geositio es analizado en 2 o más tesis o publicaciones científicas nacionales	5
El geositio es analizado en 2 o más tesis o publicaciones científicas nacionales, en al menos 1 publicación científica internacional, o aún no ha sido objeto de estudios, pero especialistas reconocen en él, un gran potencial científico.	10
<b>4.-Integridad (x 10 x 0 x 10)</b>	<b>Puntos</b>
El geositio está gravemente deteriorado, pero todavía conserva alguna de sus características de interés. No es factible mejorar esta condición.	1
El geositio está con algún grado de deterioro, siendo factible mejorar esta condición.	5
El geositio está prácticamente integro, no siendo necesario mejorar su estado de conservación.	10
<b>5.-Localidad Tipo (x 5 x 0 x 0)</b>	<b>Puntos</b>
No posee reconocimiento de Localidad Tipo.	1
No tiene reconocimiento formal de localidad tipo, sin embargo, es reconocido a nivel regional o nacional.	5
Reconocimiento formal como localidad tipo nacional o internacional.	10
<b>6.-Diversidad Geológica (x 5 x 0 x 0)</b>	<b>Puntos</b>
Además de interés geológico principal, el geositio tiene otro interés geológico secundario.	1
Además de interés geológico principal, el geositio tiene 2 intereses geológicos secundarios.	5
Además del interés geológico principal, el geositio posee 3 o más intereses geológicos secundarios.	10
<b>7.- Limitaciones de Uso (x 5 x 15 x 5)</b>	<b>Puntos</b>
El geositio se localiza en un terreno factible de visitar, pero mediante autorización previa y pago de entrada.	1

El geositio se localiza en un terreno factible de visitar, pero mediante autorización previa o pago de entrada.	5
El geositio se localiza en un terreno de libre acceso.	10
<b>8.-Condiciones de Observación (x 0 x 10 x 0)</b>	<b>Puntos</b>
El geositio tiene elementos externos que lo enmascaran, sin embargo, todavía es posible apreciar algunas de sus características de interés. No es factible mejorar esta condición.	1
El geositio posee algunos elementos externos que lo enmascaran, sin embargo, todavía es posible apreciar algunas de sus características de interés. Es factible mejorar esta condición.	5
Todos los elementos de interés del geositio son fácilmente observables, no siendo necesario implementar medidas para mejorar su visibilidad.	10
<b>9.-Accesibilidad (x 0 x 10 x 5)</b>	<b>Puntos</b>
El geositio es accesible mediante navegación en bote o embarcación menor.	1
El geositio es solamente accesible a pie, después de un recorrido de mediana a baja dificultad de 15 -1 km de distancia.	5
El geositio es accesible directamente en auto, o después de menos de 1 km de recorrido de mediana o baja dificultad.	10
<b>10.- Valoración Estética (x 0 x 30 x 0)</b>	<b>Puntos</b>
El evaluador considera que el geositio posee belleza estética sobresaliente.	1
El geositio es utilizado en la iconografía turística del área de estudio, siendo reconocido por su valor estético a nivel regional.	5
El geositio es utilizado habitualmente en la iconografía turística de Chile, como un ejemplo de la belleza del país.	10
<b>11.-Seguridad (x 0 x 15 x 0)</b>	<b>Puntos</b>
El geositio posee grado elevado de potenciales peligros (movimiento de tierras, acantilados, cursos de agua de muy rápido flujo, etc.) para los visitantes. Es necesario implementar medidas de mitigación antes de permitir su uso turístico y/o educativo.	1
El geositio posee grado moderado de potenciales peligros (terreno irregular, muy inclinado, resbaladizo, etc.) para los visitantes. Es necesario tener precaución cuando es usado con fines turísticos y/o educativos.	5
El geositio presenta un peligro potencial para los visitantes muy escaso o nulo.	10
<b>12.- Entorno Recreativo (x 0 x 10 x 5)</b>	<b>Puntos</b>
El geositio se encuentra entre 30-10 km de un área donde hacer habitualmente alguna una actividad recreativa asociada a la naturaleza (rafting, esquí, baños termales, etc.).	1
El geositio se encuentra a menos de 10 km de un área donde hacer habitualmente alguna una actividad recreativa (rafting, esquí, tomar baños termales, etc.).	5
El geositio es usado habitualmente para hacer alguna actividad recreativa (rafting, esquí, baños termales, etc.).	10
<b>13.- Uso actual (x 0 x 10 x 5)</b>	<b>Puntos</b>
El geositios no tiene divulgación ni uso actual.	1
El geositio es promovido como lugar de interés geológico, cultural, natural o paisajístico.	5
El geositio posee conexión a rutas y servicios ofrecidos por guías u operadores turísticos (cabalgatas, trekking, etc.).	10

<b>14.-Vulnerabilidad (x 0 x 0 x 30)</b>	<b>Puntos</b>
El geositio no posee deterioro de los elementos geológicos por la actividad antrópica.	1
Existe la posibilidad de deterioro de los principales elementos geológicos por la actividad antrópica.	5
Existe la posibilidad de deterioro de todos los elementos geológicos por la actividad antrópica.	10
<b>15.- Protección Legal (x 0 x 0 x 20)</b>	<b>Puntos</b>
El geositio se localiza en un área protegida por sus valores naturales, que cuenta con un control sistemático y eficiente de los visitantes.	1
El geositio se localiza en un área protegida por sus valores naturales.	5
El geositio se encuentra en un área sin ningún estatus de protección.	10
<b>16.- Fragilidad Intrínseca (x 0 x 0 x 10)</b>	
El geositio posee vulnerabilidad baja frente a los procesos naturales no antrópicos (inundaciones, remociones en masa, erosión, etc.), no siendo necesario implementar medidas de mitigación.	1
El geositio posee moderada vulnerabilidad frente a los procesos naturales no antrópicos (erosión, inundaciones, etc.), pero en una escala que no compromete su integridad a corto plazo. Las posibles transformaciones pueden ser mitigadas con medidas simples.	5
El geositio tiene vulnerabilidad frente a los procesos naturales no antrópicos (erosión, inundaciones, etc.), en una escala que compromete su integridad a corto plazo.	10
<b>17.-Interés para la Industria (x 0 x 0 x 10)</b>	
El geositio posee elementos o sustancias de moderado o escaso interés económico, de los cuales ya hay explotaciones en el área de estudio.	1
El geositio posee elementos o sustancias de gran interés económico, de las cuales ya hay explotaciones en el área de estudio.	5
El geositio posee elementos o sustancias de gran interés económico, de los cuales no hay explotaciones en el área de estudio.	10

## 6.2 RESULTADOS DE LA CUANTIFICACIÓN

A continuación, se muestra las tablas 6.3 y 6.4 que recapitulan las alternativas o indicadores escogidos para cada geositio del área de estudio y los puntajes finales para cada uno de los 17 parámetros, de acuerdo a los tres puntajes posibles (1, 5 y 10).

Tabla 6.3. Resultados de la etapa de cuantificación para cada sitio seleccionado.

Puntajes de Cuantificación para cada Geositio	Representatividad	Rareza	Referencias Bibliográficas	Integridad	Localidad Tipo	Diversidad Geológica	Limitaciones de Uso	Condiciones de Observación	Accesibilidad	Valoración Estética	Seguridad	Entorno Recreativo	Uso Actual	Vulnerabilidad	Protección Legal	Fragilidad Intrínseca	Interés para la Industria
Santuario de la Naturaleza Capillas de Mármol	10	10	1	5	1	5	5	10	1	10	5	10	10	10	5	10	5
Cantera de Mármol	5	1	1	1	1	5	10	10	10	1	5	1	1	5	10	5	5
Contacto Batolito Norpatagónico y CMAO	1	1	5	10	1	1	5	5	10	1	10	1	1	1	10	1	1
Pared Truncada del río Norte	10	1	1	10	1	5	10	10	10	5	5	1	1	10	10	1	1
Falla y Dique del lago Bayo	10	1	1	10	1	1	10	5	1	1	5	1	1	1	10	5	1
Glaciar Exploradores y sus sistemas de morrenas frontales	5	10	10	10	1	5	5	10	10	10	5	5	10	1	5	5	1
Macizo del Chileno	5	10	1	10	1	10	5	10	5	1	1	1	1	1	5	1	1
Delta del río Leones	10	5	5	1	5	10	5	5	10	1	10	1	5	1	10	1	1
Plutón El León	10	10	10	10	5	5	5	10	5	1	10	1	5	1	10	1	5
Depósitos eólicos del valle río Leones	10	5	5	5	5	10	5	10	10	1	10	1	1	10	10	5	1
Depósitos de paleodeltas del río Meliquina	5	1	1	1	1	1	5	1	5	1	10	1	1	1	10	1	1
Depósito de vaciamiento abrupto del lago proglaciar Mapuche	10	10	10	10	1	10	5	10	10	1	5	1	5	1	10	10	1
Morrena frontal del glaciar Leones	5	1	10	10	10	1	5	10	5	5	5	1	5	1	5	1	1
Lago Leones	1	1	10	10	1	5	10	10	5	1	5	1	10	5	5	5	1
Península del lago Leones	1	5	1	10	1	5	5	10	1	1	5	1	10	1	5	5	1
Glaciar Leones	5	10	10	10	1	5	5	10	1	5	5	10	10	5	5	5	1

Tabla 6.4. Puntajes finales y ranking de los puntajes con respecto a los Usos Científicos, Turístico y de Riesgo Degradación, para cada geositio. En color verde se resaltan los 4 primeros puntajes de Uso Científico, en amarillo de Uso Turístico y en rojo de Riesgo de Degradación. P= Puntaje; R= Ranking.

Geositio	Valor Científico		Valor Turístico		Riesgo de Degradación	
	P	R	P	R	P	R
Santuario de la Naturaleza Capillas de Mármol	675	4°	760	1°	730	1°
Cantera de Mármol	285	14°	475	6°	570	3°
Contacto Batolito Norpatagónico y CMAO	315	13°	425	9°	475	6°
Pared Truncada del río Norte	500	9°	595	3°	730	1°
Falla y Dique del lago Bayo	505	8°	335	12°	495	7°
Glaciar Exploradores y sus sistemas de morrenas frontales	755	3°	740	2°	420	9°
Macizo del Chileno	550	7°	290	13°	310	15°
Delta del río Leones	635	5°	465	8°	365	12°
Plutón El León	925	2°	465	8°	470	8°
Depósitos eólicos del valle río Leones	675	4°	475	7°	695	2°
Depósitos de paleodeltas del río Meliquina	240	15°	335	12°	410	10°
Depósito de vaciamiento abrupto del lago proglaciar Mapuche	930	1°	440	10°	545	4°
Morrena frontal del glaciar Leones	555	6°	510	5°	330	14°
Lago Leones	435	11°	440	10°	355	13°
Península del lago Leones	330	12°	400	11°	375	11°
Glaciar Leones	755	3°	560	4°	540	5°

Los resultados finales que se exponen la tabla 6.4 indican el puntaje final ponderado y el ranking para cada uno de los usos específicos, Científico, Turístico y Riesgo Degradación. A modo de aclarar la metodología, se presenta un ejemplo a continuación, para calcular el valor científico del sitio Plutón El León, se tomaron en cuenta los parámetros que considera el uso científico (representatividad, rareza, referencia bibliográfica, integridad, localidad tipo, diversidad geológica, limitaciones de uso) y los puntajes obtenidos para cada uno de estos parámetros (Tabla 6.3) los cuales pueden ser 1, 5 o 10, de acuerdo a lo descrito en el subcapítulo 6.1. Luego a la asignación de estos puntajes, el número obtenido se debe multiplicar por su ponderación, por ejemplo,

representatividad, la cual pondera con 30, entonces en el caso de Plutón El León sería  $30 \times 10$ , lo que nos daría un puntaje de 300 para representatividad. Esta metodología se aplica para cada uno de los puntajes obtenidos en cada parámetro que ponderan en Uso Científico. Una vez hecho lo anterior, se realiza la sumatoria de los puntajes obtenidos, dando como resultado el puntaje final para el geositio, que en este caso es de 925 puntos.

A partir de los puntajes finales obtenidos se pueden obtener distintas interpretaciones. En el caso de riesgo de degradación, el cual está destacado en rojo, permite identificar el estado de conservación que presentan los geositios y se evidencia la urgente necesidad de instaurar medidas para su conservación. Del mismo modo, se encuentran destacados en verde los geositios que presentaron un mayor puntaje con respecto al uso científico, el cual nos da un indicador que permite establecer la actual importancia científica que posee el geositio, haciendo una estimación de la importancia de preservar estos lugares con fines científicos, debido a su relevancia a nivel nacional o internacional. Asimismo, en amarillo se destaca el uso turístico, el cual da cuenta del potencial que presentan y el actual uso recreativo, turístico y cultural de los geositios, ya sea de una forma directa (personas que decidan ir a visitar los geositios turísticamente) o indirecta, a través de operadores locales de turismo que puedan utilizar estos geositios como un circuito turístico, o que las localidades cercanas se vean beneficiadas por el aumento de actividades económicas asociada a estas actividades.

Sin embargo, los datos obtenidos son un complemento para futuras líneas bases que contemplen la conservación de los diferentes inventariados en la zona de estudio. Además de ser propuesta para futuros planes de manejo y ordenamientos territoriales.

### **6.3 ANÁLISIS DE RESULTADOS**

La selección de los sitios de interés geológico en este estudio, se basó en la metodología que buscó que todos los elementos y/o procesos de la geodiversidad estuviesen homogéneamente representados (e idealmente no repetidos), también se consideró la accesibilidad, como criterio intrínseco impuesto por las condiciones geográficas de la zona de estudio. Sin embargo, los

criterios que prevalecieron son los expuestos por Brilha (2016) para evaluar el verdadero valor científico que poseen respectivamente cada lugar inventariado.

Como resultado del proceso antes nombrado, se seleccionaron 16 lugares de especial valor científico (geositio), 7 en valle Exploradores y 9 en el valle Leones, los cuales, según el objetivo y metodología empleada en este trabajo, son el patrimonio geológico de mayor valor científico.

Posterior al proceso de selección y caracterización de los diferentes sitios de interés geológico inventariados, con el fin de facilitar futuros planes de conservación de los diferentes sitios de interés científicos, fueron evaluados cuantitativamente, considerando la metodología basada y modificada en García-Cortés y Carcavilla (2009) y Brilha (2016), los valores científicos, turísticos y riesgo de degradación de los diferentes sitios inventariados. En la tabla 6.5 se tiene un ranking resumen con los mayores 4 mayores puntajes para cada valor.

Tabla 6.5. Resumen de los 4 geositios con mayor puntaje, para los valores científico, turístico, y riesgo de degradación.

Ranking	Valor Científico	Valor Turístico	Riesgo de degradación
1°	Depósito de vaciamiento abrupto del lago proglaciar Mapuche	Santuario de la Naturaleza Capillas de Mármol	Santuario de la Naturaleza Capillas de Mármol - Pared truncada del río Norte
2°	Plutón El León	Glaciar Exploradores y sus sistemas de morrenas frontales	Depósitos eólicos del valle río Leones
3°	Glaciar Leones- Glaciar Exploradores y sus sistemas de morrenas frontales	Pared truncada del río Norte	Cantera de Mármol
4°	Santuario de la Naturaleza Capillas de Mármol - Depósitos eólicos del valle río Leones	Glaciar Leones	Depósito de vaciamiento abrupto del lago proglaciar Mapuche

Respecto a los resultados obtenidos para el valor científico, cinco geositios obtuvieron puntajes superiores a la media y solo tres sitios obtuvieron valores inferiores a la media, recalando el

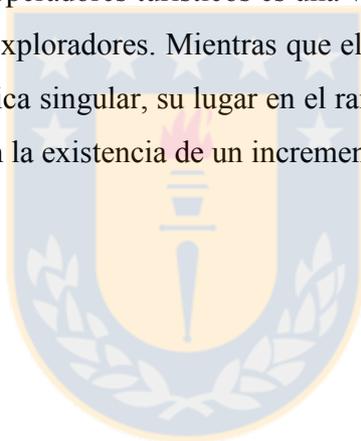
potencial valor científico de cada uno de los sitios cuantificados. Los dos primeros puntajes obtenidos corresponden a los geositorios de Depósito de vaciamiento abrupto del lago proglaciar Mapuche y Plutón El León, estos sitios tienen numerosos estudios y por consiguiente de mayor relevancia científica, el primero del ranking es el registro más íntegro del fenómeno de vaciamiento abrupto de lago proglaciar, mientras que el segundo es el único intrusivo Paleozoico que intruye al Complejo Metamórfico Andino Oriental y acota la edad de las unidades litológicas de la zona del lago General Carrera. Estos resultados demuestran que los porcentajes de cuantificación para cada parámetro para el uso potencial científico, son verosímiles con la realidad de cada uno de los sitios inventariados.

Sin embargo, llama la atención el ranking de los sitios, Santuario de la Naturaleza Capillas de Mármol, Glaciar Exploradores y su sistema de morrenas frontales y la morrena frontal del glaciar Leones, estos sitios poseen varios estudios científicos, pero fueron valorados en su conjunto por otros parámetros como ejemplo, rareza, representatividad y localidad tipo entre otras. Sumado a esto, la posición en el ranking del Depósitos eólicos del valle río Leones, presenta un gran valor científico, pero presenta una valorización principalmente al uso potencial económico.

Considerando los resultados de riesgo de degradación los puntajes obtenidos (Tabla 6.5) concuerdan con la evaluación y a los porcentajes asignados para cada parámetro, esto se podría explicar debido a que casi todos los sitios poseen un cierto nivel de riesgo de degradación intrínseco sometido a erosión constante, sin embargo, en la mayoría de los casos esto no compromete la integridad de los lugares a corto plazo. A excepción de los geositorios Depósitos eólicos del valle río Leones y Cantera de mármol, ya que contienen elementos que son de gran interés para la industria minera de no metálicos, por lo que aumenta su vulnerabilidad e integridad. Sin embargo, los geositorios que obtuvieron mayores puntajes son el Santuario de la Naturaleza Capillas de mármol y Pared truncada del río Norte por consecuencia de que son áreas turísticas con mayor afluencia de personas, y por lo tanto con un mayor deterioro debido a la presencia humana. Sin embargo, del total se sitios evaluados, existen solo cuatro sitios que se encuentran a orilla de camino y de acceso público parcial, como son, la Cantera de Mármol, Pared truncada del río Norte, Delta del río Leones y los Depósitos eólicos del valle del río Leones. Además, se tiene que seis de los sitios inventariados se encuentran bajo la administración de privados, necesitando autorización previa para el ingreso.

Sumado a esto, existen seis sitios que se encuentran bajo la administración del Parque Nacional Laguna San Rafael.

En cuanto a los puntajes obtenidos en el ranking del valor turístico, los primeros lugares (Tabla 6.5) corresponden a los lugares con mayor frecuencia de visitas de turísticas, y dan cuenta que los porcentajes asignados, son evidencia de la realidad existente para cada sitio. El primer sitio del ranking corresponde al Santuario de la Naturaleza Capillas de Mármol y es uno de los iconos turísticos regionales y es uno de los lugares más visitados de la Región de Aysén. Mientras que para el segundo lugar es el glaciar Exploradores y su sistema de morrenas terminales, es uno de los glaciares con mayor accesibilidad de la zona nororiental de Campo de Hielo Norte. Mientras que para el sitio con el tercer mejor puntaje, es un tanto desconocido actualmente para la comunidad local, pero para los diferentes operadores turísticos es una visita obligada dentro de la ruta X-728 que se dirige hacia el glaciar Exploradores. Mientras que el glaciar Leones corresponde a uno de los glaciares con belleza escénica singular, su lugar en el ranking se debe a que la accesibilidad y la escasa divulgación dificultan la existencia de un incremento de visitantes.



## 7. INICIATIVAS DE PROTECCION Y DIVULGACION

Las iniciativas de protección y de divulgación se realizaron sobre el Santuario de la Naturaleza Capillas de Mármol (desde ahora Santuario) (Figura 5.11), ubicado en la ribera suroeste del lago General Carrera, el sitio más al oriente seleccionado en el valle glaciar Exploradores (Figura 5.9). Esta decisión se justifica porque el Santuario: i) obtuvo el primer lugar en la cuantificación de uso turístico y riesgo de degradación (Tabla 6.4); ii) posee un valor sobresaliente en términos científico, escénico, económico y de identidad, en particular para todas las comunidades alojadas en la cuenca del lago General Carrera y especialmente para las localidades de Puerto Río Tranquilo, Puerto Sánchez y Puerto Guadal; iii) hasta la fecha, es el único lugar de interés geológico en toda la cuenca del lago reconocido como patrimonio geológico de relevancia nacional por la Sociedad Geológica de Chile.

### 7.1. PROTECCIÓN

Como se explica en el capítulo 6, el Santuario es un lugar vulnerable por diversos motivos, entre los cuales es importante destacar: 1) debido a que no cuenta con un plan de manejo, las actividades turísticas y recreativas en el Santuario no están reguladas, siendo la mayoría de ellas perjudiciales para su integridad (como por ejemplo la práctica de escalada deportiva, extracción de fragmentos de rocas, remoción de estalactitas y estalagmitas, entre otras); 2) el documento declaratorio (N° 281/1994<sup>13</sup>) del Santuario es ambiguo e impreciso respecto a sus límites, lo cual constituye una amenaza a los elementos patrimoniales del mismo. Algunos ejemplos que explicitan la situación antes descrita son:

- El documento N° 281/1994 declara Santuario “...numerosos puntos del grupo de islas denominadas Panichini...”. Estas islas se encuentran frente a la localidad de Puerto Eulogio Sánchez, y no abarcan las pequeñas islas por toda la comunidad identificadas como parte del Santuario (la “Catedral” y las dos “Capillas”).

<sup>13</sup> [http://www.monumentos.cl/consejo/606/articles-36719\\_documento.pdf](http://www.monumentos.cl/consejo/606/articles-36719_documento.pdf)

- El documento N° 281/1994 declara que el área del Santuario tiene “...una superficie aproximada de 50 hectáreas...”. Utilizando sistemas de información geográfica es posible comprobar que ninguna superficie, ya sean estas la “Catedral”, las “Capillas”, las Islas Panichini o alguna combinación de ellas, corresponde a las 50 hectáreas mencionadas.
- Actualmente un privado está transformando una de las islas Panichini en una casa-mirador. Este emprendimiento forma parte de un proyecto arquitectónico mayor, el cual busca “...construir casas para presenciar la puesta de sol en cada continente...”<sup>14</sup> y que, a lo menos por el momento, no permite la entrada a los turistas y operadores turísticos locales (Figura 7.77). Junto con este proyecto arquitectónico, también existen recientemente proyectos de construcción de viviendas particulares recreacionales, los cuales no toman medidas de mitigación de impacto paisajístico y ambiental (Figura 7.78).



Figura 7.1. Entrada principal del proyecto arquitectónico privado de casa-mirador en las islas Panichini.

---

<sup>14</sup> <http://www.plataformaarquitectura.cl/cl/02-342380/arte-y-arquitectura-notona-una-casa-escultura-en-la-patagonia-chilena-por-not-vital-and-cristian-orellana>

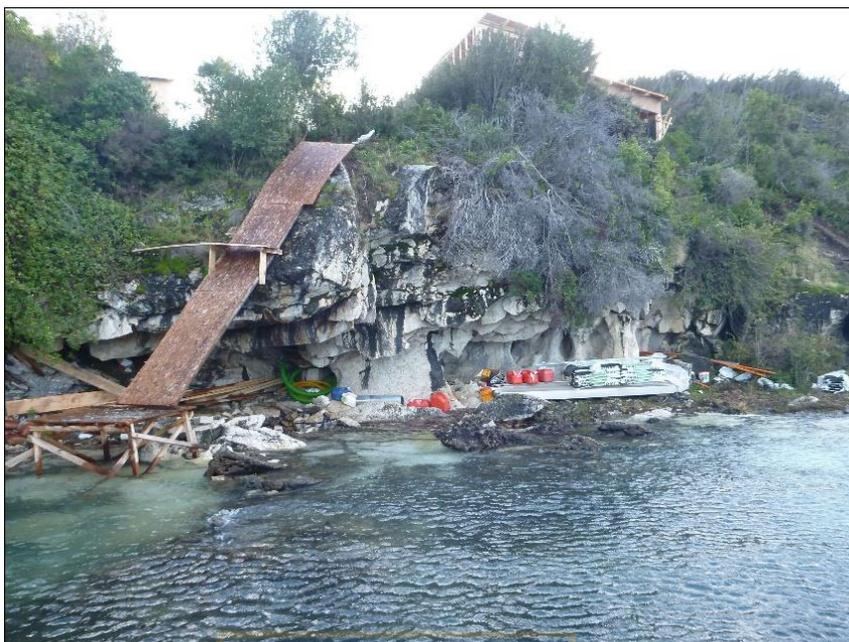


Figura 7.2. Construcción de casas sobre el relieve kárstico en una de las islas Panichini. Se observa el material de construcción y escombros en orilla del lago General Carrera.

Para evitar futuros perjuicios y remediar el problema antes planteado, el equipo de trabajo de la Seremi de Minería (entre los cuales está el autor de esta memoria) solicitó al Consejo de Monumentos Naturales, mediante carta, una evaluación y redefinición de los límites del Santuario, la cual incluyó una propuesta de nuevos límites en base a criterios geológicos.

La propuesta antes mencionada sugiere que el Santuario debiese, a lo menos, incluir los islotes conocidos como “Catedral” y “Capillas” de mármol, los sectores ampliamente usados por los operadores turísticos como el borde lacustre de “El Túnel” y “Cabeza de Perro” (rivera sureste “Puntilla el Mármol”), las zonas reconocidas como paleolíneas de costa (Figura 5.17) observadas en las ribera sur del lago General Carrera, y la totalidad de las islas Panichini ubicadas frente a la localidad de Puerto Sánchez que poseen relieve Kárstico (Figura 7.79).

Esta propuesta se basa en tres criterios: i) el masivo valor o uso turístico que tienen los lugares mencionados; ii) son de un fuerte valor de identidad para la comunidad local de Puerto Tranquilo y Puerto Sánchez; iii) forman parte de la misma unidad geológica, mármol de aproximadamente

310 millones de años labrados como consecuencia de la reacción o proceso químico denominado disolución, formando el característico relieve kárstico del lago General Carrera.

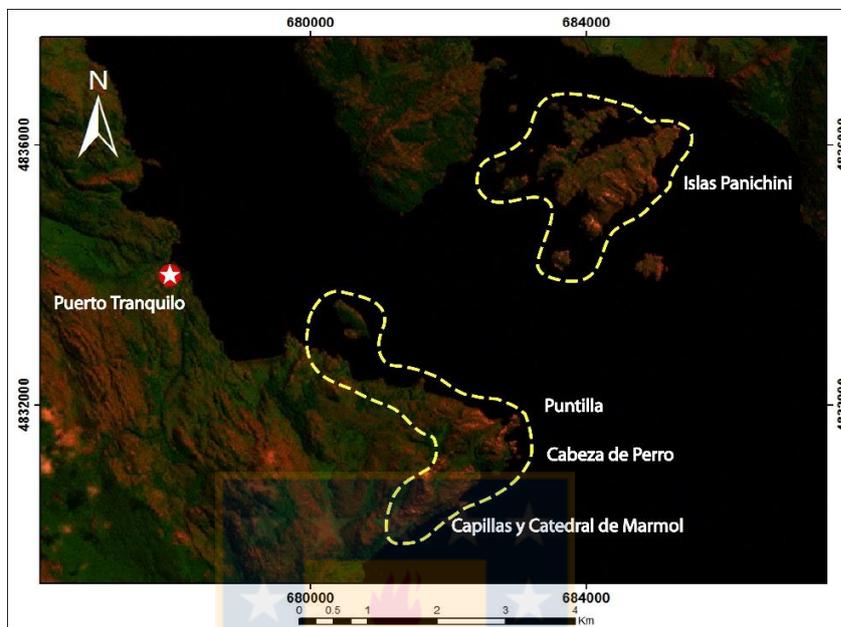


Figura 7.3. Mapa de planta de las zonas propuestas como Santuario de la Naturaleza. Se destacan las islas Panichini, los islotes “Catedral” y “Capillas”, y la zona conocida como “Puntilla de mármol” y “Cabeza de Perro”.

## 7.2 DIVULGACIÓN

Las acciones destinadas a divulgar la Geología y procesos formadores de los lugares previamente inventariados se ejecutaron entre junio del año 2014 a septiembre del año 2015. Estas actividades, destaca la capacitación a los operadores turísticos de Puerto Río Tranquilo sobre la Geología del Santuario, y la capacitación realizada a 35 profesores de diferentes localidades de la región sobre la Geología del valle Leones. Esta última actividad estuvo en el marco de la IV Capacitación Docente en Medio Ambiente y Ciencia, organizada por el programa Explora Conicyt Aysén en conjunto con la Forestal MININCO, e incluyó un día de clases teórica y un recorrido en terreno por los distintos lugares inventariados en el valle Leones (ver Figura 7.80).

Junto con lo anterior y dada la importancia relativa del Santuario, se elaboró el contenido (texto, fotos y esquemas) de un folleto explicativo sobre su geología, el cual fue posteriormente editado

por SERNATUR y publicado con fondos de la Seremi de Minería de la región de Aysén. Esta medida de divulgación en primera instancia fue realizada con fines educativos para la comunidad en general y operadores turísticos (Figura 7.81 y 7.82).



Figura 7.4. Capacitación a 35 profesores de la región de Aysén sobre la geología presente en valle Leones. La fotografía corresponde a la capacitación en terreno, en marco de la IV Capacitación Docente en Medio Ambiente y Ciencia. En primer plano se muestra parte de los profesores participantes y de fondo la laguna y glaciar Leones.

# La gente pregunta

## 1) ¿Por qué las rocas del Santuario tienen diferentes colores?

La variedad de colores son consecuencia de la presencia de diferentes minerales e impurezas entre las rocas de mármol. Por ejemplo los colores grises y brillosos son mica, los colores negros oscuros pueden ser antiguos restos carbonosos, los colores blancos translúcidos pequeños cristales de calca y las láminas amarillentas son concreciones de cuarzo con arcillas.

## 2) ¿Cómo se formó el lago General Carrera?

El lago General Carrera se formó por la acción de los glaciares. Aproximadamente 1 millón de años atrás, gran parte de la actual región de Aysén estaba cubierta por glaciares, los cuales, en sucesivos etapas frías y cálidas, avanzaron y retrocedieron rompiendo y modelando las rocas que encontraban a su paso. Se estima que el lago General Carrera tiene una profundidad máxima de 582 m.

## 3) ¿Las rocas del Santuario son antiguas o nuevas?

Depende de la escala tiem po en que se analice su edad. En nuestra escala cotidiana del tiempo las rocas son muy antiguas, pero en la escala geológica son jóvenes. Si hacemos una analogía entre los aprox. 4.800 millones de años de edad que tiene la tierra y los 365 días del año calendario, obtenemos que:

- La tierra se formó a las 0 horas del primero de enero.
- El mármol del Santuario se formó aprox. el 7 de diciembre (310 millones de años atrás).
- Los animales marinos que constituyeron los actuales fósiles de la localidad de Puerto Guadal aparecieron recién el 29 de diciembre (23 millones de años atrás).
- La última gran etapa glacial, la cual creó el lago General Carrera y por disolución paulatinamente las cordadas en el mármol del Santuario, sucedió hace muy poco, sólo 2 horas antes del año nuevo (aprox. 1 millón de años atrás).

## Monumento Nacional Santuario de la Naturaleza Capillas de Mármol

El monumento nacional Santuario de la Naturaleza Capillas de Mármol es un grupo de islas y pequeños islotes, compuestos mayoritariamente de mármol labrado, presentes en lago General Carrera o Chelentlo (en voz tehuelche), entre las localidades de Puerto Río Tranquilo y Puerto Estadio Sánchez, comuna de Río Ibáñez. Junto con ser un área protegida, el Santuario es también un lugar reconocido como patrimonio geológico de relevancia nacional por la Sociedad Geológica de Chile.<sup>2</sup>

El descubrimiento de las "Capillas" y el origen de su nombre son aún materia de discusión<sup>3</sup>, sin embargo, se considera que el registro más antiguo sobre esta bella formación rocosa se encuentra en el libro *Triangulo los Andes*, escrito por el explorador italo-argentino Clemente Wofgang Staub.



Fotografía de la Catedral de Mármol tomada por Arnold Heim en 1939. La imagen es gentiliza de Sr. Wolfgang Staub.



**Aysén, LA REGIÓN**  
LA HACEMOS TODOS  
Plan de Desarrollo de Zonas Externas  
Aysén del General Carlos Ibáñez del Campo

SEMINARIO  
SANTUARIO DE LA NATURALEZA  
MONUMENTO NACIONAL

Ministerio de  
Desarrollo Económico,  
Fomento y Turismo

Ministerio de  
Bienes Nacionales

Ministerio de  
Medio Ambiente y Desarrollo  
Sustentable

Ministerio de  
Agricultura, Acuicultura y Pesca

Ministerio de  
Energía y Minería

Ministerio de  
Transporte y Obras Públicas

Ministerio de  
Vivienda y Urbanismo

Ministerio de  
Salud

Ministerio de  
Trabajo y Previsión Social

Ministerio de  
Turismo

## Protección del Santuario

El Santuario de la Naturaleza Capillas de Mármol, junto con ser un Monumento Nacional protegido por ley, presenta un importante valor científico, escénico y, en particular para las comunidades de Puerto Río Tranquilo y Puerto Estadio Sánchez, económico y de identidad.

Altear su estado natural, por ejemplo al retirar muestras de mármol o rallándolo, es sancionado con pena de prisión menor en sus grados medio a máximo, además de conllevar una multa de cincuenta a docientas unidades tributarias mensuales.

Si usted es testigo de vandalismo contra el Santuario, debe realizar la denuncia a la fiscalía más cercana o al Consejo de Monumentos Nacionales. El denunciante recibirá como premio el 20% del producto de la multa que se aplique.



La imagen de la izquierda muestra las diferentes capas que se observan en el Santuario. La imagen de la derecha muestra una de las caras de la Catedral que presenta "asquitos" y "caldos", consecuencia del antiguo paso de los glaciares por el actual lago General Carrera.

Figura 7.5. Folleto explicativo (parte portada y contraportada) sobre la geología del Santuario.

## ¿Cómo se forman las cavidades?

El mismo proceso que disuelve el azúcar en una taza de café, disuelve el mármol en las aguas del lago General Carrera, una reacción química denominada disolución.

Aunque la mayoría de los minerales son insolubles al agua pura, una pequeña cantidad de ácido aumenta su fuerza corrosiva. En el caso del lago General Carrera este ácido se llama ácido carbónico, y se crea cuando la molécula dióxido de carbono, la cual se encuentra en forma natural en la

## ¿Qué es el Mármol?

El mármol es una roca compuesta por carbonato de calcio y que los geólogos clasifican como de tipo metamórfica. El metamorfismo es el proceso de transformación de una roca en otra, causado por fuertes presiones, sometimiento a altas temperaturas y/o la introducción de fluidos en la roca original. La roca madre de la cual proviene el mármol es la caliza. Cientos de millones de años atrás, la actual región de Aysén tenía un clima tropical y estaba cubierta por un mar poco profundo. En este mar somero habitaban organismos con conchas y esqueletos compuestos por carbonato de calcio, los cuales, en la medida que los organismos morían, se fueron gradualmente acumulando y compactando hasta formar, en un proceso de miles de años, rocas de caliza.

A lo menos 310 millones de años atrás<sup>1</sup>, cambios en la geología de la región provocaron que las rocas de caliza fueran sometidas a un fuerte aumento de temperatura y presiones, generando, como consecuencia, el metamorfismo de la caliza al mármol. Un claro vestigio de las presiones a que fueron sometidas las rocas de caliza se aprecia en la Catedral, la cual muestra un bello pliegue en forma de  en su cara suroeste.

atmósfera, interactúa con las gotas de lluvia. Estas "gotitas ácidas" caen al lago General Carrera y van lentamente, en el transcurso de miles de años y continúa sucediendo hasta la fecha, corroyendo el carbonato de calcio del mármol. Este proceso es el causante de las distintas formas que se observan en el Santuario, como por ejemplo las grandes cuevas, las cavernas, las estalactitas, las estalagmitas o aquellas morfologías que asociamos a minas.





Pequeñas estalactitas en el sector el "Túnel". Sector cabeza de perro

En el centro y norte de Chile también existen áreas con presencia de mármol, sin embargo, sus rocas no presentan las lindas cavidades y formas que se observan en el Santuario. Esta particularidad se explica porque el mármol del Santuario, a diferencia del mármol de otras zonas, ha estado por cerca de 1 millón de años en contacto con las aguas del lago General Carrera.

estriado de diferentes colores y erosionado de tal modo por las aguas del lago y por el viento que su base apenas la constituyen delgadas columnas. Con un bote rema se pueden recorrer las grutas y gozar de la imagen romántica que brindan sus formas, colores y reflejos<sup>2</sup>.

En la actualidad, la comunidad y los operadores turísticos designan como "Cavernas de mármol" a las grandes islas labradas que se encuentran frente a la localidad de Puerto Eulogio Sánchez, "Catedral de Mármol" y "Capillas de Mármol", son los nombres dados al islote más destacado y otros dos pequeños que los acompañan, respectivamente, ubicados en la badera del lago, frente a la localidad de Puerto Río Tranquilo.



1. <http://www.monumentos.cl/en/bo/g6f53v43-anti-de-366753.html>  
 2. <http://www.sociedadgeologica.cl/dep01oz/>  
 3. Oporto, M. 2012. "Por qué este lugar se llama así?" 66 CONGRESO Sociedad de Investigaciones en Turismo de Chile, Escribiendo las relaciones entre Turismo y Cultura. Coahuque, 9-12 de Abril 2012. Sociedad CDT, Coyhaique, 30 p.  
 4. Saind, W. & Barrientos, F. 2009. "Un geólogo camina en la quebra del Lago Buenos Aires/General Carrera": investigación, traducción y edición de un extracto del libro "Sudamérica, Venezuela en la naturaleza de Chile, Argentina y Bolivia", escrito por Amédée Heim en 1933.  
 5. Saind, M. & De la Cruz, R. 2006. Geología del lago de Puerto General - Puerto Sánchez, región de Aysén del General Carlos Barrios del Campo. Servicio Nacional de Geología y Minería, Carta Geológica de Chile, Serie de Geología Básica, Número 95, 58 p. - 1 mapa escala 1:100.000.

Figura 7.6. Díptico explicativo (parte interior) sobre la geología del Santuario.

## 8. CONCLUSIONES Y RESULTADOS

En el presente estudio, se realizó una propuesta de metodología de inventario, que se adaptó a los requerimientos geográficos que posee la zona nororiental de Campo de Hielo Norte y la ribera suroeste del lago General Carrera. En consecuencia, se obtuvieron resultados acordes a lo esperando, gracias a una exhaustiva recopilación y revisión de información geológica de la zona de estudio. Por consiguiente, se logró identificar y generar una base de información geológica de sitios de interés geológico (geositios), que representan el patrimonio geológico del área de estudio. Como resultado, se realizó una caracterizar y análisis cuantitativo de los potenciales valores o usos científicos, turísticos y riesgo de degradación para los diferentes sitios inventariados. Por otro lado, producto a la información geológica levantada, se elaboró diferentes iniciativas de divulgación y medidas de conservación para los diferentes elementos y/o procesos geológicos identificados en los geositios, por consiguiente, esta información generada contribuirá a continuar profundizando el conocimiento geológico de la zona de estudio. A continuación, se expondrán las conclusiones obtenidas para los objetivos específicos, las cuales son:

1. Dentro de las unidades litológicas que poseen una amplia distribución en la zona de estudio es, el Batolito Norpatagónico, esta unidad forma parte de varios sitios inventariados en el presente estudio, entre ellos se encuentran, la Pared truncada del río Norte, Macizo del Chileno, entre otros. Sin embargo, se catastro en el presente estudio, para los sitios anteriormente mencionados, complementar la información geológica existente. En consecuencia, se sugiere realizar trabajos a futuro que permitan, analizar en detalle los distintos cuerpos intrusivos que componen esta unidad en la zona de estudio, además de realizar dataciones radiométricas a los diferentes eventos magmáticos, sumado a un mapeo geológico en detalle para esta zona. La segunda unidad con mayor distribución es el Complejo Metamórfico Andino Oriental, que conforma los sitios del Santuario de Naturaleza Capillas de Mármol y la Cantera de Mármol. Considerando que, aún es una interrogante la proveniencia de este mármol y la edad precisa de este. Por consiguiente, se sugiere realizar análisis que complementen la información del contenido fosilífero, sumado a dataciones radiométricas para precisar su edad.

2. La realización de este estudio, verificó el predominio de la influencia glaciar que poseen las rocas que conforman el relieve de la zona de estudio. Por consiguiente, el paso de los hielos dejó al descubierto sitios excepcionales, que son ejemplos ilustrativos de los diferentes procesos de acumulación y erosión glaciar, tales como, Pared Truncada del río Norte, Macizo del Chileno, Vaciamiento abrupto del lago proglaciar del Mapuche, entre otros.
3. Se inventariaron 16 sitios de valor científico, 7 en valle Exploradores y 9 en el Valle Leones, los cuales, según la metodología expuesta son el patrimonio geológico de mayor valor científico.
4. Con respecto a la caracterización de los sitios, se desarrolló una descripción geológica en detalle de los geositos y su entorno. En consecuencia, en esta etapa se abarcó antecedentes tales como, ubicación y acceso, visibilidad, usos de la propiedad donde se encuentra el geosito (turístico, ganadero, agrícola, minero, etc.). Como resultado, se identificaron diferentes propuestas de estudios científicos que promueven complementar la información geológica del sitio, como también, verificar los diferentes aspectos del estado de conservación y proporcionar sugerencias de conservación.
5. Los resultados de cuantificación, para cada uno de los sitios con respecto a los distintos usos o valores potenciales, concluyeron que los resultados obtenidos son semejantes a la realidad y corroboran los porcentajes asignados para cada uno de los parámetros. En particular para el uso científico se obtuvo la mayor cantidad de puntajes elevados y los de mejor ranking, lo que confirma que el inventario incluyó sitios de destacado valor científico. Además, se concluyó que dentro de los geositos propuestos, hay geositos que poseen un componente científico alto, pero tienen un bajo resultado en valor turístico. Por otro lado, otros sitios poseen una condición favorable para usos educativos, debido a su alta representatividad de los diferentes procesos y/o elementos geológicos. Igualmente, se concluye que los sitios con alto riesgo de degradación corresponden a un efecto de la actividad antrópica y a la poca regularización existente en los diferentes sitios
6. Con respecto a medidas de protección, se constató que el geosito del Santuario de la Naturaleza Capillas de Mármol tiene el mayor puntaje de riesgo de degradación. Dado a lo anterior, tiene

como urgencia la creación y aprobación de un nuevo decreto que contemple una nueva delimitación para el área del Santuario y además la regulación de las actividades realizadas dentro del mismo. Dicho lo anterior, en el presente estudio se propone para el Santuario, una nueva propuesta de límite, realizada en conjunto con Consejo de Monumentos Nacionales y la Seremi de minería de la Región de Aysén, incluyéndose las zonas de las islas Panichini, sector Puntilla de Mármol y Cabeza de Perro. Igualmente, mediante los resultados obtenidos, existen sitios inventariados que poseen un alto riesgo de degradación, los cuales son, Pared truncada del río Norte; Depósitos eólicos del río Leones y Cantera de Mármol, necesitan con urgencia planes de manejo y de conservación.

7. Por medio de los antecedentes recopilados en el presente estudio, se logró determinar que los sitios de la morrena frontal del glaciar Exploradores y la morrena frontal del glaciar Leones, son sitios que se encuentran en el límite del Parque Nacional Laguna San Rafael. Debido a lo anterior, no se tiene claridad si los sistemas morrénicos se encuentran completamente al interior del Parque Nacional. En consecuencia, producto a la poca claridad de los límites del Parque Nacional, se tiene que estos sitios son susceptibles a malas prácticas de uso, que potencian el aumento en el riesgo de degradación y problemas de conservación.
8. También producto a la información levantada en el presente estudio, se llevó a cabo la postulación del geosítio Depósito de vaciamiento abrupto del lago proglaciar Mapuche a la Sociedad Geológica de Chile. Esta postulación tiene como objetivo potenciar la importancia de estos procesos e incentivar estudios a futuro, como también la conservación de este sitio.
9. En relación a las propuestas de divulgación, los resultados demuestran que la gran mayoría de los geosítios inventariados y caracterizados poseen un alto potencial educativo y didáctico. En consecuencia, se diseñó un díptico explicativo de la geología del Santuario de la Naturaleza Capillas de Mármol, por ser el sitio con mayor puntaje de uso turístico y a la vez icono turístico regional. El propósito de esta propuesta de divulgación, es acercar el conocimiento científico geológico a los operadores turísticos y a la comunidad local, mejorando y ayudando en la entrega de información geológica en la actividad turística en general. Igualmente, se identificó la necesidad de crear diferentes productos de divulgación (documentales, guías interpretativas,

paneles, etc.) que ayuden a reforzar y comprender geositios, como también incentivar la valorización del patrimonio geológico de la zona de Campo de Hielo Norte y del lago General Carrera.



## 9. REFERENCIAS

**Ameghino, F. 1887.** Enumeración sistemática de las especies de mamíferos fósiles coleccionados por Carlos Ameghino en los terrenos eocenos de la Patagonia austral y depositado en el Museo de La Plata. Museo de La Plata, Boletín 1: 1-26. La Plata.

**Ameghino, F. 1889.** Contribución al conocimiento de los mamíferos fósiles de la República Argentina. Academia Nacional de Ciencias, Actas 6: 1-1072. Córdoba.

**Aniya, M. 1988.** Glacier inventory for the Northern Patagonia Icefield, Chile, and variations 1944/45 to 1985/86 *Artic. Alpine Research*. Vol. **20**: 179-187.

**Aniya, M. 1995.** Holocene glacial chronology in Patagonia: Tyndall and Upsala glaciers. *Artic and Alpin Research*. Vol. **27**: 311-322

**Aniya, M. 2007.** Glacier variations of Hielo Patagónico Norte, Chile, for 1944/45-2004/05. *Bulletin of Glaciological Research*. Vol 24: 59-70.

**Aniya, M.; Barcaza, G. & Iwasaki, Sh. 2007.** Recent glacier advances at Glaciar Exploradores, Hielo Patagónico Norte, Chile. *Bulletin of Glaciological Research*, Vol **24**: 49-57.

**Arancibia, G.; Cembrano, J. & Lavenau, A. 1999.** Transpresión dextral y partición de la deformación en la Zona de Falla Liquiñe-Ofqui, Aysén, Chile (44-45°S). *Revista Geológica de Chile.*, Vol. **26** (1): 3-22. Santiago.

**Baker, P.E.; Rea, W.J.; Skarmeta, J.; Caminos, R. & Rex, D.C. 1981.** Igneous history of the Andean cordillera and Patagonian plateau around latitude 46°S. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London*. Vol. **303**: 105-149. Londres.

**Banco Central. 2012.** Informe de Cuentas Nacionales: Producto Interno Bruto por Región y Actividad Productiva. Disponible en [http://www.bcentral.cl/estadisticas-economicas/series-indicadores/index\\_aeg.htm](http://www.bcentral.cl/estadisticas-economicas/series-indicadores/index_aeg.htm)

**Bell, C. & Suárez, M. 1997.** The Lower Cretaceous Apeleg Formation of the Aisén basin, Southern Chile: Tidal sandbar deposits of an epicontinental sea. *Revista Geológica de Chile*. Vol. 24, No. 2: 203-225. Santiago.

**Bell, C. & Suárez, M. 2000.** The Rio Lácteo Formation of Southern Chile. Late Paleozoic orogeny in the Andes of southernmost South America. *Journal South American Earth Sciences*. Vol. **13**: 133-145.

**Bell, C. 2008.** Punctuated drainage of an ice-dammed Quaternary lake in southern South America. *Geografiska Annaler*. Vol. **90** A: 1-17.

**Bell, C. 2009.** Quaternary lacustrine braid deltas on Lake General Carrera in southern Chile. *Andean Geology*. Vol. **36**: 51–65. Santiago.

**Belmar, M. 1996.** Geología de las áreas Balmaceda y Cerro Farellón, Región de Aisén, Petrología y Geoquímica del volcanismo ácido-intermedio, Jurásico-Terciario. Memoria de Título (Inédito), Universidad de Chile, Departamento de Geología: 111 pp. Santiago.

**Benado, J. & Andrade, F. 2014.** Transferencia para una estrategia de gestión del patrimonio geológico de la región de Aysén. Secretaria Regional Ministerial de Minería de la región de Aysén. (Inédito): 40 pp. Coyhaique.

**Benado, J.; Brilha, J. & Schilling, M. 2013.** Patrimonio Geológico del proyecto Geoparque Cajón del Maipo (Chile): resultados finales. Actas del I Simposio Argentino de Patrimonio Geológico, Geoparques y Geoturismo y III Encuentro Latinoamericano de Geoparques. San Martín de los Andes: 228 pp. Santiago.

**Bennett, M. & Glasser, N. 2011.** Glacial geology: ice sheets and landforms. John Wiley & Son: 364pp. Londres.

**Biddle, K.; Uliana, M.; Mitchum Jr., R.; Fitzgerald, M. & Wright, R. 1986.** The stratigraphic and structural evolution of the central and eastern Magallanes basin, southern South America. In: Allen, P.A., Homewood, P. (Eds.), Foreland Basins, *Special Publication International Association of Sedimentologists*. Vol. **8**. 41–61. Oxford.

**Börgel, R. 1983.** Geomorfología. Colección Geografía de Chile, Ediciones Instituto Geográfico Militar: 182 pp. Santiago

**Brilha, J. 2005.** Património Geológico e Geoconservação: a conservação da natureza na sua vertente geológica. 190 pp. Coimbra.

**Brilha, J. 2016.** "Inventory and Quantitative Assessment of Geosites and Geodiversity Sites: a Review". *Geoheritage*. Vol. **8**: 119-134.

**Bruce, Z. 2001.** Mesozoic Geology of the Puerto Ingeniero Ibáñez region, 46° South, Chilean Patagonia. Memoria de título Ph.D. University of Canterbury (Inédito): 374 pp. Canterbury.

**Cáceres, M.; Marquardt, C.; Cerpa, L. & Aguilera, F. 2011.** La Ruta de Segerstrom: transversa geoturística y geopatrimonial en la Provincia de Copiapó, Región de Atacama. Actas I Simposio de Geoparques y Geoturismo en Chile. 31-34pp. Melipeuco.

**Calderón, M.; Hervé, F.; Lohmar, S.; Mourgues, F.A.; Pinto, L.; Schilling, M.; Solari, M.; Valenzuela, M. & Martínez, P. 2009.** Geositos de la Sociedad Geológica de Chile: una herramienta de educación masiva en Geología, de valoración y preservación del Geopatrimonio, y de fomento del Turismo de Intereses Especiales. Congreso Geológico Chileno, N° 12. Acta S5-005: 4pp. Santiago.

**Cande, S.; Leslie, R. 1986.** Late Cenozoic tectonics of the Southern Chile trench. *Journal of Geophysical Research*. Vol. **91**: 471–496.

**Cande, S.; Leslie, R.; Parra, J. & Hobart, M. 1987.** Interaction between the Chile Ridge and Chile Trench: geophysical and geothermal evidence. *Journal of Geophysical Research*. Vol. **92**: 495–520.

**Cembrano, J. & Moreno, H. 1994.** Geometría y naturaleza contrastante del volcanismo cuaternario entre los 38°S y 46°S: ¿Dominios compresionales y tensionales en un régimen transcurrente?. Congreso Geológico Chileno N° 7. Actas 1: 240–244. Concepción.

**Cembrano, J.; Schermer, E.; Lavenu, A. & Sanhueza, A. 2000.** Contrasting nature of deformation along the intra arc shear zone, the Liquiñe-Ofqui Fault Zone, southern Chilean Andes. *Tectonophysics*. Vol. **319** (2): 129-149.

**Cembrano, J.; Lavenu, A.; Reynolds, P.; Arancibia, G.; López, G. & Sanhueza, A. 2002.** Late Cenozoic transpressional ductile deformation north of the Nazca-South America-Antartica triple junction. *Tectonophysics*. Vol. **354**: 289-314.

**Cembrano, J. & Lara, L. 2009.** The link between volcanism and tectonics in the southern volcanic zone of the Chilean Andes: A review. *Tectonophysics*. Vol. **471**: 96-113.

**Charrier, R.; Linares, E.; Niemeyer, H. & Skarmeta, J. 1979.** K–Ar ages of basalt flows of the Meseta Buenos Aires in southern Chile and their relation to the southeast Pacific triple junction. *Geology*. Vol. **7**: 436–439.

**Charrier, R.; Linares, E.; Niemeyer, H.; Skarmeta, J. 1978.** Edades potasio-argón de vulcanitas mesozoicas y cenozoicas del sector chileno de la meseta Buenos Aires, Aysén, Chile y su significado geológico. En Congreso Geológico Argentino, No. 7, Actas 2: 23-41. Neuquén.

**CONAMA. 2008.** Biodiversidad de Chile, Patrimonio y Desafíos. Ocho Libros Editores. 640 pp. Santiago.

**Covacevich, V.; De la Cruz, R. & Suárez, M. 1994.** Primer hallazgo de fauna del Berriasiano Inferior (Neocomiano) en la Formación Ibáñez, Región XI, Aysén. In Congreso Geológico Chileno, No. 7, Actas 1: 425-429. Concepción.

**De la Cruz, R.; Suárez, M. & Demant, A. 1994.** Facies volcánicas del Mesozoico de Aisén (sector noreste), 44–47 Latitud Sur, Chile (Formaciones Ibáñez y Divisadero). Congreso Geológico Chileno, No. 7. Actas 1: 27–31.

**De la Cruz, R.; Suárez, M.; Covacevich, V. & Quiroz, D. 1996.** Estratigrafía de la zona de Palena y Futaleufú (43°15'–43°45' Latitud S), X Región, Chile. Congreso Geológico Argentino No. 13 y Congreso de Exploración de Hidrocarburos, No. 3. Actas 1: 417–424.

**De la Cruz, R.; Suárez, M.; Belmar, M.; Quiroz, D. & Bell, M. 2003.** Geología del área Coihaique-Balmaceda, Región de Aisén del General Carlos Ibáñez del Campo, escala 1:100.000.

Carta Geológica de Chile, Serie Geología Básica, No. 80. Servicio Nacional de Geología y Minería. Santiago.

**De la Cruz, R. & Suárez, M. 2006.** Geología del área Puerto Guadal-Puerto Sánchez, Región Aisén del General Carlos Ibáñez del Campo, Escala 1:100.000, Carta Geológica de Chile, Serie Geología Básica, No. 95. Servicio Nacional de Geología y Minería. Santiago.

**De la Cruz, R. & Suárez, M. 2008.** Geología del Área Chile Chico-Río de las Nieves, Región de Aisén del General Carlos Ibáñez del Campo. Escala 1:100.000, Carta Geológica de Chile, Serie Geología Básica N112. Servicio Nacional de Geología y Minería. Santiago.

**Demant, A.; Hervé, F.; Pankhurst, R.J. & Suárez, M. 1996.** Geochemistry of early Tertiary back-arc from Aysén, southern Chile (44-46 °S): *Geodynamic implications*. In *International Symposium of Andean Geodynamics*, No. 3: 555-558.

**Di Castri, F. & Hajek, E. 1976.** Bioclimatología de Chile. Imprenta Editorial de la Universidad Católica de Chile. 128 pp. Santiago.

**Espinoza, F. 2003.** Petrología y Geoquímica de los Basaltos Cenozoicos de la meseta Chile Chico, 46°35' - 46°47'S - 71°46' - 72°020W, XI Región de Aysén, Chile. Memoria de Título y Tesis de Magíster M. Sc. Universidad de Chile, Departamento de Geología (Inédito): 220 pp. Santiago.

**Espinoza, F.; Morata, D.; Pelleter, E.; Maury, R.; Suárez, M.; Lagabrielle, Y.; Polvé, M.; Bellon, H.; Cotten, J.; De la Cruz, R. & Guivel, C. 2005.** Petrogenesis of the Eocene and Mio-Pliocene alkaline basaltic magmatism in Meseta Chile Chico, Southern Patagonia, Chile: Evidence for the participation of two slab windows. *Lithos*. Vol. **82** (3-4): 315-343.

**Espinoza, F.; Morata, D.; Suárez, M. & De la Cruz, R. 2003.** The meseta Chile Chico basalts, eastern central Patagonian Cordillera: K-Ar geochronology and geochemistry of a compressional to extensional back-arc volcanism. *South American Symposium on Isotope Geology*, No. 4, CD-ROM: 545-548. Salvador.

**Flint, S.; Prior, D.; Agar, S. & Turner, P. 1994.** Stratigraphic and structural evolution of the Tertiary Cosmelli basin and its relationship to the Chile triple junction. *Journal of Geological Society of London*. Vol. **151**: 251-258. Londres.

**Flynn, J.; Novacek, M.; Dodson, H.; Frassinetti, D.; McKenna, M.; Norell, M.; Sears, K.; Swisher, C. III. & Wyss, A. 2002.** A new fossil mammal assemblage from the southern Chilean Andes: implications for geology, geochronology, and tectonics. *J. South Am. Earth Sci.* Vol. **15**: 285-302.

**Forsythe, R. & Nelson, E. 1985.** Geological manifestations of the ridge collision: Evidence from the Golfo de Penas-Taitao basin, southern Chile. *Tectonics*. Vol. **4** (5): 477-495.

**Frassinetti, D. & Covacevich, V. 1999.** Fauna de invertebrados fósiles marinos de la Formación Guadal en Pampa Castillo, sur del lago General Carrera, Aysén, Chile. Servicio Nacional de Geología y Minería, Chile, Boletín, 51, Santiago.

- Fuenzalida, H. 1965.** Clima. En Geografía Económica de Chile: texto refundido: 98-152 pp. Santiago.
- Fuenzalida, H. 1965.** Biogeografía. In Geografía Económica de Chile (Texto refundido), Editorial Universitaria, 153-199 pp, Santiago.
- Gajardo, R. 1994.** La vegetación natural de Chile. Clasificación y distribución geográfica. Editorial Universitaria. 165 pp, Santiago.
- García-Cortés, A. & Carcavilla, L. 2009.** Documento metodológico para la elaboración del Inventario español de lugares de interés geológico (IELIG). Instituto Geológico y Minero de España. 61 pp. Madrid.
- Glasser, N.F.; Jansson, K.N.; Harrison, S. & Rivera, A. 2005.** Geomorphological evidence for variations of the North Patagonian Icefield during the Holocene. *Geomorphology*. Vol. **71**: 263-277.
- Glasser, N.F.; Harrison, S.; Ivy-Ochs, S.; Duller, G.A.T. & Kubik, P.W. 2006.** Evidence from the Rio Bayo valley on the extent of the North Patagonian Icefield during the Late Pleistocene e Holocene transition. *Quaternary Research*. Vol. **65**: 70-77.
- Glasser, N.F.; Harrison, S.; Jansson, K. & Kleman, J. 2008.** The glacial geomorphology and Pleistocene history of southern South America between 38° S and 56° S. *Quaternary Science Reviews*. Vol **27**: 365-390.
- Glasser, N.; Harrison, S.; Schnabel, C.; Fabel, D. & Jansson, K. 2012.** Younger Dryas and early Holocene age glacier advances in Patagonia. *Quaternary Science. Reviews*. Vol. **58**: 7-17.
- Gobierno de Chile. 2009.** Política Nacional de Innovación para la competitividad: Orientaciones y Plan de Acción 2009-2010. Ministerio de Economía. 47 pp. Santiago.
- Guivel, C.; Lagabrielle, Y.; Bourgois J.; Maury R.C.; Fourcade S.; Martin H. & Arnaud N. 1999.** New geochemical constraints for the origin of ridge-subduction-related plutonic and volcanic suites from the Chile Triple Junction (Taitao Peninsula and Site 862, LEG ODP141 on the Taitao Ridge), *Tectonophysics*. Vol. **311**: 83–111.
- Guivel, C.; Morata, D.; Pelleter, E.; Espinoza, F.; Maury, R.C.; Lagabrielle, Y.; Polvé, M.; Bellon, H.; Cotten, J.; Benoit, M.; Suárez, M. & De la Cruz, R. 2006.** Miocene to Recent Patagonian basalts (46-47°S): geochronometric and geochemical evidence for slab tearing during ridge collision. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*. Vol. **149** (3-4): 346-370.
- Gust, D.; Biddle, K.; Phelps, D. & Uliana, M. 1985.** Associated Middle to Late Jurassic volcanism and extension in southern South America. *Tectonophysics*. Vol. **116**: 223–253.
- Haller, M. & Lapido, O. 1980.** El Mesozoico de la Cordillera Patagónica Central. *Revista de la Asociación Geológica Argentina*. Vol. **35** (2): 230-247.

**Haresign, E. & Warren, Ch. 2005.** Melt rates at calving termini: a study at Glaciar León, Chilean Patagonia. *The Geological Society, Special Publications*. Vol. **242**: 99-109.

**Harrison S.; Glasser N.; Winchester V.; Haresign E.; Warren Ch. & Jansson K. 2006.** A glacial lake outburst flood associated with recent mountain glacier retreat, Patagonian Andes. *The Holocene*. Vol. **16** (4): 611-620.

**Harrison, S.; Winchester, V. & Glasser, N. 2007.** The timing and nature of recession of outlet glaciers of Hielo Patagonico Norte, Chile, from their Neoglacial IV (Little Ice Age) maximum positions. *Global and Planetary Change*. Vol **59**: 67–78.

**Harrison, S.; Glasser, N.; Winchester, V.; Haresing, E.; Warren, Ch.; Duller, G.; Bailey, R.; Ivy-Ochs, S.; Jansson, K. & Kubik, P. 2008.** Glaciar León, Chilean Patagonia: Late-Holocene chronology and geomorphology. *The Holocene*. Vol. **18** (4): 643-652.

**Hatcher, J.B. 1900.** Sedimentary Rocks of Southern Patagonia. *American Journal of Science*, Series 4. Vol. **9** (50): 85-108.

**Heim, A. 1940.** Geological observations in the Patagonian Cordillera (Preliminary Report). *Eclogae Geologicae Helvetiae*, Vol. 33: 25-51. *Traducción in Boletín Minero*. Vol. **54**, 507: 646-649.

**Hervé, F.; Pankhurst, R.; Drake, R; Beck, M. Jr.; Mpodozis, C. 1993.** Granite generation and rapid unroofing related to strike-slip faulting, Aysén, Chile. *Earth and Planetary Science Letters* 1203-4:375-386.

**Hervé, F.; Aguirre, L.; Godoy, E.; Massone, H.; Morata, D.; Pankhurst, R.; Ramírez, E.; Sepúlveda, V. & Willner, A. 1998.** Nuevos antecedentes acerca de la edad y las condiciones P-T de los complejos metamórficos en Aysén. In Congreso Latinoamericano de Geología, No. 10 y Congreso Nacional de Geología Económica, No. 6. Actas 2: 134-137. Buenos Aires.

**Hervé, F.; Fanning, C.M. & Pankhurst, R.J. 2003.** Detrital Zircon Age Patterns and Provenance in the metamorphic complexes of Southern Chile. *Journal of South American Earth Sciences*. Vol. **16**: 107-123.

**Hervé, F.; Faúndez, V.; Calderón, M.; Massonne, H. J. & Willner, A.P. 2007.** Metamorphic and plutonic basement complexes. In: *The Geology of Chile* (Moreno, T. and Gibbons, W. Eds.). The Geology of Chile. The Geological Society of London: 5-19. Londres.

**Hervé, F. 2011.** Los Dres. Amado Pissis y Juan Brüggen, figuras de la geología de Chile. En: Número especial de la Revista Chilena de Historia y Geografía en el Centenario de su Fundación (1911- 2011).207-222 pp. Santiago.

**Hervé, F.; Schilling, M.; Calderon, M.; Solari, M. y Mourgues, A. 2012.** La difícil tarea de identificar y proteger el patrimonio geológico de Chile. Congreso Geológico Chileno N°13. Acta 1: 896-898. Antofagasta.

**Heusser, C.J. 2003.** Ice Age Southern Andes. A chronicle of paleoecological events. Developments in Quaternary Science 3. Series Editor. J. Rose. Elsevier Science Publishers B.V.: 240 pp. Amsterdam.

**Jiangjung, J.; Minglu, L. & Xun, Z. 2007.** Safeguard the geoheritage sites and establish the harmony between nature and humanity – A study on the construction and development of geoparks in China. Proceedings on the second international symposium on development within geoparks. 13-21 pp.

**Kaplan, M.R.; Ackert, R.P.; Singer, B.S.; Douglass, D.C. & Kurz, M.D. 2004.** Cosmogenic nuclide chronology of millennial scale glacial advances during O-isotope stage 2 in Patagonia. *Geological Society America Bulletin*. Vol. 116: 308-321.

**Kelm, U., Alfaro, G., Barra, F., & Rodríguez, M. 1999.** Catastro de recursos no metálicos, XI Región de Aysén. Universidad de Concepción-Secretaría Regional Ministerial de Minería de la XI Región. 196pp. Concepción.

**Kershaw, J.; Clague, J.J. & Evans, S.G. 2005.** Geomorphic and sedimentological signature of a two-phase outburst flood from moraine-dammed Queen Bess Lake, British Columbia, Canada. *Earth Surface Processes and Landforms* 30, 1-25.

**Lacassie, J. P. & Godoy, E. 1999.** Superposición de plegamiento en el interfluvio Baker-Bravo, Complejo Metamórfico Andino Oriental, Aysén, Chile. Congreso Geológico Argentino, N° 15. Actas 1: 745-749.

**Lacassie, J.P. 2000.** Geología del interfluvio Baker-Bravo (47°30'-48°S), Aysén, Chile. Memoria de Título, Universidad de Chile, Departamento de Geología (Inédito): 111 pp. Santiago.

**Lagabrielle, I.; Bourgois, J.; Suárez, M.; de la Cruz, R.; Garel, E.; Dauteuil, O.; Gutscher, M.A. 1999.** From compressional to extensional tectonic regime at the front of the Patagonian Andes, 46°-47° S: a response to the subduction of the Chile Spreading Ridge? Fourth ISAG: 411-416. Gottingen.

**Lagabrielle, Y.; Suárez, M.; Rossello, E.; Hérail, G.; Martinod, J.; Régnier, M. y De La Cruz, R. 2004.** Neogene to Quaternary tectonic evolution of the Patagonian Andes at the latitude of the Chile Triple Junction. *Tectonophysics*. Vol. 385: 211-241.

**Lagabrielle, Y.; Suárez, M.; Malavieille, J.; Morata, D.; Espinoza, F.; Maury, R.; Scalabrino, B.; Barbero, L.; De la Cruz, R.; Rossello, E. & Bellon, H. 2007.** Pliocene extensional tectonics in the Eastern Central Patagonian Cordillera: geochronological constraints and new field evidence. *Terra Nova*. Vol.19:1-12.

**Lagabrielle, Y.; Scalabrino, B.; Suarez M. & Ritz J. F. 2010.** Mio-Pliocene glaciations of central Patagonia: New evidence and tectonic implications, *Andean Geology*. Vol. 37 (2): 276-299. Santiago.

- Lahsen, A. 1966.** Geología de la región continental de Aysén. Inst Invest Recursos Nat, Corfo, 20, 1-20. Santiago.
- Lavenu, A. y Cembrano, C. 1999.** Estados de esfuerzo compresivo plioceno y compresivo-transpresivo pleistoceno, Andes del sur, Chile (38-42°30'S). *Revista Geológica de Chile*. Vol. **26** (N°1): 67-87. Santiago.
- Leanza, A. 1972.** Andes Patagónicos Australes. Geología Regional Argentina. Academia Nacional de Ciencias: 689-706. Córdoba.
- López-Escobar, L.; Cembrano, J. & Moreno, H. 1995.** Geochemistry and tectonics of the Chilean Southern Andes basaltic Quaternary volcanism (37-46°S). *Revista Geológica de Chile*. Vol. **22** (2): 219-234. Santiago.
- Malumian, N. 1999.** La sedimentación y el volcanismo terciarios en la Patagonia extraandina. In Geología Argentina (camino, R; editor), Instituto de Geología y Recursos Minerales, Servicio Geológico Minero Argentino, Anales, No. 29, Cap. 18: 557-612.
- Mercer, J.H. 1976.** Glacial history of southernmost South America. *Quaternary Research*. Vol. **6** (2): 125-166.
- Morata, D.; Barbero, L.; Suarez M. & De la Cruz R. 2002.** Early Pliocene magmatism and high exhumation rates in the Patagonian Cordillera (46°40'S): K-Ar, and fission track data, paper presented at 5<sup>th</sup> International Symposium on Andean Geodynamics, Inst. de Rech. Pour le Dev., Toulouse, France.
- Mourgues, F.A; Schilling, M. & Castro, C. 2012.** Propuesta de definición de los Contextos Geológicos Chilenos para la caracterización del patrimonio geológico nacional. Congreso Geológico Chileno XII. 887-889. Antofagasta.
- Mpodozis, C. & Ramos, V. 1989.** The Andes of Chile and Argentina. En: Geology of the Andes and its Relation to Hydrocarbon and Mineral Resources (Ericksen, G.E.; Pinochet, M.T, y Reinemund, J.A. editors). Houston, Texas, Circum Pacific Council for Energy and Mineral Resources, *Earth Sciences Series*. Vol. **11**: 59 – 90. Houston.
- Nelson, E.; Forsythe, R.; Diemer, J.; Allen, M. y Urbina, O. 1993.** Taitao ophiolite: A ridge collision ophiolite in the forearc of southern Chile (46°S), *Revista Geologica de Chile*. Vol **20**:137–165. Santiago.
- Nichols, G. 2009.** Sedimentology and Stratigraphy: Chichester, Wiley-Blackwell. 419 pp.
- Niemeyer, H. 1975.** Geología de la región comprendida entre el lago General Carrera y el Río Chacabuco, Provincia de Aisén, Chile. Memoria de Título. Departamento de Geología, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, *Universidad de Chile* (Inédito). 309 pp. Santiago.
- Niemeyer, H. & Cereceda, P., 1984.** Hidrografía. Geografía de Chile. Tomo VIII. Instituto Geográfico Militar. Santiago.

**Niemeyer, H.; Skármeta, J.; Fuenzalida, R. & Espinosa, W. 1984.** Hojas Península de Taitao y Puerto Aisén, Región de Aisén del General Carlos Ibáñez del Campo. Servicio Nacional de Geología y Minería. Carta Geológica de Chile N° 60-61, mapa 1:500.000, Santiago.

**Olivero, E.B. & Aguirre-Urreta, M.B. 2002.** Sucesión de amonoideos de la Formación Katterfeld (Valanginiano-Hauteriviano) en su área tipo, Lago Fontana, Chubut. Actas Congreso Geológico Argentino No. 15. El Calafate.

**Ormeño, A. 2007.** “Geomorfología dinámica del Río Maipo en la zona cordillerana de Chile central e implicancias neotectónicas”. Memoria de título para optar al grado de Magister en Ciencias, Mención Geología. Departamento de Geología, *Universidad de Chile* (Inédito):142 pp, Santiago.

**OTRA. 2013.** Introducción al Índice de Competitividad Turística. 5 p. Disponible en <http://www.observatorioaysen.cl>

**OTRA. 2014.** Anuario Estadístico de Turismo Región de Aysén 2013. 62 p. Disponible en <http://www.observatorioaysen.cl>

**Palacio, J. 2013.** Geositios, geomorfositos y geoparques: importancia, situación actual y perspectivas en México. Investigaciones Geográficas, Boletín del Instituto de Geografía, UNAM, Núm. 82: 24-37.

**Pankhurst, R. J. & Hervé, F. 1994.** Granitoid age distribution and emplacement control in the North Patagonian batholith in Aysén (44°-47°S). In VII Congreso Geológico Chileno, II: Actas 1409-1413. Concepción.

**Pankhurst, R. & Hervé, F. 1994b.** Granitoid age distribution and emplacement control in the North Patagonian Batholith in Aysén, southern Chile. In Congreso Geológico Chileno, No.7, Actas 2: 1409-1413. Concepción.

**Pankhurst, R.; Leat, P.; Sruoga, P.; Rapela, C.; Márquez, M.; Storey, B. & Riley, T. 1998.** The Chon Aike silicic igneous province of Patagonia and related rocks in West Antarctica: a silicic LIP. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*. Vol. **81**: 113-136.

**Pankhurst, R.; Weaver, S.D.; Hervé, F. & Larrondo, P. 1999.** Mesozoic-Cenozoic evolution of the North-Patagonian batholith in Aisén, southern Chile. *Journal of the Geological Society*. Vol. **156**: 673-694.

**Pankhurst, R.; Hervé, F.; Fanning, C. & Suárez, M. 2003.** Coeval plutonic and volcanic activity in the Patagonian Andes: the Patagonian Batholith and the Ibáñez and Divisadero Formations, Aysén, southern Chile. In Congreso Geológico Chileno, No. 19, Simposio No. 5, Actas, CD-ROM: 5 p. Concepción.

- Parada, M.; Lahsen, A. & Palacios, C. 2001.** Ages and geochemistry of Mesozoic-Eocene back-Arc volcanic rocks in the Aysén region of the Patagonian Andes, Chile. *Revista Geológica de Chile*. Vol. **28** (1): 25–46. Santiago.
- Parada, M.; Palacios, C. & Lahsen, A. 1997.** Jurassic extensional tectono-magmatism and associated mineralization of the El Faldeo polymetallic district, Chilean Patagonia: geochemical and isotopic evidence of crustal contribution. *Mineralium Deposita*. Vol. **32**: 547–554.
- Ploszkiewicz, J.V. & Ramos, V.A. 1977.** Estratigrafía y tectónica de la Sierra de Payaniyeu, provincia del Chubut. *Revista Asociación Geológica Argentina*. Vol. **32** (3): 209–226. Buenos Aires.
- Quiroz, D. 2000.** Geología y geoquímica de la Formación Ibáñez y Batolito Patagónico al norte del lago General Carrera (entre los 46–4630'S y los 72– 7220'W), XI Región de Aysén, Chile. Memoria de título Universidad de Concepción (Inédito): 159 pp. Concepción.
- Quiroz, D. & Bruce, Z. 2010.** Geología del Área Villa Cerro Castillo-Puerto Ingeniero Ibáñez, Región Aisén del General Carlos Ibáñez del Campo. Servicio Nacional de Geología y Minería. Carta Geológica de Chile, Serie Geología Básica, 1 mapa escala 1:100.000. Santiago.
- Ramírez, E. 1997.** Geología del Valle del Rio Chacabuco, XI Región de Aysén. Memoria de título, Universidad de Chile, Departamento de Geología (inédito): 71pp. Santiago.
- Ramírez, E.; Hervé, F.; Kelm, U. & Sassi, R. 2005.** P-T conditions of metapelites from metamorphic complexes in Aysén, Chile. *Journal of South American Earth Science*. Vol.**19**:373-386.
- Ramos, V.A. 1976.** Estratigrafía de los lagos Fontana y La Plata, provincia del Chubut, República Argentina. Congreso Geológico Chileno N°1. Actas I (A): 43–64.
- Ramos, V.A. 1981.** Descripción geológica de la Hoja 47 ab Lago Fontana, provincia del Chubut. Servicio Geológico Nacional, Boletín 183:1–130.
- Ramos, V. A. 1982a.** Las ingresiones pacíficas del Terciario en el norte de la Patagonia. In Congreso Geológico Chileno, No. 3, Actas 1A: 262-288. Concepción.
- Riley, T.R. & Leat, P.L. 1999.** Large volume silicic volcanism along the proto-Pacific margin of Gondwana: lithological and stratigraphical investigations from the Antarctic Peninsula. *Geological Magazine*. Vol. **135**: 1–16.
- Riley, T.; Leat, P.; Pankhurst, R. & Harris, Ch. 2001.** Origins of large volume rhyolitic volcanism in the Antarctic Peninsula and Patagonia by crustal melting. *Journal of Petrology*. Vol. **42**: 1043–1065.
- Romero, H. 1985.** Geografía de los Climas. Geografía de Chile, Tomo XI. Instituto Geográfico Militar: 243 pp. Santiago.

**Ross, S. 2009.** Difusión en Ciencias de la Tierra: La Experiencia del Museo Geológico del Servicio Nacional de Geología y Minería (SERNAGEOMIN). Congreso Geológico Chileno XII, Santiago, S5-23, 4p. Santiago.

**Sá dos Santos, W. 2014.** Diagnóstico para o uso educativo e turístico do Patrimônio Geológico da Bacia de Sousa, Paraíba (Brasil). Calificación de Doctorado sometida al Programa de Postgraduación en Geología, Instituto de Geociencias, Universidad Federal de Rio de Janeiro. 185 pp. Rio de Janeiro.

**Scalabrino, B.; Lagabrielle, Y.; Malavieille, J.; Dominguez, S.; Melnick, D.; Espinoza, F.; Suarez, M. & Rosello, E. 2010.** A morphotectonic analysis of central Patagonian Cordillera: Negative inversion of the Andean belt over a buried spreading center?. *Tectonics*. Vol. **29** (2).

**Schilling, M.; Contreras, P.; Toro, K. & Levy, C. 2012.** Kütralkura, el primer proyecto de Geoparque en Chile. En Actas del I Simposio Argentino de Patrimonio Geológico, Geoparques y Geoturismo y III Encuentro Latinoamericano de Geoparques. 228 pp. San Martín de los Andes.

**SERNAGEOMIN. 2002.** Mapa Geológico de Chile, Escala 1:1.000.000. N° Mapa: M61. Santiago.

**SERNAGEOMIN. 2009.** Geología para la planificación territorial y gestión ambiental del área de Antofagasta, Región de Antofagasta. 144 pp.

**SERPLAC XI, 2005.** Atlas Región de Aysén. Gobierno Regional de Aysén; Sociedad Alemana para la Cooperación Técnica, 43 pp. Santiago.

**Singer, B.; Ackert, R. Jr. & Guillou, H. 2004.** 40Ar-39Ar and K-Ar chronology of Pleistocene glaciations in Patagonia. *Geological Society of America Bulletin*. Vol. **116**(3-4): 434-450.

**Somoza, R. 1998.** Updated Nazca (Farallón)-South America relative motions during the last 40 My: implications for mountain building in the central Andean region. *Journal of South America Earth Science*. Vol. **11** (3):211-215.

**Somoza, R. & Ghidella, M. 2005.** Convergencia en el margen occidental de América del Sur durante el Cenozoico: subducción de las placas de Nazca, Farallón y Aluk. *Revista de la Asociación Geológica Argentina*. Vol. **60** (4): 797-809. Buenos Aires.

**Staub, W. & Barrientos, F. 2009.** Arnold Heim, un geólogo suizo en la cuenca del lago Buenos Aires / General Carrera. Extracto del libro "Sudamérica, vivencias en la naturaleza de Chile, Argentina y Bolivia", publicado en alemán en 1953: 112 pp. Santiago.

**Steffen, H. 1944.** Patagonia Occidental. Las cordilleras patagónicas y sus regiones circundantes. Volumen 1. Ediciones Universidad de Chile: 333 pp. Santiago.

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

**Suárez, M. & De La Cruz, R. 1994.** Estratigrafía y paleogeografía Mesozoica de Aysén Nororiental (45-46°S), Chile. In Congreso Geológico Chileno, No. 7. Actas, 1: 538-542. Concepción.

**Suárez, M. & De La Cruz, R. 1997a.** Cronología magmática de Aysén Sur, Chile (45°–48°30' L.S). Congreso Geológico Chileno No. 8. Acta 2: 1543–1547.

**Suárez, M. & De La Cruz, R. 1997b.** Edades K–Ar del Grupo Ibáñez en la parte oriental del Lago General Carrera (46–47°LS), Aysén, Chile. Congreso Geológico Chileno No. 8. Acta 2: 1548–155.

**Suárez, M.; Demant, A. & De La Cruz, R. 1999.** Volcanismo calcoalcalino en W Provincia Chon Aike: Grupo Ibáñez, Jurásico Superior-Cretácico Inferior temprano, Cordillera Patagónica de Aysén, Chile (4530'–4630'S). Actas Congreso Geológico Argentino No. 4. Acta 2: 186–189. Salta.

**Suárez, M.; De La Cruz, R.; Troncoso, A. 2000.** Tropical/subtropical Upper Paleocene-Lower Eocene fluvial deposits in eastern central Patagonia, Chile (46°45'S). *Journal of South American Earth Sciences*. Vol. 13: 527-536.

**Suárez, M. & De la Cruz, R. 2001.** Jurassic to Miocene K–Ar dates from eastern central Patagonian Cordillera plutons, Chile (45–48 S). *Geological Magazine*. Vol.138 (01): 53-66.

**Suárez, M.; De La Cruz, R.; Aguirre-Urreta, B. & Fanning, M. 2005a.** Diachronic Tithonian-Valanginian marine transgression of the Coihaique Group, Aysén Basin (43–47 S), Chile. In Congreso Geológico Argentino No. 16. Actas 1: 303– 304.

**Suárez, M.; Demant, A.; De La Cruz, R. & Fanning, M. 2005b.** Lower Cretaceous basaltic tuff cones in central Patagonian Cordillera (4520'S), Chile. Congreso Geológico Argentino No. 16. Actas 1: 305–307.

**Suárez, M.; De la Cruz, R.; Fanning, M. 2008.** Edades U-Pb Shrimp en volcanitas el área Chile Chico, Aysén: Proyecto Fondecyt No. 1030162. Servicio Nacional de Geología y Minería, Informe Inédito: 11 pp. Santiago.

**Suárez, M.; De la Cruz, R.; Aguirre-Urreta, B. & Fanning, M. 2009.** Relationship between volcanism and marine sedimentation in northern Austral (Aysén) Basin, central Patagonia: Stratigraphic, U-Pb SHRIMP and paleontologic evidence. *Journal of South American Earth Sciences*. Vol 27: 309-325.

**Tarback y Lutgens, 2003.** Ciencias de la Tierra. Una introducción a la geología física. Editorial Pearson Hill. 514-520pp. Madrid.

**Thomson, S.N.; Hervé, F. & Fanning, C.M. 2000.** Combinig Fission-Track and U-Pb Shrimp zircon ages establish stratigraphic and metamorphic ages in basement sedimentary rocks in southern Chile. In Congreso Geológico Chileno, No. 9. Actas 2: 769-773. Puerto Varas.

**Thomson, S. N.; Hervé, F. & Stöckhert, B. 2001.** Mesozoic-Cenozoic denudation history of the Patagonian Andes (southern Chile) and its correlation to different subduction processes. *Tectonic*. Vol. 205: 693-711.

**Thomson, S. N. 2002.** Late Cenozoic geomorphic and tectonic evolution of the Patagonian Andes between latitudes 42°S and 46°S: An appraisal based on fission-track results from the transpressional intra-arc Liquiñe-Ofqui fault zone. *Geological Society of America Bulletin*. Vol. **114** (9):1159-1173.

**Ton-That, T.; Singer, B.; Mörner, N.A. & Rabassa, J. 1999.** Datación de lavas basálticas por  $40\text{ Ar}/39\text{ Ar}$  y geología glacial de la región del lago Bueno Aires, provincia de Santa Cruz, Argentina. *Revista de la Asociación Geológica Argentina*. Vol. **54**: 333–352. Buenos Aires.

**Troncoso, A.; Suárez, M.; De la Cruz, R. & Palma-Heldt, S. 2002.** Paleoflora de la Formación Ligorio Márquez (XI Región, Chile) en su localidad tipo: sistemática, edad e implicancias paleoclimáticas. *Revista geológica de Chile*. Vol. **29** (1): 113-135. Santiago.

**Turner, K.J.; Fogwill, C.J.; McCulloch, R.D. & Sugden, D.E. 2005.** Deglaciation of the Eastern flank of the North Patagonian Icefield and associated continental-scale lake diversions. *Geografiska Annaler*. Vol. **87** (A): 363-374.

**UNESCO. 2014.** Guidelines and Criteria for National Geoparks seeking UNESCO's assistance to join the Global Geoparks Network (GGN). 13 pp.

**Vargas, G.; Hervé, F. 1995.** Emplazamiento hipabisal mioceno tardío del stock de Paso Las Llaves en la región de tras arco, Aysén. *Comunicaciones*, No. 46, p. 3-15.

**Warren, C. R. y Aniya, M. 1999.** The calving glaciers of southern South America. *Global and Planetary Change*, Vol. **22**: 59-77.

**Weischet, W. 1960.** Die geographischen Auswirkungen des Erdbebens vom 22. Mai 1960 im Kleinen Süden Chiles (vorläufiger Bericht). *Erdkunde*. Vol. **14**: 273-288.

**Welkner, D. 2000.** Geocronología de los plutones del área del cerro San Lorenzo, XI Región Aysén. IX Congreso Geológico Chileno, Actas v.2, p. 269-273. Puerto Varas.

**Wimbledon, W.A.P; Smith-Meyer, S. 2012.** Geoheritage in Europe and its conservation. *ProGeo*. 405 pp.

**Winchester, V.; Harrison, S.; Bailey, R. 2005.** A 2.5 ka luminescence date for a terminal moraine in the Leones valley, southern Chile. *Journal of Glaciology*. Vol. **51**: 186–188.

**Zouros, N. 2009. European Geoparks.** Greek: Natural History Museum of the Lesvos Petrified Forest on behalf of the European Geoparks Network. 163 pp. Lesvos.