



UNIVERSIDAD DE CHILE
FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICAS
DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA

**VALORACIÓN DE LA GEODIVERSIDAD EN LA COMUNA DE PUERTO VARAS:
NUEVAS PERSPECTIVAS PARA EL DESARROLLO LOCAL**

MEMORIA PARA OPTAR AL TÍTULO DE GEÓLOGO

TOMÁS ANDRÉS MARTÍNEZ ORTEGA

PROFESOR GUÍA
MANUEL SCHILLING DANYAU

PROFESOR CO-GUÍA
FRANCISCO HERVÉ ALLAMAND

MIEMBROS DE LA COMISIÓN
GABRIEL OROZCO LANFRANCO
REYNALDO CHARRIER GONZÁLEZ

SANTIAGO DE CHILE
2017

**RESUMEN DE LA MEMORIA PARA OPTAR AL
TÍTULO DE:** Geólogo.
POR: Tomás Andrés Martínez Ortega
FECHA: Agosto 2017
PROFESOR GUÍA: Manuel Schilling D.

VALORACIÓN DE LA GEODIVERSIDAD EN LA COMUNA DE PUERTO VARAS: NUEVAS PERSPECTIVAS PARA EL DESARROLLO LOCAL

El patrimonio natural esta compuesto por elementos bióticos que integran la biodiversidad, y abióticos que componen la geodiversidad. La conservación de este patrimonio no solo constituye una necesidad para la supervivencia de todos los seres vivos, además posee un valor científico incalculable en la medida que guarda una explicación del origen y evolución de este planeta junto con todas las formas de vida que hay en él.

La geodiversidad -variedad natural de minerales, fósiles, rocas, suelos, formas de relieve y procesos geológicos activos, como una erupción volcánica o la acción erosiva de glaciares sobre los valles- de la comuna de Puerto Varas, que incluye al Parque Nacional Vicente Pérez Rosales, presenta una variedad de depósitos volcánicos y glaciares del Holoceno-Pleistoceno además de un registro de rocas cristalinas de edades Cretácicas y Miocenas del Batolito Nor-Patagónico. Esta diversidad geológica, ha sido parte de estudios de relevancia internacional (p.ej Glaciación Llanquihue) y actualmente visitada por alrededor de 800.000 personas al año. Además, dos volcanes activos, Osorno y Calbuco, representan una amenaza y un desafío constante para el vivir las comunidades locales, y entender su dinámica es fundamental para planificar el territorio. Aun así, aunque el conocimiento científico existe, este pareciera no ser conocido y/o considerado por los habitantes locales, encontrándose localidades en sectores de extrema vulnerabilidad (p.ej. Las Cascadas) o desperdiciando el alto potencial interpretativo que ofrece la diversidad geológica del territorio en sus destinos turísticos y el Parque Nacional.

De esta forma, mediante el diseño de una metodología cualitativa y cuantitativa de reconocimiento, selección, valoración y caracterización de la geodiversidad en base a trabajos nacionales e internacionales, se presenta un inventario con 11 sitios de geodiversidad en la comuna de Puerto Varas que busca destacar los aspectos más relevantes de la geología local. Además, se ha elaborado un detalle de la geología del sector estudiado, un mapa de los contextos geológicos representativos del territorio y un análisis de los valores que tienen estos lugares en tres áreas principales: Investigación, educación y turismo.

Se desprende de este trabajo, que la comuna de Puerto Varas tiene herramientas suficientes para iniciar actividades pioneras en materias de geoconservación, educación y geoturismo con posibilidades reales de aumentar el conocimiento en ciencias de la Tierra en las comunidades y visitantes, generar nuevas ofertas de empleo directo e indirecto ligados al desarrollo del geoturismo, diversificar la oferta turística con el objetivo de descongestionar los atractivos tradicionales, contribuir al desarrollo de una identidad local coherente al entorno natural que caracteriza territorio y establecer las bases para nuevos estudios entregando una nueva perspectiva para el futuro desarrollo local.

Palabras Claves: Geodiversidad, Geositios, Educación, Geoturismo, Geoconservación, Puerto Varas.

Naumaquia

Numerosos negligentes neolíticos
necesitan no necesitando
nepotismo normalizado:
nominados napoleones neocapitalistas,
negocios narcóticos
noticiarios nefastos
nulas neuronas,
nada nutridos niños.
Necrótica Norteamérica...nuclear Nipón...
noviazgo nauseabundo no necesario,
níttrica nebulosa nuclear:
naftalina neoliberal.
Nuevo navío nepalés
nido nacarado necesario:
nacen nomades nihilistas
narrando novelas naturalistas.
-Nunca niegues nuestro nexo natural Newton-
¿no notas? néctar, nenúfares, notros, noctilucas...
¡Nuestra nodriza naturaleza nos necesita!

AndesRevolución-

AGRADECIMIENTOS

A mi Familia. A mis padres Luis y Renata por apoyarme en cada una de mis inquietudes en la vida, invitarme a explorar y jamás reprimir a ese espíritu ingenuo que no ha dejado de sorprenderse por las cosas del mundo. También por haberme mostrado de pequeño los paisajes del sur y sobre todo a Luis por todas esas acampadas de lluvia y barro que fueron curtiéndome como un viajero. A mi hermana Camila quien siempre me ha adelantado un paso en la vida. Por educarme desde pequeño en esa muralla que rallábamos con tiza, que me permitió conocer el mundo a corta edad. Por ser una compañera de vida. A mi hermano Antonio, por las innumerables alegrías que me ha hecho pasar durante la vida, y sobre todo en este último periodo, por esa talla corta y precisa. Por el hermoso ser humano que es y por ese contraste que hace su personalidad con la mía que me ha ayudado a crecer. A mi padre Juan Carlos, que a temprana edad también emprendió un viaje conmigo por la carretera austral, mostrándome diferentes y asombrosos paisajes que culminaron en los espectaculares depósitos del volcán Hudson. Por el deporte: la bicicleta y la moto en donde aprendí los valores y códigos que la competencia también tiene.



A Fernanda, quien fue mi compañera durante gran parte de este proceso, apoyándome en los momentos de oscuridad, riéndonos y queriéndonos en la felicidad. Por invitarme a mirar el mundo de otro modo en cada uno de los viajes y procesos que tuvimos. Por toda la intelectualidad y seriedad compartida a momentos y por la delicadeza y ternurilla en otras.

A mi profesor guía Manuel Schilling que un poco a ciegas confió en mí y me impulso a desarrollar este trabajo. Por ser un ser humano alegre y liviano. Por invitarme a compartir con él, su familia y amigos de los cuales hoy ya me considero uno y dejar quedarme último en su cumpleaños jaja. Por todas esas oportunidades de trabajo que me ha ofrecido para participar, que me nutrieron de mucha experiencia y conocimiento en distintas áreas de la geología de Chile y aunque me ha hecho demorarme con este título, “mejor saber llegar que llegar primero” como me dijo alguna vez.

A Francisco Hervé por su gran sabiduría y sorprendente humildad. Por toda esa confianza que depósito en mí solo en base a mi entusiasmo. Por incentivar a llevar mis ideas a cabo y siempre ver el lado positivo. Por su simpatía y generosidad desde nuestro primer encuentro y las agradables conversaciones que siempre tuvimos. Por ese trabajo que hicimos para el congreso, que aunque no es de otro planeta, me dio experiencia y además me permitió de conocer a Manuel. Por todas esas risas que todavía quedan, Gracias!.

A Gabriel Orozco, quien desde la primera vez que fui a verlo, me dio la mano y me trato como un igual. Por todos esos terrenos a los que hemos ido juntos y nos han hecho amigos, por invitarme a participar con sus estudiantes dejándome exponer libremente mis ideas. Por prestarme el depto. y el Drone! (MASTER) Que me sirvió para tomar hermosísimas fotos de este y otros lugares, además de dejar un bonito registro visual y más de una alegría en quienes lo vieron volar. Por ser un partner y por todo lo que nos queda por compartir.

A Reynaldo Charrier por esas largas conversaciones hablando simplemente de la vida, por sumarse a este proceso de tesis y ayudarme en todas las dudas geológicas con las que he llegado a su oficina. También agradecerle por enseñarme los bellos y complejos paisajes de la geología de Chile con un destacado trabajo pedagógico. En fin, por ser un grande.

A Felipe Flores aka. Flower con quien nos hicimos amigos haciendo la ayudantía de geo y más tarde quien me invitaría a conocer de los volcanes del sur de Chile. Por ser un pequeño maestro, colega y amigo durante este último tiempo. Por presentarme a Gabriel y decirle “ensuciateeee po wn!” y mostrármelo como un amigo, jajaja. Por ese workshop que hicimos con Gabriel donde conocimos al tocayo Pierson y por todos los nuevos terrenos que se nos vienen!.

A José Brilha por ese diplomado con el que me he comensado a formar en esta área y por la buena onda y voluntad de responder a mis dudas, por los consejos, los contactos en Europa y los libros que me regalo cuando lo fui a visitar.

A mi amigo el Deivid quien me acompañó durante 1 mes a terreno, siendo los ojos de todos esos lugares hermosos a

los que fuimos. Por aguantarme las mañas y manías. Por motivarnos e ir a la cumbre del volcán Osorno y por todas esas alegrías que tuvimos durante la Universidad.

A Santiago Vidal y Francisco de SkiyOutdoors, por darme alojamiento, comida y acceso libre a las instalaciones del volcán cada vez que lo necesite y a todos sus trabajadores por la buena onda.

A Mario Maturana, José Gallegos y Jeremías Cardenas con quienes compartí en varias ocasiones y me dieron todo su apoyo desde CONAF.

A Francisco Contreras de Nativa Chile, por ayudarme muchísimo con el transporte durante el terreno y por la amistad que construimos durante el proceso.

A Blessyuz y compañía: La Fad, la Cami, la Barbie, la Ro, la Consu por apañarme infinito las adoro.

A Patricio Contreras, actual colega y amigo valdiviano, con quien he compartido este último tiempo, por confiar en mi trabajo aún sin tener mi título.

A Tania mi prima, quien me ayudo a hacer un video con todas las tomas que realice de manera inexperta en terreno, a las que ella dio coherencia y profesionalismo.

A Josefina Bruce alias Pitu del amor que me ayudo a mejorar mi trabajo con miles de conversaciones y consejos además de trabajo en imágenes y mapas.

A Luis Aguirre-Lebert por siempre sonreírme y conversarme cuando no estaba Francisco. A Alfonso Rubilar por las veces que nos sentamos a conversar de todo tipo de cosas. A Sofía Rebolledo por invitarme a su oficina varias veces a conversar, aun cuando a veces fueran de Alto Maipo. A Jacobus Le Roux por su buena disposición y siempre responderme toda cosa que se me ocurriera. A Luisa Pinto con quien aprendí de educación y del valor que tiene el ser persona antes de profesional. A Francisco Gutierrez y todos esos café de mañana en los terrenos. A Cesar Arriagada con quien compartimos en varios terrenos, de quien aprendí muchísimo de la geología y del trabajo de campo. A Martin Reich, que sin ser un gran amigo, fue un gran maestro de las ciencias.

A mi amigo Pancho Hevía con quien aprendimos la geología juntos a punta de mate y terreno, y que junto al Pipe y al Gonzalo, hicimos un grupo pulento. A todos lxs cabrxs como la Verito, el Seba, el Mati, el Bastro, la Sofi, Javi, Gianfranco, Lara, Claudio, Claudia, Gis, la Andrea, el Victor, , Oscar, Pollo, Garreta, Mauro, Mati, Dieguito, Omar, el Bob, La Pauli, el Anibal, la Gabi, el Ruso, el Fredes, el Feña, la tia y el tío, el Benja, el José, el esteban, la Coni, el Jotapé. y a mis todos otros amigos como el Pable, lalocurared Cubo, Chas, Nico, Jp, Vladi, Dieguits, Pats, Mabri, Fabi, Juancho, Martinoquio, Locoos, Julito sos lo más, Martahase y su dinastía, Cami, Nicozo, Pato, hohe, Sotongo, Marito, Cristian, Pelao, Tardanini, Villalon, Plamera, Diego, Mila, Clau, Aileen, Nati, Guaton, Salva, Cony, Emil, Rodrigo, y a toda esa buena onda en los naranjos o la terraza y al que me olvido puta soooooooooorry jaja. Por reírnos, por apoyarme cuando me robaron el computador y esta tesis cuando estaba casi terminada!. y por ser esta amistad lo único que recordaremos de la universidad cuando seamos ancianos. ¡GRACIAS A TODOS!

Esta tesis se realizo gracias al apoyo de:



Tabla de Contenido

Capítulo 1	Introducción	1
1.1	Presentación del proyecto.....	1
1.2	Objetivos.....	3
1.2.1	Objetivo general.....	3
1.2.2	Objetivos específicos	3
1.3	Ubicación y principales vías de acceso	4
1.4	Métodos de trabajo	6
Capítulo 2	Conceptos Previos	7
2.1	Geodiversidad.....	7
2.2	Valores de la Geodiversidad	7
2.3	Patrimonio Geológico.....	8
2.4	Geositio.....	9
2.5	Sitios de Geodiversidad y Elementos de la Geodiversidad.....	9
2.6	Geoconservación	9
2.7	Relación entre los conceptos	10
2.8	Geoturismo	11
Capítulo 3	Antecedentes del Patrimonio Geológico	12
3.1	Antecedentes Internacionales	12
3.2	Antecedentes Nacionales	14
3.2.1	Antecedentes históricos.....	14
3.2.2	Actualidad	15
3.2.3	Marco Legal	16
Capítulo 4	Metodología para Inventariar y Valorar la Geodiversidad	18
4.1	Metodología para el inventario de Geositios y sitios de Geodiversidad	18
4.1.1	Inventario de Geositios	19
4.1.2	Inventario de Sitios de Geodiversidad.....	20
4.2	Caracterización de los Sitios de Geodiversidad/Geositios	22
4.3	Metodología para la valoración cuantitativa de geositios y sitios de geodiversidad	26
4.3.1	Valoración Cuantitativa de Valor Científico	28
4.3.2	Valoración Cuantitativa de Potencial de Uso Educativo y Turístico	31
4.3.3	Valoración Cuantitativa del Riesgo de Degradación.	34
Capítulo 5	Marco Geológico.....	38
5.1	Rasgos Fisiográficos Generales.	38
5.2	Áreas Protegidas	38

5.3	Clima, Vegetación y Suelos	38
5.4	Peligro Geológico.....	41
5.5	Antecedentes Geológicos	43
5.6	Geología	44
5.6.1	Complejos Metamórficos de la Cordillera Principal.....	44
5.6.2	Unidades de Rocas Plutónicas: Batolito Nor Patagónico.....	45
5.6.3	Depósitos Volcánicos Cuaternarios	47
5.6.4	Depósitos Sedimentarios Cuaternarios.....	64
5.6.5	Glaciación de Llanquihue (Denton et al. 1999)	70
5.6.6	Estructuras.....	71
Capítulo 6	Reconocimiento de contextos geológicos y preselección de sitios	74
6.1	Contextos Geológicos Nacionales representados en el área estudio	74
▣	Batolitos y Complejos Plutónicos del Mesozoico (BM).....	74
▣	Batolitos del Cenozoico (y los grandes pórfidos cupríferos y depósitos de oro de Chile) (BC).....	74
▣	Volcanismo Cuaternario (VNC).....	74
▣	Mega Estructuras y Neotectónica de Chile (MEN).....	74
▣	Geoformas y depósitos glaciales del centro y sur de Chile (GLC)	74
▣	Ambientes lacustres del Cuaternario (LC)	74
6.2	Preselección de sitios	76
Capítulo 7	Inventario de sitios caracterizados en la comuna de Puerto Varas.....	82
	Roca Abanico.....	84
	Saltos del Petrohué.....	88
	Cráter Rojo.....	94
	La Fisura de 1835	100
	Laguna Verde.....	105
	Piroclastos del Trébol Norte	111
	La Morrena.....	117
	Gravas y Arenas	120
	Varves de Puerto Varas	127
	Volcanes de Arcilla.....	131
	Varves de Frutillar	136
Capítulo 8	Valoración Cuantitativa del inventario de Geodiversidad	143
8.1	Análisis de los datos obtenidos.....	143
Capítulo 9	Discusiones.....	148
Capítulo 10	Conclusiones	153
	Bibliografía.....	154

Links de Interés	166
ANEXO A: AMENAZAS DE LA GEODIVERSIDAD	168
ANEXO B: PROYECTOS GEOPARQUES	169
Geoparques	169
Red Global de Geoparques (GGN)	171
Programa <i>GLOBAL UNESCO GEOPARKS</i>	173
Calendario de las actividades que están establecidas por la UNESCO para la propuesta de un Geoparque	174
ANEXO C: Otros resultados	176
ANEXO D: Declaración de Digne- Les-Bains (1991)	177

Índice de Figuras

Figura 1 Volcán Osorno visto desde el sector de Laguna Verde	2
Figura 2 Atardecer en el Parque Nacional Vicente Pérez Rosales	3
Figura 3 Trabajo de campo en el Volcán Osorno. Febrero 2016	6
Figura 4 Esquema conceptual de la diversidad natural. Tomado de Brilha 2016.	10
Figura 5 Fichas para la descripción de sitios en terreno	25
Figura 6 Temperatura media para cada mes en Puerto Varas. Los datos del Explorador Eólico se basan en las simulaciones hechas con el modelo meteorológico WRF a 1 km de resolución para el año 2010	39
Figura 7 Izquierda: Promedio de precipitaciones anual desde el año 1970-2017. Derecha: Datos de precipitación acumulada mensualmente hasta el año 2008. Fuente de datos: http://explorador.cr2.cl/ ; Estación Ensenada	40
Figura 8 Arriba: Mapa en que se muestra la velocidad del viento en los alrededores en la comuna de Puerto Varas. Izquierda: Grafico que muestra el promedio anual de la velocidad del viento para Puerto Varas indicando en cada barra el promedio mensual de la velocidad del viento.	40
Figura 9 Zona de afectación por lahares en la erupción del 22-23 abril 2015 en el volcán Calbuco. Te recomiendo citar la figura original, hecha por Sernageomin. http://eha.cl/2015/05/area-de-exclusion-de-volcan-calbuco-se-redujo-a-10-kilometros-en-torno-al-crater/	41
Figura 10 Algunas zonas afectadas por los lahares secundarios del domingo 8 de Enero del 2017. A: El Solitario; B: La Máquina; C y D: Río Blanco Las Cascadas	42
Figura 11 Algunas zonas afectadas por aluviones ocurridos el año 2015 en el sector de Petrohué.	42
Figura 12 Batolito Nor Patagónico. Vista hacia el sur desde la cumbre del cerro Capicúa en el sector de	

Cochamó. Al frente, se puede ver el Cerro Trinidad (izquierda) y al circo glaciar “el Anfiteatro” (derecha).	45
Figura 13 Fotografía con vista sureste desde el Volcán Osorno. En primer plano, es posible ver la Sierra de Santo Domingo. Hacia atrás, se distingue el cordón montañoso formado por el Batolito Nor-Patagónico.	46
Figura 14 Geología de la zona de Reloncaví (después de Duhart <i>et al.</i> 2000)	47
Figura 15 Que muestra los principales conos volcánicos de la zona de estudio.	48
Figura 16 Fotografía del Volcán Tronador y el Glaciar Casa Pangué tomada desde el Cerro Riggi. Vista hacia el sur.	48
Figura 17 Retroceso de los glaciares del Monte Tronador al año 2016 según observaciones del autor. Imagen modificada de Los Glaciares de Chile, CECS, Museo Colonial de Frutillar.	49
Figura 18 Tomado de Mella <i>et al.</i> 2005	50
Figura 19 Fotografía del Grupo Volcánico Puntiajudo – Cordón los Cenizos. Vista NE desde la cumbre del Volcán Osorno	51
Figura 20 Muestra el lineamiento N60°E del Volcán Puntiajudo – Cordón Cenizos.	52
Figura 21 Al fondo a la izquierda el antiguo Volcán La Picada. Vista NE desde el portezuelo desolación.	53
Figura 22 Vista desde la cumbre del Volcán Osorno. Al centro de la imagen, el Volcán la Picada seguido del Complejo Volcánico Cordón los Cenizos-Puntiajudo. Todos estos Volcanes están alineados en una dirección aproximada de N60°E.	53
Figura 23. Fotografía del volcán Osorno. Vista hacia el NE.	54
Figura 24 Fotografía de la Unidad Osorno 1 (Plo1a; Moreno <i>et al.</i> 2010) “Basaltos el Abanico”.	55
Figura 25. Unidad Osorno 2 (Plo 2; Moreno <i>et al.</i> 2010) en el sector de los Saltos del Petrohué.	56
Figura 26 Algunos de los conos de piroclastos edificadas durante el desarrollo de la Unidad Osorno 3.	56
Figura 27. Fotografía de la Unidad Osorno 4. Es posible ver las Andesitas Basálticas de Todos los Santos sobre una pila de depósitos de caída. Vista Sur.	57
Figura 28. Vista hacia el flanco sureste del volcán Osorno. Se pueden ver los principales conos piroclásticos del sector alto.	58
Figura 29 Vista hacia el este desde las últimas telesillas del volcán Osorno ubicadas en la ladera sureste baja.	58
Figura 30. Fotografía del volcán Calbuco. Vista hacia el Sur, desde el sendero los Pilleyos, Laguna Verde, PNVPR.	59
Figura 31. La Unidad Calbuco 1 representada por Plc1 (Selles y Moreno, 2011) (rosado) se encuentra casi completamente cubierta por vegetación en la actualidad. Fotografía aérea con vista Norte, desde Río Blanco.	

.....	60
Figura 32 Actual cantera en el sector de Colonia Río Sur, en donde se extraen áridos de la unidad geológica Ignimbrita Alerce y depósitos volcanoclástico Hap3. Referencia: Selles y Moreno (2011)	61
Figura 33. . Primer pulso eruptivo del volcán Calbuco el 22 de abril 2015. Gentileza de Natalia Garrido....	62
Figura 34 Fotografía aérea con vista Este a los Estratos de Hueñu-Hueñu en la rivera norte del Lago Chapo. Referencia: Selles y Moreno (2011).....	63
Figura 35 Disposición de los principales centros menores. Tomado de Mena, 2015.	64
Figura 36. Mapa geológico modificado de Cembrano <i>et al.</i> (1993), a partir de la compilación de 4 mapas escala 1:100.000.....	65
Figura 37 Leyenda del mapa de la Figura 18, tomado de Cembrano <i>et al.</i> 1993.	66
Figura 38 Modificado de Geografiska Annaler 1999. 2 Mapas.....	68
Figura 39 Simbología de mapa Figura 20.....	69
Figura 40. Muestra el arreglo estilo SC propuesto por Rosenau para interpretar deformación en la corteza superior producto de la ZFLO.	72
Figura 41 que muestra los principales sistemas estructurales ligados a la ZFLO. Modificado de Roseneau 2006.....	72
Figura 42 Vista aérea en dirección norte que muestra tres afloramientos discretos con disyunción columnar clasificados según su morfología (Spry, 1961)	85
Figura 43 Detalle de las caras basales de las columnas del afloramiento de la Figura 61; B. Se puede ver las formas poligonales de 4,5,6,7 y hasta 8 lados.	87
Figura 44 Vista aérea de los Saltos del Petrohué y su nueva pasarela Diatomea. Desde el cielo se puede ver como el agua se abre paso entre los basaltos, generando saltos que dan origen a diversas morfologías de origen fluvial.	89
Figura 45 Fotografías que muestran diferentes aspectos del sector de los saltos en las pasarelas diatomeas.	90
Figura 46 Fotografía que muestra un frente de lava en el inicio del sendero Los Enamorados que ha desarrollado un “descascamiento” mediante fracturas planares, posiblemente relacionado a una última etapa de cizalle en una fase de enfriamiento de este frente de lava	91
Figura 47 Tomado de DeGraff y Aydin (1993). Geometría de los empalmes de contracción termal en una lava basáltica. d: diámetro de la columna, δc : incremento del crecimiento, ancho de la cara de la columna.	91
Figura 48 Fotografías de las disyunciones columnares en lavas y sus características.	92

Figura 49. Fotografía del Bosque de Arrayanes en el sendero interpretative Carilemu.....	93
Figura 50 Durante el año 1835, el volcán Osorno tuvo multiples episodios eruptivos. Uno de ellos, dio origen a este cono de escoria en el flanco suroeste del volcán que fue visto por el HMS Beagle. Darwin escribió: 95	
Figura 51 Fin del camino pavimentado que asciende al volcán Osorno. Cafetería de Ski y Outdoors en el volcán Osorno.....	96
Figura 52 Mapa geológico que muestra las principales etapas eruptivas de 1835, su distribución y productos asociados. Tomado de Lara <i>et al</i> (2012).	97
Figura 53 Imagen panorámica con vista al sur del cono de piroclastos Cráter Rojo.....	97
Figura 54 Fotografía con vista al norte, que muestra una conservada pared de dique dentro del cráter.....	98
Figura 55 Bomba a unos 100 metros del cráter cuyo origen es desconocido. Este fragmento de lava fue expulsado a gran velocidad, viajando por el aire, enfriándose y adquiriendo una morfología aerodinámica.	98
Figura 56 Muestra el afloramiento de unos 4 metros de alto de depósitos piroclásticos con diferentes colores producto de la alteración de estos que son muy ilustrativos para reconocer las diferentes capas de caídas de lapilli, de ceniza, marcas de impacto y otros.	99
Figura 57 Vista hacia el suroeste desde las telesillas al Cráter Rojo.....	99
Figura 58 Fotografía aerea con vista hacia el N10°O. Se puede ver el sector norte de la fisura eruptiva de la erupción de 1835, en el flanco suroccidental del volcán Osorno (en segundo plano a la derecha).....	101
Figura 59 El HMS Beagle en su paso por Chile. En esta ilustración se encuentran en el estrecho de Magallanes. Tomado de la revista The Popular Science Monthly, mayo de 1900.	102
Figura 60 vista hacia el sur desde las telesillas. Se pueden ver varios conos de flanco en la ladera del volcán. Al fondo, se encuentra el volcán Calbuco.	102
Figura 61 Volcán Bardarbunga, fisura eruptiva de Holuhraun, 2014-2015.	103
Figura 62 Fotografías del sector La Fisura.	104
Figura 63. Se puede ver la laguna Verde, cuyas características aguas verdes le dan su nombre. Alrededor crece un joven bosque de coigües. Vista hacia el noreste.....	106
Figura 64. A: Cuentas públicas 2015 en el salón de las oficinas de CONAF en laguna Verde*. B. Quiosco concesionado por la Agrupación de Artesanas de la Murta.....	106
Figura 65. Una de las instalaciones que existen en el sendero Laguna Verde.....	107
Figura 66. Se muestra una vista 3D del volcán Osorno.....	108

Figura 67. A: Fotografía del lago Llanquihue y la laguna Verde (vista hacia el noreste).B: Esquema que explica porque el nivel del agua de la laguna Verde es el mismo que el del lago Llanquihue.	109
Figura 68. A, Sendero los Pilleyos. ceniza y lapilli de la erupción del 22-23 de abril de 2015 del volcán Calbuco. B, Se puede ver un afloramiento típico de las lavas de 1835 donde crecen jóvenes coigües. ...	110
Figura 69. Sitio 1 de la figura 70.	112
Figura 70 Vista planta de la salida norte de Puerto Varas. Se han identificado y descrito 3 sitios.	113
Figura 71 Caracterización con edades radiométricas de una sección en el antiguo cruce de la ruta 5 y la 225.	114
Figura 72 Sitio 2 de la Figura 70.....	115
Figura 73 Sitio 3 de la Figura 70.....	116
Figura 74 afloramiento desde el lado sur del camino. Dentro de su forma lobular, se observan bloques grandes y angulosos. Abajo: Esquema del afloramiento.	118
Figura 75. Fotografías que muestran diferentes características del depósito.....	119
Figura 76. Vista hacia el sur del sitio de interés construido a partir de tres fotografías. Dimensiones aproximadas del afloramiento fotografiado: 8 m X 50 m.....	121
Figura 77 Manjar, uno de los productos del fundo Playa Venado que pueden ser conocidos en su "Agrotour".	121
Figura 78. Fotografía en detalle de la estratificación cruzada observada en los depósitos.	122
Figura 79 Muestra los diferentes horizontes observados en el sector más occidental del afloramiento:	123
Figura 80 Uno de los tantos sistemas fluviales trenzados, en el Parque Nacional Delani, Alaska.	124
Figura 81 Glaciar Creek, en el Parque Nacional Rocky Mountain, Colorado USA. Se puede ver el sandur o planicie de drenaje glaciar con un sistema fluvial trenzado.	124
Figura 82 Laguna <i>La Poza</i> que es un sistema fluvial con un nivel basal igual al del lago.	125
Figura 83. En esta imagen del Glaciar Quintin, Chile, se puede ver como existe un sistema glaciofluvial en la actualidad en los sectores marginales al glaciar principal. Una situación análoga también podría haber ocurrido en este sitio.....	125
Figura 84. Imagen satelital que muestra el área en donde se ubican los depósitos estratificados (1) y la playa Venado (2).	126
Figura 85. Vista aérea con dirección sur. Se pueden ver los depósitos en la ribera sur del lago. Atrás, se observa la ciudad de Puerto Varas.	128

Figura 86 Modificado de Turbek y Lowell (1999), quienes dividen este sitio en 7 unidades principales.	129
Figura 87 Detalles de diferentes estructuras de este sitio.(Varves Puerto Varas).	130
Figura 88. Fotografía aérea con dirección sur. Se pueden ver los afloramientos de depósitos glaciolacustres en tonos marrones. Al fondo, se ve el sector de Puerto Chico.	132
Figura 89. A, Sedimentos de color gris y tamaño arcilla finamente laminados, en donde se pueden observar conos con orificios cilíndricos que poseen a su alrededor círculos concéntricos.....	133
Figura 90. Se puede ver el contacto entre la unidad 1 y 2A.	134
Figura 91 Vista planta del sitio e interpretación de las dos unidades reconocidas en este sector.	135
Figura 92. Vista área hacia el sur del sector sur de la playa de Frutillar. Se observan sobre y bajo el nivel del lago, varios afloramientos de depósitos estratificados con tonalidades grises y marrones.....	137
Figura 93. U Fotografía de uno de los afloramientos cercanos a la orilla del lago, deteriorado producto de dibujos y firmas realizadas por personas. Afloramiento de 1,5 m x 1 m x 0,5 m.....	138
Figura 94 Arriba: Fotografía área con vista de planta del sector estudiado. Se pueden ver las unidades grises y marrones en afloramientos que sobrepasan en algunos casos el nivel del lago, y a la derecha se encuentra el Teatro del Lago. Abajo: Esquema de las unidades reconocidas.....	139
Figura 95. Se muestra las subunidad inferior de la Unidad 1. Una de las características principales de este afloramiento es la alternancia de secuencias claras (verano) y oscuras (invierno).	140
Figura 96. Se muestra la segunda subunidad de la Unidad 1. Se puede observar una estratificación paralela, con niveles centimétricos, y con desarrollo de musgo en las partes altas.	141
Figura 97. Se muestra el segundo miembro de la Unidad 1. Se puede ver como es también uno de los lugares escogidos por la Gaviota cahuil (Kaulle).	141
Figura 98. Estructuras semicirculares y concéntricas encontradas en los niveles superiores de estos depósitos. Debido a que en su centro poseen un conducto relleno de arena, han sido interpretadas como estructuras de inyección y la deformación producida por esta, sería la responsable de estas figuras (ver sitio Volcanes de arcilla).....	141
Figura 99 Vista Norte En este sector (sur de la playa) se comienzan a observar gran cantidad de gravas y bloques sueltos que culminan en un pequeño afloramiento consolidado de la Unidad 1.	142
Figura 100. Diagrama Radial de los valores VC, PUT, RD, PUE de los sitios del inventario.....	147
Figura 101 Diagramas radiales de valores de los diferentes sitios según sus valores de VC, PUT, PUE y RD. Se muestra un ejemplo de los valores ideales (4, 4, 4,0) respectivamente.	150
Figura 102 Fotografía tomada durante el terreno de la asignatura de Volcanología Física de la Universidad Austral de Chile	151

Figura 102 Muestra una representación teatral realizada por la Asociación de Jubilados y Pensionistas de Flores.	170
Figura 103 Tomada en el contexto de la actividad “Exploradores del Volcán Llaima”.	170
Figura 104 Productos elaborados en el Geoparque Villuercas. Foto: http://www.geoparquevilluercas.es .	171
Figura 105 Izquierda: Portada del programa UNESCO Global Geoparks disponible en la red http://unesdoc.unesco.org/images/0024/002436/243650e.pdf Derecha: Nuevo logo de los Geoparques de la Red Mundial. ¿Qué onda con los logos y portadas?	173

Índice de Gráficos

Gráfico 1 que muestra el estado de de avance de los potenciales geositios y sitios de geodiversidad.	80
Gráfico 2 que muestra el interés de los sitios preseleccionados.	81
Gráfico 3 que muestra los contextos representados por la preseleccion de sitios.	81
Gráfico 4 Que muestra la cantidad de contextos geológicos representados por lo sisitos del inventario.	82
Gráfico 5 Resultados obtenidos para el Valor Científico (VC).	145
Gráfico 6 Resultados obtenidos para el Potencial de Uso Educativo (PUE).	145
Gráfico 7 Resultados obtenidos para el Potencial de Uso Turístico (PUT).	146
Gráfico 8 Resultados obtenidos para el Riesgo de Degradación (RD)	147

Índice de Tablas

Tabla 1•; Izquierda: códigos utilizados para otro tipo de interés. Derecha: códigos utilizados para un tipo de interés geológico.	22
Tabla 2 Estructura estándar de los sitios inventariados.	26
Tabla 3 Criterios para evaluar el VC.	28
Tabla 4 Asignación de puntajes a los diferentes criterios de la Tabla 3 para obtener un VC.	29
Tabla 5 Ponderación de los diferentes criterios para la obtención de un VC (0-4).	30
Tabla 6 Criterios utilizados para evaluar el PUE.	31
Tabla 7 Ponderaciones para asignar un puntaje (0-4) de PUE.	31
Tabla 8 Criterios utilizados para evaluar el PUT	32
Tabla 9 Ponderaciones para asignar un puntaje (0-400) de PUT	33

Tabla 10 Parámetros para asignar un puntaje al PUE y PUT según corresponda	33
Tabla 11 Criterios utilizados para evaluar el RD	35
Tabla 12 Parámetros para asignar un puntaje de RD	36
Tabla 13 Ponderaciones para asignar puntaje (0-4) de RD	37
Tabla 14 Caracterización de los valores según el puntaje obtenido.	37
Tabla 15. Que muestra la lista de sitios recopilados mediante entrevistas, revisión bibliográfica y visitas a terreno	76
Tabla 16 Listado de sitios inventariados	82
Tabla 17 Síntesis de la evaluación cuantitativa de los sitios inventariados.....	144

Índice de Mapas

Mapa 1 Muestra el área de estudio y las principales rutas de acceso.	5
Mapa 2 . Compilación de mapas de la zona de estudio.....	73
Mapa 3 De contextos geológicos simplificado 1:500:000, en donde se muestran los principales contextos geológicos nacionales que existen en la zona de estudio.....	75
Mapa 4. De contextos geológicos (ver mapa 3) en donde se ven los puntos visitados durante las campañas de terreno.	76
Mapa 5. De Contextos geológicos en el que se ven la ubicación de los sitios caracterizados con su respectivo código	83

1.1 Presentación del proyecto

La conservación del patrimonio natural y en particular del patrimonio geológico ([2.3 Patrimonio Geológico](#)) es un asunto de suma importancia para la sociedad actual, si se entiende el patrimonio como todo aquello que una generación hereda/transmite a la siguiente con el propósito de preservar, continuar y acrecentar dicha herencia (DeCarli, 2006). El mantener disponible el patrimonio natural, no solo constituye una necesidad para la supervivencia de los seres vivos, además es fundamental por poseer un valor científico incalculable debido a que guarda una explicación del origen y evolución de este planeta y todas las formas de vida en él.

Para que una comunidad en un territorio pueda ejercer su derecho a beneficiarse de sus recursos patrimoniales, DeCarli (2006) plantea que se requiere de acciones en concientización, capacitación, investigación, organización, mercadeo y difusión, entre otras, que posibiliten y faciliten que las mismas comunidades puedan llevar a cabo un usufructo responsable de estos recursos.

En este sentido el desarrollo del conocimiento relacionado a la geodiversidad ([2.1 Geodiversidad](#)) de un territorio y su adecuada gestión pueden ser una pieza importante para el bienestar social y económico en los entornos donde se localiza. Su utilización como tema de interés para la enseñanza, el geoturismo ([2.8 Geoturismo](#)), o la investigación científica, contribuyen eficazmente a la dinamización económica de sus zonas de influencia. Este valor añadido debe ser especialmente considerado como un factor determinante en zonas rurales en las que el desarrollo sostenible pasa por la potenciación de todos los valores existentes (Duran *et al.* 1998). Se vuelve esencial entonces, la generación de inventarios que puedan cuantificar las ocurrencias más valiosas de la geodiversidad en un sector determinado para establecer estrategias de planificación territorial y conservación, además de empoderar a las comunidades de un importante conocimiento útil a la hora de tomar decisiones frente a eventos geológicos que pueda representar una amenaza (p.ej erupciones volcánicas, aluviones, lahares).

Existen esfuerzos que se remontan hacia varias décadas ([Capítulo 3. Antecedentes del Patrimonio Geológico](#)) para estudiar la geodiversidad e identificar aquellos lugares que son de un valor científico excepcional y que cuyas características vale la pena conservar: los geositos. ([2.4 Geositio](#)). Uno de los proyectos más emblemáticos para esto se remonta a 1996, cuando la Unión Internacional de Ciencias Geológicas (IUGS) en co-patrocinio con la Organización de las Naciones Unidas para la Educación, Ciencia y la Cultura (UNESCO), creó el programa *Global Geosites*, que busca detectar y mantener disponibles los sitios que sirven como recurso vital para las necesidades de una comunidad en materias de investigación, educación o como soporte para iniciativas de ámbito nacional o internacional relacionadas a la conservación del patrimonio geológico. Bajo la misma línea argumentativa, la Sociedad Geológica de Chile (SGCh) creó un programa para la detección del patrimonio geológico chileno (Calderón *et al.* 2009). Este programa busca valorar y conservar aquellos lugares que han sido fundamentales para escribir la historia de la Tierra a través de las ciencias geológicas, siendo útil como insumo para políticas de geoconservación ([2.6 Geoconservación](#)), pero además sirviendo a estudios de planificación territorial, programas de educación en ciencias de la Tierra y fomento actividades económicas como el geoturismo.

Los alrededores del Lago Llanquihue junto con el Parque Nacional Vicente Pérez Rosales cuentan con una diversidad geológica excepcional, resultada principalmente de procesos glaciares y volcánicos ocurridos desde el Pleistoceno hasta el presente. La geodiversidad de este entorno ha sido objeto de estudio por parte

de investigadores de todo el mundo y su comprensión fundamental para escribir fragmentos de la dinámica terrestre (p.ej 5.6.5 [Glaciación Llanquihue](#)), y de que forma estos afectan a la sociedad, por lo que no es casualidad que a fines del año 2016, Puerto Varas fue la novena sede del congreso *Cities on Volcanoes*. Aun así, aunque el conocimiento científico existe, este pareciera no ser conocido y/o considerado por parte de las distintas comunidades locales a la hora de planificar el territorio o de mostrar sus principales atractivos, desperdiciando el gran potencial de interpretación que ofrecen estos escenarios vinculados directamente a los eventos geológicos que les dan origen.

El presente proyecto busca aprovechar y poner en valor aquellos elementos relevantes y atractivos de la geodiversidad de la comuna de Puerto Varas, a través de la identificación, caracterización y valoración de sus elementos geológicos, tanto en sectores utilizados frecuentemente para investigación, educación o turismo, como en nuevos lugares de interés propuestos en este trabajo. El producto generado por este proyecto, corresponde a la elaboración de un inventario descriptivo de diferentes sitios de interés geológico, con un lenguaje técnico pero que también permita la comprensión de personas no especialistas. Este inventario ayudara a incorporar a los relatos existentes, un valioso conocimiento sobre la evolución de la tierra y los procesos geológicos que dan origen a los diferentes paisajes de la zona estudiada además de ampliar el programa de patrimonio geológico de la Sociedad Geológica de Chile.

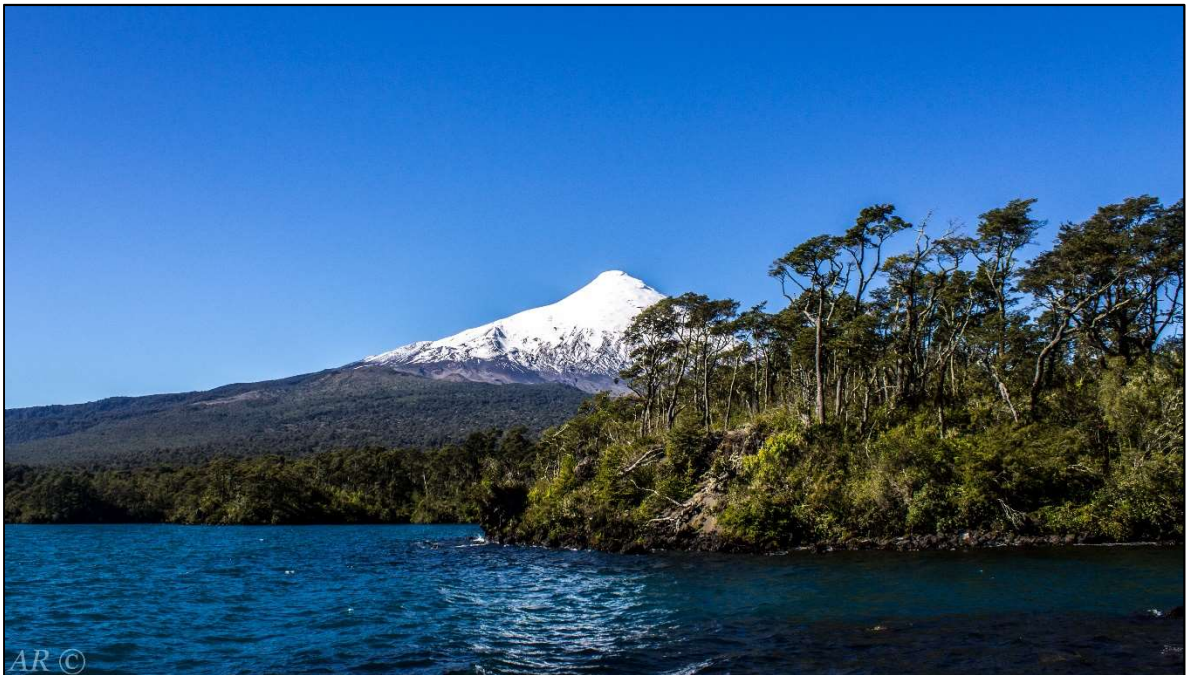


Figura 1 Volcán Osorno visto desde el sector de Laguna Verde

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo general

Elaborar un inventario preliminar de sitios de geodiversidad en la comuna de Puerto Varas con el fin de facilitar el diseño y desarrollo de políticas públicas, tales como programas educativos, geoturísticos y de investigación que promuevan la divulgación de las ciencias de la Tierra y su conservación.

1.2.2 Objetivos específicos

1. Reconocer los principales contextos geológicos en la comuna de Puerto Varas.
2. Identificar sitios representativos de la geodiversidad en la comuna de Puerto Varas que se relacionen a los diferentes contextos geológicos y con potencial para ser utilizados en actividades geoturísticas, educativas y/o científicas
3. Definir una metodología que permita la selección y clasificación de sitios de geodiversidad según su potencial para diferentes usos (geoturístico/educativo/científico)
4. Generar un inventario sitios de geodiversidad de la comuna de Puerto Varas mediante la selección y clasificación generada aplicando la metodología definida.
5. Presentar las principales características de los sitios inventariados y su potencial de uso.
6. Divulgar el inventario elaborado en este trabajo a instituciones públicas (p.ej. SGCh, CONAF) con el fin de dar a conocer una nueva perspectiva de desarrollo local.



Figura 2 Atardecer en el Parque Nacional Vicente Pérez Rosales

1.3 Ubicación y principales vías de acceso

El lago Llanquihue se ubica en la Región de Los Lagos entre los meridianos 73°00' y 72°50'W y los paralelos 42° y 41°30'S. Hacia el Este se encuentra el Lago Todos Los Santos, que pertenece al Parque Nacional Vicente Pérez Rosales el cual es administrado por la Corporación Nacional Forestal (CONAF), que ocupa gran parte del sector oriental.

Las ciudades más cercanas son Puerto Varas y Puerto Montt, que además es la capital de la Región de Los Lagos. Las localidades más cercanas son Llanquihue, Frutillar, Puerto Octay, Puerto Clocker Las Cascadas y Ensenada.

Circunvalación Llanquihue:

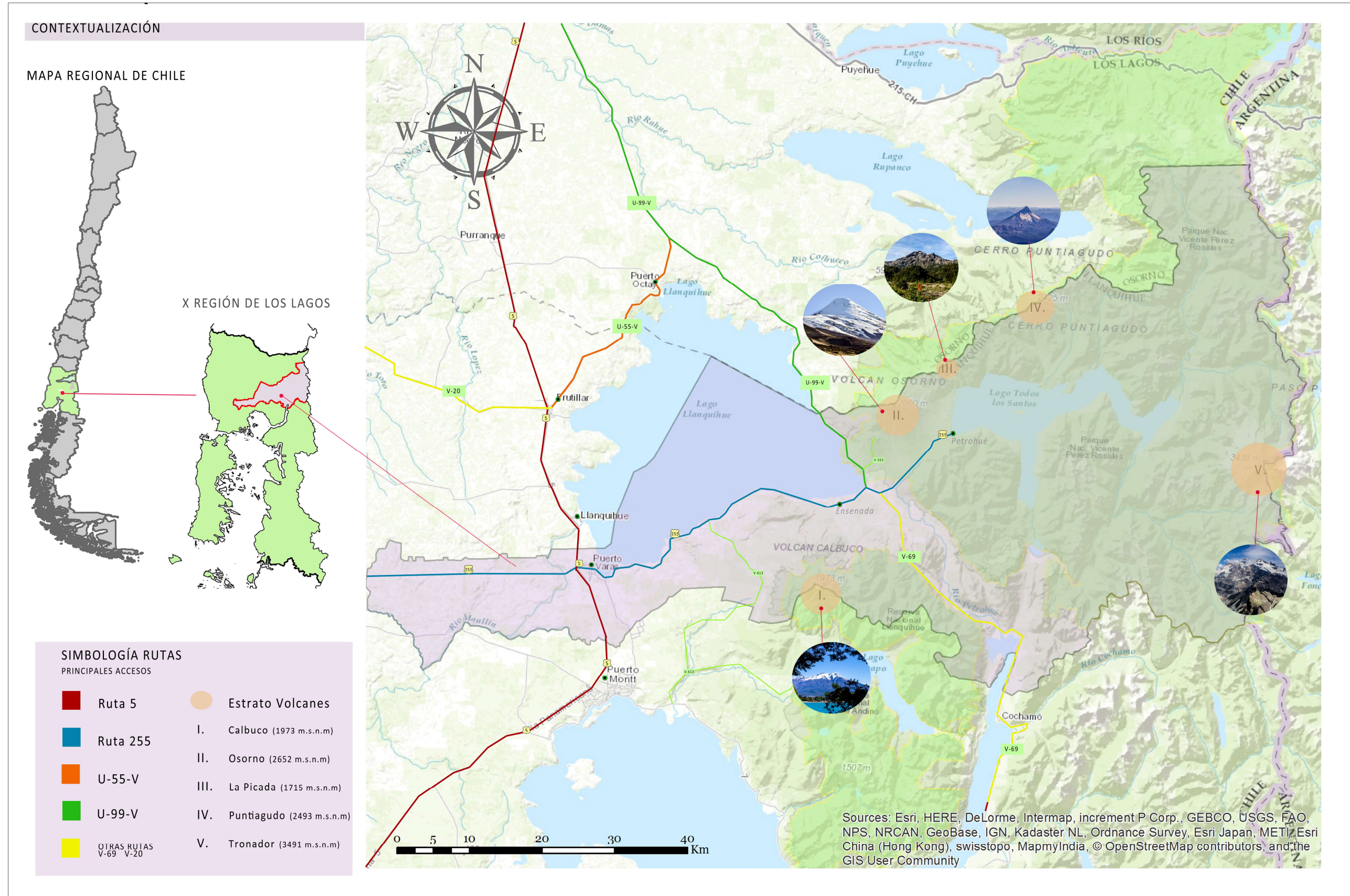
El tramo Frutillar-Llanquihue-Puerto Varas se conecta por la ruta 5 con peajes para el ingreso a cada asentamiento urbano. Para recorrer el tramo Puerto Varas-Ensenada-Peulla-Paso Vicente Pérez Rosales, existe la ruta internacional 255 pavimentada hasta el sector de Petrohué, en donde es posible tomar el catamarán de la empresa Turistour para cruzar a Argentina. El tramo del camino Ensenada -Las Cascadas-Puerto Octay corresponde a la ruta pavimentada U-99-V que enlaza en la tenencia de Carabineros de Ensenada con la ruta 255. Por otra parte, el último tramo Puerto Octay-Frutillar está conectado por la ruta pavimentada U-55-V que se enlaza al nororiente con la ruta U-99-V y al surponiente con el tramo pavimentado V-25 que termina en la ruta 5. Además, una reciente ciclovía ha sido implementada para realizar la circunvalación del lago Llanquihue.

Acceso al Volcán Osorno:

Existen dos caminos que se dirigen al volcán: por el flanco SW, que sube 26 km desde Ensenada hacia el centro de esquí del sector La Burbuja (V-555), y por el flanco NW, que sube 20 km desde Puerto Clocker hasta el Refugio La Picada (U-963)

Acceso al Volcán Calbuco:

Para acceder via Puerto Montt es necesario tomar la ruta 7 en dirección este hacia Chamiza, luego se continúa en el camino estabilizado V-65 hasta la localidad de Correntoso y el sector de lago Chapo. Otra ruta es mediante el camino estabilizado V-613 desde Rio Pescado hacia Colonia Rio Sur que conecta con el camino estabilizado V-615 para unirse nuevamente a la dicha ruta V-65.



Mapa 1 Lámina que muestra el área de estudio y las principales rutas de acceso.

1.4 Métodos de trabajo

Este trabajo fue dividido en tres etapas, la primera consistió en una revisión bibliográfica, junto con entrevistas a diferentes profesionales que han realizado estudios geológicos, glaciológicos, volcanológicos, botánicos y otros en esta región, con el fin de elaborar un programa de visitas a diferentes puntos de interés. Debido a la ausencia de una metodología única a nivel nacional para la elaboración de inventarios de geodiversidad, fue necesario realizar una investigación acerca de las metodologías utilizadas para estos fines y desarrollar una propuesta aplicable en el área de estudio (Capítulo 4: Metodología para Inventariar y Valorar la Geodiversidad).

Una segunda etapa, consistió en una serie de trabajos de campo ejecutados durante los meses de enero – abril 2016, y noviembre 2016 con dos objetivos: estudiar los sitios escogidos y otros que pudieran surgir durante el trabajo de terreno completando una ficha de análisis cualitativo elaborada en este trabajo, y realizar una base de datos fotográfica digital. Además, muchos de los sitios fueron visitados por los estudiantes de la Universidad Austral en el contexto del terreno de volcanología, comprobando su potencial científico-educativo.

La tercera etapa consistió en trabajo de gabinete, en donde se procesó toda la información recopilada para elaborar este trabajo.



Figura 3 Trabajo de campo en el Volcán Osorno. Febrero 2016

2.1 Geodiversidad.

Si bien los principios que están detrás de los esfuerzos hacia la conservación de la naturaleza abiótica se remontan varias décadas atrás (Gray, 2008), el concepto de geodiversidad se comenzó a utilizar por primera vez en la década de los '90 siendo mencionado, definido y redefinido en varios estudios (p.ej. Dixon 1996, Semeniuk, 1997, 1998, Semeniuk y Semeniuk 2001; Duran 1998; Nieto 2001; Gray, 2004, 2008; Brocx, M. y Semeniuk, V. 2007 y referencias en ellos; Carcavilla *et al.* 2007, 2008).

Carcavilla (2014) menciona que existen dos principales corrientes: Una de ellas, y que será usada en este trabajo, es más general y entiende la geodiversidad como el equivalente abiótico de la biodiversidad. Un ejemplo de esto es el trabajo de Gray (2004) que define la geodiversidad como “*la variedad natural de elementos geológicos (rocas, minerales y fósiles), geomorfológicos (formas de relieve, topografía y procesos físicos), pedológicos e hidrológicos*”. Además, incluye todas las relaciones, estructuras, sistemas y contribuciones que éstas puedan tener en el paisaje. De esta forma, la diversidad existente en la naturaleza está compuesta de la biodiversidad (componentes bióticas) y geodiversidad (componentes abióticas).

Por otro lado, Carcavilla (2008) añade que “*en nuestra acepción el estudio de la geodiversidad se limita a analizar aspectos estrictamente geológicos, considerando la geomorfología como parte integrante de los mismos*”. De esta forma, reduce la definición a “*la variabilidad de litologías e intervalos cronoestratigráficos presentes en el registro geológico de un determinado territorio, en relación con su abundancia, distribución, frecuencia y, si se analiza su relación con el patrimonio geológico, importancia geológica*” (Carcavilla, 2007). Esta definición desagrupa algunas disciplinas y abre espacios para que coexistan por ejemplo geodiversidad y edafodiversidad¹ en un mismo nivel.

Más allá de lo controversial del término, el problema se vuelve epistemológico, y en la práctica, es tal el grado de especialización en las ciencias de la Tierra que es necesario una relación directa entre la diversidad de especialistas y diversidad de naturaleza abiótica. Todo lo anterior vuelve imprescindible la existencia de un acuerdo entre las distintas ramas de las ciencias de la Tierra para que no suceda, como menciona Carcavilla (2014), un impulso que trasgreda las metodologías de referencia esenciales en materias de geodiversidad y patrimonio geológico, como es el caso de la geomorfología y su desarrollo independiente que ha creado, según este autor, desafortunados términos como “Geomorfosito”²

2.2 Valores de la Geodiversidad

La geodiversidad puede ser valorada según sus características y utilidades para las actividades humanas. Usualmente, suele ser el valor económico el más reconocido dado el beneficio directo a la sociedad mediante la extracción, utilización y/o venta de recursos geológicos. A la par, el valor patrimonial que busca la conservación de los lugares con características singulares, es también importante y se desglosa generalmente en tres valores: científico, cultural y/o estético (ligado al turismo). No obstante, un análisis más completo de los valores de la geodiversidad, implica que existan muchos más aspectos a considerar. Brilha (2005), en base al trabajo de Gray (2004), los expone de la siguiente forma:

¹ Un trabajo que profundiza y ha adoptado este término es el de Ibáñez, J.J. Jiménez-Ballesta, R. y García-Álvarez, A. (1990). Soil Landscapes and drainage basins in mediterranean mountain areas. *Catena*, 17(6): 573-583 y Ibáñez, J.J. De-Alba, S. Bermudez, F.-F. García-Álvarez, A. 1995. Pedodiversity: concepts and measures. *Catena* 24, 215-232

² Sitios de interés Geomorfológico. El término se vuelve “desafortunado” debido a que un geositio puede tener estas misma acepción.

- **Valor intrínseco** que se refiere a la creencia que la geodiversidad posee un valor simplemente por lo que es, independiente de si tienen o no algún uso por los humanos.
- **Valor cultural** conferido por el hombre cuando se reconoce una fuerte interdependencia entre el desenvolvimiento social, cultural y/o religioso y el medio físico que los rodea.
- **Valor estético** que es una atribución subjetiva relacionada a la percepción de un lugar, la sensación que puede producir y/o la belleza que se le otorgue.
- **Valor económico** más objetivo y relacionado a la posibilidad de generar un beneficio económico a través de un recurso geológico.
- **Valor funcional** generalmente no aplicable a la conservación de la naturaleza y vinculado al valor utilitario que tenga la geodiversidad para el hombre o como sustento de sistemas físicos y ecológicos en la superficie terrestre.
- **Valor científico y educativo** en donde la geodiversidad es una herramienta indiscutible para la comprensión de la historia de la Tierra, siendo necesaria para la investigación científica y la educación formal y no formal.

2.3 Patrimonio Geológico

El patrimonio geológico, o también llamado “geopatrimonio” aludiendo a una traducción directa del inglés “geoheritage”, ha sido definido por diversos autores (Cendrero, 1996; Gallego y García Cortés, 1996; Gray, 2004; Brilha, 2005). Parterrieu (2013), haciendo una revisión de las definiciones de los trabajos de Cendrero (1996), Guillén Mondejar y Del Ramo (2004) y Duran (1999) expuestos en el trabajo de Carcavilla (2007), concluye que las definiciones de patrimonio geológico tienen en común:

1. Está conformado por elementos geológicos (en sentido amplio).
2. Está constituido por recursos no-renovables: aunque Durán (1999) no realiza una restricción rígida, pues afirma que existen ciertos elementos renovables (como las aguas termales o minerales) que sí pueden pertenecer al patrimonio geológico.
3. Posee un valor especial: porque muestra la historia geológica de un determinado lugar, pues posee un interés de tipo científico, educativo, paisajístico, cultural, recreativo, etc.

Un reciente trabajo de revisión de Brilha (2016) propone que sea llamado patrimonio geológico solo al conjunto de elementos de la geodiversidad con **valor científico**³, tanto en su aparición *in situ* (2.4 Geositios) como aquellos que han sido extraídos de su lugar original para ser guardados en colecciones, museos y otros (elementos del patrimonio geológico)⁴ (Figura 4).

³ Esto se contrapone a definiciones como la propuesta por Carcavilla (2008) o la misma SGCh en donde también se incluyen el valor cultural y educativo: “Por patrimonio geológico se entiende el conjunto de elementos geológicos que destacan por su valor científico, cultural o educativo”

⁴ Durán (1999) también plantea que este patrimonio puede estar constituido por colecciones, por lo que genera una distinción entre el patrimonio geológico mueble, dado por ejemplares que han sido extraídos de su lugar de origen, e inmueble, que se conserva en su contexto natural.

2.4 Geositio

Brilha (2005) menciona que un geositio corresponde a un sitio donde se puede presentar uno o más elementos de geodiversidad, geográficamente bien delimitado y que presenta un valor singular desde un punto de vista científico, pedagógico, cultural, turístico u otro. No obstante, una redefinición más reciente del mismo autor en 2016, solo considera geositios a aquellos lugares que tienen un valor científico excepcional independiente de si tienen o no otros valores. Para Brilha (2016), esto es ampliamente aceptado en la comunidad internacional actual y contribuye a establecer un límite entre lo que es patrimonio y lo que no lo es.

En Chile, la SGCh (referencia digital), propone que un geositio es “*un afloramiento, o varios afloramientos vecinos, que contienen un objeto geológico de valor, que vale la pena preservar. El valor puede ser de muy diversa naturaleza: estrictamente geológico, mineralógico, paleontológico, estructural, petrológico, paisajístico, geomorfológico, etc*”. Agrega, además, “*su identificación y posterior preservación contribuirá a la difusión de los valores de la ciencia geológica en el país, y a preservar para generaciones futuras sitios importantes para la ciencia, la cultura y la sociedad*”. En este sentido, la SGCh no solo entiende al geositio como un sitio estrictamente científico, si no que puede ser determinado por otros valores (p.ej. estético, paisajístico).

2.5 Sitios de Geodiversidad y Elementos de la Geodiversidad

Los sitios de geodiversidad definidos por Brilha (2016), se refieren al conjunto de elementos de la geodiversidad que se encuentran in situ y que no teniendo un valor científico excepcional, son otros valores como educativo, cultural, paisajístico o recreativo los que ameritan su conservación. Si estos elementos se encuentran retirados de su lugar de origen (ex situ) serán simplemente “elementos de la geodiversidad” (Figura 4).

2.6 Geoconservación

La geoconservación tiene como objetivo preservar la geodiversidad de rasgos y procesos geológicos (roca madre), geomorfológicos (formas de relieve) y de suelo significativos, y mantener las tasas naturales y magnitudes de cambio de estos rasgos y procesos (Sharples 2002)⁵

Esta área de estudio, entiende a las componentes abióticas tan importantes como aquellas que están vivas, más aun, y como dice Sharples (2002), la geoconservación es la base de la bioconservación en cuanto provee la variedad de ambientes y condiciones ambientales que influyen directamente en el desarrollo de la vida. No obstante lo anterior, la geodiversidad tiene un valor por sí misma, independiente de su relación con la vida y por lo tanto necesita de metodologías propias para su conservación y preservación. De esta forma, una visión más holística de la conservación de la naturaleza, será aquella que incluya tanto la conservación de la biodiversidad como a la geodiversidad entendiendo el estrecho vínculo entre una y otra.

La geoconservación es necesaria en cuanto existen amenazas para la geodiversidad (ANEXO A) y en el presente es una labor de la geología establecer las condiciones necesarias para resguardar los diferentes monumentos de la Tierra.

⁵ Geoconservation aims to preserve the natural diversity - or 'geodiversity' - of significant geological (bedrock), geomorphological (landform) and soil features and processes, and to maintain natural rates and magnitudes of change in those features and processes (Sharples 2002)

2.7 Relación entre los conceptos

Como existen diferentes valores para la **geodiversidad**, es necesario hacer una diferencia entre aquellos elementos que tienen un valor científico excepcional y aquellos que no. Según Brilha (2016), al conjunto de elementos de la geodiversidad caracterizados por su valor científico (debido a una característica, proceso, descubrimiento u otro factor que lo vuelva singular y de importancia para la ciencia), se le designa como **patrimonio geológico**. Además, cuando estos mismos se encuentran in situ, se le designa con el término **geositio**. Por otra parte, al conjunto de elementos con otros valores distintos al científico (p.ej. educativo, estético, cultural) se le denominará como **sitios de geodiversidad** si se encuentran in situ, o **elementos de la geodiversidad** si han sido extraídos de su lugar de origen (Figura 4). Por último, la **geoconservación** es una disciplina que busca la conservación y preservación de la geodiversidad. Cabe destacar, que independiente de cómo se entienda por otros autores el concepto de geodiversidad, patrimonio geológico, y en particular geositios, siguen caracterizándose por poseer un valor científico que los vuelve singulares en la naturaleza.

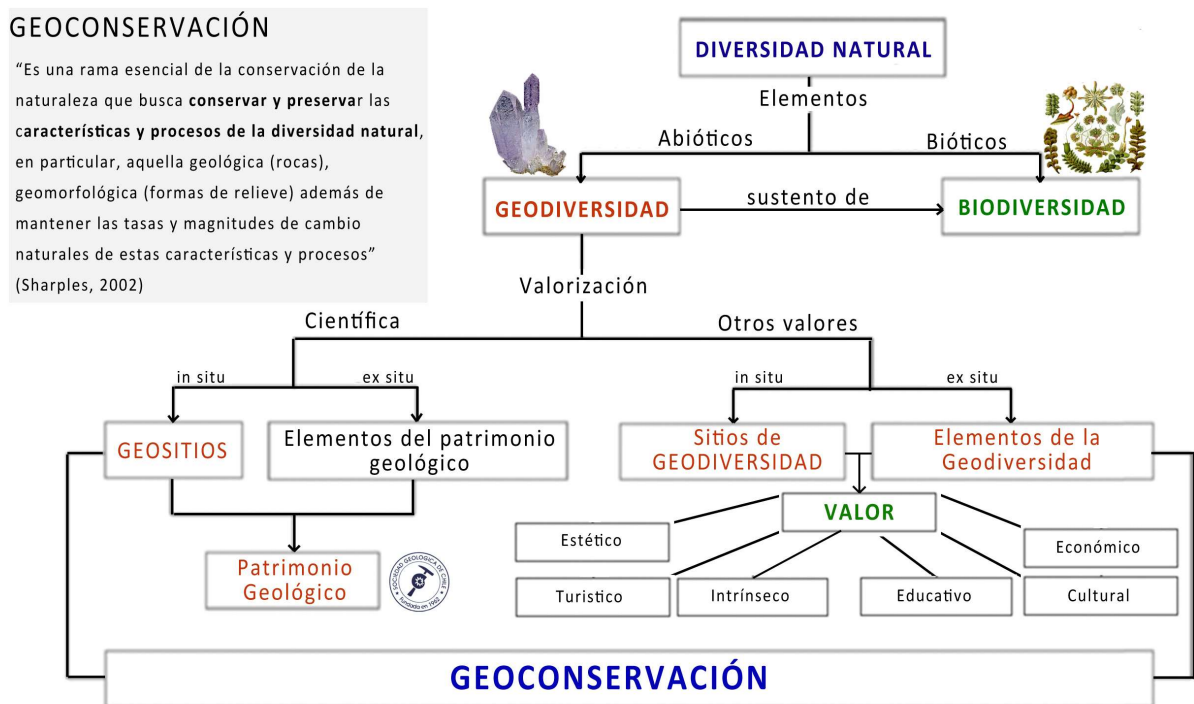


Figura 4 Esquema conceptual de la diversidad natural. Modificado de Brilha (2016)

2.8 Geoturismo

El **geoturismo** es una rama del turismo de la naturaleza que se basa en el entendimiento del patrimonio geológico y la apreciación de la geodiversidad. Además, es un nicho turístico que se destaca por garantizar una cultura científica basada en la comprensión del relieve, de las rocas, de los fósiles y otros elementos de la geodiversidad en todas sus dimensiones incluyendo la estética. De esta forma, su alcance es mayor y se diferencia del turismo de masas, muchas veces catalizador de la degradación de los lugares, porque busca educar y concientizar a las personas acerca de su entorno, del valor del territorio, además de los procesos geológicos que allí se desarrollan. Consecuentemente, cualquier modificación o daño que exista al patrimonio natural es un perjuicio directo a esta disciplina.

Hose (2003) lo define como “La implementación de centros de interpretación y servicios para promover el valor y beneficio social de los sitios geológicos, geomorfológicos y sus materiales junto con asegurar su conservación para el uso de estudiantes, turistas y otros visitantes casuales”⁶. De esta forma, el geoturismo busca exhibir el patrimonio geológico a todo tipo de público junto con ser un agente dinamizador de la economía local.

Es, además, una nueva oportunidad de innovación para la industria del turismo, con nuevos desafíos para nuevos destinos, debido a que el perfil de los turistas está en constante evolución y los destinos habituales con transformaciones en el ambiente (p.ej. obras ingenieriles, edificios, urbanización) son cada vez menos valorados. Así, el geoturismo a diferencia del tradicional turismo de masas, es una forma de turismo sustentable con una visión holística del territorio (Dowling, 2013) que se practica donde existe y se destaca el patrimonio geológico, esencialmente el que tiene además del valor científico uno estético y/o cultural. Además, debe relacionarse con la biodiversidad y/o la historia del lugar, siendo los paisajes, geoformas, afloramientos, diferentes tipos de rocas, sedimentos, suelos y minerales, ordenados de manera decreciente, los principales intereses de un geoturista (Newsome y Dowling, 2006).

A diferencia de otras disciplinas como el ecoturismo, que por definición solo toma lugar en áreas naturales, Newsome y Dowling (2010) plantean que el geoturismo ocurre tanto en áreas naturales como aquellos que han sido modificados por el ser humano volviendo a los atractivos del turismo tradicional (actividades, acomodamientos, visitas y otros) en función del entendimiento y conservación de la naturaleza.

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

- **Educativa:** relacionada a la ignorancia con respecto a los valores de la geodiversidad y la existencia de “concepciones alternativas” al desarrollo sustentable
- **Políticas:** que tienen que ver con que se ignora o desvaloriza el patrimonio geológico, paisajes rurales y naturales en planos de ordenamiento territorial y materias de desarrollo;
- **Económicas:** que se debe a la exploración/explotación de recursos renovables, no renovables y formas de turismo no sustentables.

⁶ *The provision of interpretative facilities and services to promote the value and societal benefit of geological and geomorphological sites and their materials, and to ensure their conservation, for the use of students, tourists and other casual recreationalists'*

3.1 Antecedentes Internacionales

Uno de los primeros programas en conservación de la naturaleza se creó en 1971 por parte de UNESCO llamado “Hombre y Biosfera”⁷ (MAB). Éste busca reconocer áreas de especial relevancia en cuanto a biodiversidad y generar políticas para el desarrollo sustentable de las comunidades al interior de estas áreas. Es conocido principalmente por la creación de “Reservas de la Biosfera” alrededor del globo. Por otro lado, en 1972 se celebra la primera “Convención para la protección del Patrimonio Mundial, Natural y Cultural de UNESCO” aprobada por la Conferencia General de UNESCO y generalizada a la mayor parte de los países del mundo. Esta convención reconoce los lugares desde punto de vista natural y cultural cuyo valor es excepcional a nivel mundial, considerando en su artículo 2 como Patrimonio Natural⁸:

- Los monumentos naturales constituidos por formaciones físicas y biológicas o por grupos de esas formaciones que tengan un Valor Universal Excepcional desde el punto de vista estético o científico,
- Las **formaciones geológicas** y fisiográficas y las zonas estrictamente delimitadas que constituyan el hábitat de especies, animal y vegetal, amenazadas, que tengan un Valor Universal Excepcional desde el punto de vista estético o científico,
- Los lugares naturales o las zonas naturales estrictamente delimitadas, que tengan un Valor Universal Excepcional desde el punto de vista de la ciencia, de la conservación o de la belleza natural,

No obstante la creación de estos dos programas, la comunidad científica con el pasar de los años fue crítica al respecto ya que ninguno de éstos tuvo una cobertura tan amplia ni adecuada para asegurar la protección del vasto patrimonio geológico mundial (Eder y Patzak, 2004 y referencias en ellos; Jones, 2008, Brilha 2012; Chen et al. 2015).

En abril de 1985 se estableció en Beijing, “The Chinese Academy of Tourism Earth-science and Geopark Research” cuando Chen Anze fue electo como presidente. Desde entonces, los geólogos chinos buscaron adaptar métodos de turismo para la valoración de la geología y los paisajes naturales, que condujo en 1991 a una publicación impresa titulada “An introduction to tourism Earth-Sciences” (Chen et al. 2015). Por otro lado, surgieron ya en ese entonces, intereses en crear *Earth-Science parks* que no fueron materializados si no hacia fines de 1999 con la creación de los primeros Geoparques chinos (Chen, 1996, en Chen et al.2015).

En Europa, en tanto, hacia el año 1989, fue desarrollado en Alemania el “Gerolstein Distrik Geopark” con tres objetivos principales: proteger geositos (con un valor principalmente paleontológico), atraer visitantes a la región y promover el desarrollo económico de esta área.

Si bien, existieron en el termino de la década de los 80' varios avances en materias de conservación y gestión del patrimonio geológico en algunas naciones, fue en 1991 donde ocurre uno de los hitos que simboliza, según Martini (1994), la filosofía detrás de los Geoparques: se celebra en Digne-les-Bains (Francia) el Primer Simposio Internacional sobre la Protección del Patrimonio Geológico y se firma la Declaración sobre los derechos de la Memoria de la Tierra (ANEXO D). Esta iniciativa sentó las bases para el desarrollo sustentable en torno a la protección y promoción del patrimonio geológico mediante actividades científicas, turísticas y

⁷ “Man and the Biosphere”

⁸Textos básicos de la Convención del Patrimonio Mundial de 1972 (Edición 2005); disponible en: <http://whc.unesco.org/uploads/activities/documents/activity-562-2.pdf>

educativas.

En 1996, un nuevo proyecto fue puesto en marcha por la Union Internacional de Ciencias Geológicas (IUGS) en conjunto con UNESCO llamado *Global Geosites*. Este proyecto, buscaba ser una base de datos para la comunidad geológica proporcionando información que sirva de soporte para cualquier iniciativa de ámbito nacional o internacional para facilitar la conservación de lugares y terrenos con interés geocientífico, recurso esencial para la investigación y la educación. Para esto, se diseñó un grupo de trabajo a nivel global llamado Global Geosites Working Group (GGWG), con el objetivo de realizar dicho trabajo (Wimbledon, 2000).

Hacia el año 1997 se trabajó en la preparación de una propuesta por parte de la División de las Ciencias de la Tierra de la UNESCO que pudiera por fin satisfacer las necesidades respecto al patrimonio geológico (Zouros y Mc Keever, 2004) hasta que en 1999 esta idea se materializó en una propuesta formal (Eder y Patzak, 2004; Jones, 2008), cuyo programa incorporaba una gran innovación para la preservación del patrimonio geológico mediante su integración en una estrategia de desarrollo económico sostenible basada principalmente en el geoturismo (Jones, 2008). Desde que se discutió esta iniciativa, se desarrolló rápidamente el concepto de Geoparque, estableciéndose un año más tarde, tanto la Red Europea (Eder y Patzak, 2004; Jones, 2008) como la Red China de Geoparques (Chen et al. 2015). Sin embargo, este “Programa de Geoparques de UNESCO” no fue aprobado y tardó en volver a ser discutido nuevamente. Aun así, teniendo en cuenta los objetivos comunes referidos a actividades educativas para el público general sobre el medio ambiente, promover el desarrollo regional sostenible, junto con el apoyo a la formación y desarrollo de la investigación científica en diversas disciplinas de ciencias de la Tierra, la División de Ciencias de la Tierra de la UNESCO estableció estrechos lazos de cooperación con la Red Europea de Geoparques (EGN) firmándose un acuerdo de colaboración mutua en abril del mismo año entre ambos organismos (Zouros y Mc Keever, 2004; Eder y Patzak, 2004). La UNESCO, por un lado, ofreció su patrocinio a los miembros interesados en reconocer, proteger y mejorar los sitios del patrimonio de la Tierra a nivel mundial, mientras que la EGN, se centró en los sitios europeos. Esta nueva posibilidad de interacción entre el desarrollo socioeconómico y la conservación del medio natural añadió una nueva dimensión al esquema de la lista del patrimonio mundial (Eder y Patzak, 2004).

En febrero del 2004, el grupo de expertos de la UNESCO discute y declara el establecimiento de una “Red Global de Geoparques UNESCO” conocida con la sigla GGN (ANEXO B) y entre el 27 al 29 de junio del mismo año, se realiza la “Primera Conferencia Internacional de Geoparques” para promocionar a esta nueva red con la contribución de las comunidades internacionales gubernamentales y no gubernamentales (World Geoparks Newsletter 2005; Zouros y Mc Keever, 2004; Komoo y Patzak, 2008). El año 2005 la EGN mediante la Declaración de Madonie⁹ establece entre otras cosas que si un territorio europeo desea ser miembro de la GGN debe presentar un expediente de solicitud de la EGN. Además, se establece a la EGN como una referencia para crear otras redes regionales.

El aumento de miembros no Europeos a la red, permitió que en noviembre del año 2007 se propusiera la creación de la Red de Geoparques de Asia Pacifico¹⁰ formalizada en junio del siguiente año. De esta forma, la red continuó creciendo y hacia el año 2009 la GGN estaba constituida por 63 miembros en 19 países con 34 Geoparques en Europa, 22 en China, 3 en Japón y uno en Brasil, Irán, Australia y Malasia (Jones, 2008; Komoo y Patzak, 2008; McKeever *et al.* 2010), sumándose Canadá en el año 2010. Hacia fines del 2010, en los días 17-19 de noviembre se realizó la 1ª Conferencia Latinoamericana y Caribeña de Geoparques (LAC) apoyada por la UNESCO, en donde se redactó la Declaración de Araripe¹¹ la cual proclama los principios

⁹ <http://www.europeangeoparks.org/wp-content/uploads/2012/03/THE-MADONIE-DECLARATION.pdf>

¹⁰ Denominada Red de Geoparques y Patrimonio Geológico de Asia Pacifico (Asia Pacific Geoheritage and Geoparks Network (APGGN), aunque hoy llamada simplemente Asia Pacific Geoparks Network (APGN).

¹¹ <http://www.unesco.org/new/fileadmin/MULTIMEDIA/FIELD/Montevideo/images/GEO-AraripeDeclaration-EN.pdf>

básicos para la conformación de una nueva Red de Geoparques en América Latina y el Caribe. El año 2013 Uruguay ingresa a la GGN con el Geoparque Grutas del Palacio, siendo el segundo país de Sudamérica en pertenecer a esta red, mientras que este mismo año Marruecos se establece como el primer representante del continente africano.

El presente año 2017, en la ciudad de Arequipa, Perú, entre el 23 y 26 de mayo de 2017, fue celebrado el IV Simposio Latinoamericano y del Caribe sobre Geoparques, co-organizado por la Oficina Regional de Ciencias de la UNESCO para América Latina y el Caribe, el Gobierno Regional Arequipa, la Autoridad Autónoma del Colca y el Instituto Geológico Minero y Metalúrgico de Perú. Este evento congregó a más de 200 personas entre los que destacaron diversos expertos sobre Geoparques y representantes de Geoparques aspirantes y proyectos de Geoparques. En esta instancia el país anfitrión, Perú, presentó el Geoparque aspirante Colca y Volcanes de Andagua que será estudiado por el Consejo Global de Geoparques Mundiales, en septiembre de 2017. Ecuador informó que estaría presentando durante el 2017 tres aplicaciones, a la Secretaría del Programa Internacional de Geoparques: Imbabura, Tungurahua y Napo-Sumaco. Asimismo, otros países de la región muestran con interés sus proyectos de Geoparques, tales como: Argentina (Pillán Mahuiza), Bolivia (Toro Toro), Chile (Minero Litoral del BioBio), Colombia (Volcánico del Ruíz), Cuba (Geoparque de Cuba) y Nicaragua (Río Coco).

Además, sucedió otro acontecimiento histórico. Junto con el ingreso de dos Geoparques Mundiales latinoamericanos, Comarca Minera y Mixteca Atla ambos de México, se firmó el día 26 de mayo en Achoma, Perú la fundación de la Red de Geoparques Mundiales de Latino América y el Caribe. Esta contó con la presencia y firma institucional de Patrick McKeever (Programa Internacional de Geociencias y Geoparques de la UNESCO) y Guy Martini (Secretario General de la Red Global de Geoparques).

Finalmente, debido al gran crecimiento de los geoparques en el mundo se decidió retomar la idea de un programa de geoparques por parte de UNESCO que fue desarrollado por la institución el 17 de noviembre del 2015¹². El especial vínculo que existe entre el patrimonio geológico y el desarrollo sustentable a través de los programas de geoparques, ha generado que a la fecha existan 127 Geoparques en 35 diferentes países.

3.2 Antecedentes Nacionales

3.2.1 Antecedentes históricos

En Chile, las nociones de lo excepcional de su territorio, junto con iniciativas para su conservación se remontan hace ya varias décadas. El 14 de septiembre de 1830 se fundó el Museo de Historia Natural, cuando Claudio Gay firmó un contrato con el ministro Diego Portales, comprometiéndose a recorrer el territorio buscando sitios y elementos de *"la historia natural de Chile, su geografía, geología y cuanto contribuya a conocer las producciones naturales del país"* (Stuardo, 1973: 91-93).

Casi un siglo más tarde el geólogo alemán Dr. Hans Brüggén, publicó en la Revista Chilena de Historia y Geografía, el trabajo *"Sobre la protección de un bloque errático situado cerca de Puente Alto"* (Hervé et al. 2012), en donde no solo argumenta a favor de la conservación de estos bloques como una forma de guardar la historia de la Tierra, sino también piensa que *"Una pequeña tabla podría informar a los visitantes acerca del significado de estos bloques."* Sin embargo, escasos son los trabajos en la literatura nacional en donde este tipo de prácticas sea recurrente.

¹² Este año se crea un nuevo programa llamado "UNESCO Global Geoparks" buscando establecer estos nuevos programas en colaboración con la Red Global de Geoparques <http://www.unesco.org/new/en/natural-sciences/environment/earth-sciences/unesco-global-geoparks/>

Otros dos trabajos pioneros en divulgación de las ciencias de la Tierra son los de Segerstom (1967) y Pacci y Pérez (1979). El primero, a partir de varios trabajos realizados para el Instituto de Investigaciones Geológicas (IIG) publica una guía de excursión geológica en la Provincia de Copiapó (Cáceres *et al.* 2011) de alrededor de 450 km de extensión y más de 30 sitios de interés geológico, siendo pionero en lo que hoy podríamos llamar “geoturismo”. Por otro lado, Pacci y Pérez (1979), en el marco del II Congreso Geológico de Chile, elaboran una ruta para conocer las principales características geológicas de Arica a través de la visita de 37 sitios.

3.2.2 Actualidad

Si bien, los trabajos antes del siglo XXI fueron esfuerzos aislados y poco frecuentes, a partir del nuevo milenio, las iniciativas en torno al patrimonio geológico han aumentado considerablemente. Una de las primeras publicaciones del nuevo milenio la realiza Schilling (2007), donde se exponen varias de las ideas que ya se implementaban en el ámbito internacional (3.1 Antecedentes Internacionales) que se materializarían dos años más tarde en la creación del primer proyecto de Geoparque Chileno: Kütralkura¹³ (Schilling, 2009).

En el año 2009 se establece un hito para el patrimonio geológico, chileno ya que en la XII versión del Congreso Geológico Chileno, se retoman los trabajos relacionados a estas temáticas, incluyendo el Primer Simposio de Geopatrimonio. Ahí se exponen más de 30 trabajos relacionados a esta temática, que incorporan nuevos geositos (p.ej. Madre de Dios; Alvares *et al.* 2009) y proyectos relacionados al patrimonio geológico (p.ej. Geoparque litoral Atacama; Castro *et al.* 2009) siendo cada vez más recurrentes este tipo de trabajos en las ediciones posteriores. Por otro lado, la SGCh creyendo interpretar una necesidad nacional, generó un programa para la detección del patrimonio geológico de carácter público, en donde se invita a postular a través de una ficha diferentes lugares que puedan resultar de interés geológico, para luego ser evaluados por un comité de especialistas de dicha sociedad (Calderón *et al.* 2009). Este programa es fundamental para la valoración del patrimonio geológico chileno y su aplicación en herramientas para la educación en ciencias de la Tierra, conservación y fomento de geoturismo. Además, para estos años, varias cartas de la Serie Geología Ambiental de la Carta Geológica de Chile, tal como la Geología para el Ordenamiento Territorial, habían propuesto algunos puntos como sitios recomendados para su protección como patrimonio geológico, incluyendo las cartas de Puerto Montt-Frutillar (Antinao *et al.* 2000), Osorno (Pérez *et al.* 2003), Valdivia (Arenas *et al.* 2005), Temuco (Troncoso *et al.* 2008) y Antofagasta (Falcón *et al.* 2014).

Entre los años 2010 y 2013, SERNAGEOMIN desarrolla el proyecto Modelo de Geoparque en Chile, Etapa 1 que establece las bases para crear el primer geoparque del país: el Geoparque Kütralkura. En Abril del año 2011 y en el marco de esta iniciativa, se realiza en Melipeuco el I Simposio de Geoparques y Geoturismo en Chile que reúne a destacados profesionales de diferentes países (Schilling *et al.* 2011). Uno de los hitos ocurridos durante ese simposio, fue la redacción de la Declaración de Melipeuco que proclama los principios para la creación de geoparques a nivel nacional. Una segunda versión de este simposio se realizaría el 21-23 de noviembre del 2014.

A la fecha, existen 66 geositos aprobados por la SGCh (Martinez *et al.* 2015) junto con varios trabajos académicos en universidades relacionados a esta temática, destinados al desafío de identificar y poner en valor el patrimonio geológico (Hervé *et al.* 2012) en diversas zonas del país como el Parque Nacional Torres

¹³ Este proyecto es impulsado desde el SERNAGEOMIN junto con diversas otras instituciones. Ver <http://geachile.sernageomin.cl/>

del Paine (Fernández, 2007), Parque Nacional Conguillío (Martínez, 2010), Parque Nacional Pale-Aike (Mardones, 2012), el sector costero de la región de Atacama (Castro *et al.* 2010, 2012 ;Ramírez, 2012), la comuna de Lonquimay (Partarrieu, 2013), en la zona urbana de la ciudad de Santiago (Rodríguez, 2013) en el Cajón del Maipo (Benado, 2015) y Puchuncavi (Andrade *et al.* 2009; López, 2016). A escala regional también se destaca una iniciativa desarrollada por la Corporación Nacional Forestal (CONAF), en colaboración con el Instituto Antártico Chileno (INACH) y la Empresa Nacional de Petróleo (ENAP), que genero un proyecto de identificación y puesta en valor de diez geositos en la Región de Magallanes (Hervé *et al.* 2012).

Actualmente, variadas iniciativas están desarrollándose en distintas regiones del país. Un reciente trabajo es la “Iniciativa de geoconservación en la región de Aysén: Proyecto Geoparque Chelenko (Patagonia, Chile) (Benado *et al.* 2015) ejecutada por la Secretaría Regional Ministerial de Minería de la misma región, en donde se trabaja en un programa exclusivo para la valoración y conservación de la geodiversidad. En la **VIII Región del Bío Bío**, un incipiente proyecto “Geoparque Minero Litoral del Bío Bío es desarrollado por la Universidad Católica de la Santísima Concepción, la Universidad de Concepción y la Universidad Andrés Bello. A esto se suma en la **VI Región del Libertador General Bernardo O’Higgins** un proyecto FIC regional ejecutado por parte del Instituto de Patrimonio y Turismo de la Universidad Central (IPT) titulado “Geoturismo en la Cordillera del Libertador”. Por otro lado en la **V Región de Valparaíso**, un proyecto conjunto entre la Universidad Santo Tomás de Viña del Mar y el Museo de Historia Natural de Puchuncaví, buscan desarrollar el proyecto de Geoparque Puchuncavi (Zora y Andrade, 2015) en la costa de esta comuna, mientras que en la cordillera una nueva iniciativa en educación, ciencia y divulgación llamada “Geodiversidad en la comuna de Petorca” es desarrollada por cuatro profesionales de geología mediante un convenio entre la Municipalidad de Petorca, la Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas de la Universidad de Chile, ONG Covalente y la SGCh. Otro proyecto que toma fuerza en la **VII Región del Maule** es la “Ruta Geológica del Maule”, liderado por el Centro de Geomática de la Universidad de Talca con el apoyo de la Universidad de Dresden, Alemania, que busca establecer un geoparque en esa Región. Por último, en base al trabajo de Benado (2013) se espera que se retomen los esfuerzos para proyectar un Geoparque Metropolitano el sector del Cajón del Maipo por parte de la SGCh.

Por último, Mourgues *et al.* (2016) presentan un capítulo dedicado a la situación del patrimonio geológico en Chile y su conservación en el libro “Patrimonio geológico y su conservación en América Latina: Situación y perspectivas nacionales” en el que se elabora un análisis más profundo a todo lo relacionado a estas temáticas en el país.

3.2.3 Marco Legal

La normativa medioambiental nacional vigente, tiene algunos mecanismos para la protección de sitios de relevancia geológica, geomorfológica y/o paleontológica. Aun así, estos instrumentos resultan poco operativos debido a que ninguna dependencia del Estado ha asumido como misión su registro, ni tampoco la gestión para una protección efectiva. Además, la responsabilidad de conservar esta parte abiótica del patrimonio natural, está dispersa en diferentes organismos del Estado con distinta orientación y jerarquía. Por ejemplo, mientras que la dependencia encargada de la tuición de los bienes y lugares declarados Monumento Nacional es el Consejo de Monumentos Nacionales, los Santuarios de la Naturaleza¹⁴ son establecidos y resguardados por el Ministerio del Medio Ambiente. Por otra parte, los Parques Nacionales, Reservas Nacionales y Monumentos Naturales que integran el Sistema Nacional de Áreas Protegidas

¹⁴ Es uno de los pocos mecanismos para establecer una protección legal al Patrimonio Geológico. “Son santuarios de la naturaleza todos aquellos sitios terrestres o marinos que ofrezcan posibilidades especiales para estudios e investigaciones geológicas, paleontológicas, zoológicas, botánicas o de ecología, o que posean formaciones naturales, cuya conservación sea de interés para la ciencia o para el Estado...” Ley 17288, de 1970.

Silvestres del Estado (SNASPE), son gestionados por la Corporación Nacional Forestal (CONAF) dependiente del Ministerio de Agricultura.

Aun cuando existe información en materia de planificación territorial que incluyen inventarios y/o descripciones del patrimonio geológico (p.ej. cartas del SERNAGEOMIN) ésta no ha sido incorporada de manera efectiva en los instrumentos vigentes. En la práctica, la planificación territorial en Chile no considera la geodiversidad y el geopatrimonio como componentes de un territorio, ni mucho menos existen mecanismos eficaces para su gestión y conservación. De hecho, ni siquiera se reconocen estos conceptos dentro del marco normativo existente, salvo algunas herramientas enfocadas en la gestión de factores ambientales (Urresty *et al.* 2015).

Urresty *et al.* (2015) señala además que en el caso de la planificación de áreas protegidas, la Corporación Nacional Forestal (CONAF) ha generado una metodología para su planificación y manejo (Nuñez, 2010), en la cual se reconocen Unidades Homogéneas (UH) para el análisis del impacto de las geociencias, sin embargo, esta metodología tiene por objetivo valorizar principalmente los componentes de la biodiversidad, por lo que los aspectos geológicos y geomorfológicos se valoran sólo como soporte o condicionante de la biota.

Así, es posible afirmar que aún existen muchos vacíos legales en relación a la geodiversidad. Considerando esto, el proyecto de ley en trámite que crea el Servicio de Biodiversidad y Áreas Protegidas y el Sistema Nacional de Áreas Protegidas pretende solucionar esta problemática, sin embargo, no subsana el problema del registro de las áreas relevantes para la geoconservación. Esto se debe a que en el proyecto actual no se considera entre las responsabilidades del nuevo Servicio Nacional de Biodiversidad y Áreas Protegidas la realización y mantención de un inventario sistemático de los sitios de interés geológico del país, etapa que se considera fundamental para implementar una adecuada estrategia nacional de geoconservación. Para esto, la SGCh (2015) envió diferentes propuestas que buscan ser acogidas para corregir dichas deficiencias en el marco legal y garantizar la protección del patrimonio geológico nacional sin tener aún una respuesta.

Capítulo 4 Metodología para Inventariar y Valorar la Geodiversidad

Para entender el valor que tiene la geodiversidad de una zona determinada y establecer prioridades en su gestión, es necesario realizar como primer paso, un inventario de ésta. Se vuelve evidente que los inventarios sean el primer impulso, pues para tomar cualquier medida o realizar alguna acción en geoconservación, educación y/o divulgación, es necesario saber qué es lo que existe, cómo es, dónde está y qué valor tiene. El desenvolvimiento del patrimonio geológico en el mundo es reciente y no existen métodos únicos para ponerlo en valor. Es por eso que existen distintas experiencias alrededor del globo, han generado gran avance en la identificación, valoración y cuantificación del patrimonio geológico, generando diversas metodologías de valoración para objetivos locales, nacionales e internacionales.

Varios son los trabajos académicos realizados en los últimos años que dan a conocer el patrimonio geológico en Chile (p.ej. Fernández, 2007; Martínez, 2010; Ramírez, 2012; Mardones, 2012; Benado, 2013; Parterrieu, 2013; Rodríguez, 2013; Aravena, 2014; Rivera, 2014; López, 2016). Sin embargo, debido a lo pionero de estos trabajos y al constante avance de estas materias a nivel nacional e internacional se han generado diferencias metodológicas entre uno y otro, por lo que todavía resulta una difícil tarea unificar todos estos trabajos en un inventario nacional. Si bien realizar una metodología nacional está fuera de los alcances de este estudio, se espera que a partir de lo realizado en este trabajo, basado en experiencias anteriores y avances a nivel internacional, se puedan refinar las estrategias para poner en valor el patrimonio geológico chileno.

4.1 Metodología para el inventario de Geositios y sitios de Geodiversidad

La primera etapa en cualquier acción de geoconservación es la realización de inventarios, ya que en esta fase es donde son identificados aquellos sitios relevantes para ser valorados en un paso posterior. Aun así, Pereira (2010) nota que la gran mayoría de las discusiones metodológicas giran en torno a la cuantificación de los sitios de interés y poco en relación a los criterios de selección de sitios. Lima *et al.* (2010) también hacen hincapié en esta idea y destacan que a pesar de que la literatura geoconservacionista es abundante en ejemplos de inventarios de geositios, pareciera común que los criterios usados para la selección de sitios de interés no estén adecuadamente explicados o simplemente estén ausentes.

El proceso de inventariar incluye un levantamiento, evaluación y catalogación de información de diferentes sitios, seguido de una descripción minuciosa de los lugares de interés de un determinado territorio (Pereira, 2010), teniendo en cuenta que un sitio de interés debe presentar una plusvalía respecto al resto de la geodiversidad del entorno (Brilha, 2005). Además, este proceso debe ser llevado a cabo con un fin específico. Según Lima *et al.* (2010), este fin u objetivo principal, debe ser establecido para que la selección de los sitios ocurra bajo el mismo criterio y propone tener cuatro elementos en consideración:

- **Tópico:** referido a qué es lo que se está inventariando (p.ej. patrimonio geológico como un todo, patrimonio paleontológico, patrimonio geomorfológico, un contexto geológico).
- **Valor:** estrechamente relacionado al potencial de uso del sitio. (p.ej. científico, cultural, educacional y/o turístico)
- **Escala:** relacionado al área geográfica en donde ocurre el inventario (p.ej. parque nacional, municipalidad, estado, país, continente)
- **Uso:** referido a para qué se realiza el inventario (p.ej. como soporte a una estrategia de

geoconservación local/regional/país, para desenvolver un proyecto geoturístico, para generar programas de educación en ciencias de la Tierra, etc.)

Una definición clara del objetivo principal es esencial para la correcta selección de los métodos para discriminar sitios. En esta misma línea, Brilha (2016) plantea que si se pretende destacar el valor científico (VC) de los diferentes sitios de un lugar/región/país, es necesario que se realice un inventario de geositos (4.1.1 [Inventario de Geositos](#)) de otro modo, si el objetivo es identificar lugares con valores educativos, turísticos y/o culturales, entonces será necesario realizar un inventario de geodiversidad basados en otros parámetros (4.1.2 [Inventario de sitios de Geodiversidad](#)). Es necesario realizar esta distinción en esta etapa, pues los criterios utilizados para generar una posterior valoración también son diferentes.

Por otra parte, Wimbledon *et al.* (2000) señalan que todos los sitios deben ser evaluados en un contexto objetivamente identificado y no de manera aislada. En esta misma línea, Lima *et al.* (2010) recomiendan que en áreas de gran tamaño, la búsqueda de geositos debe estar asociada a áreas temáticas de interés geológico. Las áreas temáticas, también conocidas como contextos geológicos han sido definidas en países como Portugal (Brilha, 2005; Pereira *et al.* 2006) o España (García-Cortés *et al.* 2000, 2001), y son un resumen de los procesos, eventos o elementos geológicos que más representan la geodiversidad de una zona de gran dimensión o región. En Chile, estas áreas temáticas fueron propuestas por Morgues *et al.* (2012) con el fin de dirigir la búsqueda de geositos asociados a estas, sin embargo esto no niega la posibilidad de definir contextos geológicos locales/regionales cuando se trata de inventarios a menor escala como los definidos para el Cajón del Maipo por Benado (2013). Este autor, profundiza en la idea que al establecerse áreas temáticas (locales/regionales/nacionales), un investigador podrá estar seguro/a que todos los procesos, elementos o eventos relevantes de la geodiversidad del área de estudio, estarán incorporados en un futuro inventario de patrimonio geológico.

4.1.1 Inventario de Geositos

Se vuelve esencial que en un inventario de geositos se realice como primer paso una revisión de la literatura y toda la información geológica publicada que concierne al área de estudio (mapas geológicos, publicaciones científicas, tesis, etc). Esto sirve para evaluar los diferentes lugares en donde se ha generado información relevante, y así, es posible realizar una lista preliminar de potenciales sitios de interés científico. Luego, esta lista preliminar puede ser enriquecida con el consejo de expertos que trabajen en la zona de interés (p.ej. CONAF, SERNAGEOMIN).

Una segunda etapa consiste en un trabajo en terreno que tiene el objetivo principal de identificar y caracterizar los potenciales geositos de la lista generada en la primera etapa, junto con aquellos nuevos que pudiesen surgir durante el trabajo de campo. Para que el proceso de identificación resulte exitoso, Brilha (2016) basado en el trabajo de Lima *et al.* (2010) recomienda que se consideren 4 aspectos, sugerencia que fue acogida por el autor. Estos son:

- i. **Representatividad:** Corresponde a la capacidad de un geosito para ilustrar elementos o procesos geológicos (y si aplica, relacionados al contexto geológico). Este criterio ya ha sido expuesto como esencial para la identificación en otros trabajos (p.ej. Wimbledon 2000).
- ii. **Integridad:** Relacionado al estado de conservación de los principales elementos geológicos (relacionados al contexto geológico si es aplicable); mientras mejor es su integridad, mayor es su valor científico.

- iii. **Singularidad/Rareza:** Referido a lo especial del sitio. Un menor número de sitios similares en el área de estudio (representando un contexto geológico si es aplicable) aumenta el valor científico.
- iv. **Conocimiento científico:** Existencia de estudios científicos publicados en relación al geositio (relacionado al contexto geológico si es aplicable) reflejando el valor científico que ha tenido para la comunidad geocientífica.

No cumplir con alguno de los primeros criterios puede implicar el remover de la lista algún potencial geositio. No obstante, Brilha (2016) añade que muchas veces puede suceder que la no existencia de un conocimiento científico previo no implique poco valor científico. Dicho esto, este último criterio solo afectará positivamente, es decir, se privilegiarán sitios con conocimiento científico previo, pero no se descartarán por no tenerlo. El ideal de un sitio entonces, será aquel que pueda maximizar los cuatro criterios antes mencionados, de esta forma si dos sitios tienen similares características, aquel que mejor cumpla con los criterios será el que permanezca en la lista.

Luego del trabajo de terreno, Brilha (2016) recomienda que la lista de los potenciales geositios haya quedado caracterizada de la siguiente manera

- | | |
|---|---|
| <ul style="list-style-type: none"> i. Nombre del geositio ii. Ubicación geográfica iii. Dueño (público o privado) iv. Protección (si existe) v. Accesibilidad vi. Fragilidad y Vulnerabilidad vii. Descripción geológica | <ul style="list-style-type: none"> viii. La característica más relevante que hacen de éste un geositio ix. Contexto geológico (cuando corresponda) x. Limitaciones para el uso científico (necesidad de permisos, dificultades climáticas, etc). |
|---|---|

4.1.2 Inventario de Sitios de Geodiversidad

La reciente propuesta de Brilha (2016) define un sitio de geodiversidad como una ocurrencia geológica que no tiene una mayor significancia de valor científico. No obstante, debido a su potencial valor educativo, y/o turístico (entre otros), es prudente la conservación de estos sitios para permitir el uso sostenible por la sociedad. Además, estos sitios de geodiversidad pueden tener importancia cultural significativa en la identidad de las comunidades. En otras palabras, entendemos que los sitios de geodiversidad corresponden a toda ocurrencia geológica que, sin tener un valor científico excepcional, tienen un valor cultural, educativo, turístico, y/o estético (entre otros) que beneficia a una comunidad determinada, por lo que debe ser conservado.

Al igual que en el inventario de geositios, el inventario de sitios de geodiversidad comienza con la revisión de la literatura geológica y las consultas a expertos. Por otro lado, si existe una lista de geositios en la zona de estudio, estos deben ser incluidos como potenciales sitios de geodiversidad (Brilha, 2016). Para aquellos sitios que pretendan ser evaluados por su valor educativo, es importante conocer si ya existen lugares destinados a actividades relacionadas. Lo mismo sucede con aquellos que sean potencialmente turísticos, es decir, es importante conocer cuales se ofrecen para el desarrollo de diferentes actividades de dicho interés.

Cada uno de los potenciales sitios de geodiversidad debe ser evaluado, según corresponda, con los siguientes criterios propuestos por Brilha (2016):

Valor Educativo (VE)

- i. Potencial didáctico
- ii. Diversidad geológica
- iii. Accesibilidad
- iv. Seguridad

Valor Turístico (VT)

- i. Escénico
- ii. Potencial interpretativo
- iii. Accesibilidad
- iv. Seguridad

Se vuelve evidente que los sitios que mejor cumplan con los criterios antes mencionados, serán aquellos seleccionados para un futuro inventario. Un sitio de geodiversidad con alto valor educativo, será entonces aquel que posea diferentes ocurrencias geológicas con características que puedan ser entendidas por los estudiantes, de buenos y cómodos accesos en donde los estudiantes puedan observar la geología y donde las condiciones de seguridad sean las mejores posibles (Brilha, 2016). Evidentemente, todos estos criterios varían según el tipo de estudiante al cual está dirigido (básica, media, universitarios). Del mismo modo, sitios con elevado valor turístico, serán aquellos en donde se presente una belleza visual que pueda ser apreciada por la mayor parte del público, con características geológicas que puedan ser fácilmente observadas y entendidas por personas no especialistas en condiciones seguras y cuyos accesos sean cómodos y expeditos.

La lista de los potenciales sitios de geodiversidad debe ser convertida en una lista definitiva de sitios luego del trabajo de terreno. Para esto, cada sitio de geodiversidad debe estar caracterizado usando la siguiente información propuesta por Brilha (2016).

- i. Nombre del sitio de geodiversidad
- ii. Ubicación geográfica
- iii. Dueño (público o privado)
- iv. Protección legal (si existe alguna)
- v. Accesibilidad
- vi. Fragilidad y vulnerabilidad
- vii. Descripción geológica
- viii. Características que hacen del sitio un potencial sitio educativo/turístico
- ix. Eventuales conexiones con elementos ecológicos y culturales
- x. Eventuales limitaciones de uso (pagos de entrada, capacidad de carga, estacionalidad, etc).
- xi. Condiciones de seguridad
- xii. Condiciones de observación (de los elementos de la geodiversidad).

4.2 Caracterización de los Sitios de Geodiversidad/Geositios.

En un territorio amplio coexisten tanto geositios como sitios de geodiversidad. Además, un geositio puede ser evaluado para su uso en programa de educación o visitación. Esto sumado a que mucha de la información para caracterizar tanto sitios de geodiversidad como geositios propuesta por Brilha (2016) se superpone, resulta práctico para este trabajo el desarrollo de una única ficha en donde sean potencialmente evaluables todos los criterios.

Parterrieu (2013) recogiendo la propuesta realizada por Martínez (2010) generó, una ficha metodológica para inventariar geositios. Ésta está realizada en base a tres ejes fundamentales a destacar según Cendrero (1996). Considerando esta ficha, junto con las recomendaciones de Lima (2010) y Brilha (2016) en relación a los criterios para el inventario de geositios y sitios de geodiversidad, se ha realizado una nueva propuesta exclusivamente cualitativa y pensada para ser usada durante el trabajo de campo para facilitar la realización de inventarios (Figura 5). Por último, los parámetros cualitativos, responden a parámetros cuantitativos de una etapa de valoración posterior esclarecidos más adelante (ver sección 4.5 Metodología para la valoración cuantitativa de geositios y sitios de geodiversidad).

La estructura de esta propuesta está estructurada de la siguiente manera:

- **Código:** Los códigos permiten el tratamiento menos engorroso de la información por lo que es conveniente asignar uno a cada sitio para la posterior identificación. Para esto, se recomienda una metodología propuesta por Vegas *et al.* (2011) en donde los códigos están compuestos de seis dígitos: idealmente dos siglas que se refieren a la localidad y en caso de coincidencias o expresiones muy largas usar subsiglas (p.ej. EN para “Ensenada”; p.ej. PNVpr: Parque Nacional Vicente Perez Rosales; Pve y PV, Playa Venado y Puerto Varas respectivamente); dos números que indican la numeración aleatoria que se les ha dado a los geositios y dos letras que indican el tipo de interés (Tabla 1). Esta separación por tipo de interés también se ha propuesto en el trabajo de Fuertes-Gutiérrez y Fernández-Martínez (2010).

Tabla 1•; Izquierda: códigos utilizados para otro tipo de interés. Derecha: códigos utilizados para un tipo de interés geológico

Tipo de interés	Código
Científico	CI
Escénico	EC
Didáctico	DD
Interpretativo	IN
Cultural	CU

Tipo de interés Geológico (CI)	Código
Estratigráfico	ES
Sedimentológico	SE
Geomorfológico	GM
Paleontológico	PA
Petrológico-Geoquímico	PG
Tectónico	TT
Geotécnico	GT
Volcanológico	VB
Glaciológico	VN
Paleoclimático	GL
Minero-Metalogénico	MM
Hidrogeológico	HG
Otro	OT

- **Nombre:** El nombre de los geositios y sitios de geodiversidad suelen ser diferente en cada inventario,

encontrándose nomenclaturas diferentes dependiendo de cada autor. Vegas *et al.* (2011) señala que esto lleva a que se encuentren denominaciones dispares, que en muchas ocasiones dificultan conocer el interés y las características básicas de cada sitio, agregando que no disponer de una denominación unificada también complica el análisis del inventario, las bases de datos digitales y su tratamiento mediante sistemas de información geográfica (SIGs). De esta manera se ha procedido a establecer los nombres según las recomendaciones de estos autores de la siguiente forma: descripción de el/los elemento(s) principal(es); edad de éstos (periodo); referencia geográfica (p.ej. Ensenada).

- **Información geográfica:** En esta sección deben ser plasmados los datos geográficos principales de cada sitio que responden al punto (ii) de la evaluación cualitativa: “ubicación geográfica” mencionado anteriormente. Además, se espera que los datos de “distancia al poblado más cercano” se puedan relacionar, directa e indirectamente, en un posterior análisis cuantitativo con el criterio “Cercanía a áreas/actividades que potencialmente causan degradación” y “Densidad de población”.
- **Características de Uso:** En esta cuadrícula, se rescatan los puntos mencionados anteriormente referidos a “Dueño”, “Accesibilidad”, “Conexiones con otros elementos”, “Limitaciones de uso” y “Seguridad”. Además, se ha considerado como relevante la propuesta de Martínez (2010) que indica la distancia al punto más próximo de acceso en tres tipos de transporte motorizado. Se espera que el análisis cualitativo realizado en esta sección facilite la valoración cuantitativa, en particular para los criterios de “Accesibilidad”, “Asociación con otros elementos”, “Logística”, “Seguridad” y “Limitaciones de uso”. Un espacio para observaciones se ha considerado pertinente en esta sección.
- **Características intrínsecas de uso científico (Geositios):** Estas serán aquellas características propias del geositio, que se expresan por sí mismas. Los aspectos a detallar tratan de responder de manera cualitativa a los parámetros intrínsecos que serán evaluados cuantitativamente en una fase posterior, en particular “Representatividad”, “Singularidad”, “Integridad”, “Diversidad Geológica”, “Localidad tipo”, “Conocimiento científico”. Además, se agrega el “Tipo de valor científico” relacionado al interés que tiene por ejemplo: Hidrogeológico, Paleontológico, Volcanológico, Geomorfológico, y otros. Además, se cree pertinente un espacio para indicar la necesidad de futuros estudios para mejorar la calidad de la información en cada lugar.
- **Características intrínsecas de uso educativo/turístico (Sitios de Geodiversidad):** Estas serán aquellas características propias del sitio de geodiversidad, que se expresan por sí mismas. Los aspectos a detallar tratan de responder de manera cualitativa a los parámetros intrínsecos que serán evaluados cuantitativamente en una fase posterior, en particular “Escenario”, “Singularidad”, “Condiciones de observación”, “Potencial Didáctico o Interpretativo” y “Diversidad Geológica”.
- **Observaciones:** Este es un espacio libre en donde se pueden tomar ciertas anotaciones relevantes al estudio.
- **Esquema o Columna:** Esquema representativo del lugar.

Código	Nombre
Información Geográfica	
Región : <input style="width: 150px;" type="text"/>	Comuna : <input style="width: 150px;" type="text"/>
Provincia : <input style="width: 150px;" type="text"/>	Localidad : <input style="width: 150px;" type="text"/>
Información GPS :	
UTM N: <input style="width: 50px;" type="text"/>	UTM E: <input style="width: 50px;" type="text"/>
Altitud: <input style="width: 50px;" type="text"/> m.s.n.m	Poblado(s) más próximo(s) :
	<input style="width: 100px;" type="text"/> Distancia: <input style="width: 30px;" type="text"/> km
	<input style="width: 100px;" type="text"/> Distancia: <input style="width: 30px;" type="text"/> km
Características de Uso	
Dominio: <input type="checkbox"/> Público <input type="checkbox"/> Privado <input type="checkbox"/>	
Distancia a punto de acceso más próximo en:	
Bus <input style="width: 30px;" type="text"/> m Auto <input style="width: 30px;" type="text"/> m 4x4 <input style="width: 30px;" type="text"/> m	
Instalaciones cercanas:	
Alojamiento <input type="checkbox"/> Alimentación <input type="checkbox"/> Baño <input type="checkbox"/> Otra <input style="width: 150px;" type="text"/>	
Asociación con otros elementos patrimoniales de indole:	
Natural <input type="checkbox"/> Cultural <input type="checkbox"/> Histórico <input type="checkbox"/> Étnico <input type="checkbox"/> Otro <input style="width: 150px;" type="text"/>	
<input style="width: 150px;" type="text"/>	
Zonas recreativas proximas: <input style="width: 150px;" type="text"/>	
Factores de riesgo: <input style="width: 150px;" type="text"/>	
Limitaciones para su uso:	
<input style="width: 150px;" type="text"/>	
Observaciones:	
<input style="width: 150px;" type="text"/>	
Características Intrínsecas Uso Científico	
Contexto(s) geológico(s) representado	: <input style="width: 150px;" type="text"/>
Tipo de valor científico	: <input style="width: 150px;" type="text"/>
Característica más relevante	: <input style="width: 150px;" type="text"/>
Estado de conservación	: <input style="width: 150px;" type="text"/>
Cantidad de elementos geológicos de interés científico:	
1 <input type="checkbox"/> 2 <input type="checkbox"/> 3 ó + <input type="checkbox"/> ¿Cuales?: <input style="width: 150px;" type="text"/>	
Localidad tipo:	
Si <input type="checkbox"/> Secundaria <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/>	
Publicaciones que lo incluyen:	
<input style="width: 150px;" type="text"/>	
Investigaciones a realizar:	
<input style="width: 150px;" type="text"/>	

Características Intrínsecas Uso Educativo/Turístico	
Belleza/Atractivo	: <input type="text"/>
Particularidad/Rasgos distintivos	: <input type="text"/>
Condiciones de observación	: <input type="text"/>
Potencial didactico/interpretativo	: <input type="text"/>
Cantidad de elementos geológicos diferentes con potencial didactico/turístico:	
1 <input type="checkbox"/> 2 <input type="checkbox"/> 3 ó + <input type="checkbox"/> ¿Cuales?:	<input type="text"/>

Riesgo de Degradación	
Actividad humana <input type="checkbox"/>	: <input type="text"/>
Proceso natural <input type="checkbox"/>	: <input type="text"/>
Situación legal de protección actual :	
<input type="text"/>	

Observaciones Generales
<input type="text"/>

Esquema/Columna
<input type="text"/>

Figura 5 Fichas para la descripción de sitios en terreno.

Una vez realizadas las fichas de campo, estas deben ser usadas y complementadas con la información de la libreta de terreno y bibliográfica, elaborando un producto final estructurado como se muestra en la [Tabla 2](#).

Tabla 2 Estructura estándar de los sitios inventariados.

Código + Nombre	
Resumen Breve descripción de no más de 2 líneas en que se señale: Donde se ubica + Tipo de interés del sitio +Características/Rasgos Principales.	
Imagen y/o Esquema representativo del sitio	
Generalidades	
Sitios de geodiversidad: <ul style="list-style-type: none"> i. Ubicación geográfica ii. Dueño (público o privado) iii. Protección legal (si existe alguna) iv. Accesibilidad v. Fragilidad y vulnerabilidad vi. Descripción geológica vii. Características que hacen del sitio un potencial sitio educativo/turístico viii. Eventuales conexiones con elementos ecológicos y culturales ix. Eventuales limitaciones de uso (pagos de entrada, capacidad de carga, estacionalidad, etc). x. Condiciones de seguridad xi. Condiciones de observación (de los elementos de la geodiversidad) 	Geositios: <ul style="list-style-type: none"> i. Ubicación geográfica ii. Dueño (público o privado) iii. Protección (si existe) iv. Accesibilidad v. Fragilidad y Vulnerabilidad vi. Descripción geológica vii. La característica más relevante que hacen de este un geositio viii. Contexto geológico (cuando corresponda) ix. Limitaciones para el uso científico (necesidad de permisos, dificultades climáticas, etc)
Descripción Geológica + fotografías + esquemas + etc.	

En resumen, los pasos a seguir en el proceso de inventario son:

1. **Revisión** de literatura geológica y consulta a expertos que han trabajado en el área
2. **Relación** de los sitios de interés respecto a contextos locales/regionales/nacionales definidos o por definir (si es aplicable)
3. **Listado** de potenciales geositios y/o sitios de geodiversidad.
4. **Trabajo de campo** y evaluación cualitativa de los sitios de la lista basado en los cuatro criterios antes mencionados en geositios y/o sitios de geodiversidad según su tipo de interés (científico, educativo, turístico) apoyados en la Ficha de la [Figura 5](#). En esta etapa, se puede agregar otros sitios que resulten del trabajo en terreno.
5. **Lista final** de geositios y/o sitios de geodiversidad con una caracterización completa como se muestra en la [Tabla 2](#).

Una vez que el inventario de geositios y/o sitios de geodiversidad esté concluido, es necesario obtener información que ayude a establecer las prioridades en el manejo y hacer una evaluación cuantitativa (valoración) respecto a su valor científico, portencial de uso educativo y/o turístico y riesgo de degradación.

4.3 Metodología para la valoración cuantitativa de geositios y sitios de geodiversidad

Para Pereira (2010), la valoración de la naturaleza es una práctica extremadamente antropocéntrica y funcional, ya que se establece desde la perspectiva humana en cómo los elementos naturales pueden ser potencialmente usados por el hombre. Además, agrega que se trata de una labor de carácter subjetiva, ya que depende en gran medida de los criterios adoptados por el evaluador y sus ponderaciones personales.

Por otro lado, Gudynas (1999) destaca que las medidas de la naturaleza siempre serán incompletas, y su uso siempre corre el riesgo del reduccionismo. Este último ocurre cuando se presupone que la medida representa de la mejor manera a todo el sistema, todos sus componentes, y los procesos que allí se dan. Lo anterior, implica que la medida permitiría acceder a la esencia de lo medido y como consecuencia se observa lo que el autor llama una “*traslocación expandida*”. Bajo esa condición la medición de un atributo se expande hasta postular que representa a casi todo o todo el objeto medido, lo que no es un hecho.

Por otro lado, es necesario entender la inconmensurabilidad de la naturaleza resultado de la pluralidad de valores que ésta tiene. Como plantea Gudynas (1999), es necesario acabar con la pretensión que una medida pueda revelar la esencia (y diversidad) de la naturaleza, destacando que: “*Las valoraciones son plurales, con múltiples elementos en consideración, algunos de los cuales son mensurables mientras otros no; aún en los casos de mensura, las medidas utilizables son muy variadas y su valor indicativo puede ser ambigüo. Todavía más: en tanto las mediciones son parciales, éstas no pueden ser traslocadas a todo el conjunto*”.

No obstante lo anterior, las propuestas metodológicas para una valoración cuantitativa de la geodiversidad es una práctica recurrente en trabajos relacionados al patrimonio geológico (Brilha, 2005, 2016; Bruschi y Cendrero, 2005; Coratza y Giusti, 2005; Serrano y Gonzalez- Trueba, 2005; Pralong, 2005; Pereira, 2006, Zouros, 2007, García-Cortés y Urquí, 2009, Pereira, 2010). El objetivo de realizar una valoración cuantitativa de geositos y sitios de geodiversidad es disminuir al máximo la subjetividad que surge en las etapas de evaluación de geositos (Brilha, 2016).

Bruschi (2011) plantea que existen dos tipos de valoraciones cuantitativas: directas e indirectas o paramétricas. Las primeras son realizadas en general por un grupo de expertos encargados de la valoración, y tienen como principal ventaja, ser convenientes y simples en la obtención de resultados. La gran desventaja es que se puede conocer lo obtenido, pero muchas veces no cómo o por qué se llegó a un resultado. Por otro lado, las indirectas son aquellas que establecen una serie de parámetros que son frecuentemente evaluados por separado a través de puntajes. A éstos, se les asigna un valor que es integrado posteriormente al valor del sitio. La gran ventaja de este método es que es más transparente, elimina (no completamente) la subjetividad y permite replicar en gran medida los resultados. Como desventaja, en cambio, se vuelve más complejo evaluar cada sitio y toma gran cantidad de tiempo.

De acuerdo con Carcavilla *et al.* (2007), la valoración de un geosito se apoya sobre tres premisas fundamentales:

- no todo elemento geológico tiene valor patrimonial
- los afloramientos o elementos que lo poseen no siempre son igual de interesantes
- es posible definir parámetros que permitan calcular cuál es el interés del lugar

Respecto al último punto, existen variados trabajos que se basan en criterios y respectivos indicadores en que los diferentes resultados o parámetros pueden ser asignados a los sitios de interés (Cendrero 1996; Cortaza and Giusti 2005; Pralong and Reynard 2005; Pereira *et al.* 2007; Reynard *et al.* 2007; Bruschi and Cendrero 2009; Reynard 2009; Pereira and Pereira 2010; Bruschi *et al.* 2011; Fassoulas *et al.* 2012; Pereira and Pereira 2012, en Brilha 2016). Por su parte, a nivel nacional los diferentes autores (p.ej. Fernández,

2007; Martínez, 2010; Ramírez 2012; Mardones 2012; Benado, 2013; Parterrieu 2013; Aravena 2014; Rivera 2014; López, 2016) se inclinan por una metodología también paramétrica a la hora de valorizar sitios de interés geológico, aun cuando existan variaciones respecto a cuáles son los parámetros a evaluar y sus respectivas ponderaciones en el valor final.

De acuerdo con Brilha (2016) el resultado de esta evaluación numérica es una lista ordenada de los sitios, cuya gran virtud es ser una poderosa herramienta para el establecimiento de prioridades de gestión. Así, los sitios con mayor valor y mayor riesgo de degradación deben tener mayor prioridad. Además, agrega que la evaluación cuantitativa de los sitios funciona mejor cuando se están evaluando decenas de ellos. Para áreas pequeñas con unos pocos sitios, postula que estos procedimientos pueden no tener resultados prácticos y por lo tanto pueden no ser necesarios.

En cuanto a lo que se va a evaluar, hay que considerar que en caso de definir un sitio como geológicamente diverso y a otro hermoso, los criterios utilizados tienen una génesis distinta. Gudynas (1999) llama a esta situación una “comparación débil” en cuanto la relación entre estos dos sitios no apela a una misma medida ni a comparaciones basadas entre ellas.

Para sopesar este problema, en este trabajo se utiliza la metodología propuesta por Brilha (2016) en donde remarca que, debido a que existen diferentes criterios para valorar distintos tipos de sitios (científicos, educativos, turísticos), la evaluación cuantitativa de estos valores debe hacerse por separado, agregando además que *“muchos trabajos de inventarios aplican los mismos criterios independiente del valor del sitio que está siendo evaluado y esto puede llevar a resultados erróneos”*¹⁵. De esta forma, se definen variados criterios a evaluar en los tres tipos de valores. En relación con el valor científico, este autor enfatiza que se debe rescatar la importancia científica de una ocurrencia, independientemente de su uso potencial inmediato. Esto quiere decir que un geosítio debe ser conservado por lo que representa, independientemente del uso potencial que puede ofrecer en el corto plazo, más aún, el uso puede ser postergado en pos de la preservación.

En lo que concierne al valor educativo o turístico, lo que realmente está en juego es el potencial de uso de los sitios. De esta forma, sólo tiene sentido conservar un sitio con valor educativo si va a ser utilizado eficazmente como un recurso para dichos programas, es decir, más que el valor educativo se valora su potencial de uso para educar. Una justificación similar puede hacerse para los sitios con valor turístico: su conservación está profundamente relacionada con su uso como atractivos.

4.3.1 Valoración Cuantitativa de Valor Científico

Para la valoración cuantitativa de valor científico de los geosítios, se han utilizado siete criterios propuestos por Brilha (2016).

Tabla 3 Criterios para evaluar el VC.

Valor Científico (VC)	
Criterios/Indicadores	Descripción
A. Representatividad	Corresponde a la capacidad de un geosítio para ilustrar elementos o procesos geológicos (y si aplica, relacionados al contexto geológico)

¹⁵ “many inventory works apply the same criteria regardless of the value of the sites that are being inventoried and this may lead to erroneous results.”

B.	Localidad Tipo	La importancia de un geosítio como referencia o modelo para la estratigrafía, paleontología, mineralogía, etc.
C.	Conocimiento Científico	Existencia de estudios científicos publicados en relación al geosítio (relacionado al contexto geológico si es aplicable) reflejando el valor que tiene el sitio para la comunidad geocientífica.
D.	Integridad	Relacionado al estado de conservación de los principales elementos geológicos (relacionados al contexto geológico si es aplicable); Mientras mejor es su integridad, mayor es su VC
E.	Diversidad Geológica	El mayor número de elementos geológicos diferentes con interés científico (relacionados al contexto geológico si es aplicable). Implica un mayor VC
F.	Singularidad/Rareza	Referido a la rareza/anomalía del sitio. Un menor número de sitios similares en el área de estudio (representando un contexto geológico si es aplicable) aumenta el VC
G.	Limitaciones de Uso	La existencias de obstáculos que puedan generar una problemática para su uso científico, tiene impactos negativos en el VC.

Los criterios de la A a la F (Ver tabla) son intrínsecos y utilizados, con una u otra variante, en diversas propuestas metodológicas para la cuantificación (Brilha, 2005; Bruschi y Cendrero, 2005; Coratza y Giusti, 2005; Carcavilla *et al.* 2007; García-Cortéz y Carcavilla, 2009; Lima 2010) ya que están directamente relacionados a las características geológicas de cada sitio y por lo tanto directamente asociados a su valor científico. Sin embargo, Brilha (2016) agrega un criterio a esta propuesta que no es intrínseco, si no que de uso. Este criterio (G) está incluido debido a que parte del valor científico de un sitio está íntimamente relacionado a la posibilidad de ser usado para presentes y futuras investigaciones científicas.

Una serie de parámetros se le han asignado a cada criterio con el fin de determinar un puntaje adecuado (Tabla 4). La brecha existente entre los puntajes (2 a 4) es una medida para distinguir de mejor manera aquellos sitios que cumplen a cabalidad un criterio respecto a otro que no (Brilha, 2016). En este trabajo el valor 0 estará permitido si un sitio no cumpliera con los indicadores propuestos, lo que requiere una posterior revisión.

El puntaje total de un sitio, estará determinado por cada parámetro ponderado según su grado de importancia relativa (Tabla 5). Brilha (2016) propone que la representatividad sea el criterio más importante, seguido de la localidad tipo. De la misma forma, se piensa que el conocimiento científico previo como la diversidad geológica son los criterios menos relevantes a la hora de evaluar el valor científico del sitio. Una vez obtenidos los valores, es importante tener en consideración lo explicado anteriormente respecto a que las medidas son una herramienta limitada y siempre será necesario realizar una reflexión final de los valores obtenidos.

Tabla 4 Asignación de puntajes a los diferentes criterios de la Tabla 3 para obtener un VC

Valor Científico (VC)		
Criterios/Indicadores		Parámetros
A. Representatividad		
▪ El geosítio es el mejor ejemplo en el área de estudio para ilustrar elementos o procesos, relacionados a un contexto geológico considerado (si es aplicable)		4 puntos
▪ El geosítio es un buen ejemplo en el área de estudio para ilustrar elementos o procesos, relacionados a un contexto geológico considerado (si es aplicable)		2 puntos
▪ El geosítio es un ejemplo que ilustra razonablemente elementos o procesos en el área de estudio, relacionados a un contexto geológico considerado (si es aplicable)		1 punto
B. Localidad Tipo		
▪ El geosítio es reconocido como un GSSP o ASSP por la IUGS o, es un sitio de referencia IMA		4 puntos
▪ El geosítio es usado por la ciencia internacional, directamente relacionado al contexto geológico considerado (cuando es aplicable).		2 puntos
▪ El sitio es usado por la ciencia nacional, directamente relacionado al contexto geológico considerado (cuando es aplicable)		1 punto
C. Conocimiento científico		

▪ Hay publicaciones en revistas internacionales acerca de este geositio, directamente relacionados al contexto geológico en consideración (cuando es aplicable)	4 puntos
▪ Hay publicaciones científicas nacionales acerca de este geositio, directamente relacionado al contexto geológico (cuando es aplicable).	2 puntos
▪ Hay resúmenes presentados en eventos científicos internacionales acerca de este geositio, directamente relacionados al contexto geológico considerado (cuando es aplicable).	1 punto
D. Integridad	
▪ Los elementos geológicos principales (relacionados al contexto geológico considerado, cuando es aplicable) están muy bien preservados.	4 puntos
▪ El geositio no está muy bien preservado, pero los elementos geológicos principales (relacionados al contexto geológico considerado, cuando es aplicable) están aún preservados.	2 puntos
▪ El geositio con problemas de preservación y con parte de los elementos principales (relacionados al contexto geológico considerado, cuando es aplicable) algo alterados o modificados.	1 punto
E. Diversidad Geológica	
▪ Geositios con más de tres tipos distintos de características geológicas con relevancia científica	4 puntos
▪ Existen 3 tipos de características geológicas con relevancia científica	2 puntos
▪ Existen menos de 3 tipos de características geológicas con relevancia científica	1 punto
F. Singularidad	
▪ El geositio es el único ejemplo de este tipo para el área de estudio (que representa al contexto geológico considerado si es aplicable)	4 puntos
▪ En el área de estudio existen 2 ó 3 ejemplos de este tipo de geositio (que representa al contexto geológico considerado si es aplicable)	2 puntos
▪ En el área de estudio existen 4 ó 5 ejemplos de este tipo de geositio (que representa al contexto geológico considerado si es aplicable)	1 punto
G. Limitaciones de Uso	
▪ El geositio no tiene limitaciones en su uso (permisos legales, barreras, etc) para tomar muestras o trabajar en campo	4 puntos
▪ Es posible tomar muestras y/o hacer trabajo de campo después de superar limitaciones	2 puntos
▪ Hacer trabajo de campo o muestreo es muy arduo de hacer o tiene limitaciones legales difíciles de superar.	1 punto

Tabla 5 Ponderación de los diferentes criterios para la obtención de un VC (0-4).

Valor Científico (VC)	
Criterio	Ponderación
A. Representatividad	0.30
B. Localidad tipo	0.20
C. Conocimiento científico	0.05
D. Integridad	0.15
E. Diversidad Geológica	0.05
F. Singularidad	0.15
G. Limitaciones de Uso	0.10
Total	1

Un geositio entonces, tendrá su mayor valor científico cuando sea el que mejor represente una ocurrencia dentro de un marco internacional con publicaciones al respecto y cuando presente características geológicas bien preservadas con relevancia científica para ser fácilmente usadas en una investigación futura (Brilha, 2016).

Se propone que para la gestión, puede ser útil clasificar el valor científico como bajo, moderado o alto (Tabla 14). El puntaje total se calculará según: $\sum_0^i n_i * x_i$ donde “n” corresponde al parámetro (puntaje) asignado

a cada criterio y “x” a cada una de sus respectivas ponderaciones.

4.3.2 Valoración Cuantitativa de Potencial de Uso Educativo y Turístico

Como ya se mencionó anteriormente, más que el valor educativo, lo que se evalúa es el **Potencial de Uso Educativo (PUE)**. Para esto, 12 criterios son utilizados (Tabla 6) y puntuados desde el 1 al 4 (0 permitido) de acuerdo a una serie de parámetros (Tabla 10). De esta manera, el valor final del PUE de un sitio, estará determinado por la suma ponderada de los puntajes obtenidos según la Tabla 6.

Tabla 6 Criterios utilizados para evaluar el PUE

Potencial de Uso Educativo (PUE)	
<i>Criterios/indicadores</i>	<i>Descripción</i>
A. Vulnerabilidad	La existencia de elementos geológicos que puedan ser destruidos o degradados por los estudiantes, disminuye el PUE del sitio.
B. Accesibilidad	Mientras más fácil y expedita la caminata luego del transporte principal por parte de los estudiantes, aumentara el PUE.
C. Limitaciones de Uso	La existencia de obstáculos que puedan ser problemáticos para el desarrollo de actividades educativas tiene un impacto negativo en el PUE.
D. Seguridad	Cuando una actividad de terreno puede ser llevada con bajo riesgo para los estudiantes, aumenta el PUE.
E. Logística	La existencia de instalaciones para recibir a estudiantes, como alojamiento, comida, baños aumenta el PUE.
F. Densidad de Población	La existencia de población cercana al sitio, que pueda aportar estudiantes a los sitios, aumenta el PUE.
G. Asociación con otros valores	La existencia de otros valores culturales y/o naturales que estén asociados al sitio pueden justificar terrenos interdisciplinarios y aumentar el PUE del sitio.
H. Escenario	Representa la belleza de elementos geológicos que pueda estimular el interés de los estudiantes por el sitio y por lo tanto incrementar el PUE.
I. Singularidad	Se refiere a los rasgos distintivos y raros (exóticos) de los elementos de la geodiversidad que pueden generar interés en los estudiantes aumentando el PUE del sitio.
J. Condiciones de Observación	Mientras mejores son las condiciones de observación de los elementos de la geodiversidad en el sitio, mayor es su PUE
K. Potencial Didáctico	El uso del sitio por estudiantes de distintos niveles de educación aumenta el PUE del sitio.
L. Diversidad Geológica	Un mayor número de elementos geológicos con potencial didáctico, aumenta el PUE.

Brilha (2016) concluye respecto a estos sitios que el caso ideal de alto PUE ocurrirá cuando los elementos de la geodiversidad tengan una baja vulnerabilidad, es decir, sean resistentes a una eventual destrucción por parte de estudiantes y al mismo tiempo puedan ser fácilmente observados y entendidos tanto por alumnos de educación básica como universitaria. Por último, debe ser fácil acceder a estos lugares y tener condiciones de seguridad necesarias para cualquier comportamiento que pueda ser imprudente.

Tabla 7 Ponderaciones para asignar un puntaje (0-4) de PUE

Potencial de Uso Educativo	
<i>Criterio</i>	<i>Ponderación</i>
A. Vulnerabilidad	0.10
B. Accesibilidad	0.10
C. Limitaciones de Uso	0.5
D. Seguridad	0.10
E. Logística	0.5

F.	Densidad de Población	0.5
G.	Asociación con otros valores	0.5
H.	Escenario	0.5
I.	Unicidad	0.5
J.	Condiciones de Observación	0.10
K.	Potencial Didáctico	0.20
L.	Diversidad Geológica	0.10
Total		1

Por otra parte, El **Potencial de Uso Turístico (PUT)** considera 13 criterios posibles de ver en la [Tabla 8](#) Al igual que con el PUE, cada criterio del PUT estará puntuado desde el 1 al 4 (0 permitido) de acuerdo a indicadores visibles en la [Tabla 10](#). De esta forma, la suma ponderada de los puntajes obtenidos para cada criterio será el valor final del PUT ([Tabla 9](#)).

Tabla 8 Criterios utilizados para evaluar el PUT

Potencial de Uso Turístico (PUT)		
Criterios/ Indicadores	Descripción	
A.	Vulnerabilidad	La existencia de elementos geológicos que puedan ser destruidos o degradados por los visitantes disminuye el VT del sitio.
B.	Accesibilidad	Mientras más fácil y expedita la caminata luego del transporte principal por parte de los visitantes, aumentara el VT.
C.	Limitaciones de Uso	La existencia de obstáculos que puedan ser problemáticos para el desarrollo de actividades turísticas tiene un impacto negativo en el VT.
D.	Seguridad	Si las visitas pueden ser realizadas en condiciones de bajo riesgo, aumenta el VT
E.	Logística	La inexistencia de instalaciones para recibir a turistas, como alojamiento, comida, baños disminuye el VT.
F.	Densidad de Población	La existencia de pueblos/ciudades cerca del sitio que pueda aportar visitantes a estos, aumenta el VT.
G.	Asociación con otros valores	La existencia de otros valores culturales y/o naturales que estén asociados al sitio y pueden aumentar el interés de un mayor número de visitantes. Esto aumentara el VT.
H.	Escenario	Representa la belleza de elementos geológicos del sitio que puedan ser foco de atracción para los visitantes y por lo tanto incrementar el VT.
I.	Singularidad	Se refiere a los rasgos distintivos y raros (exóticos) de los elementos de la geodiversidad que pueden aumentar el nivel de satisfacción de los visitantes aumentando el VT del sitio.
J.	Condiciones de Observación	Mientras mejores son las condiciones de observación de los elementos de la geodiversidad en el sitio, mayor es su VT.
K.	Potencial Interpretativo	Relacionado a la capacidad que tengan las características geológicas para ser fácilmente entendidas por personas sin un conocimiento geológico previo, es decir, por el público general.
L.	Nivel Económico	El mayor nivel de ingresos de personas que viven cerca del sitio, puede sugerir una mayor probabilidad de que este sea visitado.
M.	Cercanía a áreas de recreación	La visita de turistas al sitio puede ser beneficiada por la existencia de otras áreas ya reconocidas por su atractivo.

Así, un sitio ideal de alto PUT será aquel en donde los elementos geológicos tengan una relevancia estética y puedan ser fácilmente entendidos por personas sin un conocimiento científico previo. Además, deben ser poco vulnerables, es decir, de nula o difícil degradación producto de la actividad geoturística. Por otro lado, buenas condiciones de visitación junto con óptimas instalaciones son esenciales para mantener el geoturismo. Sin embargo, como lo que se evalúa es el “potencial de uso” una revisión de la evaluación cuantitativa puede conllevar al desarrollo de mejoras en estas áreas (Brilha 2016).

Tabla 9 Ponderaciones para asignar un puntaje (0-4) de PUT

Potencial de Uso Turístico		
	Criterio	Ponderación
A.	Vulnerabilidad	0.10
B.	Accesibilidad	0.10
C.	Limitaciones de Uso	0.5
D.	Seguridad	0.10
E.	Logística	0.5
F.	Densidad de Población	0.5
G.	Asociación con otros valores	0.5
H.	Escenario	0.15
I.	Unicidad	0.10
J.	Condiciones de Observación	0.5
K.	Potencial Interpretativo	0.10
L.	Nivel Económico	0.5
M.	Cercanía a áreas de recreación	0.5
	Total	1

Tabla 10 Parámetros para asignar un puntaje al PUE y PUT según corresponda

POTENCIAL DE USO EDUCATIVO Y TURÍSTICO		
Criterios/Indicadores		Parámetros
A. Vulnerabilidad		
▪	Los elementos geológicos del sitio no presentan posibilidad de deterioro producto de actividades turísticas/educativas.	4 puntos
▪	Existe la posibilidad de deterioro de elementos geológicos secundarios producto de actividades turísticas/educativas.	3 puntos
▪	Existe la posibilidad de deterioro de los principales elementos geológicos producto de actividades turísticas/educativas	2 puntos
▪	Existe la posibilidad de deterioro de todos los elementos geológicos presentes por actividades turísticas/educativas	1 punto
B. Accesibilidad		
▪	El sitio está localizado a menos de 100 m desde una vía pavimentada con un estacionamiento para bus.	4 puntos
▪	El sitio está localizado a menos de 500 m desde una vía pavimentada	3 puntos
▪	El sitio es accesible por un bus pero por camino de tierra/grava	2 puntos
▪	El sitio no tienen un acceso directo por un camino, pero está localizado a menos de 1 km desde un camino accesible por bus.	1 punto
C. Limitaciones de Uso		
▪	El sitio no tiene limitaciones de uso por estudiantes o turistas.	4 puntos
▪	El sitio puede ser ocasionalmente usado por estudiantes y turistas	3 puntos
▪	El sitio puede ser usado por estudiantes y turista pero luego de sobreponerse a ciertas limitaciones (permisos, accesos, pagos, condiciones físicas, estacionalidad, etc.).	2 puntos
▪	El uso por turistas o estudiantes es muy difícil debido a la dificultad para sobreponerse a las limitaciones (permisos, accesos, condiciones físicas, estacionalidad, etc.).	1 punto
D. Seguridad		
▪	El sitio presenta instalaciones de seguridad (barandas, escaleras, pasamanos, otro.), cobertura móvil y está localizado a menos de 5 km desde un servicio de emergencia.	4 puntos
▪	El sitio presenta instalaciones de seguridad (barandas, escaleras, pasamanos, otro.), cobertura móvil y está localizado a menos de 25 km desde un servicio de emergencia.	3 puntos
▪	El sitio no presenta instalaciones de seguridad, pero si cobertura móvil y está localizado a menos de 50 km desde un servicio de emergencia.	2 puntos
▪	El sitio no presenta instalaciones de seguridad ni cobertura móvil y está localizado a más de 50 km desde un servicio de emergencia.	1 punto
E. Logística		
▪	Existen instalaciones de alojamiento y comida (restaurante) para grupos de 50 personas a menos de 25 km alejado del sitio.	4 puntos
▪	Existen instalaciones de alojamiento y comida (restaurante) para grupos de 50 personas a menos de 50 km alejado del sitio.	3 puntos
▪	Existen instalaciones de alojamiento y comida (restaurante) para grupos de 50 personas a menos de 100 km alejado del sitio.	2 puntos
▪	Existen instalaciones de alojamiento y comida (restaurante) para grupos de 25 personas a menos de 50 km alejado del sitio.	1 punto
F. Densidad de Población		
▪	El sitio se ubica dentro de una comuna con más de 1000 habitantes/km ²	4 puntos
▪	El sitio se ubica dentro de una comuna entre 250-1000 habitantes/km ²	3 puntos
▪	El sitio se ubica dentro de una comuna entre 100-250 habitantes/km ²	2 puntos
▪	El sitio se ubica dentro de una comuna con menos de 100 habitantes/km ²	1 punto
G. Asociación con otros valores (modificado)		
▪	Existen varias ocurrencias de valor ecológico y cultural a menos de 5 km del sitio	4 puntos
▪	Existen varias ocurrencias de valor ecológico y cultural a menos de 10 km del sitio	3 puntos
▪	Existen dos ocurrencia de valor ecológico y/o cultural a menos de 10 km del sitio	2 puntos
▪	Existen una ocurrencia de valor ecológico o cultural a menos de 10 km del sitio	1 punto
H. Escenario (modificado)		

▪ El sitio es nacionalmente reconocido como destino debido a su belleza/espectacularidad.	4 puntos
▪ El sitio es ocasionalmente reconocido como destino nacional turístico producto de su belleza/espectacularidad.	3 puntos
▪ El sitio es localmente reconocido como destino turístico producto de su belleza/espectacularidad.	2 puntos
▪ El sitio es ocasionalmente reconocido como destino local turístico producto de su belleza/espectacularidad.	1 punto
I. Singularidad	
▪ El sitio muestra rasgos únicos y/o poco comunes con respecto a países vecinos.	4 puntos
▪ El sitio muestra rasgos únicos y/o poco comunes a nivel nacional.	3 puntos
▪ El sitio muestra rasgos poco comunes con respecto a otras regiones del país.	2 puntos
▪ El sitio muestra rasgos similares a otros en el país.	1 punto
J. Condiciones de Observación	
▪ Todos los elementos geológicos son observados en buenas condiciones.	4 puntos
▪ Hay algunos obstáculos que hacen difícil la observación de algunos elementos geológicos.	3 puntos
▪ Hay algunos obstáculos que hacen difícil la observación de los principales elementos geológicos.	2 puntos
▪ Hay algunos obstáculos que impiden la observación de los principales elementos geológicos.	1 punto
POTENCIAL DE USO EDUCATIVO	POTENCIAL DE USO TURÍSTICO
K. Potencial Didáctico	K. Potencial Interpretativo.
▪ El sitio presenta elementos geológicos que pueden ser entendidos por todos los niveles educativos.	4 puntos
▪ El sitio presenta elementos geológicos que pueden ser entendidos desde la enseñanza básica.	3 puntos
▪ El sitio presenta elementos geológicos que pueden ser entendidos desde la enseñanza básica hasta enseñanza media ¹⁶ .	2 puntos
▪ El sitio presenta elementos geológicos que pueden ser entendidos por estudiantes de educación superior.	1 punto
▪ El sitio presenta elementos geológicos cuya interpretación es clara y entendible por el público general.	4 puntos
▪ El sitio presenta elementos geológicos cuya interpretación puede ser entendida con un conocimiento geológico básico.	3 puntos
▪ El sitio presenta elementos geológicos cuya interpretación es entendible por público con conocimiento geológico robusto.	2 puntos
▪ El sitio presenta elementos geológicos cuya interpretación es entendible por público especializado.	1 punto
L. Diversidad Geológica	L. Nivel Económico
▪ Existen más de 3 tipos de elementos de la geodiversidad en el sitio (Mineralógicos, paleontológicos, geomorfológicos, etc.)	4 puntos
▪ Hay 3 tipos de elementos de la geodiversidad en el sitio (Mineralógicos, paleontológicos, geomorfológicos, etc.)	3 puntos
▪ Hay 2 tipos de elementos de la geodiversidad en el sitio (Mineralógicos, paleontológicos, geomorfológicos, etc.)	2 puntos
▪ Hay 1 tipo de elemento de la geodiversidad en el sitio (Mineralógicos, paleontológicos, geomorfológicos, etc.)	1 punto
	M. Cercanía a áreas de recreación.
	▪ El sitio está localizado a menos de 5 km de un área recreacional o una atracción turística.
	4 puntos
	▪ El sitio está localizado a menos de 10 km de un área recreacional o una atracción turística.
	3 puntos
	▪ El sitio está localizado a menos de 15 km de un área recreacional o una atracción turística.
	2 puntos
	▪ El sitio está localizado a menos de 20 km de un área recreacional o una atracción turística.
	1 punto

Se propone que para la gestión, puede ser útil clasificar los PUT y PUE como bajo, moderado o alto (Tabla 13). El puntaje total se calculará según: $\sum_0^i n_i * x_i$ donde “n” corresponde al parámetro (puntaje) asignado a cada criterio (Tabla 10) y “x” a cada una de sus respectivas ponderaciones (Tablas 7 y 9).

4.3.3 Valoración Cuantitativa del Riesgo de Degradación.

¹⁶ Algunos procesos geológicos apelan a un nivel de educación mayor por necesitar de un pensamiento abstracto más desarrollado y mayor capacidad de análisis junto a el conocimiento de algunos conceptos básicos de las ciencias naturales incorporados en enseñanza básica y posibles de comprender a cabalidad en enseñanza media.

La propuesta de una valoración cuantitativa del Riesgo de Degradación (RD) ha sido considerada por varios autores (Cendrero, 1996¹⁷; Brilha, 2005; Carcavilla 2007, Lima 2010; García-Cortés, Carcavilla, Diaz-Martínez y Vegas, 2014) y puesta en práctica en los trabajos nacionales de referencia (Martínez, 2010; Parterrieu 2013).

En esta valoración se evalúan dos grandes factores de degradación: el natural, ligado a procesos abióticos (lluvias, hielo, viento, etc) y actividad biológica y el antrópico, relacionado a la actividad humana. Estos dos factores, además se relacionan íntimamente con las características intrínsecas del lugar (litología, dimensiones, estado de meteorización, fracturamiento, mineralización, contenido fósil, etc).

Aunque para Brilha (2016) los conceptos de fragilidad y vulnerabilidad son usados según la definición de Fuertes-Gutiérrez y Fernández-Martínez, (2010), en este trabajo, se establece una pequeña diferencia en donde se relaciona lo frágil a una característica únicamente intrínseca debido a su definición de “quebradizo y que con facilidad se hace pedazos¹⁸” y la vulnerabilidad a un proceso externo (natural o antrópico) que pueda causar daño en el sitio definido como “que puede ser herido o recibir lesión física¹⁹”.

De esta forma, se puede decir que el riesgo de degradación es una combinación de fragilidad y vulnerabilidad. Mientras que la fragilidad puede considerarse como una constante relacionada al presente de un sitio, la vulnerabilidad presenta mayor variabilidad y por lo tanto requiere una mayor atención, en particular con la vulnerabilidad antrópica (V_A). Carcavilla (2007) señala al respecto que “los parámetros relativos a las amenazas antrópicas y, en menor medida, las amenazas por causas naturales pueden evolucionar con el tiempo, por lo que es recomendable actualizarlos periódicamente” En este sentido, cabe destacar que afectan sobre la V_A criterios variables como la “accesibilidad” o “densidad de población” que además tienen un valor distinto dependiendo de su enfoque. Mientras que una buena accesibilidad y cercanía a localidades habitadas puede agregar un valor positivo al potencial de uso de un sitio, también puede aumentar la V_A debido a que mayor cantidad de personas puede visitar el sitio aumentando la probabilidad de que este sea dañado (Brilha, 2016).

Una evaluación numérica del Riesgo de Degradación (RD) debe hacerse como complemento al resto de los valores, ya que este análisis será crucial para determinar cuáles son las medidas que se deben tomar en cuanto a la gestión de la geodiversidad. Al igual que en las valoraciones cuantitativas anteriores, esta propuesta está basada en el trabajo de Brilha (2016). Así, se han utilizado cinco criterios (Tabla 11) que tiene un puntaje de 1 a 4 (0 permitido) (Tabla 12). El valor final del RD estará dado por la ponderación de los puntajes obtenidos en cada criterio (Tabla 13).

Brilha (2016) propone que para la gestión, puede ser útil clasificar el RD como bajo, moderado o alto (Tabla 14). El puntaje total se calculará según: $\sum_0^i ni * xi$ donde “n” corresponde al parámetro (puntaje) asignado a cada criterio (Tabla 12) y “x” a cada una de sus respectivas ponderaciones (Tabla 13).

Tabla 11 Criterios utilizados para evaluar el RD

Riesgo de Degradación (RD)	
Criterios/ Indicadores	Descripción
A. Deterioro de elementos geológicos	Refleja la posibilidad de pérdida de elementos geológicos en el sitio como consecuencia de (i) su fragilidad, es decir, su características intrínsecas (tamaño de los elementos geológicos, facilidad de obtener muestras, resistencia de la roca, etc.) y (ii) su vulnerabilidad por acciones antrópicas (turismo, agricultura, desarrollo urbano, vandalismo, etc.) y acciones naturales (susceptibilidad a la

¹⁷ Cedrero habla de “Necesidad de Protección” no obstante, la intención de calcular ese valor es similar al del RD.

¹⁸ Diccionario de la Real Academia española (Frágil)

¹⁹ Diccionario de la Real Academia española (Vulnerable)

		erosión, intensidad de agentes erosivos, etc.)
B.	Cercanía a áreas/actividades que potencialmente causan degradación	Ej; Minería, instalaciones industriales, áreas de recreación (playas, estadios, plazas), carreteras, zonas urbanas, etc.
C.	Protección Legal	Relacionado a la ubicación que tiene el sitio respecto a algún área con cualquier tipo de protección legal (directa o indirecta) y su control de acceso. Este último se refiere a la existencia de obstáculos, como recintos privados, rejas, necesidad de pagar entrada, actividades mineras, etc.
D.	Accesibilidad	Refleja las condiciones de acceso del sitio para el público en general (sin considerar a personas con capacidades diferentes). Un sitio con fácil acceso es más susceptible a ser dañado por malos usos de los visitantes que uno con dificultades.
E.	Densidad de población	Revela el número de personas que viven cerca del sitio y puedan ser un factor de deterioro del sitio por un uso inapropiado (vandalismo, robo, etc.).

La gran diferencia de esta metodología basada en la propuesta por Brilha (2016) y otras, es que no genera un ranking final con los puntajes calculados entre los diferentes valores de un sitio y el RD. En efecto, Brilha (2016) sugiere que no se genere un valor único entre estos dos sets de datos, pues el valor de un sitio no está directamente relacionado a su vulnerabilidad. Agrega además que si bien los dos aspectos deben considerarse juntos en una estrategia de gestión, no existe la necesidad de manipularlos como un valor único.

Una vez obtenidos los puntajes es necesario realizar una evaluación de estos. Una combinación de alto VC, PUC, PUT y alto RD justifican una prioridad en el plan de manejo. Por otro lado, si bien el VC es la esencia de un geositio, es posible evaluar su uso para educación y para turismo si este no aumenta su RD.

Tabla 12 Parámetros para asignar un puntaje de RD

Riesgo de Degradación (RD)	
Criterios/indicadores	Parámetros
A. Deterioro de los elementos geológicos	
▪ Posibilidad de deterioro de todos los elementos geológicos	4 puntos
▪ Posibilidad de deterioro de los elementos geológicos principales	3 puntos
▪ Posibilidad de deterioro de los elementos geológicos secundarios	2 puntos
▪ Escasa posibilidad de deterioro	1 punto
B. Cercanía a áreas/actividades que potencialmente causan degradación	
▪ El sitio está localizado a menos de 50 m de un área o actividad que es potencial de degradación	4 puntos
▪ El sitio está localizado a menos de 200 m de un área o actividad que es potencial de degradación	3 puntos
▪ El sitio está localizado a menos de 500 m de un área o actividad que es potencial de degradación	2 puntos
▪ El sitio está localizado a menos de 1 km de un área o actividad que es potencial de degradación	1 punto
C. Protección Legal	
▪ El sitio está localizado en un área que no tiene protección legal ni control de acceso	4 puntos
▪ El sitio está localizado en un área que no tiene protección legal pero si control de acceso	3 puntos
▪ El sitio está localizado en un área que tiene protección legal pero no control de acceso	2 puntos
▪ El sitio está localizado en un área que tiene protección legal y control de acceso	1 punto
D. Accesibilidad	
▪ El sitio está localizado a menos de 100 m de una ruta pavimentada con estacionamiento para bus	4 puntos
▪ El sitio está localizado a menos de 500 m de una ruta pavimentada	3 puntos
▪ El sitio es accesible por bus a través de una camino de tierra/grava	2 puntos
▪ El sitio no tiene un acceso directo por ruta pero está localizado a menos de 1 km de una ruta accesible por bus.	1 punto

E. Densidad de población

- El sitio está localizado en una provincia/comuna con más de 1000 hab/km² 4 puntos
- El sitio está localizado en una provincia/comuna con 250-1000 hab/km² 3 puntos
- El sitio está localizado en una provincia/comuna con 100-250 hab/km² 2 puntos
- El sitio está localizado en una provincia/comuna con menos de 100 hab/km² 1 punto

Tabla 13 Ponderaciones para asignar puntaje (0-4) de RD

Riesgo de Degradación (RD)	
<i>Criterio</i>	<i>Ponderación</i>
A. Deterioro de los elementos geológicos	0.35
B. Cercanía a áreas/actividades que potencialmente causan degradación	0.20
C. Protección legal	0.20
D. Accesibilidad	0.15
E. Densidad de Población	0.10
Total	1

Tabla 14 Caracterización de los valores según el puntaje obtenido.

Total ponderado (VC,RD,PUE.PUT)	Valor obtenido
<2	Bajo
2-3	Moderado
3-4	Alto

5.1 Rasgos Fisiográficos Generales.

El área estudiada se encuentra entre dos rasgos fisiográficos principales del territorio chileno: Cordillera de los Andes y Valle Central. La cumbre más alta de la zona corresponde al volcán compuesto Tronador (3490 m s.n.m), seguido por los volcanes Osorno, Puntagudo, Calbuco y la Picada. Estos están emplazados en el batolito norpatagónico: la cadena andina de granitoides denudados, que rara vez supera los 1500 m.s.n.m. siendo cada volcán distinguible desde casi todas las cumbres del sector. La línea de comienzo de las nieves varía en promedio entre 1200 – 1500 m s.n.m, encontrándose sobre ella zonas desprovistas de vegetación, visibles en temporada estival.

La acción glacial se manifiesta en el territorio con valles transversales y longitudinales en forma de “U”, circos y otras morfologías glaciares muchas veces ocupadas por ríos, lagunas y lagos. Más de 1000 km² de superficie están ocupadas por los lagos Llanquihue (el segundo más grande del territorio nacional) y el lago Todos los Santos, los cuales están divididos por depósitos del volcán Osorno. El primero presenta una faja circundante de morrenas terminales que forman suaves lomajes de no más de 100 m s.n.m a lo largo del valle longitudinal evidenciando el origen glacial de estos lagos, cuya existencia se debe a un retiro de los hielos. Por otra parte, el lago Todos los Santos fue creado por el cierre del valle glacial que allí existía, gracias al emplazamiento progresivo de depósitos del volcán Osorno. Hoy se hace espacio entre este antiguo valle glacial labrado en los Andes y desagua por los ríos Petrohué, Cayutué y Blanco.

Otro rasgo fisiográfico relevante son en los diferentes centros eruptivos menores en la zona de estudio, que se ubican principalmente en el lineamiento formado por los volcanes Osorno – Puntagudo y sobre la traza de la zona de falla Liquiñe Ofqui.

5.2 Áreas Protegidas

Las áreas protegidas en la zona de estudio son el Parque Nacional Vicente Pérez Rosales (PNVPR) y la Reserva Nacional Llanquihue (RNLL). La primera se ubica en el sector andino casi en su totalidad en la Provincia de Llanquihue y en menor medida en la Provincia de Osorno, limitando hacia el este con el Parque Nacional Nahuel Huapi (PNNH) de la República Argentina y hacia el norte con el Parque Nacional Puyehue ocupando una superficie de más de 253.000 hectáreas. El PNVPR se ubica en una zona de volcanismo activo representado por el volcán Osorno y fuentes termales alineadas en la zona de falla Liquiñe Ofqui (ZFLO), incluyendo otros conos compuestos inactivos como los volcanes La Picada, Puntagudo y Tronador. En su interior se encuentran también el lago todos los Santos y gran parte del bosque templado lluvioso valdiviano de la región. Actualmente es de los parques nacionales más visitados del país²⁰.

Por su parte, la Reserva Nacional Llanquihue está delimitada hacia el norte por el volcán Calbuco, hacia el Sur por el lago Chapo y hacia el este por el estuario de Ralún. Posee alrededor de 33.970 hectáreas y junto con el Parque Nacional Vicente Pérez Rosales forman parte de la Reserva de la Biósfera de Bosques Templados Lluviosos de los Andes Australes de UNESCO.

5.3 Clima, Vegetación y Suelos

²⁰<http://www.conaf.cl/parque-nacional-vicente-perez-rosales-el-mas-visitado-de-chile/>

El clima actual de la región es templado, con régimen de precipitación permanente en todos los meses del año y con promedios típicos anuales entre los 2000-3000 mm/año (Figura 12). Las temperaturas anuales tienen promedios de 10°C aumentando en los meses de enero, febrero y marzo (~13°) y disminuyendo los meses de junio y julio (~7°) (Figura 11). Los vientos, por su parte, suelen ser similares entre si en el valle longitudinal disminuyendo hacia los valles andinos refugiados por las altas cumbres expuestas a vientos sobre los 10 m/s (Figura 13).

El clima templado lluvioso, permite el desarrollo de una vegetación boscosa también conocida como “bosque templado lluvioso valdiviano” o coloquialmente como “selva valdiviana”. Este bosque se caracteriza por miles de especies endémicas y nativas entre las que se encuentran típicamente el Arrayán (*Luma apiculata*), Avellano (*Gevuina avellana*), Coigüe (*Nothofagus dombeyi*), Colihue (*Chusquea culeou*), Copihue (*Lapageria rosea*), la flor nacional de Chile, Luma (*Amomyrtus luma*), Murta (*Ugni molinae*), Notro (*Embothrium coccineum*), Quila (*Chusquea quila*), Tineo (*Weinmannia trichosperma*) y Alerce (*Fitzroya Cupressoides*), entre muchos otros. Este bosque es también el refugio de mamíferos como el monito del monte o el huillín, símbolo del Parque Nacional Vicente Pérez Rosales, aves, reptiles y anfibios, además de un sinnúmero de hongos que lo transforman en uno de los ecosistemas más biodiversos del planeta.

Los suelos de esta región son resultado de la interacción entre productos volcánicos piroclásticos y las condiciones climáticas húmedas y lluviosas, resultando principalmente en dos tipos predominantes de Andisoles: Trumaos y Ñadis que son suelos desarrollados a partir de cenizas volcánicas principalmente del Holoceno, acumuladas en el valle longitudinal. También existen hacia los sectores andinos suelos de cenizas volcánicas recientes y trumaos de cordillera (Tosso, 1985)

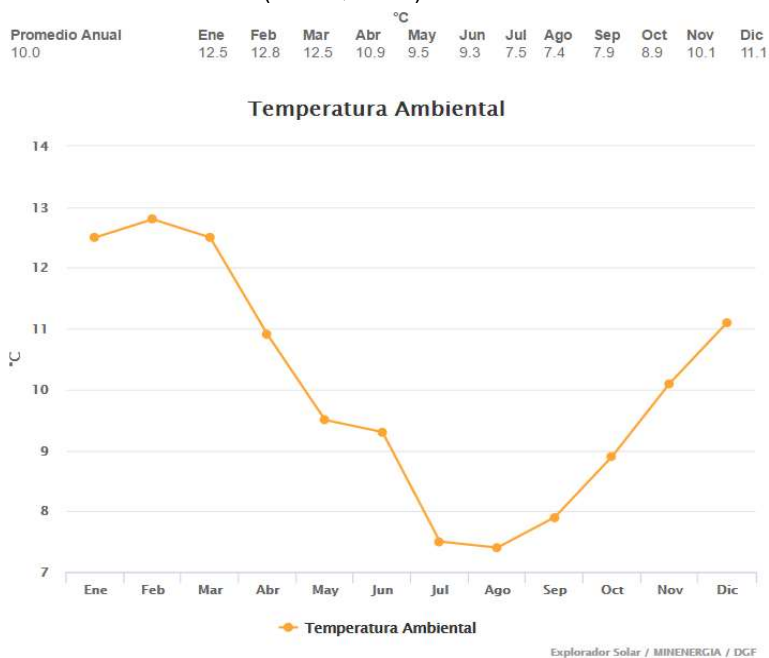
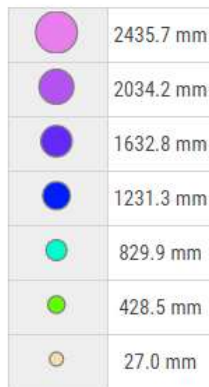


Figura 6 Temperatura media para cada mes en Puerto Varas. Los datos del Explorador Eólico se basan en las simulaciones hechas con el modelo meteorológico WRF a 1 km de resolución para el año 2010.

Promedio de acumulado anual
1970 - 2017



Precipitacion en La Ensenada [DGA]

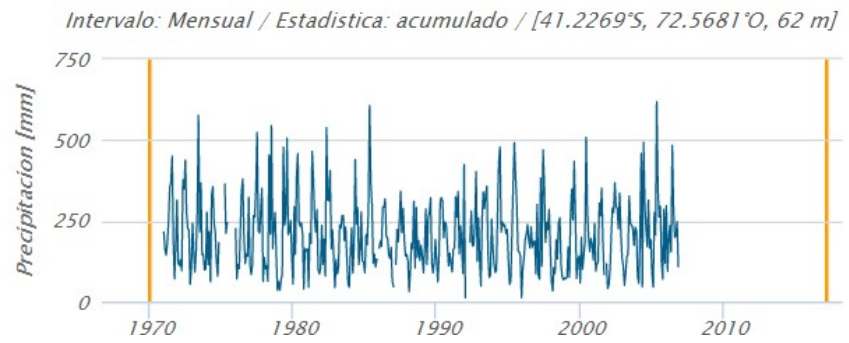
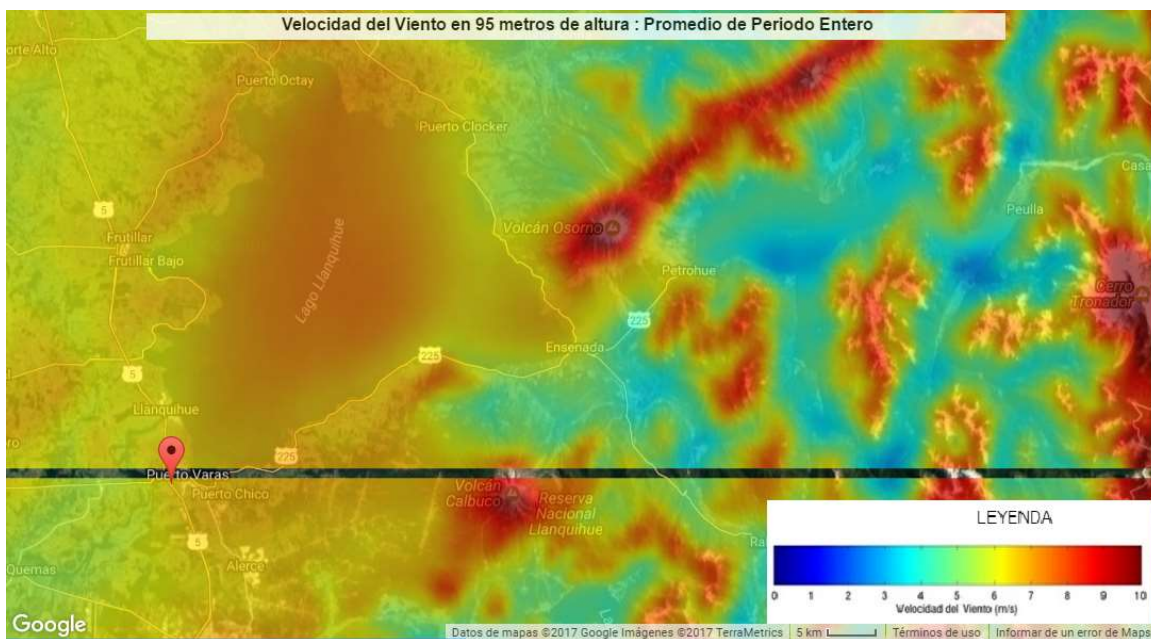


Figura 7 Izquierda: Promedio de precipitaciones anual desde el año 1970-2017. **Derecha:** Datos de precipitación acumulada mensualmente hasta el año 2008. Fuente de datos: <http://explorador.cr2.cl/>; Estación Ensenada.



Viento Medio = 6.6 m/s

Latitud: 41.325 S
 Longitud: 72.997 O
 Elevación: 119.6 msnm
 Altura: 94.2 m

Figura 8 Arriba: Mapa en que se muestra la velocidad del viento en los alrededores en la comuna de Puerto Varas. Izquierda: Grafico que muestra el promedio anual de la velocidad del viento para Puerto Varas indicando en cada barra el promedio mensual de la velocidad del viento.

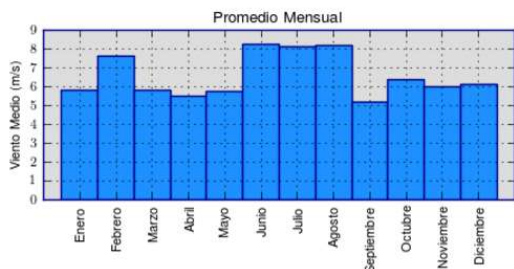




Figura 10 Algunas zonas afectadas por los lahares secundarios del domingo 8 de Enero del 2017. A: El Solitario; B: La Máquina; C y D: Río Blanco Las Cascadas

Por otra parte, el avance y retroceso glaciar de los últimos miles de años, ha generado una morfología escarpada en los valles del sector andino, produciendo altas pendientes en cordones montañosos de más de 1000 m de altura de desnivel. Estos escarpes, facilitan deslizamientos de tierra y de rocas. Un ejemplo de esto fue lo ocurrido en Petrohué el año 2015²⁴ en donde aluviones producidos por intensas precipitaciones afectaron a más de 10 viviendas y al suministro de agua potable del sector.



Figura 11 Algunas zonas afectadas por aluviones ocurridos el año 2015 en el sector de Petrohué.

Los mapas de peligro volcánico elaborados por el Sernageomin, en donde se ilustran las posibles zonas de afectación en diferentes escenarios eruptivos, pueden ser consultados en:

Osorno: <http://www.sernageomin.cl/pdf/rnvv/OSORNO.pdf>

Calbuco: <http://www.sernageomin.cl/pdf/rnvv/CALBUCO.pdf>

²⁴ <https://www.youtube.com/watch?v=9X3wDN8aT6k> noticia relacionada a este reciente evento.

5.5 Antecedentes Geológicos

El doctor Juan Brügger Messtorff publicó en 1950 Fundamentos de la Geología de Chile reconociendo las principales formaciones rocosas y los eventos glaciares registrados en estas latitudes.

Hacia los años 60, Aguirre y Levi (1964), motivados por cubrir un vacío en el mapa 1:1.000.000 de la geología de Chile, realizaron un reconocimiento entre las latitudes 38°45' S y 41°30' S entre el valle longitudinal y el límite con Argentina, generando el primer mapa geológico de la zona, cuya escala fue 1:500.000. Dos años más tarde, se publicó también un boletín y un mapa a escala 1:500.000 en el sector sureste de la provincia de Llanquihue bajo el contexto del "Reconocimiento geológico de las Provincias de Llanquihue y Chiloé" (Levi *et al.* 1966)

Posteriormente, otros trabajos como aquellos generados para ENDESA por el Departamento de Geología y Geofísica de la Universidad de Chile hacia el año 1985 (p.ej. Moreno *et al.* 1985; Thiele *et al.* 1985; Lahsen *et al.* 1985) elaboraron distintos mapas de la zona, que luego serían compilados por el mismo departamento en el trabajo de mapas a escala 1:100.000 de Cembrano *et al.* (1993).

Por otro lado, Prian *et al.* (1994) realizaron los primeros avances a lo que posteriormente sería la carta metalogénica desarrollada por el Sernageomin y la oficina de investigaciones geológicas y mineras de Francia en 1995. Además, otro aporte esta misma línea el trabajo de yacimientos de rocas y minerales industriales de la X Región de Los Lagos.

En cuanto a la geología del cuaternario, son muchos los autores que, motivados por entender la dinámica glacial en este periodo, han realizado innumerables estudios (Brügger, 1950; Heusser y Flint 1977²⁵; Heusser, 1996, 1999²⁶; Mercer, 1972, 1976²⁷; Porter, 1981²⁸) aportando datos y edades esenciales para entender y distinguir los procesos glaciares del pasado. Unos de los trabajos más acabados en este sentido, se encuentran en la Serie A de Geografiska Annaler en donde se destacan los trabajos de Andersen *et al.* (1999), Denton *et al.* (1999) y Turbek *et al.* (1999) que aportan detalladas caracterizaciones de diversos afloramientos, además de varios mapas únicamente destinados a los últimos eventos glaciares.

En cuanto a la volcanología, dos mapas geológicos a escala 1:50.000 existen para el volcán Osorno (Moreno *et al.* 2010) y Calbuco (Selles y Moreno, 1999) pertenecientes a la serie geológica básica del SERNAGEOMIN. A esto, se le suman los mapas de peligro de ambos volcanes (Moreno, 1999a, 1999b). Además, existe una recopilación de las erupciones históricas pertenecientes a los volcanes Calbuco y Osorno (Petit-Breuilh, 1999) que completan la información del territorio. Por último, el complejo volcanico Tronador, también presenta estudios geológicos (Mella *et al.* 2003, 2005).

En cuanto trabajos relacionados a la geodiversidad y el patrimonio geológico, se considera como primer aporte el estudio geoambiental del área de Puerto Montt-frutillar para la X Región de Los Lagos, en donde se recomiendan sitios para su protección por su valor geocientífico (Antinao *et al.* 2000) y el breve trabajo de Muñoz y Moreno (2011) "Geoturismo en la Provincia de Llanquihue", elaborado para el I Simposio Geoparques y Geoturismo.

²⁵ Heusser and Flint (1977) reconocieron tres solapamientos de avances glaciares (Fuerte San Antonio, intermedio, y Llanquihue) representando 3 posibles eventos glaciares (Llanquihue y otros dos más viejos).

²⁶ A través del estudio de polen, ha reconstruido las condiciones climáticas

²⁷ Laugénie and Mercer (1973; Mercer, 1972, 1976) generaron mapas con cuatro sistemas de morrenas terminales de tres posibles avances glaciares denominados del más viejo al joven: Río Frio, Colegual, Casma, y Llanquihue

²⁸ Estudios de radiocarbon, sugirieron que el avance de Llanquihue fue depositado al menos entre 43,000 hasta 10,000 años atrás. Otros dos avances más viejos son mayores a 57.000 años. (Porter 1981)

5.6 Geología

El área de estudio está constituida por dos unidades morfo-estructurales principales: la cordillera principal y el valle longitudinal. El primero está constituido por rocas holocristalinas pertenecientes a intrusivos jurásicos, cretácicos y cenozoicos del batolito nor patagónico (ver BNP) ubicados principalmente mayoría en las dependencias del parque nacional Vicente Pérez Rosales. Estas unidades están divididas por una megaestructura conocida como zona de falla Liquiñe-Ofqui (Ver ZFLO) ubicada desde el centro al este de la zona de estudio. Además, en esta zona se ubica el arco volcánico activo, representado por los volcanes Osorno y Calbuco, que está situado en la zona volcánica de los Andes Sur (ZVS Stern, 2004) extendida desde la intersección del ridge asísmico de Juan Fernandez (33°S) hasta el punto tectónico triple en la península de Taitao. Por otro lado, episodios glaciares, volcánicos y tectónicos ocurridos durante el Pleistoceno-Holoceno son observables en el sector oeste del área estudio, en el sector del valle longitudinal. Estos procesos originaron depósitos (p.ej. morrénicos, glaciofluviales, glaciolacustres, laháricos, piroclásticos) que se distribuyen desde el centro al oeste de la zona estudio, abarcando la mayoría de las localidades urbanas como Puerto Varas, Llanquihue, Frutillar, Puerto Octay, Cascadas y Ensenada.

Uno de los mapas de referencia de la zona de estudio se compone de 4 mapas escala 1:100.000 elaborado por Cembrano *et al.* 1993 (Figura 36).

En base a todas estas referencias y observaciones del autor, se ha elaborado la siguiente síntesis geológica que presenta las unidades de la más antigua a la más joven.

5.6.1 Complejos Metamórficos de la Cordillera Principal

- **Metaconglomerados Cerro el Calvario (Triásico) (Cembrano *et al.* 1993)**

Los complejos metamórficos de la cordillera principal en la zona de estudio están escasamente representados. Uno de los principales afloramientos se encuentra en el Cerro el Calvario correspondiente a metaconglomerados con clastos ligeramente deformados de cuarzo, pizarras, granitoides y rocas volcánicas. Estas rocas son correlacionables con los metaconglomerados de la formación Panguipulli (al norte de la zona de estudio) y se les asigna una edad Triásica.

- **Complejo Metamórfico Sotomó-Chaiquenes. (Paleozoico superior, ca. 300-225 Ma)**

Los afloramientos mayores de este complejo se encuentran en el sector del Parque Nacional Alerce Andino (fuera de la zona de estudio), en contacto intrusivo o tectónico con granitoides del Mioceno. Sin embargo, existen pequeño afloramiento de gabros de anfíbola en el curso del río Amarillo, en el flanco SE del volcán Calbuco. (Selles y Moreno 2011). Además, Selles y Moreno (2011) sugieren que debido a que en los ríos que drenan en este sector se encuentran numerosos fragmentos de gneises, esta unidad estaría presente también en el macizo de granitoides que se encuentra hacia el este del volcán Calbuco. Además agregan que con relativa frecuencia xenolitos metamórficos de rocas foliadas o isotropas se encuentran en lavas del volcán (Hickey-Vargas *et al.* (1995). Respecto a esto se puede agregar que en este trabajo han sido observados algunos fragmentos de características similares como bloques y gravas en los recientes depósitos de lahar del Río Blanco. Cembrano *et al.* (1993), menciona que esta unidad esta intuida por granitoides miocenos de la superunidad Ralún y puede correlacionarse, litológicamente con rocas de la Serie Oriental del basamento metamórfico costero de edad paleozoica.

Petrográficamente, corresponde a un conjunto de rocas metamórficas de alto grado, de protolito ígneo máfico a ultramáfico y, pelítico perteneciente al Complejo Metamórfico Sotomó-Chaiquenes (Thiele *et al.* 1985; Cembrano *et al.* 1993) así como al Complejo Lenca (Sernageomin-BRGM, 1995).

Se tiene una edad modelo Rb-Sr de 300 Ma en gneises micáceos y anfibólicos (Sernageomin-BRGM, 1995). Los gabros con foliación magmática, en tanto, se correlacionan con complejos plutónicos máficos del Pérmico Superior al Triásico Medio asociados a complejos metamórficos que afloran hacia el sur, por ejemplo en la zona del fiordo Comau (Sernageomin-BRGM, 1995).

5.6.2 Unidades de Rocas Plutónicas: Batolito Nor Patagónico.

El Batolito Patagónico es un conjunto de rocas cristalinas calco-alcálicas y metaluminosas formado principalmente por tonalitas y granodioritas de hornblenda y biotita, que se ubica entre los 40° y 53° S a lo largo de toda la Cordillera Principal de Los Andes siendo uno de los complejos plutónicos cordilleranos más grandes del mundo relacionado a procesos de subducción (Pankhurst *et al.* 1999). Su segmento al norte de los 47° se denomina Batolito Nor-Patagónico (Adriasola *et al.* 2006) y tiene edades que abarcan épocas desde el Mesozoico al Cenozoico (Munizaga *et al.* 1988; Cembrano 1990; Carrasco 1995; Pankhurst *et al.* 1999; Duhart *et al.* 2006; Adriasola *et al.* 2006; Adriasola y Stöckhert, 2008). En la zona de estudio, predominan complejos de rocas plutónicas del Cretácico y el Mioceno (Cembrano *et al.* 1993; Adriasola *et al.* 2006; Adriasola y Stöckhert, 2008) agrupadas como la Super Unidad Puelo y Super Unidad Ralún respectivamente (Carrasco *et al.* 1991; Cembrano *et al.* 1993) que fueron emplazados en rocas volcánicas y sedimentarias meso-cenozoicas escasamente expuestas y esquistos metamórficos de alto grado de edad desconocida (Adriasola y Stöckhert, 2008 y referencias en ellos).

Estas Superunidades, forman un cordón montañoso norte-sur de unos ~70km de ancho este-oeste, que se encuentran mayormente desprovistos de vegetación hacia los sectores altos, cuyas cumbres raramente sobrepasan los 1600m. Además, la acción glaciaria se evidencia fuertemente en extensos valles en “U” socavados por el paso de los glaciares, además de diversas morfologías como rocas aborregadas, circos glaciares y valles colgados.

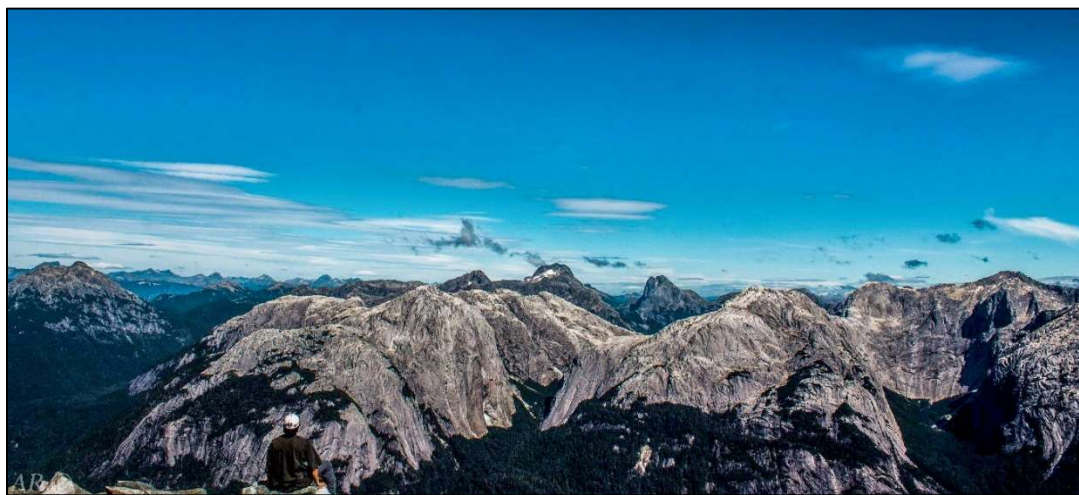


Figura 12 Batolito Nor Patagónico. Vista hacia el sur desde la cumbre del cerro Capicúa en el sector de Cochamó. Al frente, se puede ver el Cerro Trinidad (izquierda) y al circo glaciario “el Anfiteatro” (derecha).

- **Super Unidad Ralún: Granitoides Miocenos**

Ubicación y Litología.- Los cuerpos plutónicos del Mioceno, se ubican al este de la zona de estudio. En los alrededores inmediatos al Lago Llanquihue, se encuentran como afloramientos discretos que forman pequeños cerros aislados (P.ej. Cerro Calvario al Oeste del volcán Osorno, Cerro Pichijuan al Noroeste del volcán Calbuco) y formando grandes macizos hacia el sector andino.

Esta unidad corresponde a tonalitas, dioritas cuarcíferas y granodioritas, con gabros y dioritas subordinadas en donde los minerales máficos predominantes son la anfíbola (hornblenda) y la biotita. Además, presentan foliación magmática definida por orientación de cristales máficos y rasgos de deformación frágil-dúctil, estos últimos descritos más al este en el entorno de la Zona de Falla Liquiñe-Ofqui (Thiele *et al.* 1986; Carrasco, 1995 en Moreno *et al.* 2010). Esta superunidad se desglosa en cuatro unidades que van desde la más joven a la más vieja (Carrasco *et al.* 1991; Cembrano *et al.* 1993) correspondientes a la **Unidad Lago Chapo**; **Unidad Peulla**; **Unidad Reloncavi** y **Unidad Cayutue**

- **Super Unidad Puelo: Granitoides Cretácicos Kg**

En la zona de estudio, estos cuerpos plutónicos se ubican en el sector andino preferentemente al este de la ZFLO, a excepción de un bloque cortical conocido como la Sierra de Santo Domingo, que afloran en la ribera oriental del río Petrohué (Adriasola *et al.* 2006; Adriasola y Stöckhert, 2008) (Figura 13), mapeado como mioceno en el trabajo de Cembrano *et al.* (1993). Corresponden a dioritas, tonalitas de hornblenda y biotita de y gabros (Carrasco *et al.* 1991; Cembrano *et al.* 1993). En algunos sectores presentan algunos rasgos de comportamiento predominantemente frágil como brechas cohesivas (Carrasco *et al.* 1991). La Superunidad Puelo, fue subdividida en 2 unidades (Carrasco *et al.* 1991; Cembrano *et al.* 1993): la **Unidad Cochamo** y la **Unidad Cascajal**. Además, existen otros cuerpos plutónicos indiferenciados en el sector de edad no determinada. Adriasola *et al.* (2006) y Adriasola y Stöckhert, (2008) confirmando su ubicación temporal en el Cretácico (Figura 14).

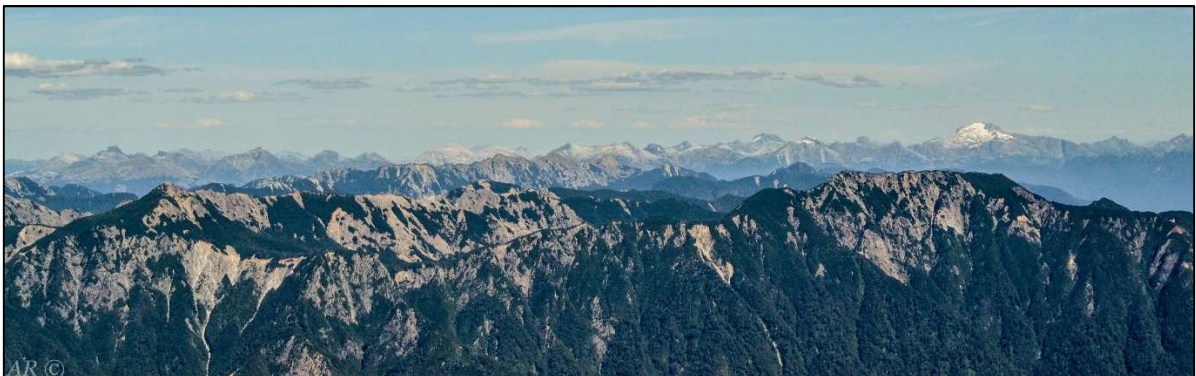


Figura 13 Fotografía con vista sureste desde el Volcán Osorno. En primer plano, es posible ver la Sierra de Santo Domingo. Hacia atrás, se distingue el cordón montañoso formado por el Batolito Nor-Patagónico.

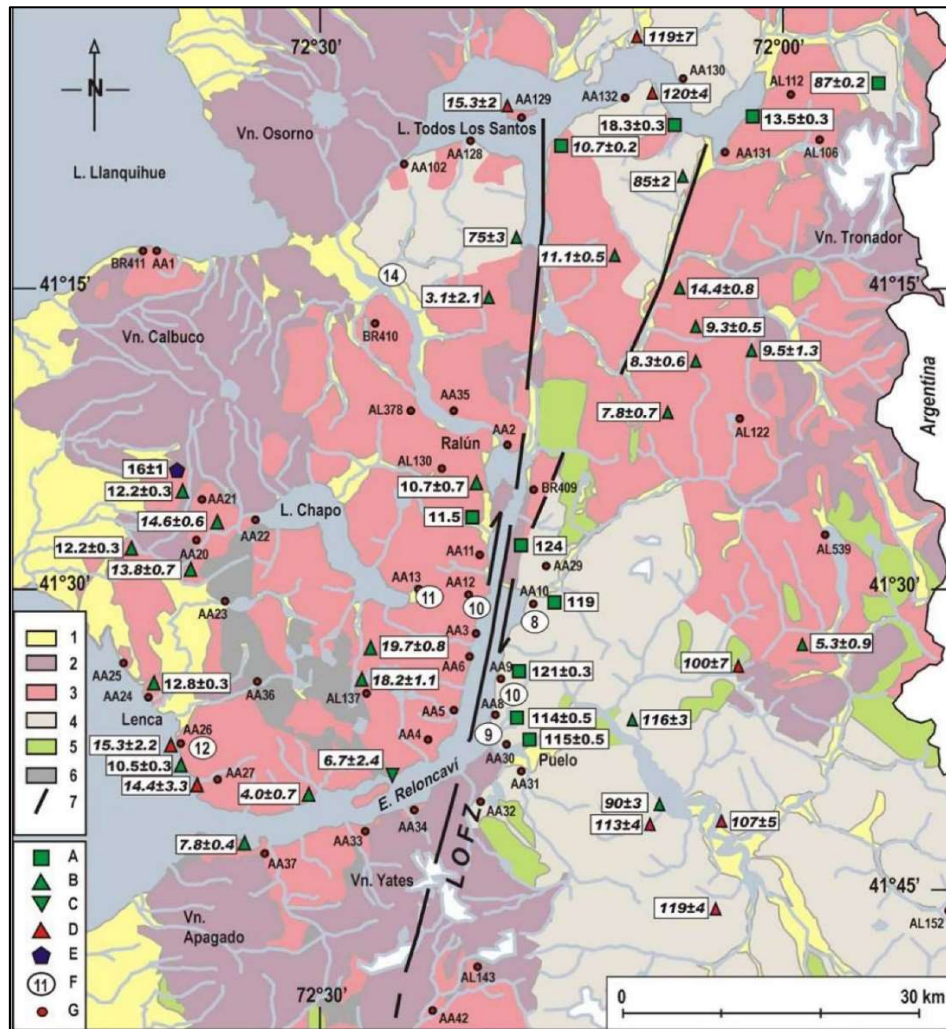


Figura 14 Geología de la zona de Reloncaví (después de Duhart *et al.* 2000) 1 sedimentos cuaternarios. 2 depósitos cuaternarios volcánicos. 3 Rocas plutónicas Miocenas. 4 Rocas plutónicas del Cretácico. 5 Rocas volcano-sedimentarias del Jurásico-Cretácico. 6. Basamento Metamórfico. 7 ZFLO (Zona de Falla Liquiñe Ofqui). Compilados edades isotópicas (Ma) después de Carrasco (1995), Munizaga *et al.* (1988), y Sernageomin-BRGM (1995). **A:** Ar-Ar en Biotita; **B:** K-Ar en Biotita. **C:** K-Ar roca total. **D** K-Ar en Hornblenda; **E:** Rb-Sr roca total; **F:** Al en hornblenda profundidad de cristalización (km); **G:** muestras para dataciones FT (con código de ejemplo). Las abreviaturas en el mapa: **Vn.** Volcan; **E.** Estero; **L.** Lago. Tomado de Adriasola (2005):

5.6.3 Depósitos Volcánicos Cuaternarios

Cinco volcanes compuestos (Calbuco, Osorno, La Picada, Puntiaquedo y Tronador) y decenas de conos piroclásticos (p.ej. Sistema Fisural Volcán Osorno, Cordón de los Cenizos, Cayutué- La Viguera) se distribuyen en el sector oriental andino del territorio. Sus productos corresponden a piroclastos, lavas y lahares que conforman los depósitos volcánicos cuaternarios y se encuentran distribuidos ampliamente.

Salvo los depósitos piroclásticos, y en particular los depósitos de caída que pueden ser observados sobre o intercalados entre distintos depósitos sedimentarios a lo largo de casi todo el territorio, los depósitos volcánicos están restringidos a los alrededores de sus respectivos centros de emisión y, por lo tanto, poseen historias diferentes. Mientras que el frente activo está representado por el volcán Calbuco y Osorno, el resto de los centros no ha tenido erupciones históricas documentadas y se observan con evidentes rasgos de erosión glacial hacia la Cordillera Principal. Respecto a los conos piroclásticos, estos se encuentran alineados en dirección NEE-SWW en el sector norte de la zona de estudio, o según la ZFLO.

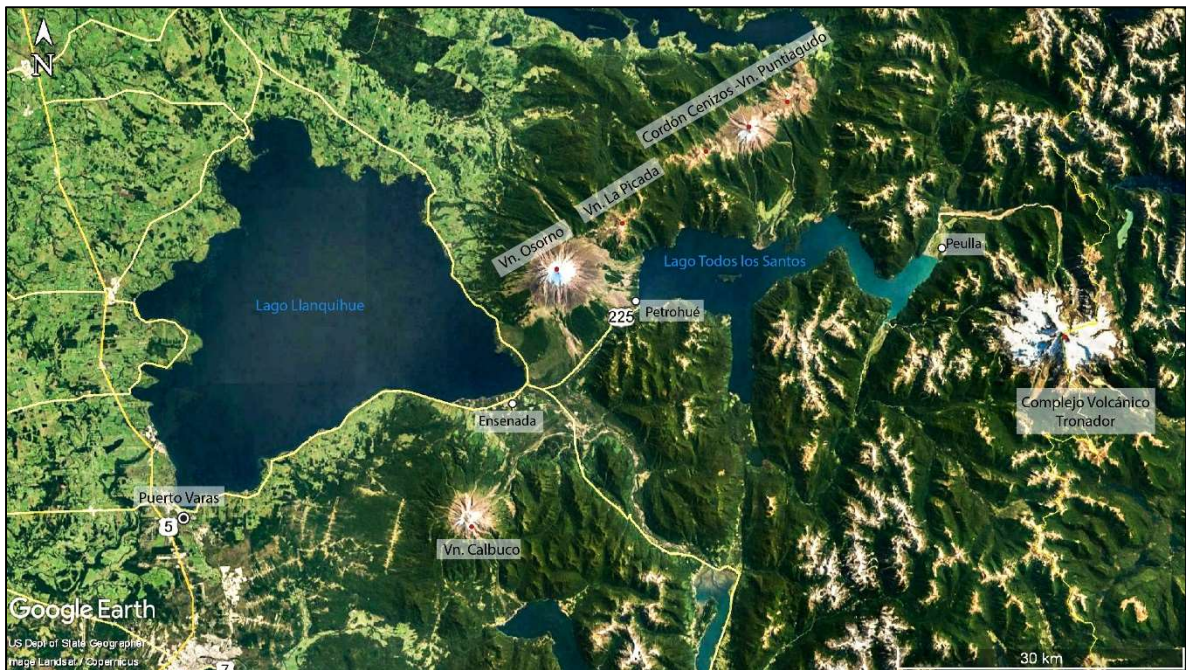


Figura 15 Que muestra los principales conos volcánicos de la zona de estudio.

- **Grupo Volcánico Tronador (Mella et al. 2005)**

El Grupo Volcánico Tronador ($41^{\circ} 9'38''S$, $71^{\circ}53'6''O$) conocido localmente como “Monte Tronador” está ubicado en el sector de Peulla directamente al sur de paso internacional Vicente Pérez Rosales siendo un referencia límite de Chile-Argentina. Posee tres cumbres con 3491 m s.n.m en la mayor de ellas llamada “cumbre internacional” que es un punto de referencia y de las cumbres más altas del sur de Chile. Grandes glaciares bajan por sus faldas en todas direcciones descolgándose por escarpados acantilados. Los glaciares se ubican en las partes más altas, y forman numerosas cascadas en sus abruptas y labradas paredes producto del derretimiento de los hielos.



Figura 16 Fotografía del Volcán Tronador y el Glaciar Casa Pangué tomada desde el Cerro Riggi. Vista hacia el sur.

Debido a su inactividad desde el Pleistoceno, hoy descansan sobre él varios cuerpos glaciares que son de

profunda importancia local debido a ser la principal fuente de agua dulce no pluvial de la zona de estudio. La ablación de estos glaciares que bajan hacia el oeste (Chile) y este (Argentina) desde la cumbre, dan origen a ríos que descienden por sus laderas, siendo en algunos casos afluentes de lagos (Todos los Santos y Cayutué en Chile, Frías y Mascardi en Argentina) de vital importancia para la supervivencia de flora, fauna y las comunidades locales. Uno de los glaciares más conocidos por el lado chileno es el “Casa Pangué”, cuyo retroceso ha sido progresivo entre 1911-2006 (Bown y Rivera 2007) y que continúa hasta ahora observándose un retroceso de más de 100 m entre 2006 y 2016 (Figura 17).

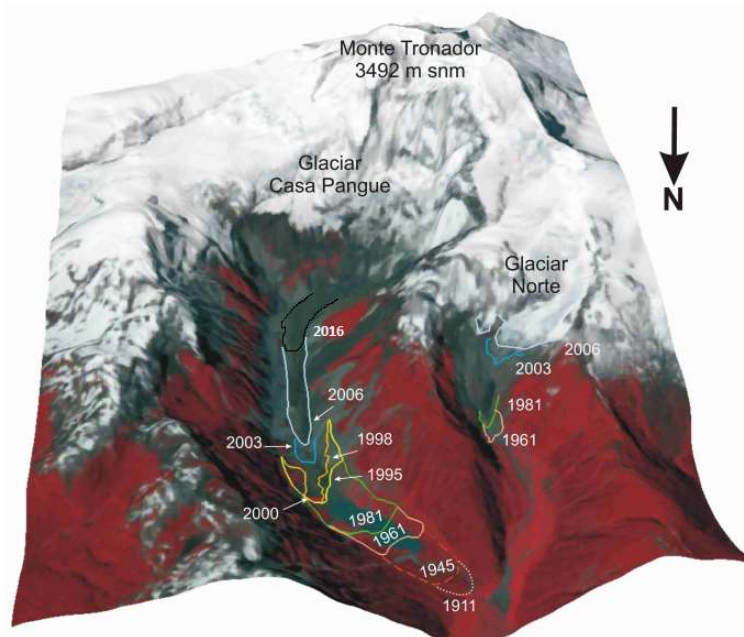


Figura 17 Retroceso de los glaciares del Monte Tronador al año 2016 según observaciones del autor. Imagen modificada de Los Glaciares de Chile, CECS, Museo Colonial de Frutillar.

Los nombres y edades de las diferentes unidades estratigráficas ha sido controversial, encontrándose diferentes propuestas (Mella *et al.* 2005 y referencias en el). Mella *et al.* (2005) propone las siguientes (Figura 18):

Unidad Garganta del Diablo (GDU)

Se trata de una secuencia de flujos de lava dacíticos y depósitos piroclásticos de colores café claro producto de la meteorización. En el valle con este nombre, la secuencia incluye dos flujos dacíticos y brechas subordinadas. La parte baja del flujo presentan juntas columnares, la parte alta es cortada de manera disconforme por el miembro Tronador I del CVT. Se piensa que esta unidad fue eyectada en un periodo intraglaciario (Mella *et al.* 2005).

Complejo Volcánico Steffen (SVC)

Se encuentra 4km al sur del CVT, ubicados en una posición estratigráfica que indicaría ser anterior a CVT. Se conforma de al menos dos unidades llamadas Steffen y Los Cauquenes de extrusiones basálticas y andesito-basálticas.

Complejo Volcán Tronador (TVC) (Tronador I, II y III)

El CVT corresponde al erodado estratovolcán que se conserva en la parte superior con más de 225 km² de área con extrusiones basálticas y andesito-basálticas, lahares y piroclastos además de evidencias de hidrovolcanismo (Mella *et al.* 2003)

Volcán Fonck

Se trata de un cono piroclástico y un flujo de lava bien conservado al sur del TVC. No presentan evidencia de erosión glacial por lo que se supone holoceno.

Respecto a las edades de este complejo volcánico, dataciones K-Ar en dacitas de GDU entregan datos de 1.3 ± 0.3 Ma (Mella *et al.* 2005) ubicando a esta Unidad como la más vieja del Grupo, extruida en el Calbriano (Pleistoceno) y relacionada a un periodo similar que SVC (Mella *et al.* 2005). Luego, el miembro Tronador I tiene una edad menor a 1.0 Ma (K-Ar en roca total; Mella *et al.* 2005) seguido de Tronador II (Ar-Ar 0.53 ± 0.13 y 0.47 ± 0.04 Ma) y Tronador III (0.36 ± 0.05 and 0.34 ± 0.04 Ma) pertenecientes al Pleistoceno Medio. Se piensa que la Unidad Fonck es posterior al TVC.

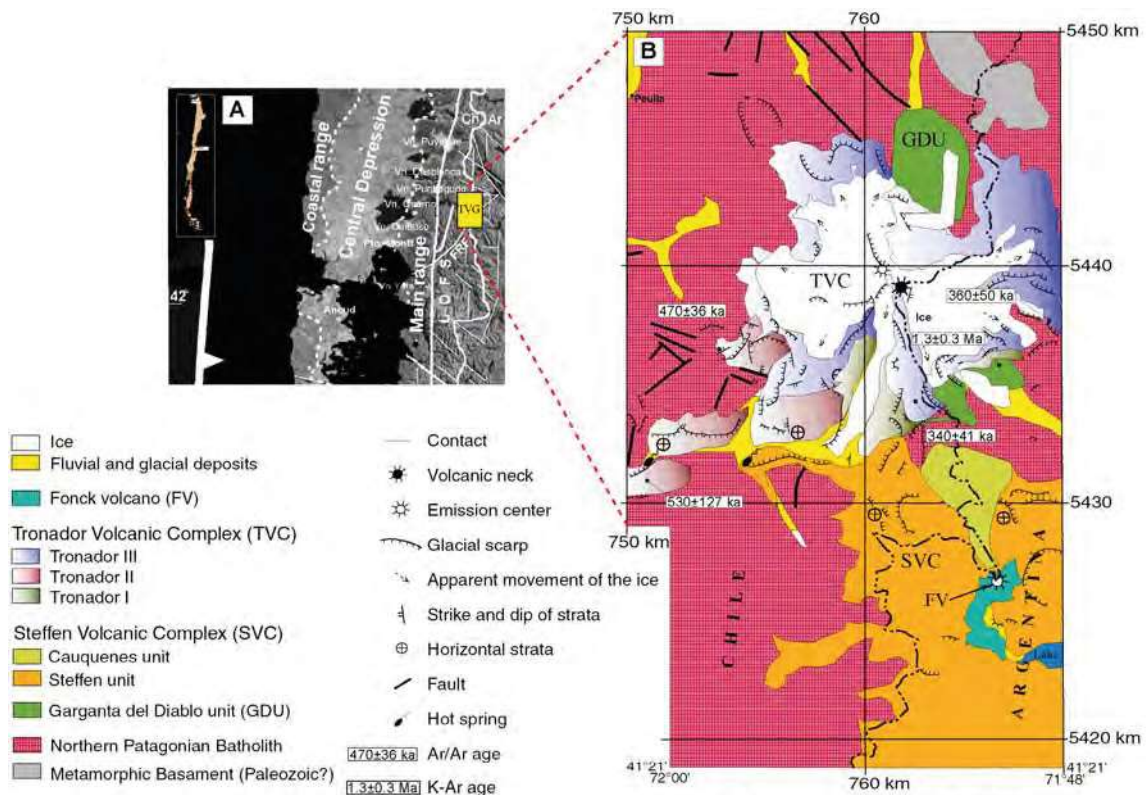


Figura 18 Tomado de Mella *et al.* 2005

▪ Grupo volcánico Cordón Cenizas –Puntiagudo

El Condón Cenizas y el Volcán Puntiagudo ($40^{\circ}58'S$ $72^{\circ}16'O$) se encuentran al norte y noreste del límite del área de estudio. Los productos volcánicos cubren una superficie aproximada de 260 km^2 entre los lagos Rupanco y Todos los Santos, sobreyaciendo en discordancia a la formación Curarrehue y al Batolito Nor-Patagonico, además de engranar (al menos las efusiones del Cordón Cenizas) lateralmente hacia el oeste con los depósitos del volcán La Picada (Moreno *et al.* 1979). Sobre este grupo, una serie de conos piroclásticos se han edificado en lineamiento aproximado de $N60^{\circ}E$.

En el Cordón Cenizas, Corresponde a un cordón volcánico fisural de elongación $N60^{\circ}E$ y de una longitud de 20 km en donde se reconocen varias chimeneas y diques asociados. Los materiales predominantes son lavas, aglomerados y brechas, de composición basáltica en general cubiertas por depósitos del volcán Puntiagudo y de conos de piroclastos parásitos (Moreno *et al.* 1979; Thiele *et al.* 1985). La erosión glacial

se manifiesta en valles en U y circos que rompen en dirección perpendicular a esta cadena y descienden por ambas laderas. Por correlación con otras unidades en este sector, se le atribuye una edad Pliocena.

El volcán Puntigudo (2493 m.s.n.m) corresponde a un antiguo volcán compuesto con una morfología de cumbre pronunciada en forma de “punta”, que es un relicto de la chimenea central que ha sido desgastada, junto a todos sus flancos, por la actividad de hielo tardiglacial. Los depósitos de este volcán rellenan antiguos valles labrados en el Cordón Cenizos. Sus emisiones son fundamentalmente de composición basáltica, con depósitos lávicos, piroclásticos y laháricos (Moreno *et al.* 1979). Su difícil acceso, y sus erupciones en el Cuaternario sin actividad histórica (Moreno *et al.* 1979, ha marginado a este volcán de mayores estudios en detalle. tendría).

En este grupo volcánico, el control estructural se evidencia en el lineamiento, tanto de los estrato volcanes Osorno-La Picada-Puntigudo, como de los conos parásitos asociados con una dirección aproximada de N60°E. Además, esta debilidad se habría originado por una intersección de la fractura N60°E con el sistema de fallas N10°E de Liquiñe Ofqui (Moreno *et al.* 1979; Thiele *et al.* 1985; Cembrano y Lara 2009).

Por último, una serie de conos parásitos (Figura 20) se observan tanto hacia el SO como NE del volcán Puntigudo. Según su grado de conservación Moreno *et al.* (1979) los separan en dos grupos: los antiguos, muy destruidos y con cráteres muchas veces no visible, y los modernos bien conservados. Además, todos los conos reconocidos presentan lavas asociadas.

Los más antiguos, forman una pequeña cadena paralela al Cordón Cenizos, desplazada 5km hacia el NW y otros ocurren a lo largo de la cima del cordón principal. Los modernos, también forman una cadena paralela al Cordón Cenizos, 1 km desplazada hacia el NW. Además se concentran hacia el este del volcán Puntigudo.

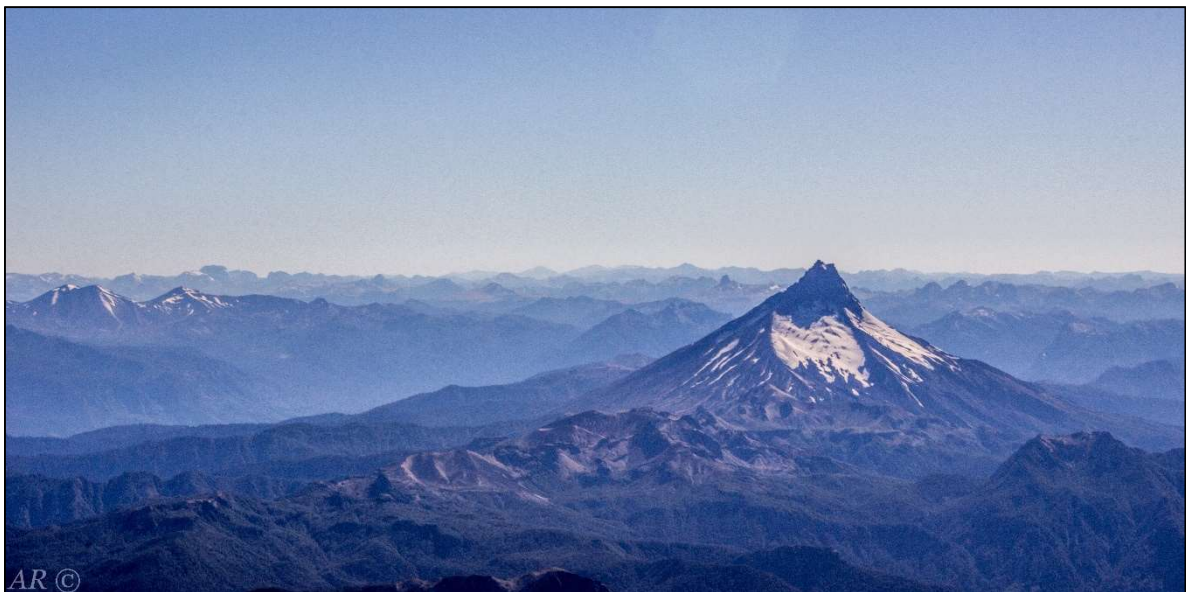


Figura 19 Fotografía del Grupo Volcánico Puntigudo – Cordón los Cenizos. Vista NE desde la cumbre del Volcán Osorno

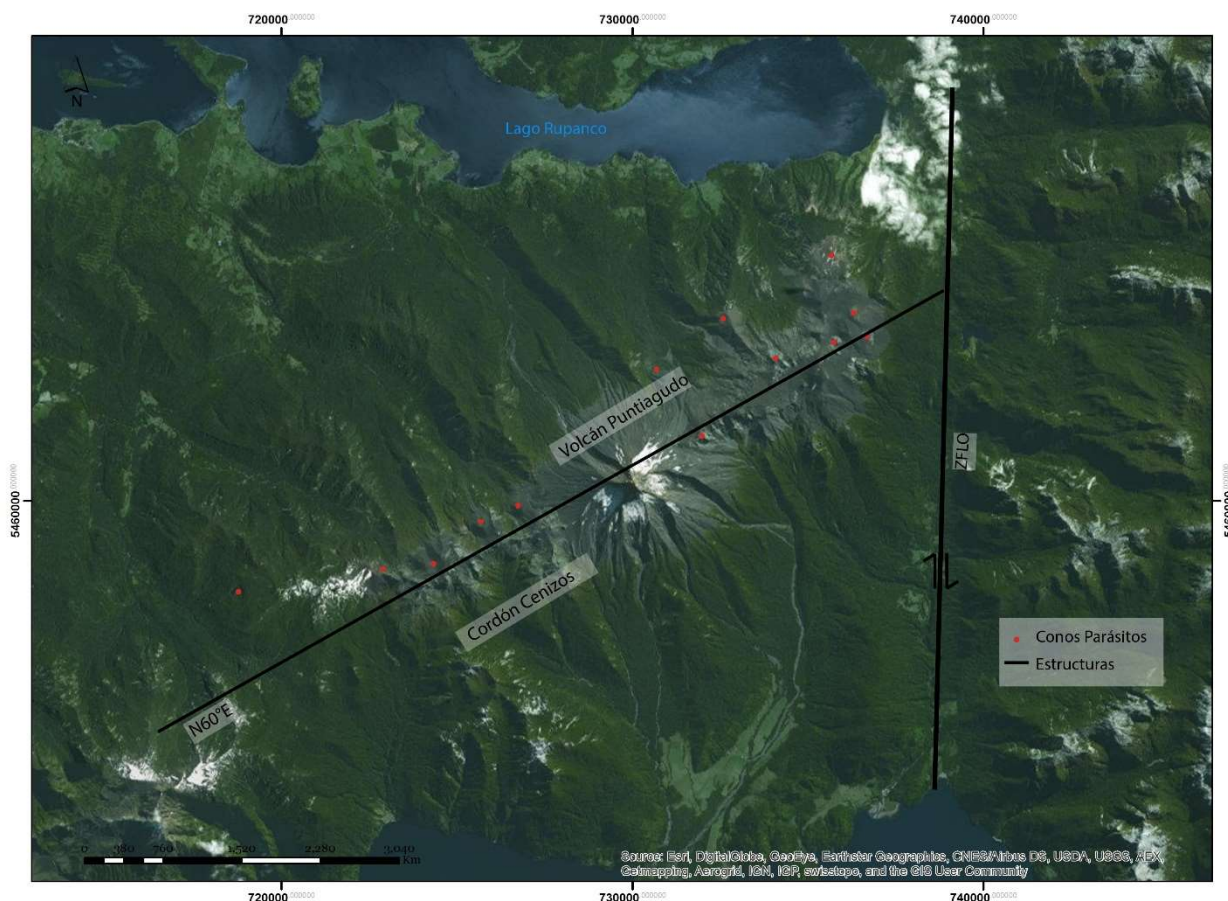


Figura 20 Muestra el lineamiento N60°E del Volcán Puntigudo – Cordón Cenizos.

▪ **Volcán La Picada.**

El Volcán La Picada localmente conocido como “Cerro La Picada” (41°03'S-72°25'W) es un antiguo volcán compuesto emplazado directamente al noreste del volcán Osorno que ocupa el borde noroccidental del Lago Todos los Santos. Aunque sus alturas llegan hasta los 1715 m s.n.m. este volcán se encuentra muy desgastado por la erosión glacial evidenciado en grandes circos y valles escarpados, que dejan ver los distintos depósitos que construyen el edificio. Tal como mencionan Moreno *et al.* (1985), los depósitos visibles conforman una pila de secuencias de lavas basálticas, conglomerados volcánicos, aglomerados e intercalaciones de tobas y brechas, además de rocas intrusivas subvolcánicas correspondientes a diques y filones-manto de carácter básico a intermedio (basaltos-andesitas). Estos depósitos han sido agrupados en la Unidad La Picada (Moreno *et al.* 2010) y engranarían hacia el NE con las rocas volcánicas basales del Cordón Cenizos y al NW con los Estrados de Chapuco. Por otra parte, hacia el sector sur en la riera del lago Todos los Santos, aglomerados y brechas con intercalaciones de lavas se encuentran discordantes sobre granitoides de la Unidad Cayutúe (BNP).

Las etapas más tempranas de actividad se ven reflejadas en las dataciones de K-Ar en diques basálticos de olivino y clinopiroxeno en el sector de Desolación correspondientes a 520 ± 100 ka realizadas por Moreno *et al.* (1985) además de 480 ± 30 ka y $510,8 \pm 60,9$ ka (ambas mediante $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ en masa fundamental) datadas en un afloramiento de lavas basálticas cortadas por el dique (Moreno *et al.* 2010). Por otro lado, una etapa de actividad tardía es reflejada por dos basaltos de olivino datados mediante $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ en masa fundamental se obtuvieron edades de $82,0 \pm 29,0$ y 60 ± 30 ka (Moreno *et al.* 2010). Estos valores, indican que los últimos episodios del volcán La Picada fueron posteriores a la etapa inicial de construcción del volcán Osorno datada en ca. 200 ka, y habrían sido contemporáneos con la última fase intraglacial de construcción del edificio

principal del volcán Osorno



Figura 21 Al fondo a la izquierda el antiguo Volcán La Picada. Vista NE desde el portezuelo desolación

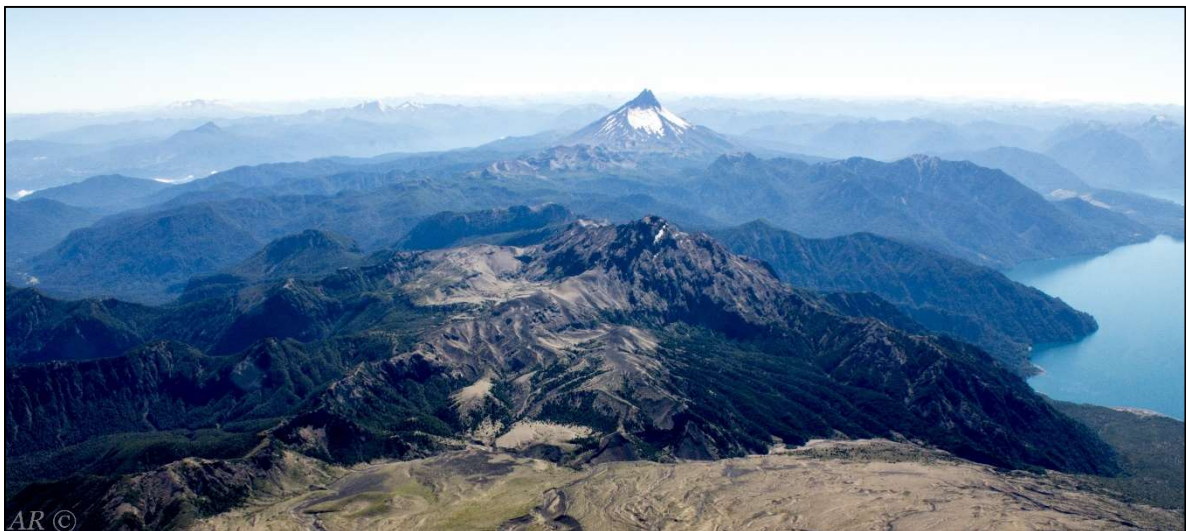


Figura 22 Vista desde la cumbre del Volcán Osorno. Al centro de la imagen, el Volcán la Picada seguido del Complejo Volcánico Cordón los Cenizos-Puntiagudo. Todos estos Volcanes están alineados en una dirección aproximada de N60°E.

▪ Volcán Osorno

El volcán Osorno ($41^{\circ}06'S$, $72^{\circ}30'W$) se ubica en la parte occidental de la Cordillera Principal entre los lagos Llanquihue y Todos los Santos, además, esta al suroeste de la cadena volcánica transversal de orientación $N60^{\circ}E$ formada por los volcanes Osorno-La Picada-Puntiagudo y, junto al volcán Calbuco, representan el frente volcánico activo e histórico de la Zona Volcánica Sur de los Andes del Sur (Lopez-Escobar *et al.* 1995; Stern, 2004) en la zona de estudio. Su inactividad de más de 180 años permite que en su cumbre descansa

un glaciar de alrededor de 91.000.000 m³ (Geoestudios, 2004). La vegetación se impone hasta cerca de los 1200 m por el sector norte, variando hasta unos 700 m en el sector sur, dejando desnudo al volcán sobre esta altura. Su actividad relativamente constante desde el Pleistoceno, ha edificado un cono casi perfecto, solo interrumpido por conos adventicios ubicados principalmente en la ladera suroeste además de un distinguible domo en dirección noroeste a la cumbre. Las laderas sur y suroriental se escarpan con pendientes altas, haciendo prácticamente imposible su ascenso por ese sector, mientras que el ascenso a su cumbre de 2.652 m s.n.m. por el sector norte y noroccidental es menos complicado.



Figura 23. Fotografía del volcán Osorno. Vista hacia el NE.

El edificio volcánico, de unos 16 km de diámetro promedio, se emplaza sobre los metasedimentos del cerro El Calvario, rocas cristalinas de la Unidad Cayutué y los estratos del volcán La Picada (Moreno *et al.* 1985).

Sobre la base de criterios morfoestructurales, edades radiométricas y relaciones estratigráficas, se han descrito cuatro unidades evolutivas en el edificio volcánico, con un total de 24 unidades geológicas organizadas según el centro emisor y sus características principales (Moreno *et al.* 1985; Thiele *et al.* 1985; Moreno, Lara y Orozco, 2010).

Unidad Osorno 1

El primer edificio volcánico Osorno se habría emplazado durante el Pleistoceno medio-superior (260-132 ka). Este aparato ancestral habría estado limitado en su crecimiento por la masiva presencia de hielo de antiguas glaciaciones (Rabassa y Clapperton 1990; Calyton *et al.* 1997), que controlaron su morfología. Los depósitos remanentes de esa época son un conjunto de lavas de composición principalmente basáltica confinadas (Figura 24) y/o erosionadas por hielo que, en algunos sectores, presentan intercalaciones de depósitos laháricos

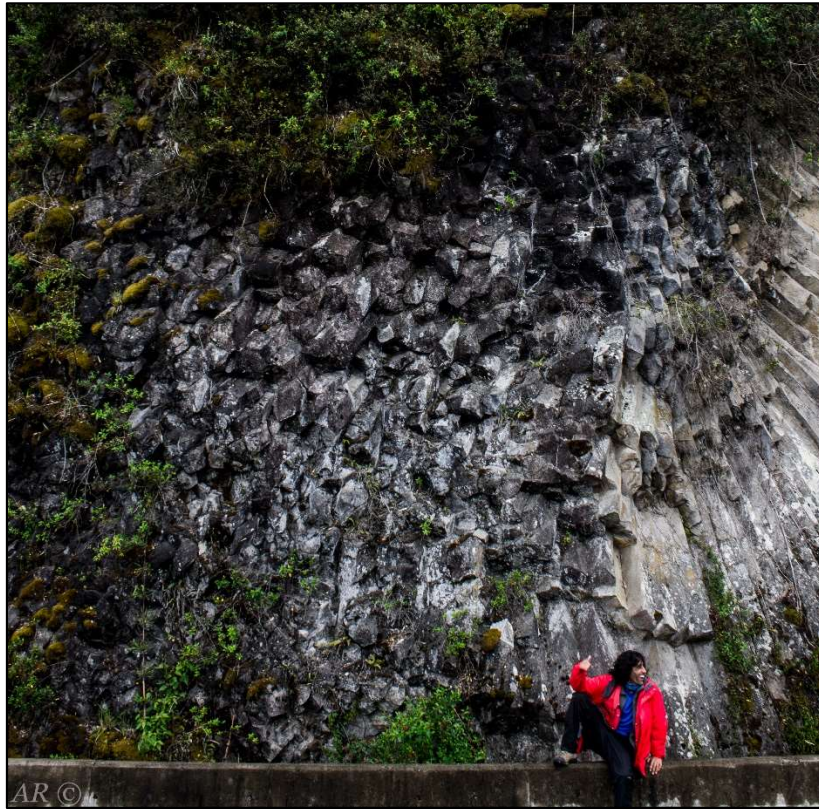


Figura 24 Fotografía de la Unidad Osorno 1 (Pl01a; Moreno *et al.* 2010) "Basaltos el Abanico".

Unidad Osorno 2

Sobre la estructura erosionada por el hielo, comienza a construirse el cono del volcán actual que emitía desde su cráter central lavas de composición basáltica y andesítica, junto con depósitos laháricos asociados (Moreno *et al.* 2010). Además, el volcán La Picada, ubicado en el sector nororiental presentaba actividad para estos tiempos. Hacia mediados y finales de este periodo, los productos volcánicos habrían interactuado con hielos asociados a la glaciación Llanquihue (Mercer, 1976; Laugenie, 1982; Porter, 1981; Clayton *et al.* 1997; Denton *et al.*, 1999), contemporánea a la edificación de este cono. Las edades radiométricas y relaciones de contacto con los complejos morrénicos sugieren que esta unidad es anterior al último avance de esta glaciación (Moreno *et al.* 2010), fechado en esta latitud en ~30-14 ka AP por Denton *et al.* (1999)

Unidad Osorno 3

La edificación del volcán compuesto continuó durante y después de la glaciación de Llanquihue. Los valles dejados por el paso de los glaciares, fueron rellenos con nuevas emisiones de piroclastos y lavas desde el cráter central, junto con lahares que descendieron desde las laderas reconocidos actualmente en sus alrededores. Aunque se desconoce su edad absoluta, las coladas de esta unidad serían posteriores a la glaciación Llanquihue, pero previas a las erupciones explosivas del Holoceno medio (~4.000 años A.P). Además, algunos conos de piroclastos hicieron erupción en los flancos del volcán.

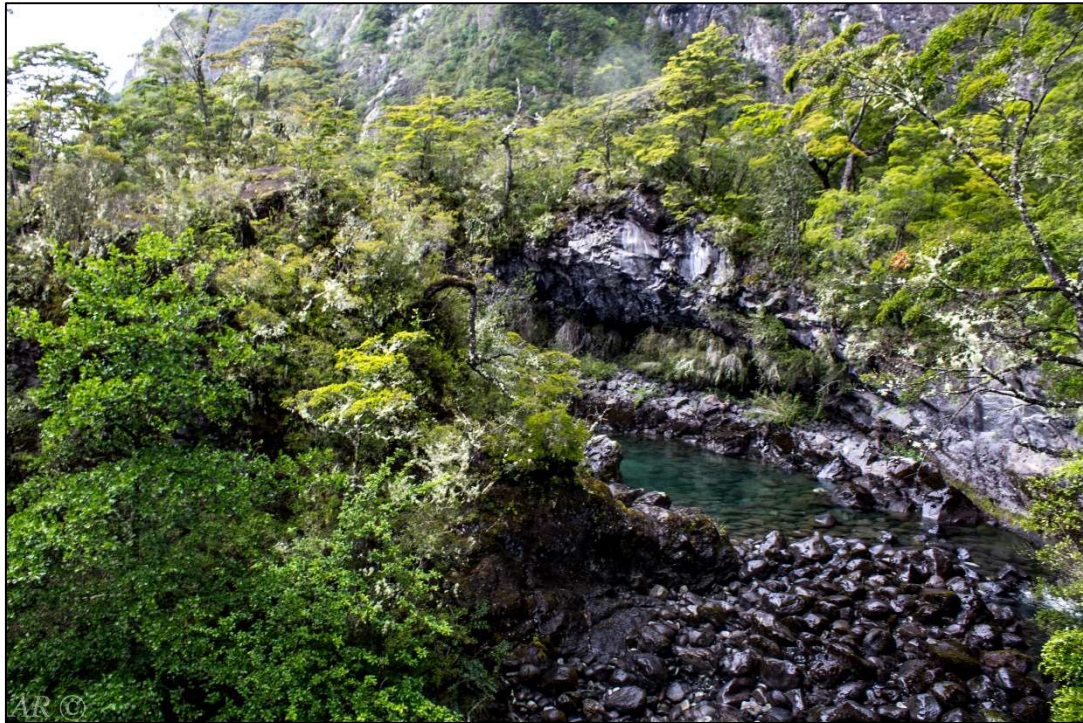


Figura 25. Unidad Osorno 2 (Plo 2; Moreno *et al.* 2010) en el sector de los Saltos del Petrohué.

Unidad Osorno 4

La actividad eruptiva histórica del volcán Osorno se ha caracterizado esencialmente por episodios de baja explosividad con depósitos de lavas y piroclásticos emitidos desde el cráter central, principalmente de composición basáltica y andesítico-basáltica. La última erupción registrada ocurrió en 1835, en una fisura con altas tasas de emisión de lavas. Una débil fumarola descrita a principios del siglo XX bajo el hielo de la cima parece haberse atenuado en la actualidad (Petit-Breuilh, 1999). El glaciar que se encuentra en la parte superior del edificio volcánico, es suficiente para de movilizar detritos durante erupciones de alta tasa de emisión, lo que constituye el mayor peligro volcánico asociado a este centro.



Figura 26 Algunos de los conos de piroclastos edificados durante el desarrollo de la Unidad Osorno 3.

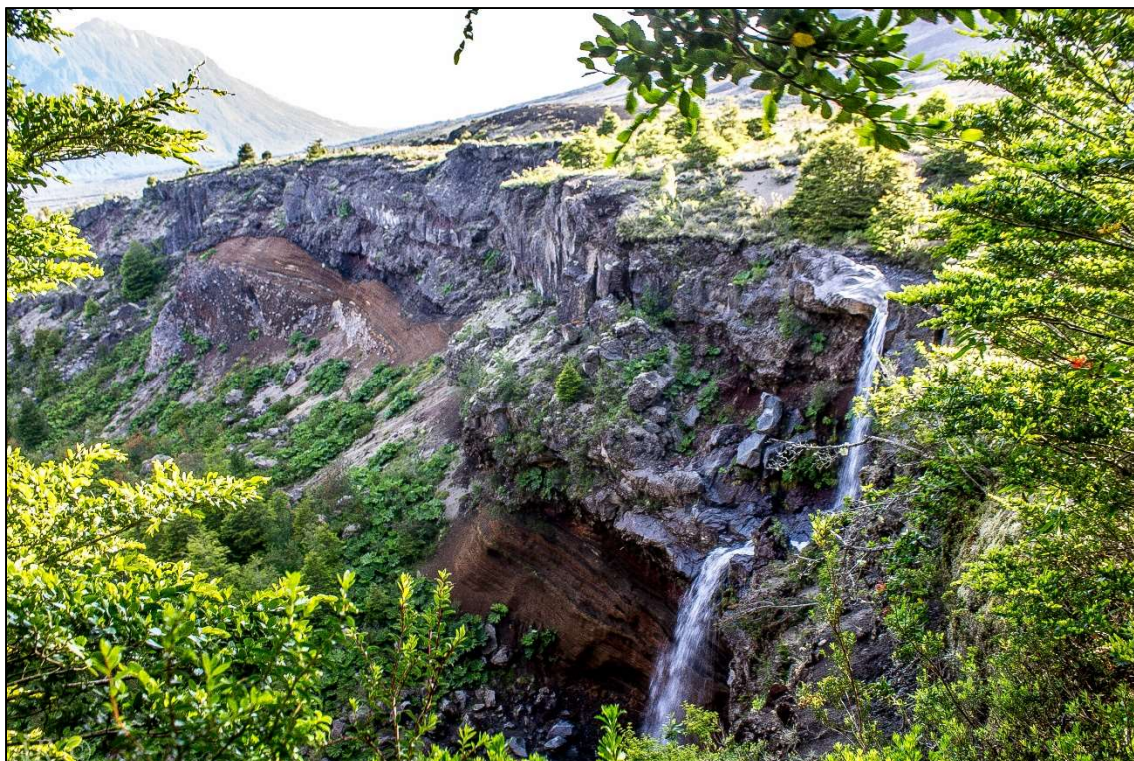


Figura 27. Fotografía de la Unidad Osorno 4. Es posible ver las Andesitas Basálticas de Todos los Santos sobre una pila de depósitos de caída. Vista Sur.

Centros eruptivos de flanco.

Los centros eruptivos adventicios del volcán Osorno corresponden a conos de piroclastos, domos dacíticos y fisuras eruptivas construidos en los flancos del edificio principal, además de los flujos de lava emitidos por ellos.

Moreno *et al.* (1985) reconocieron cuatro generaciones de centros adventicios de distinta edad, las dos más antiguas en el flanco suroccidental, y la tercera generación se desarrolló en el flanco nororiental, presumiblemente durante la erupción del año 1790. La última se ubica en el sector suroccidental del volcán y corresponde a una veintena de conos piroclásticos, cráteres de explosión y fisuras eruptivas que se habrían originado en la erupción del año 1835.

Respecto a esto, Orozco (2009) señala que es probable que exista una cantidad considerable de conos pertenecientes a este sistema que no se haya preservado, especialmente en los sectores altos del volcán, donde la acción de glaciares y nieves permanentes habría erodado el material piroclástico, sepultando estas morfologías relativamente frágiles.



Figura 28. Vista hacia el flanco sureste del volcán Osorno. Se pueden ver los principales conos piroclásticos del sector alto.



Figura 29 Vista hacia el este desde las últimas telesillas del volcán Osorno ubicadas en la ladera sureste baja. Se pueden ver los principales conos piroclásticos de este sector. La línea de equilibrio de las nieves, existen conos cubiertos y descubiertos por vegetación, lo que permite reconocer fácilmente aquellos que son más jóvenes (1835) de los que son anteriores. De derecha a izquierda, cono Colorado, cono Tapado, cono Osornito, cono La Antena, cono Anfiteatro.

▪ Volcán Calbuco

El volcán Calbuco ($41^{\circ}19'S$, $72^{\circ}36'W$) es un volcán compuesto que marca el frente de la cordillera Andina en la zona de estudio y forma parte del segmento central de la Zona Volcánica Sur de los Andes (ZVSC: $37-42^{\circ}S$; López-Escobar *et al.* 1995). Se ubica en la parte occidental de la Cordillera Principal al S-SE del lago Llanquihue, al NE del Seno de Reloncavi, al N del lago Chapo y al oeste del estuario de Ralún, elevándose sobre los 1970 m s.n.m²⁹. A diferencia del volcán Osorno, cuya forma es cónica y suavizada, la morfología de este volcán es similar a la de un cono truncado de base ligeramente elíptica, producto de sus violentas y recurrentes erupciones. Sobre los 700 m por el sector norte, y los 1000 m por el sector sur, el volcán se encuentra desprovisto de vegetación a causa de las nieves que lo cubren durante la temporada invernal. A diferencia de otros centros de la zona, el volcán Calbuco no presenta un control estructural evidente, encontrándose sobre un bloque cortical al oeste de la ZFLO, al sur del lineamiento de los volcanes

²⁹ Luego de la erupción del 22-23 de abril, el volcán Calbuco perdió alrededor de 30 m de su cumbre siendo el flanco W la cumbre actual.

Puntiagudo – La Picada-Osorno, y casi 11 km más cerca de la fosa oceánica que sus volcanes vecinos Osorno y Yate.



Figura 30. Fotografía del volcán Calbuco. Vista hacia el Sur, desde el sendero los Pilleyos, Laguna Verde, PNVPR.

Unidades, litología edades y correlación.- Sobre la base de criterios morfoestructurales, Sellés y Moreno (2011) describen cuatro unidades principales que han edificado el volcán Calbuco desde el Pleistoceno Medio hasta tiempos históricos, en donde su última fase de actividad eruptiva tuvo lugar el 22-23 de abril del año 2015.

Unidad Calbuco 1

De acuerdo a Selles y Moreno (2011), la actividad volcánica del Calbuco habría comenzado en forma discreta hace alrededor de 300 a 400 ka atrás, generando las primeras lavas de la base del volcán ancestral asignadas a la Unidad Calbuco 1. Sin embargo, el apogeo de esta unidad ocurriría con posterioridad, entre los 200 ka y los 110 ka aproximadamente. Es decir, gran parte de su construcción, habría ocurrido de manera simultánea con antiguos periodos glaciares (Rabassa y Clapperton 1990; Calyton *et al.* 1997). Durante esta primera etapa, predominaron lavas y brechas volcánicas de composición andesítico-basáltica con algunos episodios basálticos y otros andesíticos.

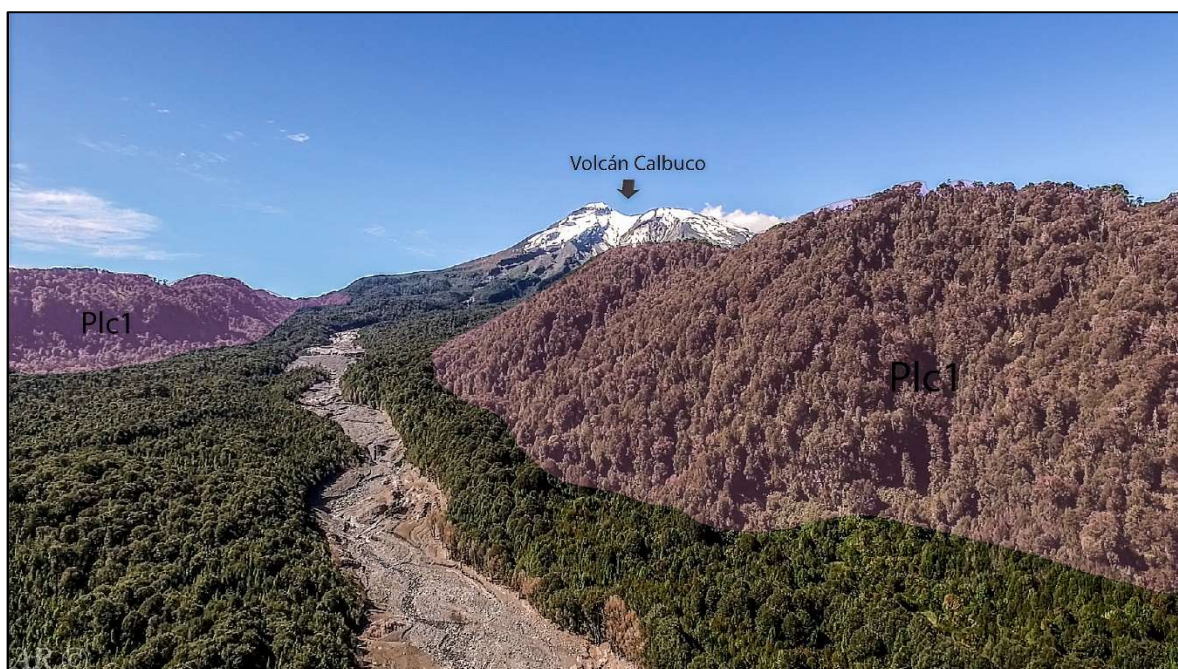


Figura 31. La Unidad Calbuco 1 representada por Plc1 (Selles y Moreno, 2011) (rosado) se encuentra casi completamente cubierta por vegetación en la actualidad. Fotografía aérea con vista Norte, desde Río Blanco.

Unidad Calbuco 2

El volcán Calbuco moderno habría comenzado a formarse después de los 110 ka, con la construcción del edificio volcánico de la Unidad Calbuco 2. Sus productos constituido por coladas de lavas andesíticas e intercalaciones de potentes depósitos tanto de flujos de bloques y ceniza como de lahares rellenarían valles y/o se adosaron a los materiales volcánicos del Calbuco 1, para luego ser fuertemente erosionados por la Glaciación Llanquihue (Mercer, 1976; Laugenie, 1982; Porter, 1981; Clayton *et al.* 1997, Denton *et al.* 1999), que socavo profundos valles en los flancos del edificio volcánico ancestral. Además, hacia fines de la Glaciación Llanquihue el edificio de la Unidad Calbuco 2 habría colapsado hacia el NE generando un escarpe de deslizamiento de 2 km de diámetro y una avalancha volcánica de unos 3 km³ que se propagó hacia el NW producto del choque con los grandes glaciares de la época.

Unidad Calbuco 3

La actividad eruptiva continuó al interior del colapsado volcán Calbuco 2 que con derrames de lavas y flujos piroclásticos intercalados que formaron una nueva unidad volcánica llamada Calbuco 3. Esta unidad, se encuentra principalmente en los flancos sur y norte del cono actual en donde predominan lavas de composición andesítica a andesítico-basáltica, y algunas dacitas en el sector suroeste.

Mientras que hacia el sur, los materiales volcánicos rellenan valles socavados en las unidades Calbuco, hacia el norte las coladas de lava y productos piroclásticos cubren los depósitos de la avalancha volcánica del colapso de Calbuco 2 y rellenan las quebradas desarrolladas allí. La actividad de esta Unidad, estuvo acompañada por erupciones tanto efusivas como muy explosivas, posiblemente plinianas, que generaron un extenso abanico de depósitos de flujos piroclásticos y laháricos hacia el oeste, entre los cuales destaca la Ignimbrita Alerce, que cubre un área cercana a los 200 km² y rellena una parte de la Depresión Central, entre Puerto Varas y Puerto Montt.

Por último, grandes abanicos de lahares y flujos de bloque y ceniza se propagaron tanto hacia el norte en

dirección a Ensenada y hacia el Sur en dirección al Lago Chapo.



Figura 32 Actual cantera en el sector de Colonia Río Sur, en donde se extraen áridos de la unidad geológica Ignimbrita Alerce y depósitos volcanoclástico Hap3. Referencia: Selles y Moreno (2011)

Unidad Calbuco 4

Desde la erupción de 1893 la actividad eruptiva continuó en el interior del gran cráter, y comenzó a formarse una estructura de domo con la eyección de lavas andesíticas viscosas de tipo bloques, correspondientes a la Unidad Calbuco 4. Esta unidad, ha tenido erupciones históricas en múltiples ocasiones como en 1893, 1911-12, 1917, 1929, 1932, 1945, 1961, 1972 en donde se han documentado crecimientos de domos como también eyección de lavas desde la cima. Hasta antes de la erupción del año 2015 un domo central alcanzaba una altura de 1.900 m s.n.m. a escasos 100 m de la cumbre oeste, que para ese entonces bordeaba los 2.003 m s.n.m. La composición predominante del domo y las lavas asociadas a esta Unidad son andesítico-basáltica a andesítica. Acompañando las erupciones históricas, se han generado numerosos flujos de bloques y ceniza, además de lahares calientes y fríos que han escurrido, preferentemente, hacia el norte (ríos Tepú, Blanco Norte y Caliente-Hueñuhueñu), sureste (Río Este, cuenca del lago Chapo) y sur (Colorado, Blanco Sur) y han rellenado el valle de Correntoso-Chamiza.

Erupción abril 22-23 del año 2015

A las 18:05 horas del 22 de abril de 2015 el volcán Calbuco, inició un nuevo ciclo eruptivo tras 54 años desde su última erupción mayor en 1961 (Klohn, 1963; Petit-Breuilh 1999) generando dos pulsos subplinianos en un lapso de 12 horas. La erupción comenzó súbitamente con la emisión de una columna eruptiva desde la cima del volcán que alcanzó en pocos minutos alrededor de 15km de altura. La primera fase eruptiva, duró alrededor de una hora y media en donde la dispersión de la pluma fue principalmente hacia el NE (SERNAGEOMIN 2015a, 2015b). Un segundo pulso eruptivo ocurrió el 23 de Abril a las 01:00 hrs con la generación de una nueva columna eruptiva que alcanzó una altitud máxima de 17km estimada desde imágenes satelitales (SERNAGEOMIN 2015c, 2015d, Bertin *et al.* 2015, Van Eaton *et al.* 2016, en Castruccio *et al.* 2016) Esta segunda fase duró alrededor de 6 horas y la dispersión de su columna eruptiva tuvo una dirección muy similar a la del primer ciclo en dirección al NE. Durante las dos fases eruptivas, se produjeron flujos piroclásticos en los flancos NE y SW, además de lahares que descendieron por los principales drenajes del volcán ocurriendo en el sector Sur y en particular en Río Blanco los lahares de mayor envergadura.



Figura 33. . Primer pulso eruptivo del volcán Calbuco el 22 de abril 2015. Gentileza de Natalia Garrido.

Durante los días siguientes la actividad disminuyó notablemente, hasta que a las 13:08 del 30 de Abril, un

tercer pulso, mucho menor a los anteriores, generó una columna eruptiva de alrededor de 3-5 km de altura con una dispersión hacia el SE.

Castruccio *et al.* 2016 Sugieren que el mecanismo eruptivo de la erupción de Calbuco 2015, se debió a una sobresaturación de volátiles en la cámara, ya sea por una pequeña intrusión magmática o por diferenciación propia de la cámara que generó una posterior sobrepresión dentro de ésta gatillando la erupción por el principal escape: el cráter central.

Gracias a los depósitos de caída, que componen más de un 90% del volumen emitido Castruccio *et al.* 2016 estimaron los parámetros físicos de este evento entre los cuales calcularon un volumen total para ambos pulsos de 0.15 km³ de los cuales solo un 10% de este total se debe a corrientes densas de piroclastos. Por otra parte, a diferencia de la mayoría de los volcanes de la zona volcánica sur cuya composición tiende a ser basáltica a andesítico basáltica, el volcán Calbuco se ha caracterizado por emitir productos andesítico silíceos (López-Escobar *et al.* 1992). En el caso de la erupción de abril de 2015, el material emitido tuvo una composición andesítico basáltica

▪ Estratos de Hueño Hueño

Los estratos de Hueño Hueño son una secuencia de rocas volcanoclásticas con intercalaciones de lavas, que se encuentran al este del volcán Calbuco y fueron reconocidos por Lahsen *et al.* (1985) como un representante del volcanismo Pleistoceno en la zona. Estos depósitos conforman un cordón montañoso de dirección NNW, al este del río Caliente y otras cadenas que alcanzan la rivera norte del Lago Chapo.

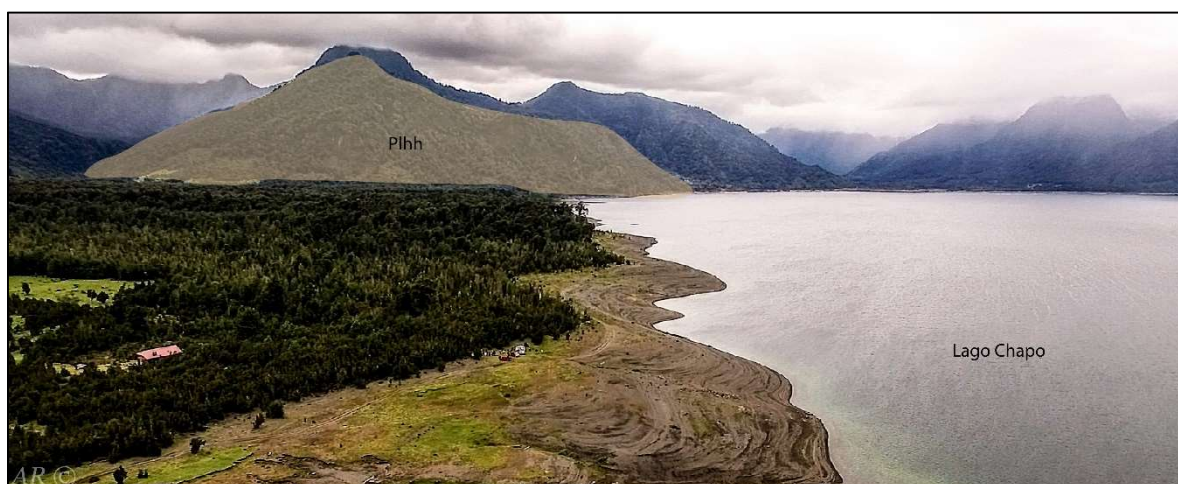


Figura 34 Fotografía aérea con vista Este a los Estratos de Hueño-Hueño en la rivera norte del Lago Chapo. Referencia: Selles y Moreno (2011)

▪ Centros eruptivos menores (CEM)

Los CEM de la zona de estudio están distribuidos de manera norte-sur desde el estuario de Reloncaví hacia el Lago Todos los Santos. Son una serie de pequeños volcanes que se alinean sobre la ZFLO entre los cuales existen maeres, conos de escoria con eventuales lavas subordinadas de composición basáltica a andesito-basáltica (Lopez-Escobar *et al.* 1995). En la zona de estudio, se observan el cono de escoria Magneto, el maar Pichilaguna, el Grupo Cayutué la Vaca (siete conos de escorias con lavas y maeres), Grupo La Viguera (tres conos de escoria y flujos de lava) y Rollizos (cono de escoria). La mayoría de estos conos son postglaciares, a excepción de Rollizos que es tardiglacial (Lahsen *et al.* 1985; Carrasco 1995)

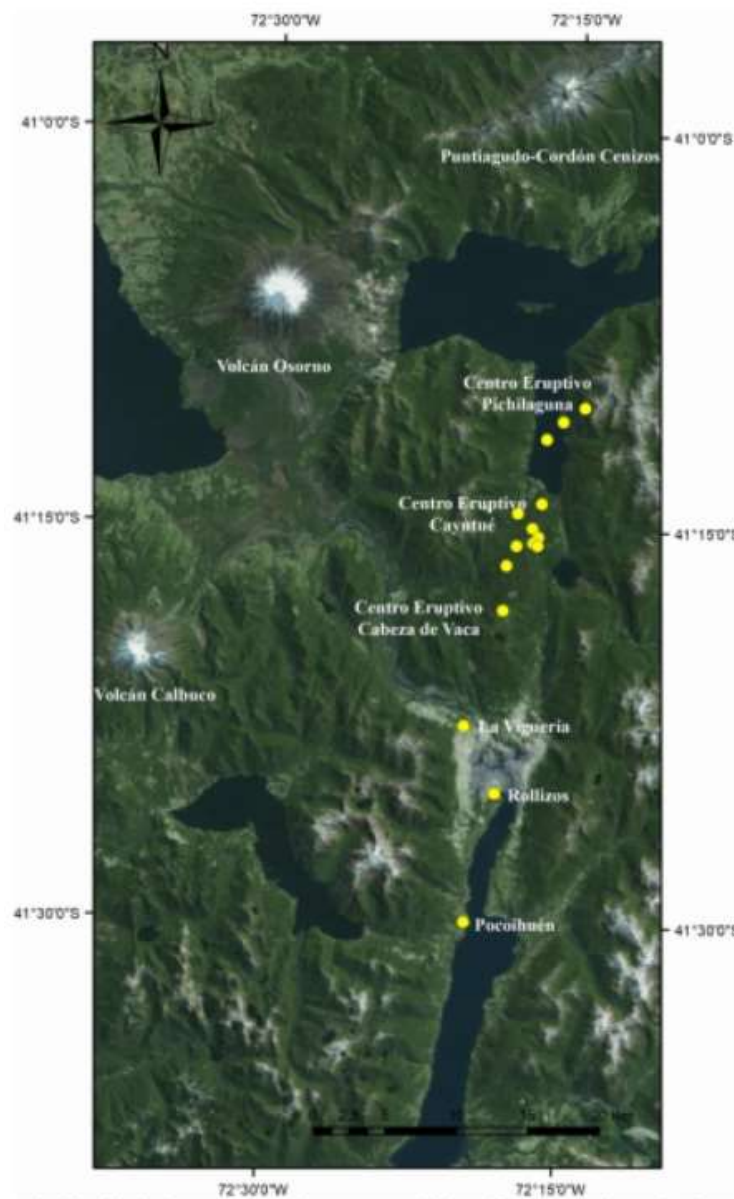


Figura 35 Disposición de los principales centros menores. Tomado de Mena, 2015.

5.6.4 Depósitos Sedimentarios Cuaternarios.

Los **sedimentos cuaternarios** constituyen la mayor parte del valle longitudinal y están asociados principalmente a procesos glaciares, pero también, fluviales, lacustres y aluviales ocurridos durante este periodo (Brüggen, 1950; Cembrano *et al.* 1993; Andersen *et al.* 1999; Denton *et al.* 1999). Estos son según Cembrano *et al.* (1993) (Figura 36):

Depósitos de relleno sedimentario cuaternario indiferenciado; depósitos fluviales, aluviales, actuales y sub-recientes; depósitos de abanicos aluvionales; depósitos fluviales antiguos aterrazados; depósitos morrénicos recientes; depósitos morrénicos pleistocenos; depósitos de conos proglaciares y fluvioglaciares; depósitos de terrazas lacustres y glaciolacustres; depósitos coluviales y conos de deyección; depósitos lacustres; depósitos de remoción en masa; depósitos deltaicos.

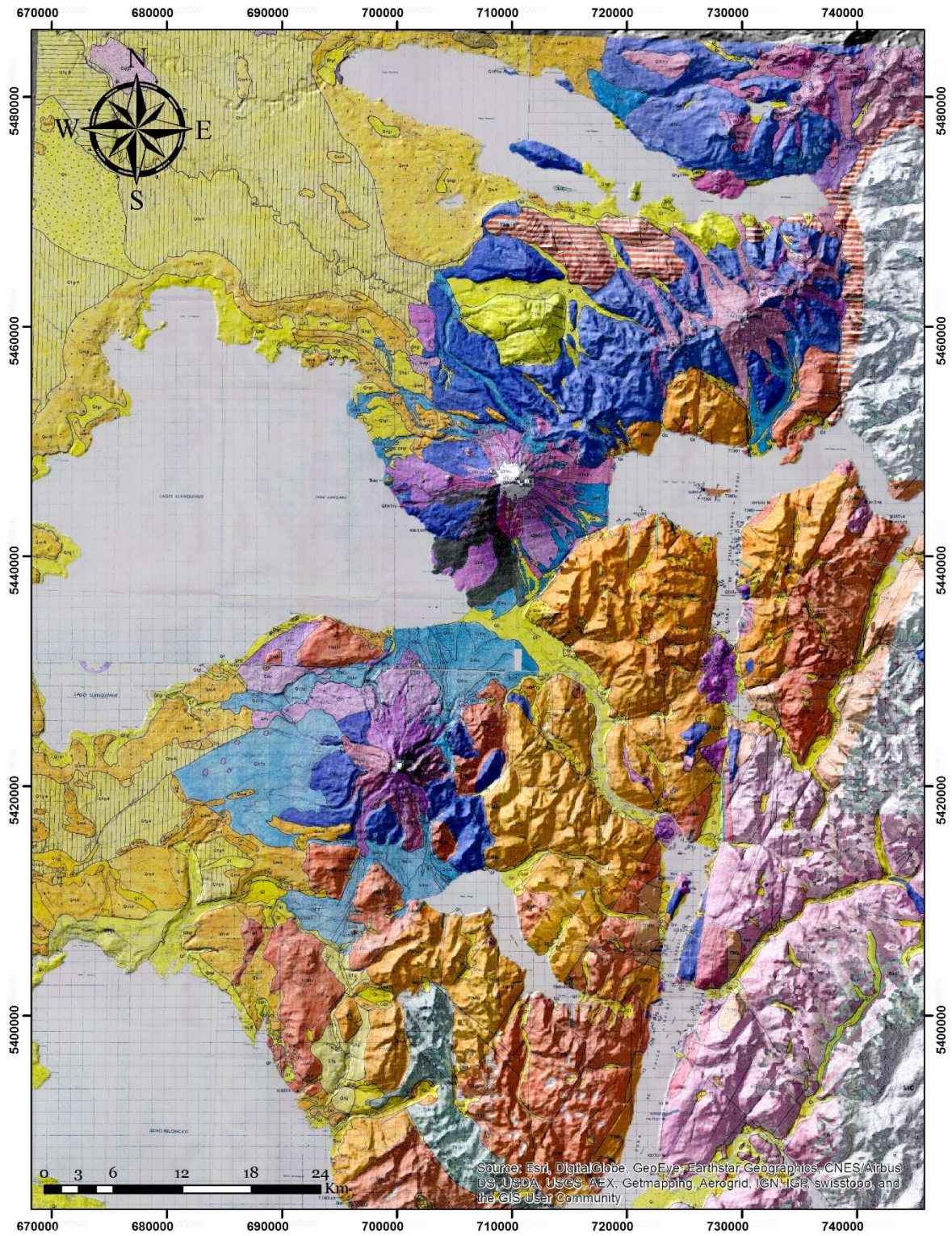


Figura 36. Mapa geológico modificado de Cembrano *et al.* (1993), a partir de la compilación de 4 mapas escala 1:100.000.

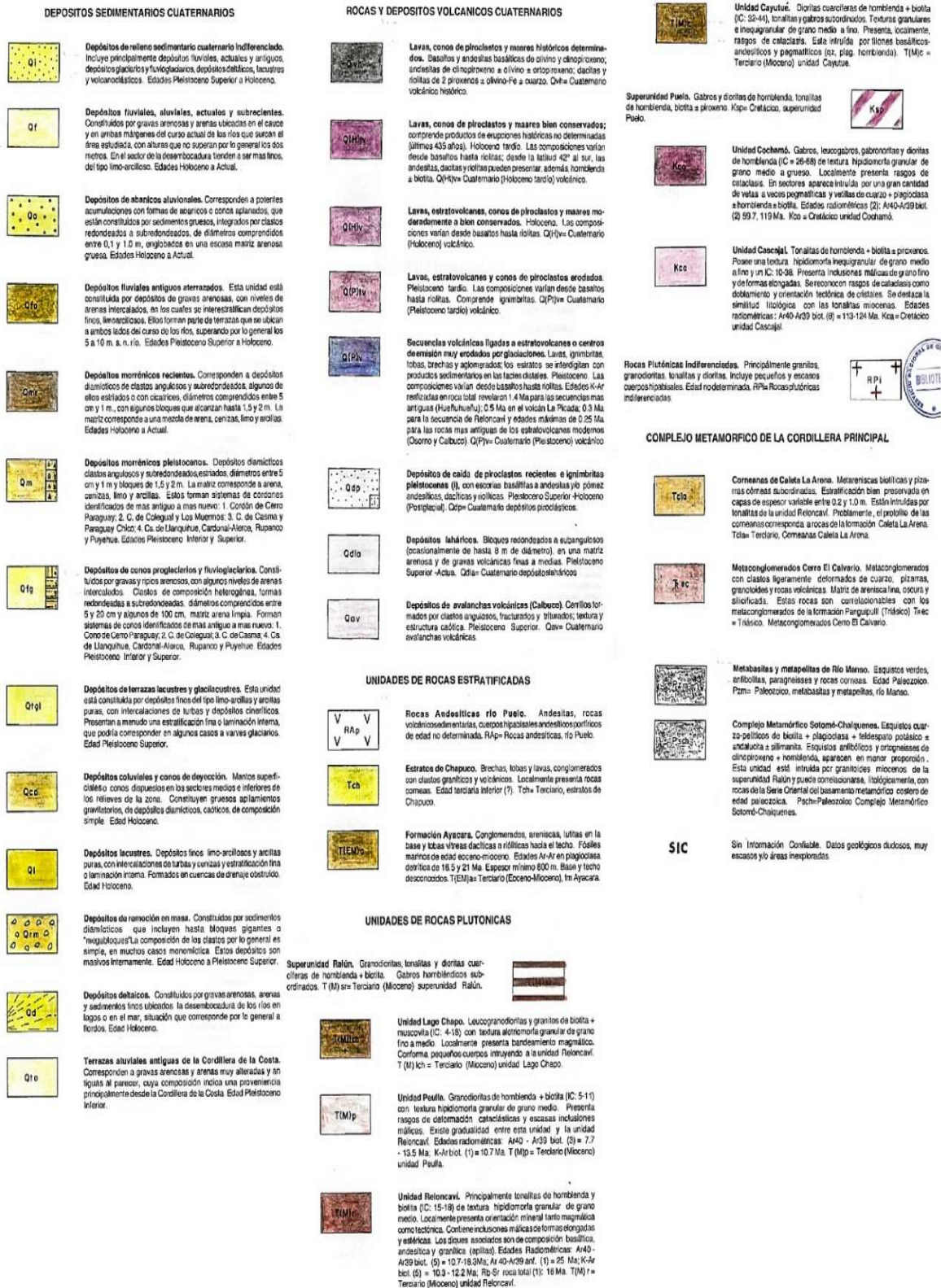


Figura 37 Leyenda del mapa de la Figura 36, tomado de Cembrano et al. 1993.

En los mapas anexos a los trabajos de Andersen *et al.* (1999) y Denton *et al.* (1999) (Figura 38) gran parte de estos depósitos han sido datados, ordenados y agrupados en diferentes miembros, en los que destacan los depósitos de los avances glaciares Llanquihue, Casma/Colegual y Pre-Colegual en relación a los distintos estadios glaciares reconocidos. No obstante, en la zona de estudio los depósitos de la última glaciación Llanquihue corresponden a gran parte de los depósitos cuaternarios. Los depósitos sedimentarios cuaternarios se distribuyen de manera heterogénea en el territorio. En los sectores inmediatamente aledaños al lago Llanquihue abundan los depósitos lacustres actuales. Estos corresponden a sedimentos no consolidados polimícticos, con predominancia de arenas de origen volcánico, gravas y bloques interpretados en este trabajo como heredados de la erosión de depósitos glaciares antiguos, en particular de morrenas. Por otra parte, los sedimentos consolidados de orilla de playa corresponden a depósitos aterrizados lacustres y glaciolacustres o como se describen en los mapas de Geografica Annaler (1999) terrazas lacustres marginales de contacto con hielo³⁰. Estas terrazas aledañas se componen en gran parte de depósitos glaciolacustres. Los depósitos corresponden a rocas estratificadas constituidas por depósitos intercalados de limos y arcillas, localizadas en zonas con abundantes gravas y algunos bloques erráticos. A menudo, los depósitos de limo-arcilla presentan estratificación fina, tratándose en algunos casos de depósitos tipo varves. Es común verlos fracturados, deformados y/o desacoplados, encontrándose estructuras de estratificación planar, recumbente, pliegues y fallamientos inversos interpretados en este trabajo como resultado de la acción glaciar. Todas estas características pueden ser observadas en la costanera de Puerto Varas (Ver Geosítio Varves de Puerto Varas).

En las zonas proximales occidentales al lago Llanquihue, un cordón circundante de morrenas terminales del último estadio glaciar, caracterizadas y bien delimitadas en el trabajo de Denton *et al.* (1999) y Andersen *et al.* (1999), puede ser observado en los sectores de Puerto Octay, Frutillar, Llanquihue y Puerto Varas. Estos cordones se encuentran comúnmente cubiertos de vegetación dibujando suaves lomajes cuyo interior se puede observar en algunos cortes de camino y canteras. En general cuando se encuentran junto a otros depósitos, las morrenas ocupan las partes más bajas, es decir, las secuencias más antiguas en donde sobreyacen o acuñan depósitos aterrizados lacustres, glaciolacustres, fluviales y volcánicos, entre otros. En el sector de la salida norte de Puerto Varas, Porter (1981) identificó dos depósitos morrénicos separados por un evento volcánico (con una edad $C^{14} < 39.000$ años) que atribuyó a dos eventos glaciares diferentes (ver Geosítio Piroclastos del Trébol Norte). De estos sitios, solo uno permanece conservado en muy malas condiciones de visibilidad. En general, se trata de depósitos clásticos consolidados, no estratificados, polimícticos de muy mala selección y madurez textural, en donde abundan gravas decimétricas y algunos bloques de 1-2 metros insertos en una matriz de arena, limo, ceniza y arcilla correspondientes a los depósitos morrénicos pleistocenos.

Otros depósitos de gran extensión, son los depósitos proglaciares y fluvioglaciares o sandur³¹, distribuidos en el sector occidental del Lago Llanquihue y del cinturón morrénico, que según Cembrano *et al.* (1993) se desarrollan en mantos superficiales y/o conos de deyección. Schülchter *et al.* (1999) reconocen que algunos de estos depósitos se encuentran plegados, al oeste del sistema de morrenas terminales occidentales del último máximo glaciar de Llanquihue, producto del empuje de los sistemas morrénicos en el avance de los hielos. Se trata de depósitos productos del drenaje de los deshuelos caracterizados por ser gruesos y mal seleccionados cerca de las morrenas, volviéndose más finos y mejor seleccionados en zonas más distales a estas. También, comprenden drenajes intermorrénicos de características similares las descritas anteriormente.

³⁰Lake margin Ice-contact terrace

³¹ Conocidos también como 'Outwash Plain'

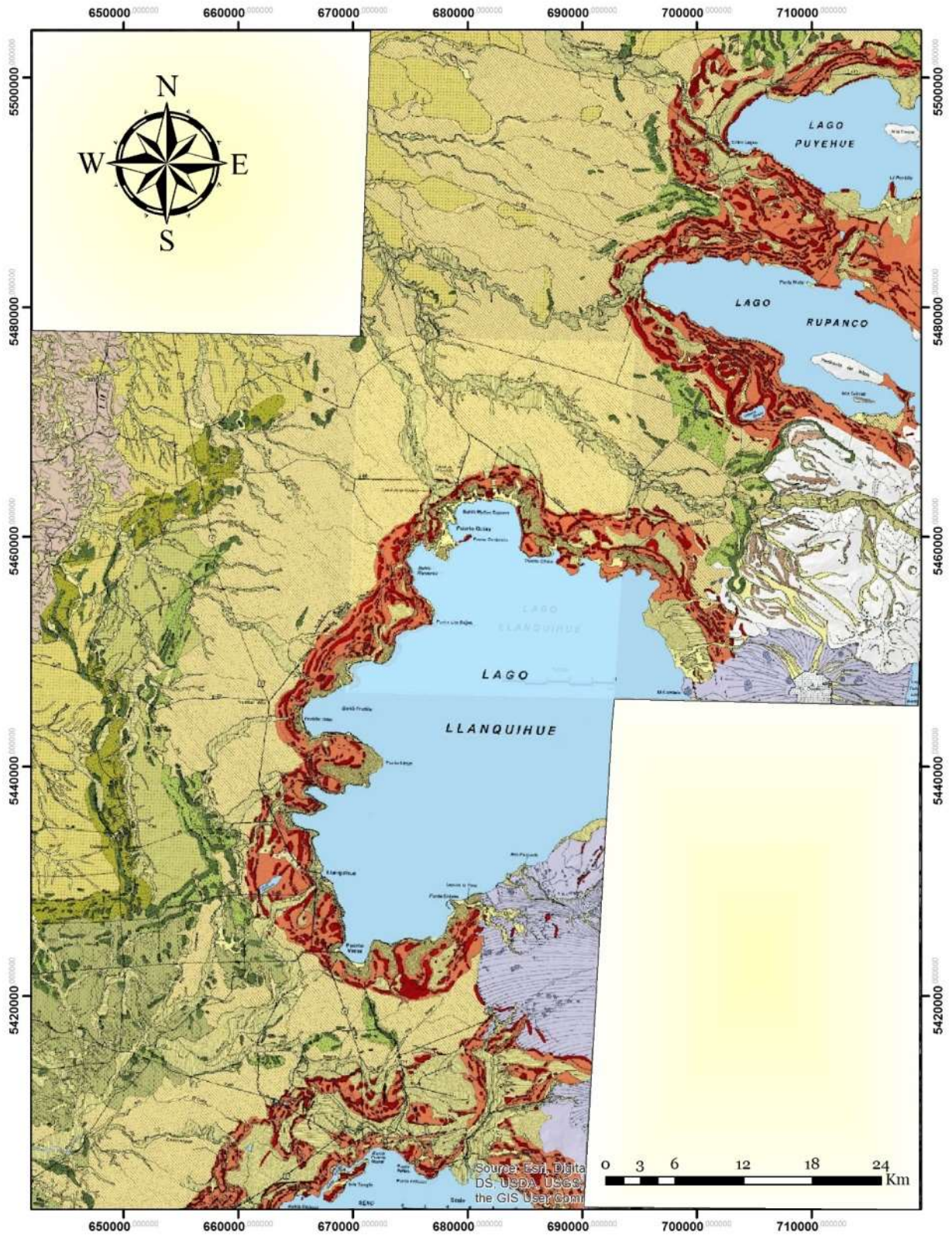


Figura 38 Modificado de Geografiska Annaler 1999. 2 Mapas.

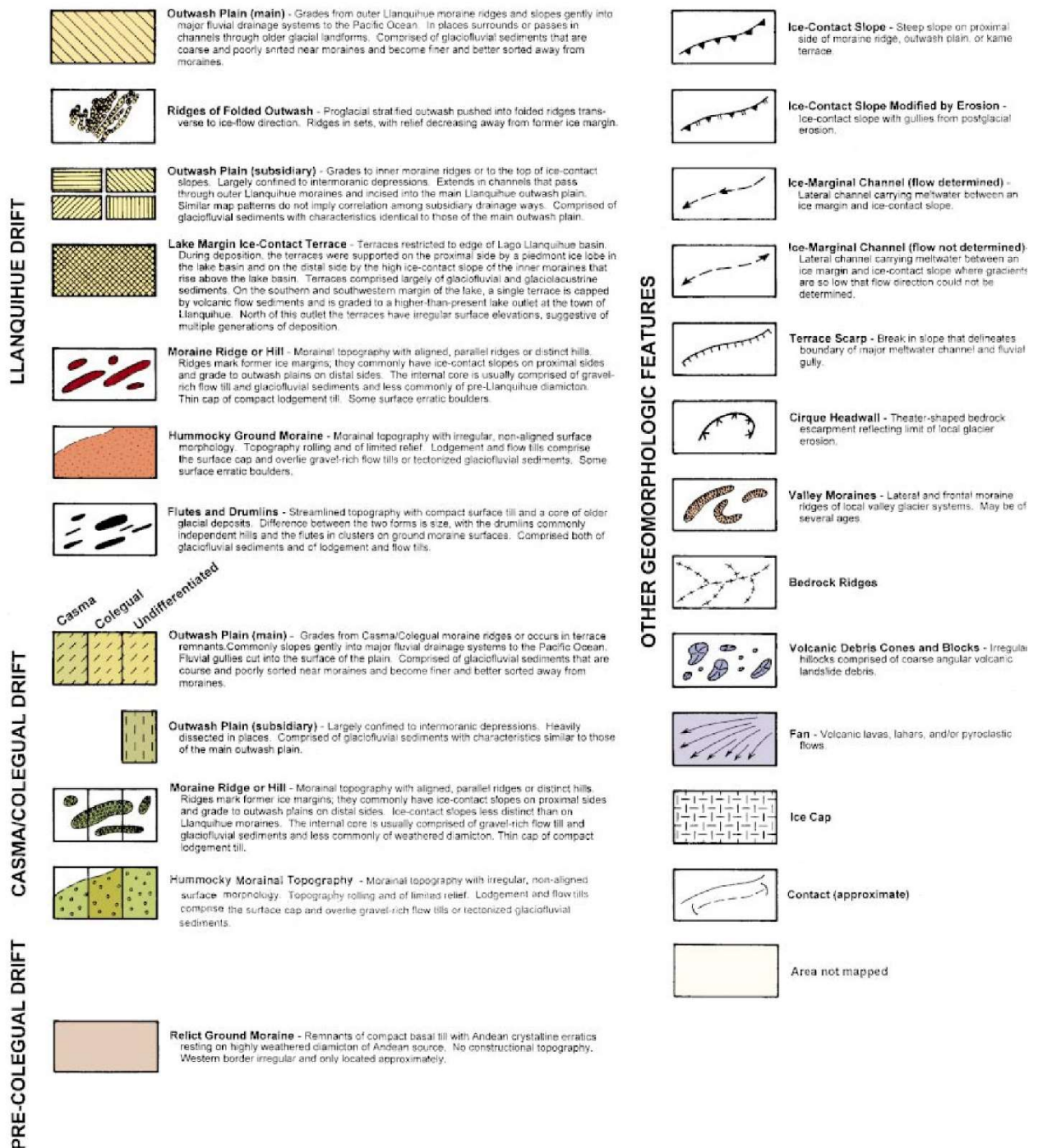


Figura 39 Simbología de mapa Figura 38

El resto de los sedimentos cuaternarios se encuentran localizados cercanos a las diferentes fuentes que les dan origen (p.ej abanicos aluviales), asociándose a cauces actuales de ríos, glaciares actuales, altas pendientes montañosas y volcánicas.

El espesor es variable en la mayoría de estos depósitos debido a su naturaleza, por lo que es difícil determinarlo con exactitud. No obstante, para fines comparativos, es posible mencionar que la mayoría de los depósitos se encuentran en escalas inferiores a los 10 m. Tan solo depósitos morrénicos y algunas terrazas se han observado con espesores decamétricos y en cordones elongados de extensión lateral de

kilómetros.

La edad de los depósitos es variable. No obstante, como gran parte de los sedimentos cuaternarios están asociados a la última glaciación de Llanquihue, se puede mencionar que las edades para estos depósitos están entre el Pleistoceno Superior y Holoceno (Porter, 1981; Heusser, 1999; Denton et al., 1999). En general, el resto de los depósitos se asumen más jóvenes considerando las relaciones estratigráficas, hasta llegar a los depósitos actuales.

5.6.5 Glaciación de Llanquihue (Denton et al. 1999)

En los primeros estudios realizados por Brügger (1950), Weischet (1958, 1964) y Olivares (1967) fueron reconocidos varios cinturones morrénicos de diferentes edades al oeste de los principales lagos de esta región (p.ej. Rupancho, Puyehue, Chapo, Llanquihue). Mercer (1972,1976) y Laugenie y Mercer (1973) diferenciaron algunos de estos cinturones morrénico y propusieron cuatro eventos para su formación de los cuales, los tres más jóvenes, ya habían sido reconocidos también por Brügger (1950) y Olivares (1967). Los diferentes eventos asociados a estos cinturones morrénico fueron llamados del más joven al más viejo como Llanquihue (Heusser 1974), Casma, Colegual y Rio Frio (Mercer 1976). Porter (1981) también reconoció cuatro eventos a través de los "till" depositados por los lobulos de hielo y llamo a estos eventos en edad creciente como Llanquihue, Santa María, Rio Llico y Caracol, en donde Santa María incluye los depósitos procedentes de Rio Frio, Casma y Colegual de Mercer 1976). Según Denton *et al.* (1999) la cronología de radiocarbono sugiere que de estos cuatro eventos, al menos tres representan, y quizás cuatro, glaciaciones diferentes, siendo el avance de la glaciación Llanquihue el último evento registrado. Además, asigno una sección tipo a cada avance glaciar en donde concluye que solamente el avance de Llanquihue fue reconocido por tener una distintiva topografía morrénica. Los criterios para diferenciar los diferentes avances son principalmente por condiciones de resistencia a la meteorización.

Porter (1981) subdividió el avance de Llanquihue en tres unidades: Llanquihue I, II y III basados en criterios morfoestratigráficos y sedimentológico. El avance de Llanquihue I (más antiguo) de Porter (1981) comprende el cinturón más extenso y fue ciertamente depositado hace más de 19.000 A.P y probablemente mucho más de 40.000 A.P según este autor.

Laugenie (1982) por su parte genero mapas con los cinturones morrenicos y respectivos sandur (outwash plain) en donde el sistema morrénico de Llanquihue, se corresponde con los avances propuestos por Porter (1981) y Mercer (1976). Lugenie (1982) los dividió en tres eventos principales Eo-Llanquihue (>40,000 C yr AP), Meso Llanquihue (25,000 to >40,000) y Neo Llanquihue (25,000 to 12,200). Por otra parte, para las morrenas más antiguas, Casma y Colegual, Laugenie sugiere que ambas corresponden a la glaciación de Colegual de Mercer (1976). Por último, la morrena de Fresia de Laugenie (1982), depositada durante la glaciación de Fresia, correspondía al cinturón morrénico de Rio Frio de Mercer (1976)

Denton *et al.* (1999), sugiere que el último máximo glaciar de la región de los lagos sur comenzó cerca de los 29.400 años A.P y terminó poco después de los 14.550-14.805 años A.P. Durante este intervalo de tiempo, los avances glaciares dentro del cinturón morrénico externo de Llanquihue culminaron hace unos 29.400 años A.P, 26.797 años A.P, 22.295-22.570 años A.P y 14.550-14.869 años A.P. Otros avances glaciares cerca de la morrena externa podrían haber ocurrido cerca de los 21.000 años A.P y poco antes de

los 15.730 años A.P. Además, los estudios de Heusser *et al.* (1999) y Moreno *et al.* (1999) indicarían que estos avances se encuentran en un ambiente subantártico y húmedo, en donde las líneas de las nieves según Porter (1981) se encontraba alrededor de los 1000m. Por otra parte, los glaciares andinos de piedemonte no habrían avanzado durante la porción de Meso-Llanquihue entre los 29.400 a >39.666 años A.P. fuera del cinturón externo de Llanquihue sino hasta hace más de 40.000 años A.P.

5.6.6 Estructuras

- **Zona de Falla Liquiñe-Ofqui (ZFLO)**

La ZFLO (Hervé, 1994; Cembrano *et al.* 1996) es una megaestructura de intraarco, paralelo al margen continental, de carácter transpresivo dextral que se extiende más de 1000 km de longitud entre los 38°S a los 48°S (Cembrano *et al.* 1996) y además se relaciona fuertemente al emplazamiento de cuerpos plutónicos (Pankhurst *et al.* 1999, Adriasola *et al.* 2006; Adriasola y Stöckhert, 2008) y al ascenso de magmas durante el Cenozoico tardío, controlando el volcanismo de la zona volcánica sur (Cembrano y Lara 2009). Ejemplos de esto, están dados por los diferentes centros eruptivos menores (5.1.2.7 Centros Eruptivos Menores) que se ubican sobre la traza de la ZFLO cuya génesis se vincularía directamente al ascenso de magmas producto de una debilidad en la corteza producida por esta falla. Por otro lado, estructuras asociadas como el lineamiento Punttiagudo-Cordón los Cenizos-La Picada-Osorno estaría directamente relacionado a la actual cinemática transpresiva dextral de la ZFLO (López-Escobar *et al.* 1995; Cembrano *et al.* 1996; Rosenau *et al.* 2006; Cembrano y Lara, 2009). Cembrano y Lara, (2009) ubican a este grupo dentro de las cadenas volcánicas de estratovolcanes y conos monogenéticos de direcciones NE-SW. Debido a la orientación de estas estructuras, se producirían zonas de carácter transtensivo que facilitaría el ascenso de magmas basálticos y la génesis de conos monogenéticos, aun cuando algunos estratovolcanes puedan evacuar dacitas y riolitas.

El trazo principal de la zona de falla en la zona de estudio se extiende aproximadamente de Norte a Sur (Figura 41), mientras que un segundo segmento se deflecta hacia NNE y se extiende continuamente en esta dirección durante casi un centenar de kilómetros, lo que sugiere un origen como una deformación de dextral a gran escala de Riedel (Tchalenko, 1970 en Adriasola 2008). Rosenau *et al.* (2006) propone un arreglo estilo SC en esta zona que acomodaría parte de la deformación producida por la convergencia oblicua de la Placa de Nazca-Sudamericana. Además, existiría un rebote isostático post glacial que contribuiría al movimiento vertical de este sistema (Lara *et al.* 2008)

Por otro lado, estudios gravimétricos en la zona de Ralún han representado una anomalía de Bouguer negativa, que se interpreta como una zona de rocas de baja densidad bajo el estuario de Reloncaví a una profundidad de ~ 2,2 km, creada posiblemente por deformación frágil a lo largo del LOFZ (Thiele *et al.* 1986). A esto Adriasola *et al.*, 2006 añade que asumiendo que las partes cretácicas del BNP fueron emplazadas simultáneamente y originalmente formaron un complejo intrusivo coherente, se deduce un desplazamiento dextral de ~ 30 km a partir de la posición relativa del Cretácico (Figura 41)

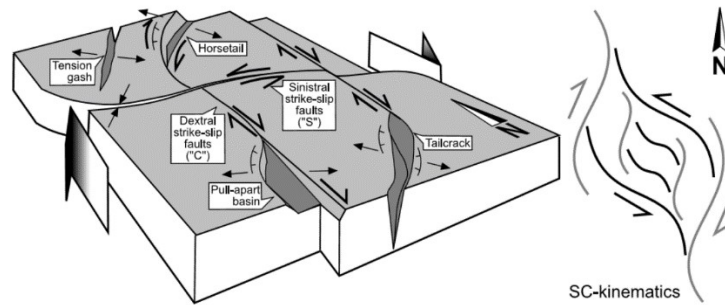


Figura 40. Muestra el arreglo estilo SC propuesto por Rosenau para interpretar deformación en la corteza superior producto de la ZFLO.

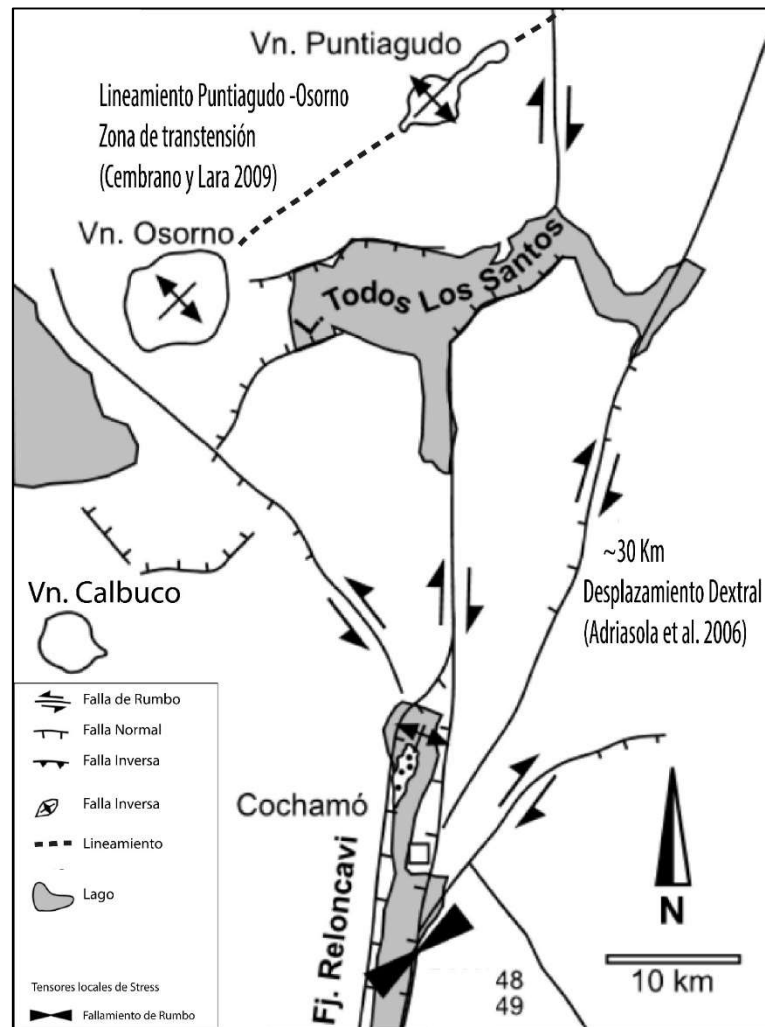
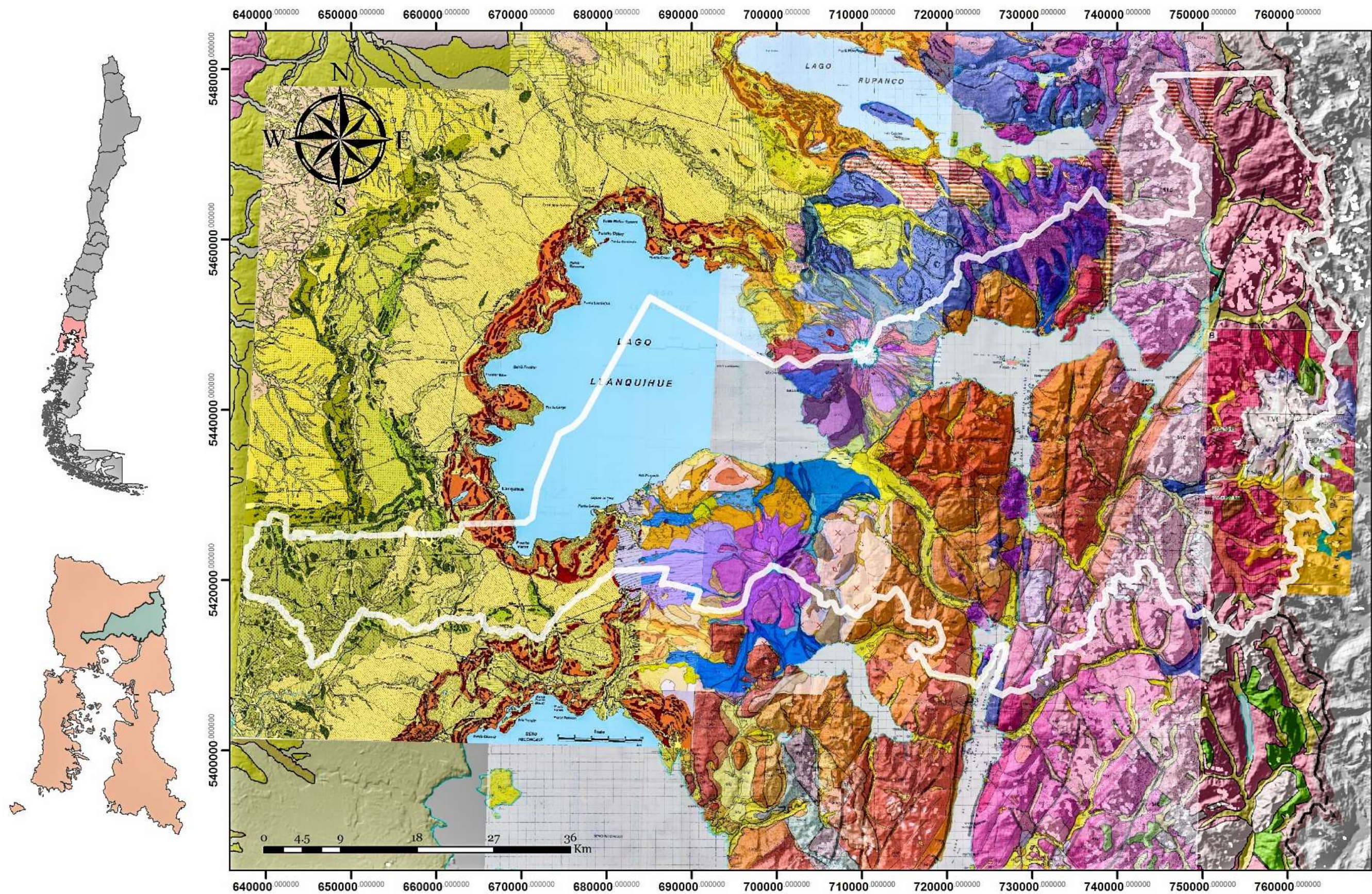


Figura 41 que muestra los principales sistemas estructurales ligados a la ZFLO. Modificado de Rosenau 2006.



Mapa 2 . Compilación de mapas de la zona de estudio: Cembrano *et al.* 1993; Geografiska Annaler 1999; Selles y Moreno 1999; Moreno, Lara y Orozco 2010; Mella *et al.* 2005, Geología de Chile 1:1.000.000 SERNAGEOMIN (actualización 2010). Simbología independiente en cada mapa. Referencia espacial, UTM WGS 84- 18 S

Capítulo 6 Reconocimiento de contextos geológicos y preselección de sitios

6.1 Contextos Geológicos Nacionales representados en el área estudio

Tal como se hablo en el Capitulo 4, es recomendable reconocer contextos para asegurar que un futuro inventario pueda contener ejemplos de cada uno de los principales procesos geológicos del territorio. Así, a partir de la información geológica que fue recopliada y de la propuesta de contextos geológicos nacionales preliminares propuestos por Mourgues *et al.* (2012), se ven representados en la geodiversidad del territorio al menos los siguientes contextos ([Mapa 3](#)).

- **Batolitos y Complejos Plutónicos del Mesozoico (BM)**

Estaría representado por el Batolito Nor-Patagónico en la zona de estudio, en particular por los complejos plutónicos de edad Cretácica de la Super Unidad Puelo como la Sierra de Santo Domingo.

- **Batolitos del Cenozoico (y los grandes pórfidos cupríferos y depósitos de oro de Chile) (BC)**

Este contexto está representado dentro de la zona de estudio por la Super Unidad Ralún, correspondiente a los complejos plutónicos de edad Miocena del Batolito Nor-Patagónico

- **Volcanismo Cuaternario (VNC)**

Este contexto reúne los procesos, productos, y morfologías asociados a los volcanes del Cuaternario. Para la zona de estudio, está representado por todos los volcanes de la zona. Esto incluye a los estrato volcanes p.ej. Tronador, Puntagudo, La Picada, Osorno, Calbuco, los centros eruptivos menores y todos sus productos derivados (lahares, piroclastos, lavas)

- **Mega Estructuras y Neotectónica de Chile (MEN)**

Este contexto corresponde a las macro estructuras activas. Para este trabajo, esta representado por megaestructura de intraarco, paralela al margen continental, de carácter transpresivo dextral denominada Zona de Falla Liquiñe-Ofqui.

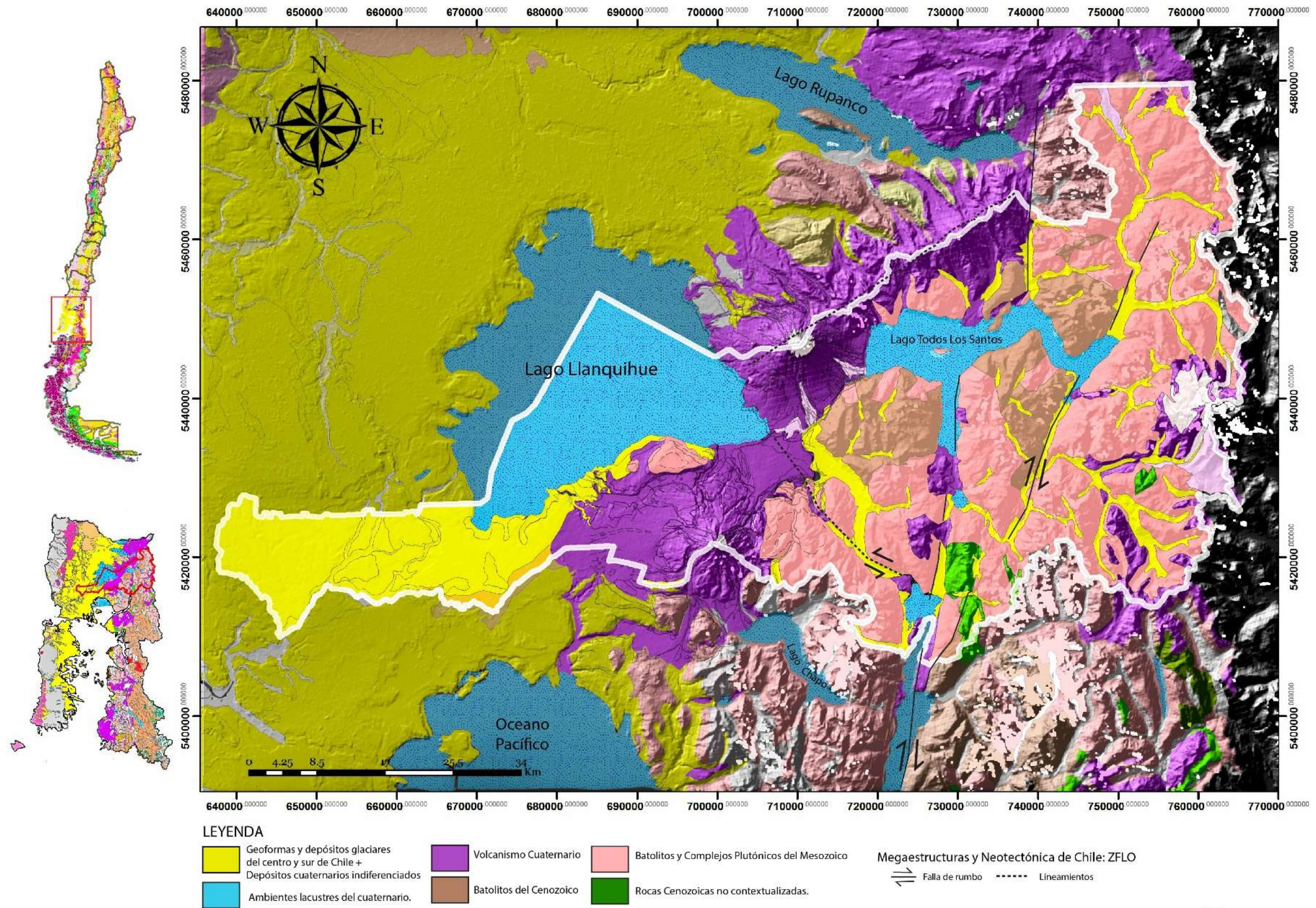
- **Geoformas y depósitos glaciales del centro y sur de Chile (GLC)**

Corresponden a Glaciares y depósitos relacinados (p.ej. morrenicos, glaciofluviales, glaciolacustres) junto con las morfologías asociadas al paso de los hielos (p.ej. valles en U, circos, valles colgados).

Este contexto es el más representativo de la zona de estudio, ya que genera geoformas glaciares en todas las unidades geológicas presentes y abunda en depósitos hacia el sector oeste de la zona de estudio, encontrándose ejemplos de la mayoría de los procesos glaciares conocidos.

- **Ambientes lacustres del Cuaternario (LC)**

Este ambiente, está representado por el Lago Todos lo Santos y el segundo lago más grande del territorio nacional: Llanquihue.



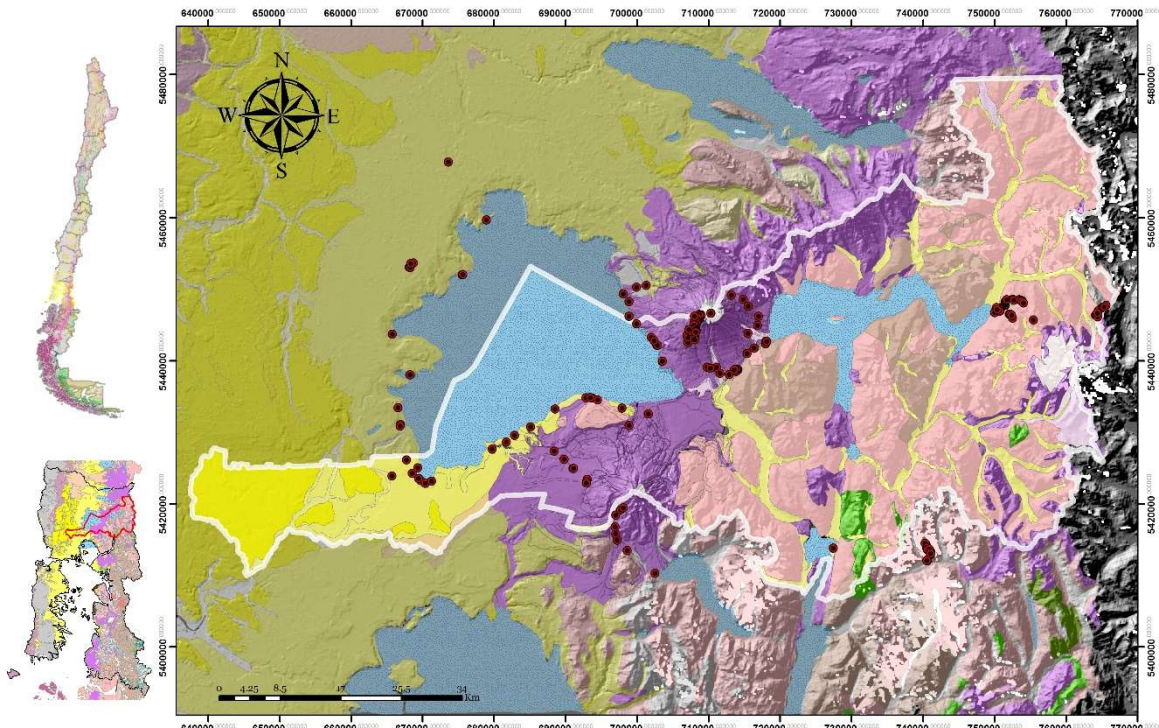
Fuente de información: Cembrano et al., 1993; Geografika Annaler (1999); Selles y Moreno (1999); Moreno, Lara y Orozco (2010); Adriasola 2006; Geología de Chile 1:1.000.000 SERNAGEOMIN (actualización 2010). Elaboración Propia.

Mapa 3 De contextos geológicos simplificado 1:500:000, en donde se muestran los principales contextos geológicos nacionales que existen en la zona de estudio.

Escala: 1:500.000
Datum: WGS84-19S

6.2 Preselección de sitios

A partir de la revisión de la literatura publicada en relación a la geología de la comuna de Puerto Varas, junto con entrevistas a personal especializado de instituciones como SERNAGEOMIN y CONAF, el apoyo de operadores turísticos, guías locales y de un amplio recorrido en la zona de estudio ([Mapa 4](#)) se realizó la siguiente lista ([Tabla 15](#)) de sitios potenciales para ser caracterizados en el inventario de geositos y sitios de geodiversidad:



Mapa 4. De contextos geológicos (ver Mapa 3) en donde se ven los puntos visitados durante las campañas de terreno.

Tabla 15. Que muestra la lista de sitios recopilados mediante entrevistas, revisión bibliográfica y visitas a terreno

Lista de potenciales sitios para ser caracterizados

N°	Nombre preliminar	Fuente	Descripción	Contexto Geológico Representado	Interés propuesto	Sector	Estado Actual
1	Depósitos de Braunau	Identificación en terreno por autor	Afloramiento de gravas redondeadas	GLC	Educativo	Braunau	No Caracterizado
2	Depósitos distales Lahar Las Cascadas	Felipe Flores SERNAGEOMIN	La localidad de Cascadas es edificada sobre un lahar. Desde un punto de vista de Peligros/Riesgos es un lugar de extremo interés para los científicos	VNC	Científico/ Geoturístico/ Educativo	Cascadas	Fuera zona de estudio. Pendientes
3	Cascada las Cascadas	Francisco Contreras NATIVA CHILE	Caída de Agua entre depósitos volcánicos (lahares) el sector de las Cascadas, que da identidad a la localidad.	VNC	Geoturístico	Cascadas	Pendiente
4	Camino a Cascadas	Identificación en terreno por autor	Representante accesible de rocas miocenas intrusivas. Roca aborregada.	BC, GLC	Geoturístico/ Educativo/ Científico	Cascadas	Pendiente

5	<i>Paso Vuriloche</i>	Franz Schirmer	Ruta del PNVPR en donde abundan restos arqueológicos y paisajes de gran valor escénico además intrusivos y volcanismo cuaternario. Aún no es muy accesible.	VNC, BC	Científico/ Geoturístico/	Cayutué-Río Blanco	No visitado.
6	<i>La Viguera - Cayutué</i>	Identificación en terreno por autor	Conos monogenéticos y ZFLO	VNC, MEN	Geoturístico/ Educativo/ Deportivo	Cayutué-Río Blanco	No visitado
7	<i>Basaltos Columnares Radiales</i>	Gabriel Orozco SERNGEOMIN	Unidad Osorno 4. Además de su edad, su disyunción columnar genera un gran interés. Además existe una excelente vista del Lago Lanquihue.	VNC	Científico/ Educativo/ Geoturístico	Ensenada	Caracterizado en este trabajo.
8	<i>Varves de Frutillar</i>	Francisco Contreras NATIVA CHILE	Se pueden ver depósitos de varves glaciares deformados y/o fracturados.	GLC, LC	Científico/ Educativo/ Geoturístico	Frutillar	Caracterizado en este trabajo
9	<i>Volcanes de arcilla</i>	Identificación en terreno por autor	Volcanes sedimentarios ocurridos sobre las varves glaciares	GLC, LC	Científico/ Educativo/ Geoturístico	Puerto Chico	Caracterizado en este trabajo
10	<i>Basaltos de la Maquina</i>	Identificación en terreno por autor	Exposición de colada de lava basáltica equipada con rutas de escalada	VNC	Geoturístico/ Deportivo/ Educativo	Petrohué	Pendiente
11	<i>Basaltos Columnares Saltos Petrohué</i>	Identificación en terreno por autor	Afloramiento de basaltos con disyunción columnar	VNC	Científico/ Geoturístico/ Educativo	Petrohué	Caracterizados en este trabajo.
12	<i>Laguna Verde</i>	Identificación en terreno por autor	Se trata de una laguna color verde rodeada de lavas basálticas asociadas a la erupción de 1835.	VNC	Geoturístico	Petrohué	Caracterizado en este trabajo
13	<i>Saltos del Petrohué</i>	José Gallegos CONAF	Popularmente conocido. Se trata del sitio más visitado en la zona.	VNC	Geoturístico/ Científico	Petrohué	Caracterizados en este trabajo
14	<i>Sendero Carilemu</i>	José Gallegos CONAF	Sendero interpretativo en donde hay rocas basálticas	VNC	Geoturístico	Petrohué	No caracterizado
15	<i>Sendero Los Enamorados</i>	José Gallegos CONAF	Laguna verde entre basáltos	VNC	Geoturístico	Petrohué	No caracterizado
16	<i>Cerro Rigui</i>	Alberto Schirmer; Josué Cárcamo, Peulla	Se puede observar diferentes tipos de rocas a lo largo del camino, volcánicas e intrusivas, en el fin, se encuentra una impresionante vista al volcán Tronador.	BC, VNC	Científico/ Geoturístico	Peulla	Pendiente
17	<i>Depósitos Sedimentarios Frontera</i>	Identificación en terreno por autor	Rocas metaforicas de protolito sedimentario con intercalaciones de de grano finas y gruesas, con clastos orientados y deformados (cizalle puro?) de manera perpendicular a la deposición.	No indentificado.	Científico/ Geoturístico/	Peulla	Pendiente
18	<i>Laguna Margarita</i>	Identificación en terreno por autor	Laguna varvada a orillas del Batolito Nor Patagónico	BC, GLC	Científico/ Geoturístico/ Educativo	Peulla	Pendiente
19	<i>Velo de la Novia</i>	Jeremías Cárdenas CONAF	Hermosa Caída de agua desde las montañas del BNP.	BC	Geoturístico	Peulla	No Caracterizado
20	<i>Laguna Neumeyer</i>	Ivan Alborno Touristour	Laguna entre el Batolito Nor-Patagónico. Se pueden ver lavas del Volcán Tronador al cual se puede llegar en helicóptero.	BC, VNC, GLC	Geoturístico/ Científico	Peulla	No Caracterizado

21	<i>Varves de Puerto Varas</i>	Francisco Contreras NATIVA CHILE	Se pueden ver depósitos de varves glaciares deformados y/o fracturados.	GLC, LC	Científico/Educativo/Geoturístico	Puerto Varas	Caracterizado en este trabajo
22	<i>Salida Trébol Norte</i>	Francisco Contreras NATIVA CHILE	Este sitio no existía cuando Porter (1981) caracterizó la zona, no obstante se le atribuyen similares características	GLC, VNC	Científico/Educativo/Geoturístico	Puerto Varas	Caracterizado en este trabajo.
23	<i>Hummocks</i>	Guía de Campo: IAVCEI 2004	Montículos formados por el colapso del flanco NW del Vn. Calbuco	VNC	Geoturístico/Educativo/Científico	Puerto Varas	No visitado
24	<i>Ignimbrita Alerce</i>	Guía de Campo: IAVCEI 2004	Depósitos del Volcán Calbuco	VNC	Científico/Educativo/Geoturístico	Puerto Varas	Fuera zona de estudio. Pendiente
25	<i>Calle Santa Rosa</i>	Mercer (1976) en Denton et al. (1999)	Horizontes orgánicos entre sedimentos glaciolacustres	GLC	Científico	Puerto Varas	No Visitado
26	<i>Cerro Pichijuan</i>	Francisco Contreras NATIVA CHILE	Representante accesible del Mioceno holocristalino	BC	Geoturístico/Educativo	Puerto Varas - Ensenada	Pendiente
27	<i>Río Pescado</i>	Francisco Contreras NATIVA CHILE	Río Afectado por la erupción del 22-23/06/15 Vn. Calbuco	VNC	Científico/Geoturístico	Puerto Varas - Ensenada	No caracterizado.
28	<i>Río Tepu</i>	Francisco Contreras NATIVA CHILE	Río Afectado por la erupción del 22-23/06/15 Vn. Calbuco	VNC	Científico/Geoturístico	Puerto Varas - Ensenada	No caracterizado.
29	<i>Depósitos Morrenicos? Cuaternarios del km23</i>	Identificación en terreno por autor	Se trata de un depósito no estratificado de aparente origen glaciar: Morrena.	GLC	Geoturístico/Educativo	Puerto Varas - Ensenada	Caracterizado en este trabajo
30	<i>Depósitos Cuaternarios del Mirador Volcán Osorno</i>	Identificación en terreno por autor	Sucesiones de eventos de caída de piroclastos, sobre depósitos de gravas aparentemente fluviales y morrena.	VNC, GLC	Científico/Geoturístico	Puerto Varas - Ensenada	Pendiente
31	<i>Depósitos Fluviales de Playa Venado</i>	Identificación en terreno por autor	Intercalaciones de arenas y gravas en el kilómetro 14 frente a playa Venado	No identificado	Educativo/Geoturístico	Puerto Varas - Ensenada	Caracterizado en este trabajo.
32	<i>Río Blanco</i>	Felipe Flores SERNAGEOMIN	Río Afectado por la erupción del 22-23/06/15 Vn. Calbuco	VNC	Científico/Geoturístico/Educativo	Vn. Calbuco	Fuera de la zona de estudio. Pendiente
33	<i>Río Correntoso</i>	Felipe Flores SERNAGEOMIN	Río Afectado por la erupción del 22-23/06/15 Vn. Calbuco	VNC	Científico/Geoturístico/Educativo	Vn. Calbuco	Fuera de la zona de estudio. Pendiente
34	<i>Volcán La Picada</i>	Identificación en terreno por autor	Volcán La picada	VNC	Científico/Geoturístico/Educativo	Vn. La Picada	Pendiente
35	<i>"Los tazones" de Las Cascadas</i>	Alcide, Guía Local Cascadas	No hay descripción. Se verían depósitos volcánicos y piscinas naturales.	VNC	Geoturístico	Vn. Osorno	No visitado
36	<i>Cascadas Gemelas</i>	Alcide, Guía Local Cascadas	Caída de agua en Río Blanco en el sendero de la casa abandonada (Ruta del Lahar)	VNC	Geoturístico	Vn. Osorno	No visitado.
37	<i>Los Tazones</i>	Alcide, Guía Local Cascadas	Final del Camino a Río Blanco Vn Osorno	VNC	Geoturístico	Vn. Osorno	No caracterizado
38	<i>Depósitos Proximales Lahar Las Cascadas</i>	Autor/Felipe Flores SERNAGEOMIN	La localidad de Cascadas es edificada sobre un lahar. Desde un punto de vista de Peligros/Riesgos es un lugar de interés científico y la comunidad local.	VNC	Científico/Geoturístico/Educativo	Vn. Osorno	Fuera de la zona de estudio.
39	<i>Cono 1970</i>	Gabriel Orozco SERNAGEOMIN	Conos piroclásticos representantes de la	VNC	Científico/Geoturístico/Educativo	Vn. Osorno	No caracterizado

			primera erupción histórica registrada				
40	Cono <i>appel</i>	Gabriel Orozco SERNGEOMIN	Cono de piroclastos cuaternario	VNC	Científico/ Geoturístico/ Educativo	Vn. Osorno	No visitado
41	Cono <i>los Pumas</i>	Gabriel Orozco SERNGEOMIN	Cono piroclástico con flujos de lava Holocenos, actualmente cubierto de vegetación	VNC	Científico/ Geoturístico/ Educativo	Vn. Osorno	No caracterizado
42	<i>Cráter Rojo de la Erupción de 1835</i>	Gabriel Orozco SERNGEOMIN	Cono piroclástico de la erupción de 1835. Se puede observar un "dique preservado"	VNC	Científico/ Educativo/ Geoturístico	Vn. Osorno	Caracterizado en este trabajo
43	<i>La Fisura de la Erupción de 1835</i>	Gabriel Orozco SERNGEOMIN	Sitio de interés en el que se puede ver una fisura eruptiva que tuvo origen en 1835 y fue vista por el HMS Beagle en que viajaba Darwin.	VNC, MEN	Científico/ Educativo/ Geoturístico	Vn. Osorno	Caracterizado en este trabajo
44	<i>Depósitos de La Picada</i>	Identificación en terreno por autor	Intercalaciones de depósitos piroclásticos de gran espesor, cuyo estudio puede ser de alto valor científico	VNC	Científico/ Educativo/ Geoturístico	Vn. Osorno	Pendiente
45	<i>Glaciar Cumbre Vn. Osorno</i>	Identificación en terreno por autor	Glaciar de gran superficie ubicado en la cumbre del Vn. Osorno, se puede ver toda la comuna de Puerto Varas e identificar diversos contextos geológicos	VNC, GLC, BM, BC MEN, LC	Científico/ Geoturístico	Vn. Osorno	Pendiente
46	<i>Lahar Licarayen</i>	Identificación en terreno por autor	Depósitos laháricos del Sendero Desolación	VNC	Geturístico	Vn. Osorno	Pendiente
47	<i>Lahar Quitralpi</i>	Identificación en terreno por autor	Depósitos laháricos del Sendero Desolación	VNC	Geturístico	Vn. Osorno	Pendiente
48	<i>Cráter para rapel, la burbuja</i>	Mauricio Mella, SERNAGEOMIN	Existe un cráter, situado en el sistema fisural occidental donde algunas personas bajan en rapel.	VNC	Científico/ Geoturístico/ Educativo	Vn. Osorno	No visitado.
49	<i>Cuevas Glaciar Vn. Osorno</i>	Nicolo Caruzzo Guía Local Puerto Varas	Cuevas Formadas bajo el Hielo, en donde se puede observar gases (¿vapor?) y el suelo volcánico	VNC, GLC	Científico/ Geoturístico	Vn. Osorno	No visitado.
50	<i>Seracs Vn. Osorno</i>	Nicolo Caruzzo, Guía Local Puerto Varas	Seracs en donde se puede practicar escalada en hielo	VNC, GLC	Geoturístico	Vn. Osorno	No Caracterizado
51	<i>Cordon Cenizas - Puntiaquedo</i>	Identificación en terreno por autor	Lineamiento N60°E de un volcán compuesto y conos piroclásticos.	VNC, MEN	Científico/ Geoturístico	Vn. Puntiaquedo	No visitado. Dificultad de Acceso.
52	<i>Sendero el Callao - Vn. Puntiaquedo</i>	Jeremías Cárdenas CONAF	Surgencia de aguas termales en la ZFLO y vistas al Volcán Puntiaquedo	VNC, MEN	Geoturístico/ Educativo	Vn. Puntiaquedo	No visitado
53	<i>Volcán Tronador, Flanco Sur</i>	Mella <i>et al.</i> 2005	Depósitos del volcán Tronador.	VNC	Científico	Vn. Tronador	No visitado
54	<i>Troncos y Lahares de Lago Chapo</i>	Felipe Flores, Gabriel Orozco	Troncos enterrados en el sector de Lago Chapo por lahares de la zona. Útiles para tener dataciones de los eventos del Volcán Calbuco.	VNC	Científico/ Educativo/ Geoturístico	Vn. Calbuco	Fuera zona estudio. Pendiente
55	<i>Sierra de Santo Domingo</i>	Identificación en terreno por autor	Se trata de un representante de los intrusivos cretácicos, inaccesible, pero visible desde varios miradores del PNVPR	BM	Científico/ Geoturístico/ Educativo	Petrohué	Pendiente.

Los 55 sitios seleccionados en esta lista se encuentran en un diferente estado de avance ([Gráfico 1](#)), hay 15

sitios que no han sido caracterizados por no cumplir los criterios 4 necesarios según su valor científico y/o potencial de uso (4.1 Metodología para el inventario de Geositios y Sitios de Geodiversidad) para este trabajo, no obstante no se descartan para ser usados en otras actividades o bien como paradas de interés geológico en programas futuros de geoturismo, educación o investigación. Además, otros 11 no fueron visitados en las dos campañas de terreno realizadas, 19 que son prioritarios para una segunda etapa de trabajo y 11 que han sido seleccionados y caracterizados en este estudio.

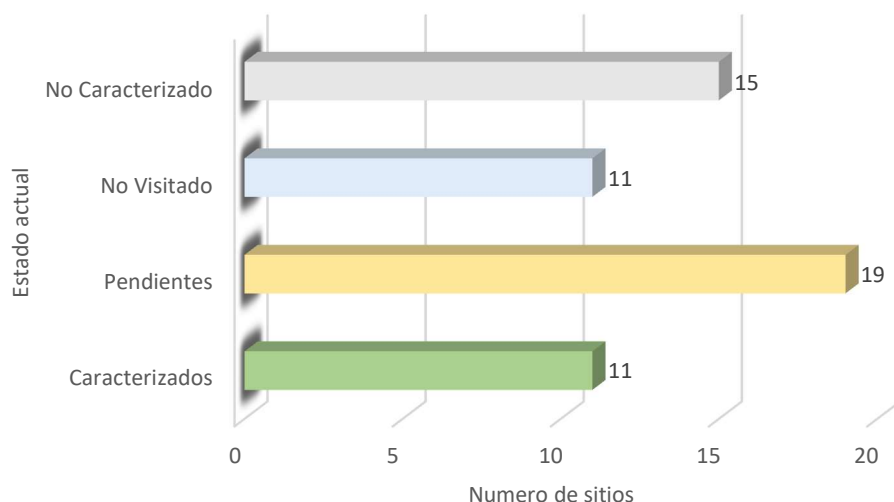


Gráfico 1 Que muestra el estado actual de de avance de los potenciales geositios y sitios de geodiversidad.

Por otro lado, a cada sitio se le ha asignado uno o más tipos de intereses (científico, educativo y/o geoturístico) con el fin de discriminar en primera instancia el potencial de uso de cada sitio. Los resultados arrojan que el geoturismo es principal interés de los sitios seleccionados de este territorio (Gráfico 2) seguido del científico y educativo.

Por último, dentro de los 55 sitios establecidos, todos los contextos geológicos reconocidos han sido representados (Gráfico 3). Cabe destacar que, un sitio puede verse representado por un distinto número de contextos debido a que es natural que exista mas de un proceso geológico involucrado en la evolución de un sitio. Dado que no todos los contextos tienen la misma influencia sobre el área de estudio y que su asimetría es consecuencia de un fenómeno natural, existen contextos geológicos que tienen una mayor cantidad de sitios que los representan. Esto no quita que dado condiciones como la accesibilidad, existan contextos que se vean sobre representados (p.ej. Volcánismo Cuaternario).o sub representados (p.ej Batolitos del Cenozoico)

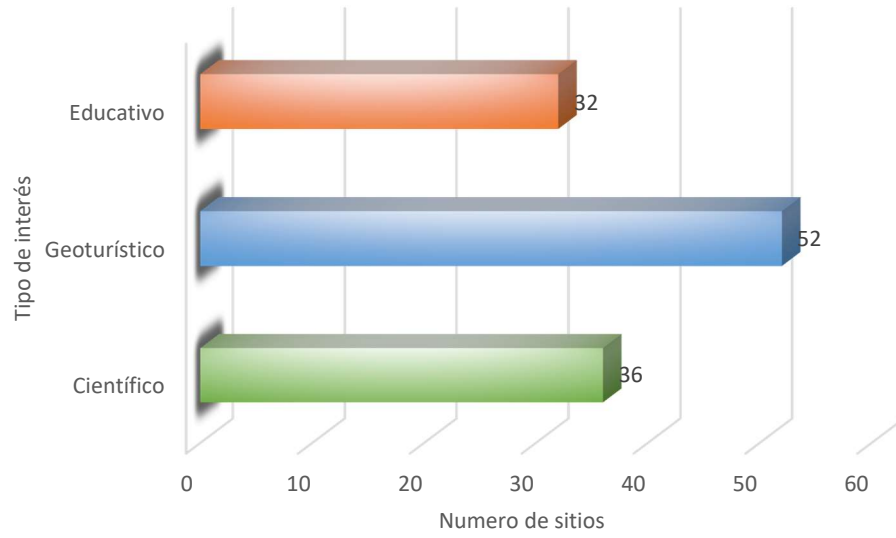


Gráfico 2 Que muestra el tipo de interés de los sitios preseleccionados.

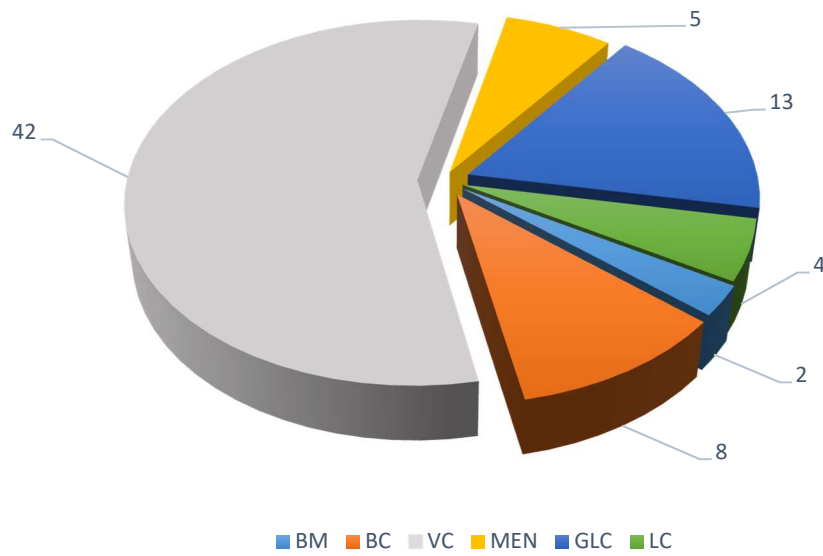


Gráfico 3 Que muestra los contextos representados por la preselección de sitios.

Capítulo 7 Inventario de sitios caracterizados en la comuna de Puerto Varas

Del total de sitios presentados en el Capítulo anterior, se han escogido 11 para ser caracterizados en este trabajo en base a los 4 criterios establecidos en la [sección 4.1 del Capítulo 4](#). El listado de sitios incorporados al inventario se presenta en la Tabla 16, su distribución en el [Mapa 5](#) y los contextos representados por estos en la [Figura 42](#)

Finalmente, se presenta una caracterización detallada para cada uno de estos sitios de acuerdo a lo establecido en la [sección 4.2 del Capítulo 4](#) relacionado al proceso de inventario.

Tabla 16 Listado de sitios inventariados.

Codigo	Nombre del Sitio	Contexto(s) Representado(s)	Tipo
PV01-VN	Disyunción columnar radial basáltica del Pleistoceno Superior, "Roca Abanico", Circuito Lago Llanquihue.	VNC	Geositio
PV02-VN	Geomorfologías y texturas cuaternarias de interacción con H ₂ O, "Saltos del Petrohué", Puerto Varas.	VNC, GLC	Geositio
PV03-VN	Cono eruptivo del flanco suroccidental de la erupción de 1835, "Cráter Rojo", Volcán Osorno.	VNC	Geositio
PV04-VN	Erupción fisural de 1835 en el flanco suroccidental, "La Fisura de 1835", Volcán Osorno.	VNC, MEN	Geositio
PV05-IN	Laguna entre lavas de la erupción de 1835, "Laguna Verde", Parque Nacional Vicente Pérez Rosales.	VNC	Sitio de Geodiversidad
PV06-GL	Depósito volcánico interglaciar pleistoceno de la salida trébol norte, "Piroclastos del Trébol Norte", Puerto Varas.	GLC, VNC	Geositio
PV07-IN	Depósitos morrénicos cuaternarios, "La Morrena", Ruta 225	GLC	Sitio de Geodiversidad
PV08-IN	Depósitos fluviales cuaternarios (?), "Gravas y Arenas", Playa Venado	Otro	Sitio de Geodiversidad
PV09-GL	Varves lacustres pro glaciares deformadas y fracturadas del Cuaternario, "Varves de Puerto Varas"	GLC, LC	Geositio
PV10-SE	Diques neptunianos cuaternarios en varves glaciares, "Volcanes de Arcilla", Puerto Chico.	GLC, LC	Geositio
FR01-GL	Varves lacustre pro glaciares deformadas y fracturadas del Cuaternario, "Varves de Frutillar".	GLC, LC	Geositio

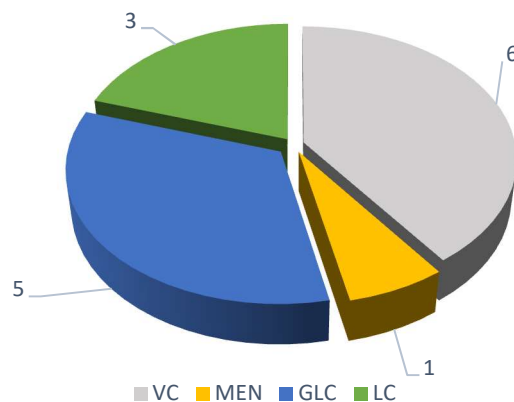
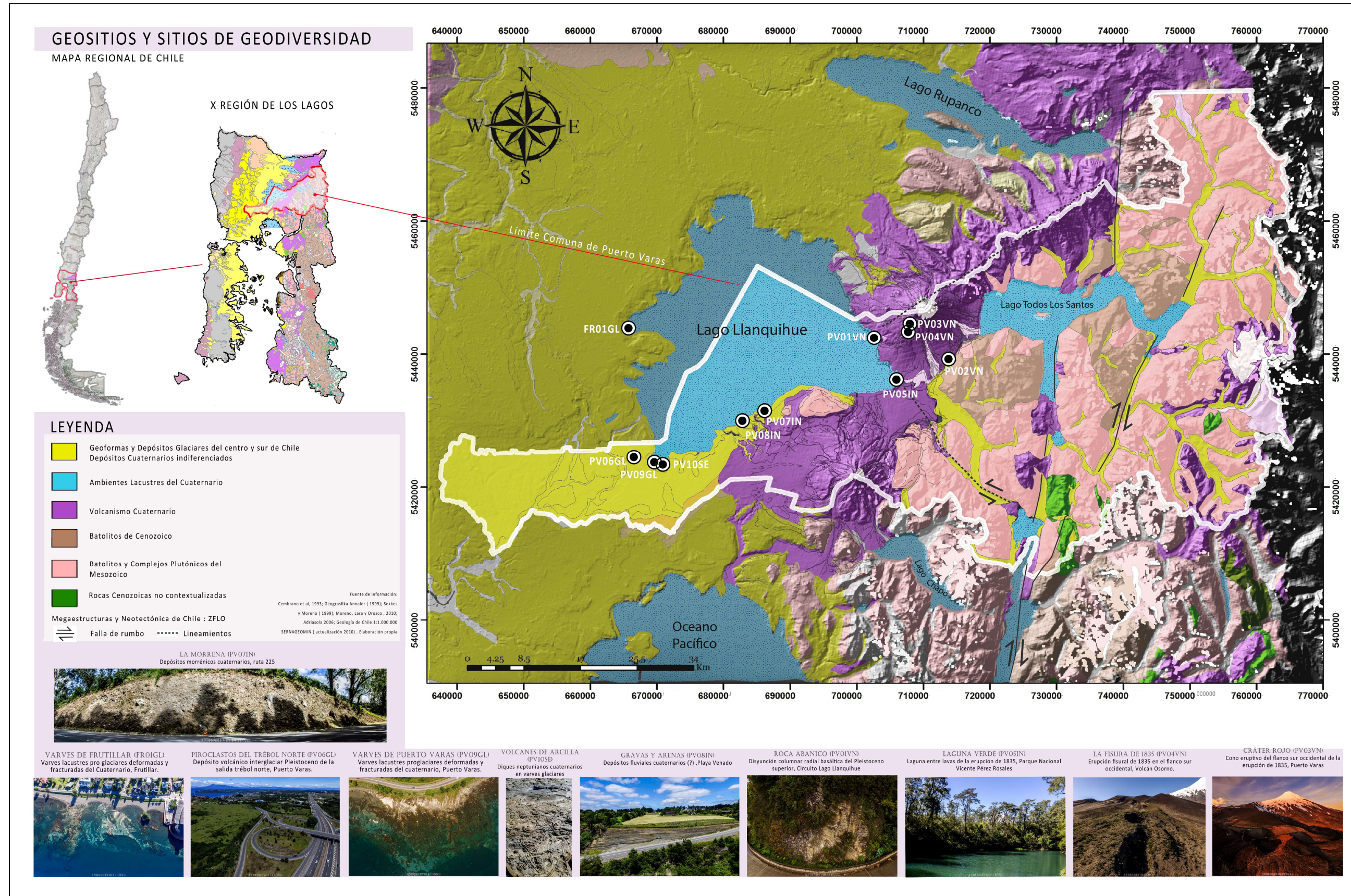


Gráfico 4 Que muestra la cantidad de contextos geológicos representados por lo sitios del inventario.



Mapa 5. Lamina que muestra los geositios y sitios de geodiversidad en un mapa de contextos geológicos.

ROCA ABANICO

Disyunción columnar radial basáltica del Pleistoceno Superior, Circuito Lago Llanquihue.

PV01-VN Disyunción columnar radial basáltica del Pleistoceno Superior, “Roca Abanico”, Circuito Lago Llanquihue.

Características Principales

Sitio de interés científico, educativo y geoturístico. Afloramiento de basaltos columnares en disposición radial que representan uno de los primeros depósitos del volcán Osorno.

Imagen y/o Esquema



Figura 42 Vista aérea en dirección norte que muestra tres afloramientos discretos con disyunción columnar clasificados según su morfología (Spry, 1961). **A:** Disyunción columnar de estilo *rossete*; ubicada a 10 m sobre el nivel actual de la carretera. **B:** Disyunción columnar de estilo *abanico* invertido, conocida como “Roca Abanico”. Actualmente puede ser visto desde un mirador construido en frente de él; **C** Disyunción columnar *errática*, con columnas verticales, oblicuas y horizontales formando en algunos casos estructuras estilo *chevron*.

Descripción General

Este sitio se encuentra ubicado en el kilómetro 82 de la ruta U-99-V que une las localidades de Ensenada y Las Cascadas, a nueve kilómetros desde la tenencia de Carabineros de Ensenada y al costado oriente del puente Abanico, cuyo nombre brinda tributo a este afloramiento.

Para visitar este lugar, existe un estacionamiento habilitado que requiere de mantención frente al afloramiento de estilo *rosette* (Ver A; Figura 42), y un mirador habilitado a 50 m para ver la disyunción columnar de abanico invertido. Debido a que los sitios se encuentran cercanos a la carretera, el desplazamiento entre un sitio y otro puede representar un riesgo a considerar, aun cuando existe berma y espacio suficiente para observar los afloramientos con detención.

Aunque un cartel que dice “Roca Abanico, Basalto Columnar Radial” busca llamar la atención de los visitantes, este lugar es poco frecuentado por visitantes autónomos y es escasamente considerado en programas turísticos locales. Actualmente no existe protección legal para este sitio ya que se encuentra fuera de los límites del PNVRP. Solo la carretera y las protecciones viales de concreto generan una separación entre el afloramiento y los turistas.

Aun cuando hay columnas basálticas en esta región, el buen estado de conservación de estas, su particular disposición radial, la variedad de estructuras en el sector y su contexto geológico, invisten este lugar de un valor científico con potencial de uso educativo y geoturístico.

Estas rocas corresponden al registro más antiguo del volcán Osorno y ha sido recomendado como un sitio de patrimonio geológico por Muñoz y Moreno (2011). Su formación sería resultado de la interacción de flujos de lava con hielos glaciares.

Aspectos Geológicos

Este sitio comprende tres afloramientos discretos de lavas basálticas de olivino de color gris con disyunción columnar. Aunque parte importante de los afloramientos está cubierta por vegetación, sus grandes dimensiones que superan la decena de metros de largo, ancho y alto permiten apreciar las diferentes morfologías columnares (Figura 42).

El afloramiento más conocido y estudiado, corresponde a los “Roca Abanico, Basalto Columnar Radial” (Moreno 1985; Moreno et al 2010, B; Figura 42). En rocas de este lugar se han determinado tres edades radiométricas: $198,0 \pm 49,0$ ka basalto Ar/ Ar masa fundamental (Moreno et al. 2010); 173 ± 57 ka basalto Ar/ Ar masa fundamental (Moreno et al. 2010); 149 ± 100 ka basalto K/Ar roca total (Moreno et al. 1985) y aunque de gran incerteza, permiten ubicarla en el periodo Pleistoceno Medio-Superior, es decir, dentro de las unidades más antiguas del volcán Osorno. Las columnas tienen largos variados, alcanzando hasta quince metros. Aunque es común que sus caras basales tengan entre cinco y seis lados, también las hay de cuatro y de hasta ocho lados, con un ancho que bordea los 50 cm, similares a las columnas del resto de los afloramientos presentes en el sector.

Lescinsky y Fink (2000) señalan que en los volcanes “maficos” (p.ej. volcán Osorno) , cuando ocurre una erupción que coexiste con un ambiente glaciar, muy pocas veces las lavas inician flujos de detritos o inundaciones debido a que no son capaces de producir grandes tasas de agua y a que el mecanismo para que el agua se estanque y se libere de manera súbita suele faltar (Major and Newhall, 1989), por el contrario, sí es común que en algunas etapas explosivas de una erupción en este tipo de volcánes, la caída de piroclastos puedan derretir rápidamente la nieve y hielos circundantes dando origen a grandes cantidades de agua de manera rápida (p.ej. Villarrica, (1971) y Hudson (1991); Gonzalez-Ferran 1973; Naranjo et al. 1993). Así el agua que no es convertida en vapor generada por hielo que se derrite, viaja libremente ladera abajo por los sistemas de drenaje, cuyo constante flujo comienza a erodar el hielo (Lescinsky y Fink, 2000). Sumado a esto, flujos de agua pueden hacerse espacio entre el hielo generando nuevas morfologías más aún si estos están calientes. Lescinsky y Fink (2000) señalan que las lavas tienden a seguir estas nuevas topografías y son frecuentemente confinadas por el hielo en trincheras (p.ej. Veniaminof (1983-1984), Alaska (Yount et al. 1985; Reeder y Doukas, 1994) o en tuneles subglaciales (p.ej. Hudson (1991) y Llaima (1994) (Naranjo et al. 1993; Moreno y Fuentealba, 1994)). De esta manera, la morfología de las lavas con contacto glaciar, está relacionada al emplazamiento que esta tenga dentro de este contexto. A esto, se suma que la orientación de las fracturas necesarias para generar una columna es perpendicular a la superficie de enfriamiento (Spry, 1961). Esto ya lo había notado Mathews (1951), quien propuso que las columnas poligonales horizontales (como el observado en los basaltos radiales) estaban relacionadas con el contacto con hielo. Dicho lo anterior, estos afloramientos discretos observados en este sitio se interpretan como lavas que se emplazaron en un ambiente glaciar (p.ej. Glaciación Llanquihue, Casma/Colegal), generando diferentes morfologías de confinamiento relacionada a la apertura de canales y tuneles en los glaciares.



Figura 43 Detalle de las caras basales de las columnas del afloramiento de la [Figura 42](#); B. Se puede ver las formas poligonales de 4,5,6,7 y hasta 8 lados.

Con respecto a las columnas, estas habrían sido originadas debido al enfriamiento progresivo de la lava que, al contraerse, genera fuerzas tensionales que abren una serie de grietas desde la superficie enfriada. Después, estas grietas aumentan de tamaño, juntándose entre sí hasta crear las formas poligonales. A medida que el enfriamiento continúa hacia el centro del cuerpo, las columnas empiezan a crecer en longitud de forma perpendicular a las superficies de enfriamiento. Las siluetas son similares a las que aparecen en los barro secos, donde las fuerzas de contracción se desencadenan debido a la pérdida de agua.

Estudios Sugeridos: Nuevas edades radiométricas que puedan disminuir el error actual (edades no publicadas han rebajado la edad este afloramiento (Orihashi, transmisión por correspondencia) y ayuden a mejorar la interpretación de este estudio. Estudio en detalle de la morfología de la unidad, su distribución y condiciones de emplazamiento.

SALTOS DEL PETROHUÉ

Geomorfologías y texturas cuaternarias de interacción con H₂O, Petrohué

PV02-VN Geomorfologías y texturas cuaternarias de interacción con H₂O, Saltos del Petrohué, Petrohué

Características Principales

Sitio de interés científico, educativo, turístico y geoturístico con afloramientos de valor para la investigación e interpretación. Hoy solo se trata de visitas rápidas a los saltos de agua.

Imagen y/o esquema



Figura 44 Vista aérea de los Saltos del Petrohué y su nueva pasarela Diatomea. Desde el cielo se puede ver como el agua se abre paso entre los basaltos, generando saltos que dan origen a diversas morfologías de origen fluvial.

Descripción General

El sitio se encuentra a 6 kilómetros al sur de Petrohué, a 76 kilómetros al este de Puerto Varas y a 96 kilómetros al noroeste de Puerto Montt. Para llegar, es necesario tomar la ruta internacional 225 hasta el sector de los saltos, lugar donde se acaba el actual camino pavimentado.

Saltos del Petrohué es uno de los destinos más visitados dentro del parque nacional Vicente Pérez Rosales, incluido en la mayoría de los programas turísticos de la zona y alcanzando cientos de miles de personas que lo visitan en la temporada estival (el año 2016 se registraron más de 500.000 visitantes).

Existen espacios habilitados para estacionar todo tipo de vehículos y buses, además de estacionamientos privados y buses públicos que son muy utilizados por los mochileros de la zona. Para ingresar es necesario pagar una entrada que permite acceder a todos los senderos, pasarelas e instalaciones.

Como se trata de un parque nacional, el organismo local que ejerce la administración del territorio es CONAF, cuya normativa es estricta y no permite realizar actividades de manera deliberada en él, por lo que es necesario de autorizaciones previas para realizar, por ejemplo, investigaciones científicas.

A unos 2,5 km de este sitio, se encuentran varios sectores recreativos como son; “La Máquina”, en donde se realiza escalada deportiva; Petrohué donde es posible abastecerse; el centro de información de Conaf; y el museo que reúne gran parte de la historia del parque, siendo un atractivo de alta calidad para quienes quieren conocer un poco de la historia del entorno.

Este lugar es muy valorado desde un punto de vista escénico, siendo el sitio principal del PNVPR. No obstante, los saltos y su

belleza no es lo único que inviste a este lugar. Tanto los afloramientos de roca que dan origen a los saltos, las escarpadas montañas de rocas cristalinas que se empinan hacia el sur, o las columnas que se encuentran en el sendero de Los Enamorados, son excelentes ejemplos para ilustrar los primeros eventos eruptivos del volcán Osorno, complementando este atractivo turístico con información científica. Más aun, la gran variedad de características geológicas que se observan en este lugar, pueden incluirse en cualquier programa de turismo científico y/o educativo, siendo una oportunidad para la interpretación del paisaje y el aprendizaje en ciencias de la Tierra.

Aspectos Geológicos

Uno de los destinos favoritos de los visitantes del PNVR, son los saltos de agua producidos en el río Petrohue. Estos saltos, posibles de ver desde la pasarela "Diatomea" son producto de la acción erosiva del río sobre flujos de lava del volcán Osorno emitidos durante el Pleistoceno Superior (Sección 5.6.3; Unidad Osorno 2). Aunque hoy es un río el que erosiona estas lavas, su textura "craquelada" (Figura 45, C) sugiere un emplazamiento en un ambiente de interacción entre lavas y hielo (Lescinsky y Fink, 2000), por lo que posiblemente estos flujos de roca fundida habrían interactuado con hielos glaciares que descendían desde el valle andino abriéndose paso entre los complejos plútonicos aledaños (p.ej. Sierra de Santo Domingo) y el flanco sur del volcán Osorno.



Figura 45 Fotografías que muestran diferentes aspectos del sector de los saltos en la pasarelas "Diatomeas". A. Vista panorámica en dirección NW. Se puede ver como el río en sus crecidas ha erosionado las lavas suavizando el relieve. B. Vista en dirección Norte. Se puede ver como el agua se abre paso entre las lavas. Las paredes verticales producidas permiten ver texturas como las observadas en C. Texturas *Hackly* redondeadas por el paso del río fueron desarrolladas por el rápido enfriamiento de estas lavas. En algunos sectores, también han sido observados sistemas de fracturamiento tipo *Pseudopillow*.

Pero "Los Saltos del Petrohué" no son lo único que llama la atención desde un punto de vista geológico. Además de las pasarelas tradicionales, existen algunos senderos que pueden ser recorridos. En particular el sendero "Los Enamorados", posee un atractivo geológico que muchas veces pasa inadvertido. Además de la gran cantidad de cenizas volcánicas de la erupción del volcán Calbuco en 2015, al inicio del sendero es posible encontrarse con un afloramiento que muestra otro tipo de fracturamiento que forma estructuras planares (Figura 46).



Figura 46 Fotografía que muestra un frente de lava en el inicio del sendero Los Enamorados que ha desarrollado un “desdoblamiento” mediante fracturas planares, posiblemente relacionado a una última etapa de cizalle en una fase de enfriamiento de este frente de lava

Más adelante se puede ver al costado norte del sendero, y entre los bosques, unos afloramientos de lava de unos 7 metros de alto que poseen disyunción columnar incompleta (Figura 48). Más aún, en estas columnas es posible ver bandas de fractura que son pequeñas líneas horizontales perpendiculares al crecimiento de la columna. Estas bandas se relacionan al crecimiento incremental (δc ; Figura 47) de las fracturas primarias que dan origen a las columnas durante el enfriamiento. Esto debido a que el crecimiento es cíclico y va desde la superficie de enfriamiento hasta la zona fundida, resistente al corte, en donde se estabiliza (formando bandas), a la espera de un nuevo régimen frágil durante el enfriamiento (Ryan y Sammis 1978; DeGraff y Aydin, 1987; en DeGraff y Aydin, 1993).

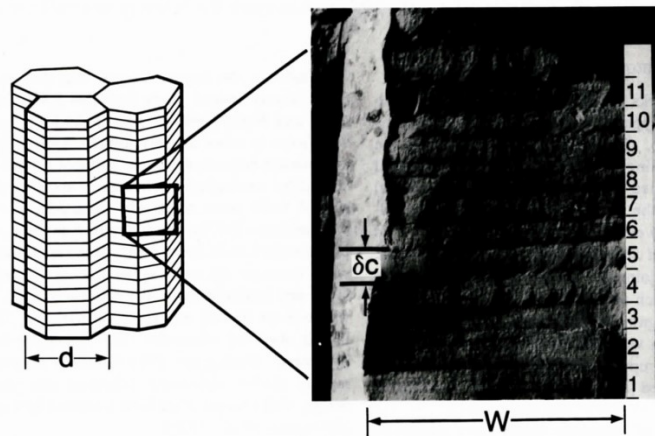


Figura 47 Tomado de DeGraff y Aydin (1993). Geometría de los empalmes de contracción termal en una lava basáltica. d: diámetro de la columna, δc : incremento del crecimiento, ancho de la cara de la columna.

Todas estas características, junto con las edades sugeridas por Moreno *et al.* (2010) y los conocimientos de las glaciaciones en el territorio (p.ej. Denton *et al.* 1999), permiten pensar que efectivamente estas lavas se emplazaron en un ambiente con disponibilidad de hielo y agua, durante el Pleistoceno.

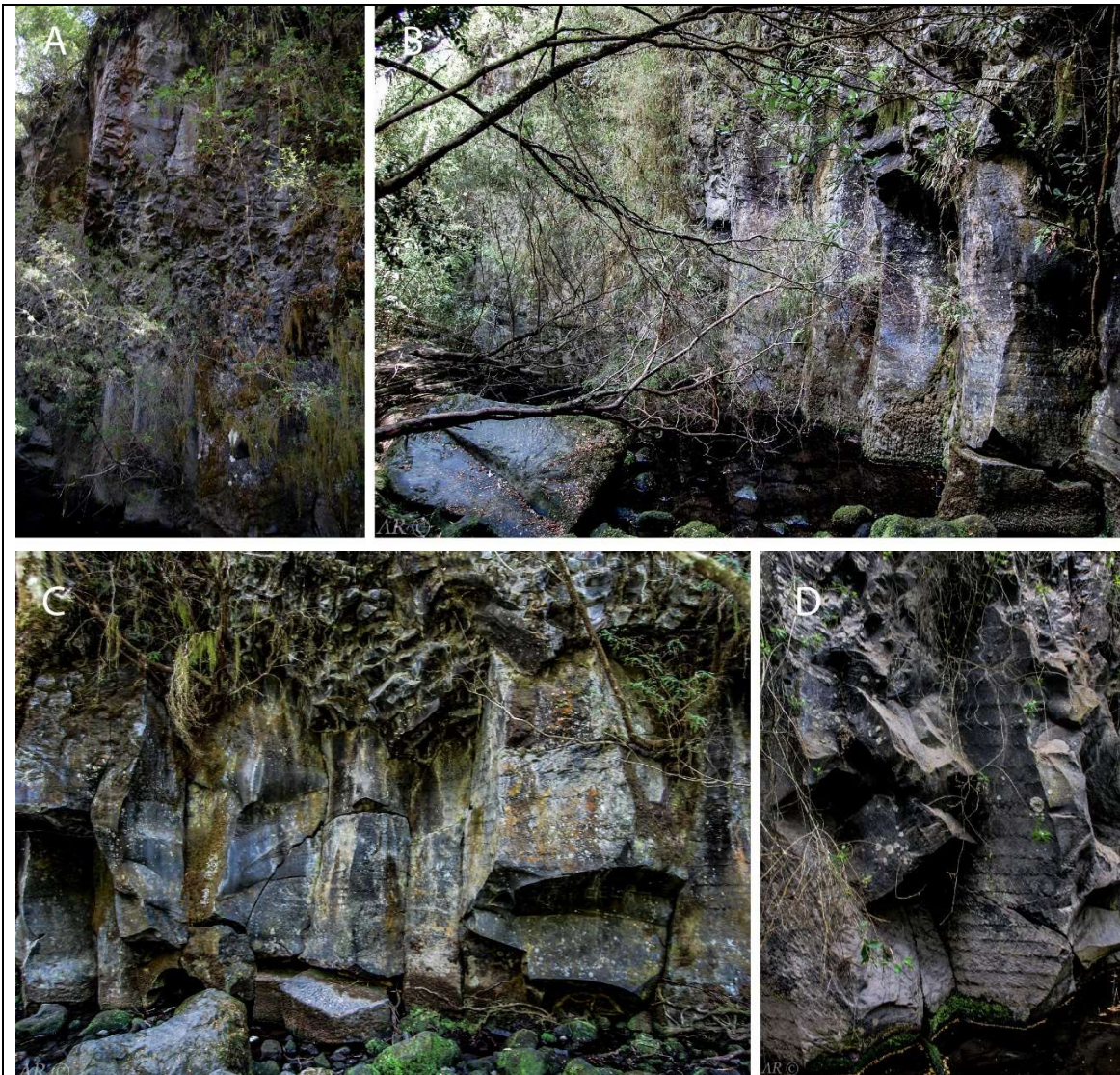


Figura 48 Fotografías de las disyunciones columnares en lavas y sus características. A. Se puede ver como las columnas existen tanto en la parte alta como baja de la colada, mientras que en el centro, dominan las estructuras rugosas. B y D: Se puede ver las bandas o generadas en las columnas. Estas bandas se deben al crecimiento incremental de las fracturas verticales producto de la relajación de un flujo basáltico de alta temperatura mientras se enfria. C: Es posible notar como hacia la parte baja predomina el tipo de fracturamiento columnar y en la parte alta el fracturamiento rugoso.

Mientras que este sendero presenta características geológicas, el resto de los senderos (p.ej. Carilemu) presenta una gran biodiversidad y sectores en donde existen bosques de arrayanes únicos en la comuna. ([Figura 49](#))

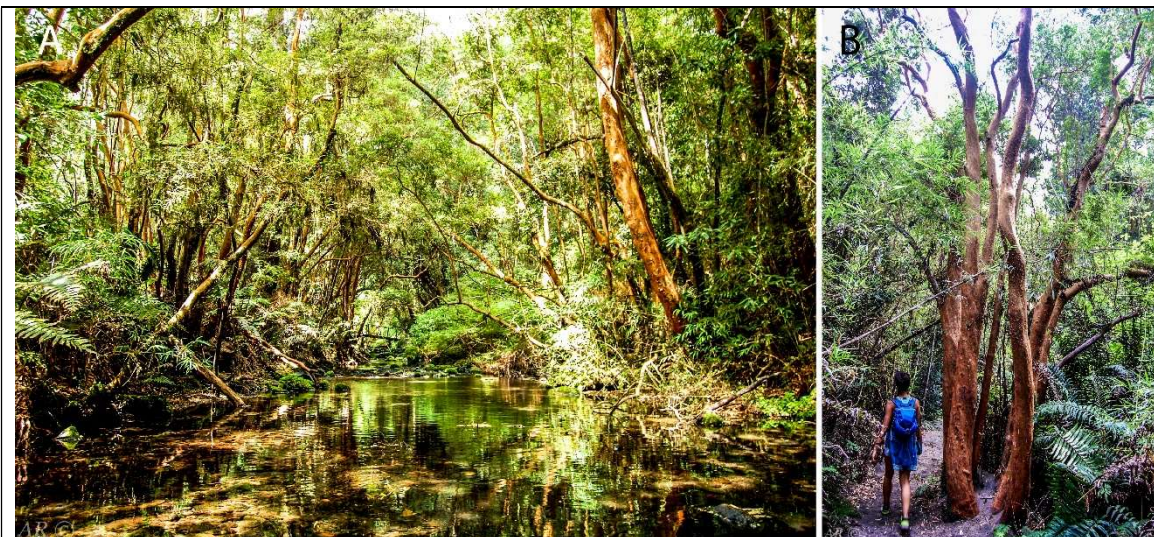


Figura 49. Fotografía del Bosque de Arrayanes en el sendero interpretative Carilemu.

Estudios Sugeridos: La gran cantidad de morfologías de interacción lava con agua/hielo podrían ser estudiadas de manera detallada (p.ej. Forbes *et al.* 2014) lo que sería de gran impacto para comprender de mejor forma el volcanismo en el Pleistoceno. Estudios en detalle de las bandas formadas en las columnas, podrían determinar velocidades de enfriamiento.

CRÁTER ROJO

Cono eruptivo del flanco suroccidental de la erupción de 1835, Volcán Osorno

PV03-VN Cono eruptivo del flanco suroccidental de la erupción de 1835, “Cráter Rojo”, Volcán Osorno

Características Principales

Sitio de interés científico, educativo, turístico y geoturístico en donde se puede ver uno de los conos monogenéticos del flanco suroccidental del volcán Osorno construido durante la erupción de 1835.

Imagen y/o Esquema

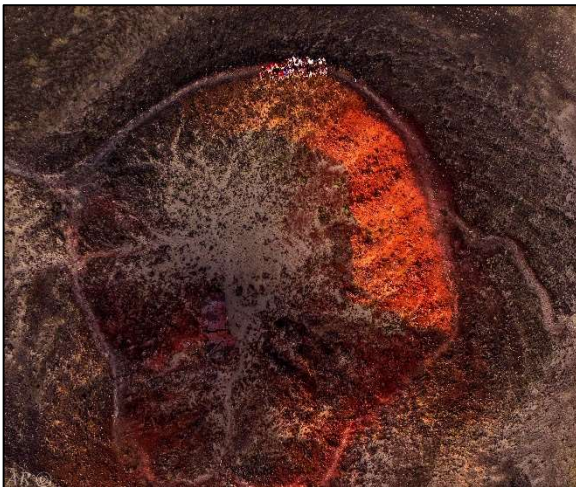


Figura 50 Durante el año 1835, el volcán Osorno tuvo múltiples episodios eruptivos. Uno de ellos, dio origen a este cono de escoria en el flanco suroeste del volcán que fue visto por el HMS Beagle. Darwin escribió:

A media noche el centinela observó algo como una gran estrella, que gradualmente incremento su tamaño hasta cerca de las 3 de la mañana, cuando presenciamos un muy magnifico espectáculo. Con la ayuda de un telescopio vimos en medio de un gran resplandor de luz roja, negros objetos en constante sucesión siendo lanzados para luego caer. La luz era suficiente para proyectar en el agua un gran reflejo de luz... Por la mañana el volcán recobra su tranquilidad. (Darwin, 1838).

Arriba: fotografía aérea con vista hacia el NE del Cráter Rojo. Atrás es posible ver al volcán Osorno. | Izquierda: fotografía con vista de planta del Cráter Rojo.

Descripción General

El volcán Osorno se encuentra ubicado en las dependencias del PNVPR y posee una sede administrativa propia en el sector suroccidental del volcán. También en este flanco, existe el conocido refugio de montañismo TESKI BodyBreakfast y la concesión Ski y Outdoors (Figura 51) que tiene servicios de cafetería, restaurante, baños y circuitos alrededor del sector oeste del volcán. Sumado a esto, dos refugios en estado de abandono se encuentran en este lugar, con altísimos potenciales de hotelería. Durante el invierno, el principal atractivo del volcán es el ski, no obstante, otras actividades como tirolesa y caminatas

pueden ser efectuadas. La temporada estival en el volcán Osorno trae consigo un cambio en el régimen pluvial y nival que dan lugar a la aparición de diversas morfologías y estructuras asociadas a la evolución geológica del volcán producto del retiro de las nieves en las zonas más bajas. Es en esta época en donde la ascensión a la cumbre del volcán y las caminatas de diferentes senderos aparecen como las principales actividades a desarrollar. Bajo este contexto, muchos de los sectores del volcán son ejemplos excepcionales insitu de la actividad volcánica.



Figura 51 Fin del camino pavimentado que asciende al volcán Osorno. Cafetería de Ski y Outdoors en el volcán Osorno

Desde un punto de vista histórico, gran parte del flanco suroccidental registra los productos del último proceso eruptivo del volcán Osorno (Petit-Breuilh, 1999) y fue perpetuado por los diarios de navegación del HMS Beagle (Darwin 1838, 1839). Si bien, el sector de influencia de la erupción de 1835 es bastante extenso para ser visitado, existen algunos lugares emblemáticos que ilustran muy bien algunos procesos, como es el caso los sitios Cráter Rojo y la Fisura de este inventario con un alto potencial educativo e interpretativo.

Por último, las características actuales de acceso, servicios e instalaciones, junto con un sendero delimitado que se inicia en la concesión Sky y Outdoors permiten seguridad al usuario y la conservación del lugar. Todo esto hace de este sitio un lugar perfecto para la visitación tanto por su potencial educativo como por sus atractivos escénicos.

Aspectos Geológicos

Este sector suroccidental del volcán posee varias manifestaciones eruptivas como conos piroclásticos, cráteres de explosión, fisuras eruptivas y bombas entre otras, que se habrían originado en la erupción del año 1835 (Figura 52).

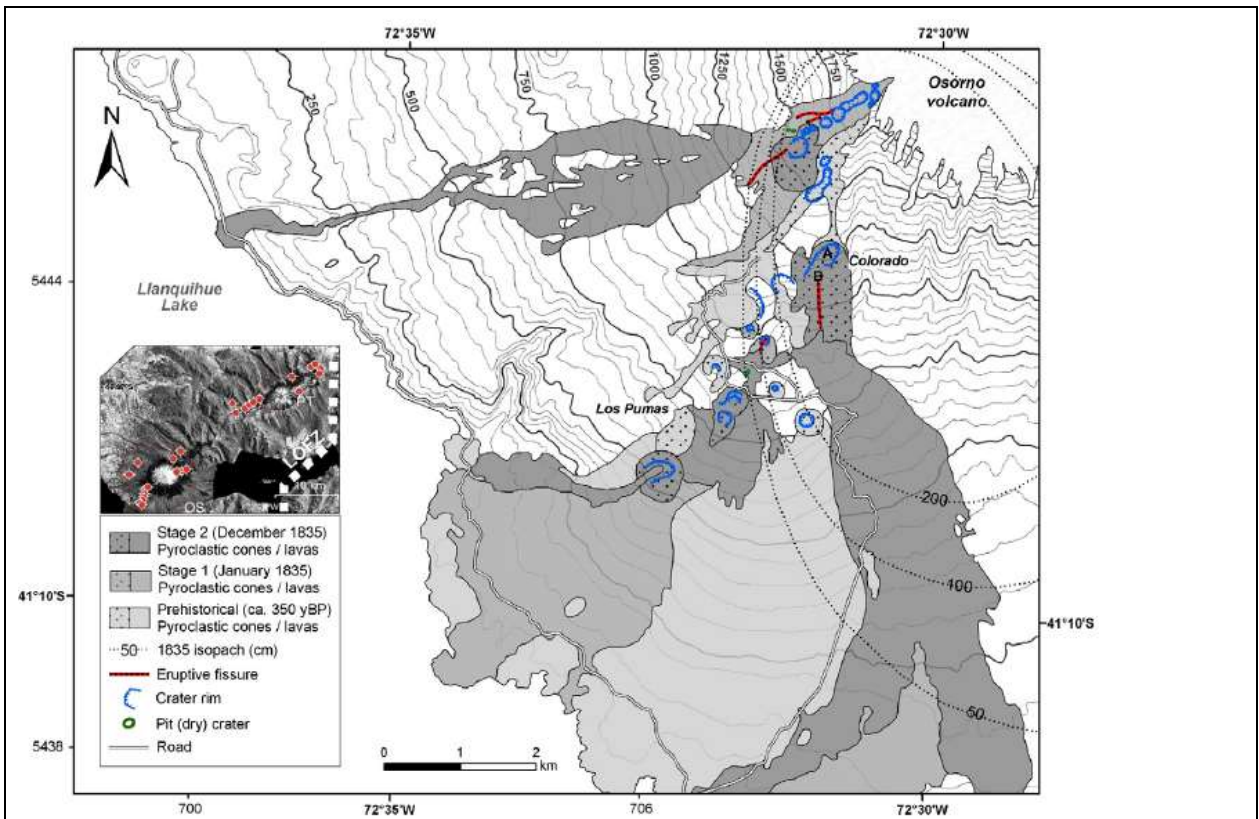


Figura 52 Mapa geológico que muestra las principales etapas eruptivas de 1835, su distribución y productos asociados. Tomado de Lara *et al.* (2012).

Uno de los lugares iconos de esta erupción es el Cráter Rojo. Este, es un cono de flanco formado a partir de la acumulación de material piroclástico incandescente arrojado desde un punto de emisión o cráter central en forma radial y balística. La forma cónica se debe al ángulo de descanso natural (alrededor de 30°) del material acumulado, similar a lo que sucede en un reloj de arena. La coloración es producto de la oxidación de los productos volcánicos ricos en hierro

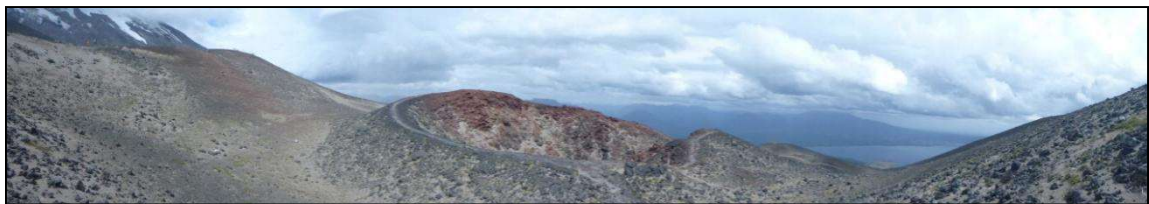


Figura 53 Imagen panorámica con vista al sur del cono de piroclastos Cráter Rojo.

A diferencia de los demás conos de características similares que se encuentran en este sector, éste preserva una prominente pared de un dique dentro del cráter (Orozco, 2009; Lara *et al.* 2012) que lo vuelve excepcional desde un punto de vista científico debido a que las relaciones entre los conos piroclásticos, diques, cráteres y fisuras son fundamentales para establecer relaciones con la tectónica (Nakamura, 1977). En este contexto, el sistema de centros eruptivos de 1835 y su disposición general NNE-SSW ha sido estudiada debido a su estrecha relación con el régimen tectónico actual, vinculando dos áreas de la geología: el volcanismo y la tectónica (Orozco, 2009; Cembrano y Lara, 2009; Lara *et al.* (2012).

Distinto a cómo lucía hace algunos años, hoy gran parte del material piroclástico de color pardo que cubre este cono, (que tiene colores negros y rojizos) corresponde a lapilli proveniente de la erupción del 22-23 de abril del volcán Calbuco, lo que ilustra la activa dinámica volcánica del territorio.

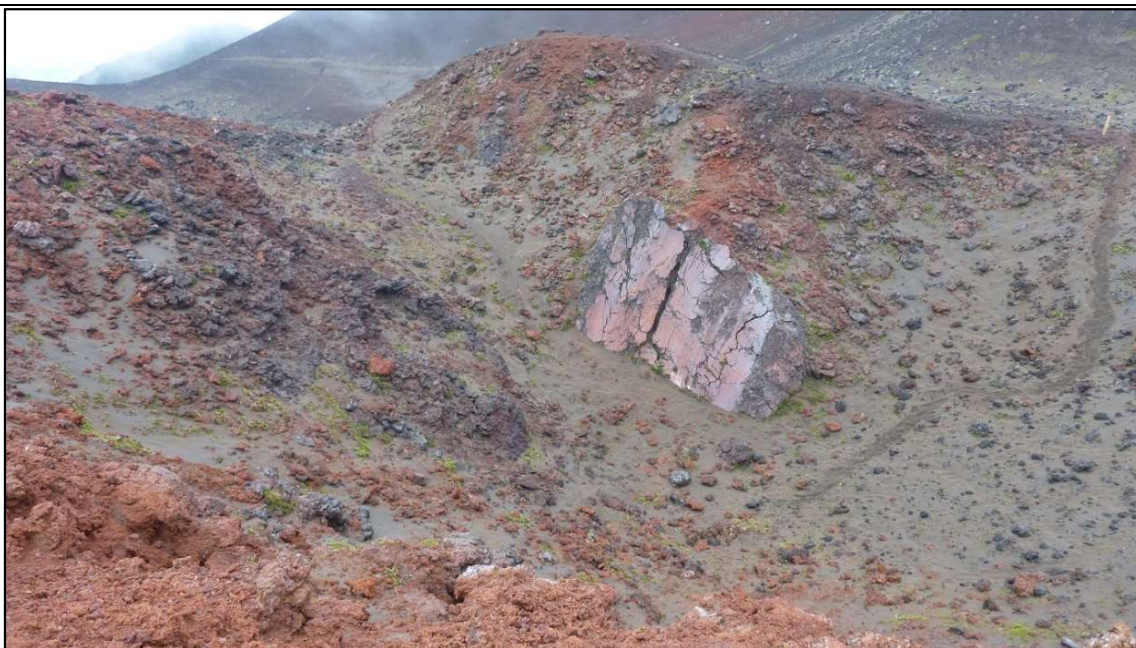


Figura 54 Fotografía con vista al norte, que muestra una conservada pared de dique dentro del cráter. Por otro lado, se puede observar un material que cubre la superficie de color pardo-verdoso, correspondiente a lapilli y ceniza emitida durante la erupción del 22-23 de abril 2015 del volcán Calbuco.

Otro aspecto interesante de este cono y sus alrededores, es una secuencia de piroclastos depositados en dirección opuesta a la pendiente de la ladera ([Figura 56](#)) encontrada hacia el sector oeste del cráter Colorado que, posiblemente, refleje antiguos episodios eruptivos del volcán Osorno y/o Calbuco apilados en un antiguo cráter erodado. Esta secuencia se encuentra alterada exhibiendo intensos colores amarillos, naranjos, rojos y negros, muy atractivos desde un punto de vista escénico, donde existen diferentes tipos y tamaños de piroclastos, procesos y estructuras relacionados a su deposición y sus distintas respuestas a la alteración producto de su variada composición (p.ej % Fe)



Figura 55 Bomba a unos 100 metros del cráter cuyo origen es desconocido. Este fragmento de lava fue expulsado a gran velocidad, viajando por el aire, enfriándose y adquiriendo una morfología aerodinámica.

Desde un punto de vista interpretativo, las características de las cubiertas vegetales aportan una información relevante a la hora de estimar la historia de distintos eventos eruptivos. En una visión panorámica del volcán, bajo la línea de las nieves (desde esa altura hacia abajo, se concentra el crecimiento de vegetación) se puede ver claramente como los eventos de 1835 están escasamente cubiertos, o bien, cubiertos de vegetación muy joven y de menor tamaño que aquellos depósitos más antiguos. De esta forma, se reconoce una relación directa entre el tamaño y densidad de la vegetación, y la edad de los productos volcánicos sobre los cuales se desarrolla.

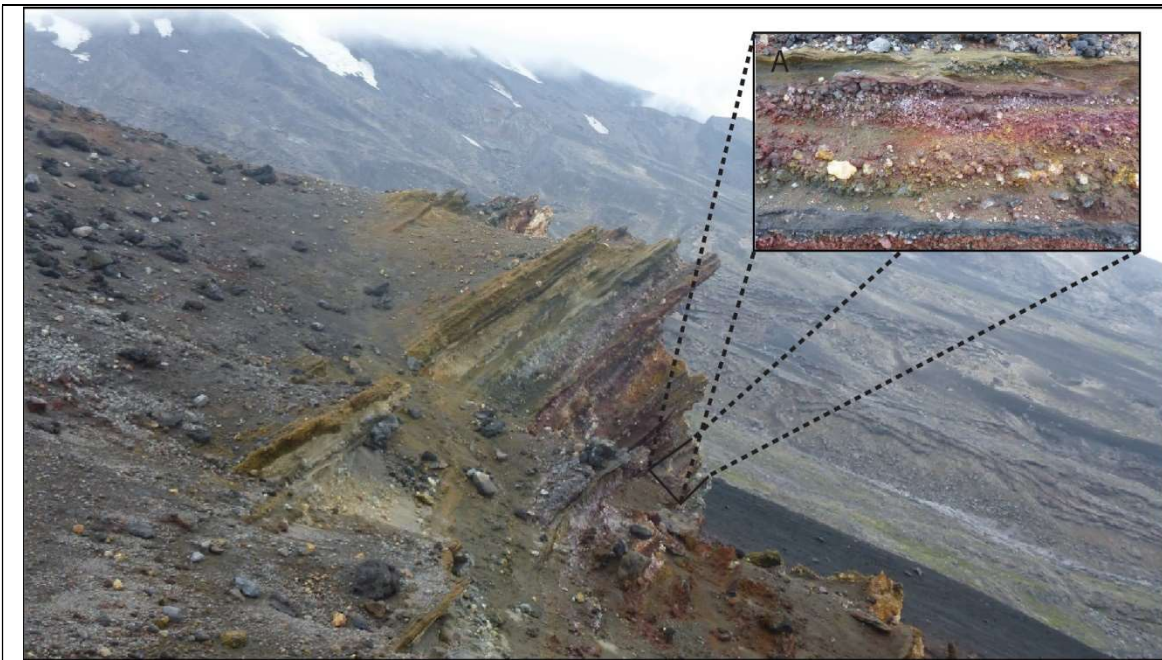


Figura 56 Muestra el afloramiento de unos 4 metros de alto de depósitos piroclásticos con diferentes colores producto de la alteración de estos que son muy ilustrativos para reconocer las diferentes capas de caídas de lapilli, de ceniza, marcas de impacto y otros. Otro aspecto interesante es su disposición. Su manteo en dirección opuesta (perpendicular) a la ladera actual, permite sugerir que se trate de un antiguo cráter erodado. Vista hacia el nororiente.



Figura 57 Vista hacia el suroeste desde las telesillas al Cráter Rojo. Al fondo se pueden observar dos bosques distintos. Mientras que el joven, más bajo y menos denso está construido sobre las lavas de la erupción de 1835, el bosque más viejo está emplazado sobre antiguos depósitos holocenos. Gracias a estas diferencias, los geólogos muchas veces pueden distinguir diferentes unidades en entornos de mucha vegetación.

Estudios Sugeridos: Los depósitos piroclásticos (Figura 56) sugieren la antigua existencia de un centro de emisión en el sector este del cráter rojo, verificar esto puede ser un gran aporte. Además, las diferentes secuencias piroclásticas pueden entregar información de erupciones inéditas del volcán Osorno y/o Calbuco.

LA FISURA DE 1835

Erupción Fisural de 1835 en el flanco suroccidental, Volcán Osorno

PV04-VN Erupción Fisural de 1835 en el flanco suroccidental, "La Fisura de 1835", Volcán Osorno

Características Principales

Sitio de interés científico, educativo y geoturístico en el que se puede ver una fisura eruptiva que tuvo origen en 1835 y fue vista por el HMS Beagle en que viajaba Darwin.

Imagen y/o Esquema

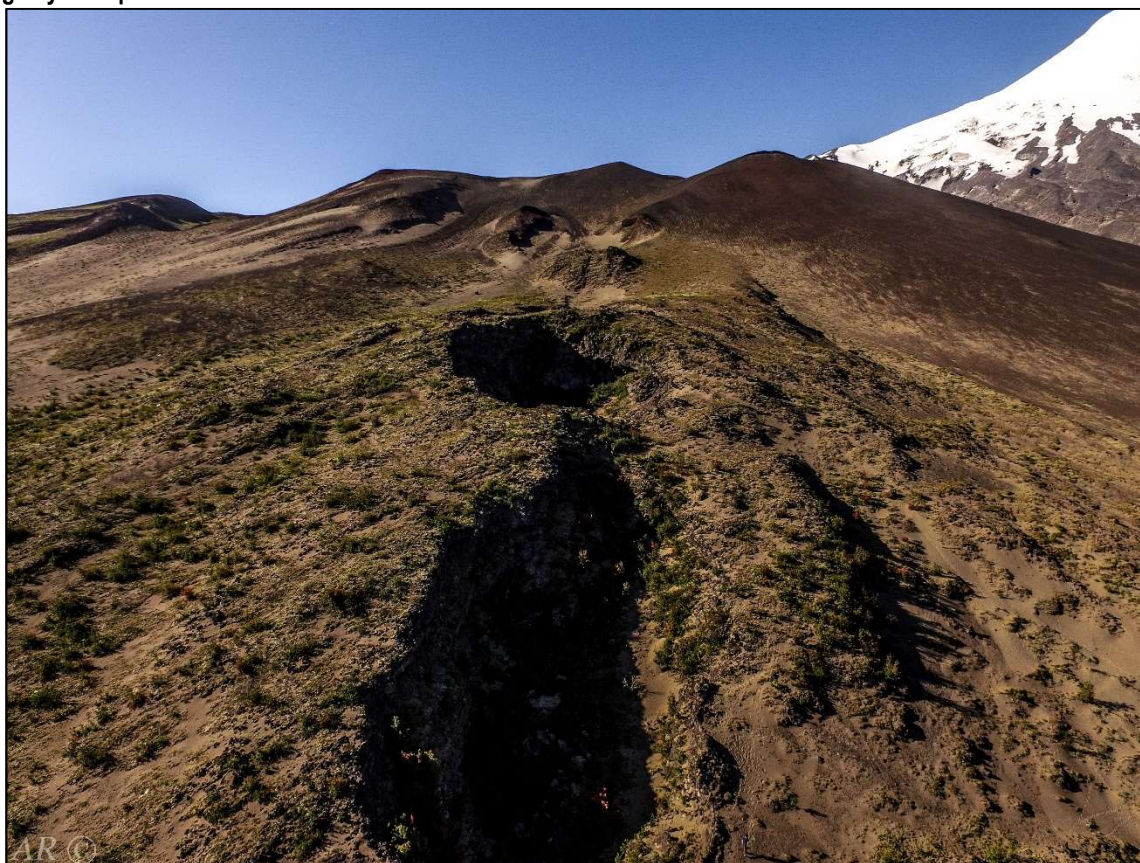


Figura 58 Fotografía aérea con vista hacia el N10°O. Se puede ver el sector norte de la fisura eruptiva de la erupción de 1835, en el flanco suroccidental del volcán Osorno (en segundo plano a la derecha).

Descripción General

Este sitio se encuentra a unos 500 metros del sitio "Cráter Rojo" en el flanco suroriental del volcán Osorno, ubicado en las dependencias del PNVPR que posee una sede administrativa propia en este mismo sector. A menos de un kilómetro hacia el norte, existe un conocido refugio de montañismo llamado TESKI BedyBreakfast junto con la concesión Ski y Outdoors que tiene servicios de cafetería, restaurante, baños y circuitos alrededor del sector oeste del volcán. Sumado a esto, dos refugios abandonados por razones históricas, con altísimos potenciales de hotelería. Durante el verano, la disminución de las precipitaciones, los días soleados y el derretimiento de las nieves en las faldas del volcán, permiten que actividades como bicicleta, tirolesa y caminatas sean el principal atractivo, siendo las telesillas un buen medio de acercamiento a los sectores altos del volcán en donde existe una muy buena panorámica del territorio.

Desde un punto de vista histórico, gran parte del flanco suroccidental registra los productos del último proceso eruptivo del volcán Osorno (Petit-Breuilh, 1999), el que fue perpetuado por los diarios de navegación del HMS Beagle.

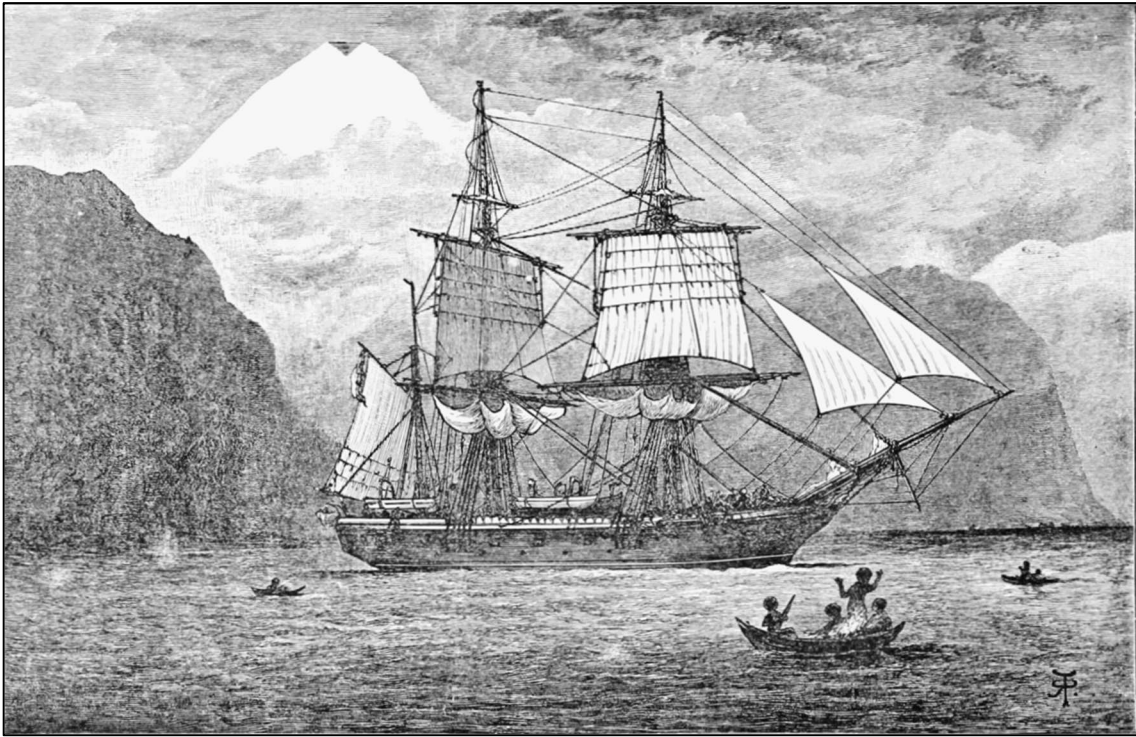


Figura 59 El HMS Beagle en su paso por Chile. En esta ilustración se encuentran en el estrecho de Magallanes. Tomado de la revista The Popular Science Monthly, mayo de 1900.

Durante esta erupción, se formaron numerosos cráteres y fisuras asociados a distintos episodios de actividad volcánica que tienen un alto valor científico, educativo y turístico. Aun así, no existen senderos habilitados debido a su mayor dificultad y a la escasez de información que entregan los servicios turísticos cercanos ubicados a menos de 1 km de este lugar. Esto, hace que exista un riesgo tanto por los precipicios que se forman en la fisura, como también un daño a la flora y fauna del parque nacional si no se recorre de manera apropiada.



Figura 60 vista hacia el sur desde las telesillas. Se pueden ver varios conos de flanco en la ladera del volcán. Al fondo, se encuentra el volcán Calbuco.

Aspectos Geológicos

Durante los años 2014-2015 uno de los volcanes más grandes de Islandia, Bardarbunga, hizo erupción en el sector de Holuhraun (Figura 61). Se trató de una fisura eruptiva que originó durante varios meses, un continuo flujo de lava desde su interior, mientras arrojaba material fundido al aire.



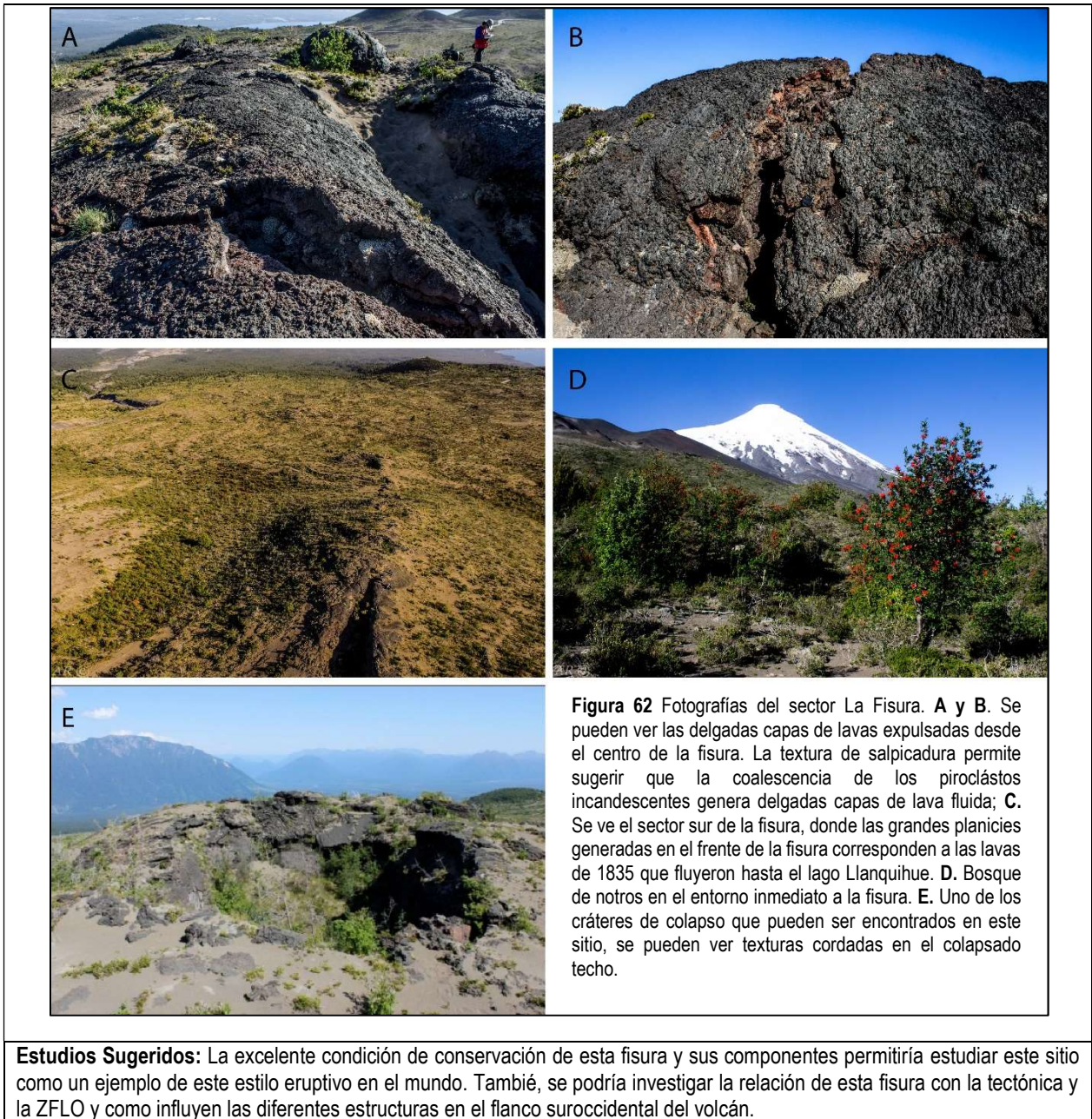
Figura 61 Volcán Bardarbunga, fisura eruptiva de Holuhraun, 2014-2015.

En Chile, 180 años antes un evento de estilo eruptivo similar se registraba en el cuaderno de navegación del HMS Beagle, que era comandado por Fitz Roy y traía a bordo al naturalista inglés Charles Darwin quien escribía lo siguiente:

“el Volcán Osorno se divisaba desde el Beagle, en un estado de erupción, delgadas líneas de lava incandescentes brillaba sobre sus flancos y se sintieron sacudimientos en el buque como si se escurriese la cadena del ancla” (Darwin, 1839).

La gran cantidad de magma que fue emitido durante esta erupción, permitió que coladas de lava avanzaran varios kilómetros formando texturas cordadas y grandes túneles de lava (p.ej. “cráter” La Burbuja) que permitieron que las lavas se precipitaran en el lago Llanquihue formando, entre otras cosas, la conocida laguna Verde ([ver sitio Laguna Verde](#)).

La fisura que se elonga de norte a sur tiene más de 600 metros de exposición en superficie y su continuidad solo se ve interrumpida por grandes cráteres (de hasta 60 m de diámetro) formados durante explosiones y colapsos. Mientras que en los sectores altos el ancho de la fisura es mayor y predominan fragmentos piroclásticos soldados, en los sectores bajos la fisura se vuelve estrecha terminando en un cráter de colapso en donde se pueden ver texturas cordadas en un fragmento del techo caído. A lo largo de la fisura, también es posible ver la manera en que están dispuestas las delgadas capas de lava.



LAGUNA VERDE

Laguna entre lavas de la erupción de 1835, Parque Nacional Vicente Pérez Rosales

PV05-IN Laguna entre lavas de la erupción de 1835, "Laguna Verde", Parque Nacional Vicente Pérez Rosales

Características Principales

Este sitio de interés turístico y geoturístico, se sitúa en el sendero "Laguna Verde" del Parque Nacional Vicente Pérez Rosales. Se trata de una laguna color verde rodeada de lavas basálticas asociadas a la erupción de 1835.

Imagen y/o Esquema

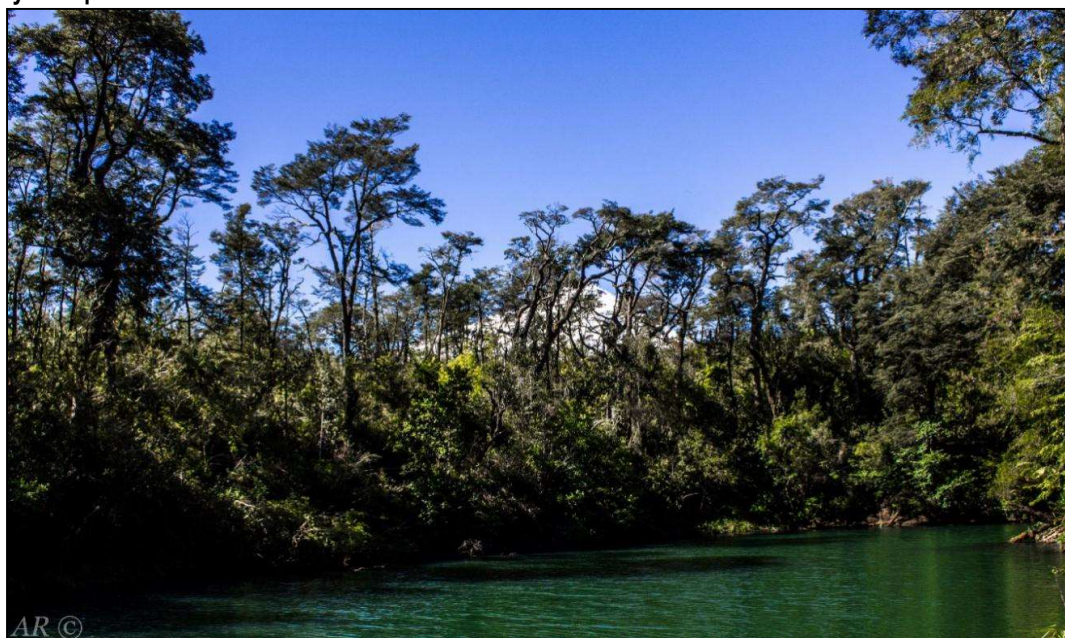


Figura 63. Se puede ver la laguna Verde, cuyas características aguas verdes le dan su nombre. Alrededor crece un joven bosque de coigües. Vista hacia el noreste.

Descripción General

El sector de la laguna Verde se ubica en la localidad de Ensenada, en el extremo sureste del límite del parque nacional Vicente Pérez Rosales, convirtiéndose en el primer atractivo que se encuentran muchos de los visitantes. Las oficinas de CONAF que resguardan el ingreso a la laguna Verde, se encuentra a unos 700 m del cruce entre las rutas 225 (Puerto Varas – Ensenada-Petrohué) y la U-99-V (Ensenada – Las Cascadas – Puerto Octay), lugar donde también se establece la tenencia de Carabineros de Ensenada. Una vez ahí, es necesario tomar el sendero gratuito "Laguna Verde" que tiene aproximadamente 200 m de extensión.



Figura 64. A: Cuentas públicas 2015 en el salón de las oficinas de CONAF en laguna Verde*. B. Quiosco concesionado por la Agrupación de Artesanas de la Murta.

Este sector entrega servicios básicos de baño y posee un quiosco concesionado por la Agrupación de Artesanas de la Murta, que además de productos envasados, ofrecen café, kuchen, mermeladas y artesanía local. El sendero principal está pavimentado, lo que permite el acceso a personas que por ejemplo deban usar sillas de ruedas. Además, barandas, sillas de descanso, miradores, infografías y basureros son parte de la infraestructura del sendero principal. Por otro lado, el sendero Los Pilleyos, de mayor extensión y libre de infraestructura, permite recorrer mayores extensiones del lugar.

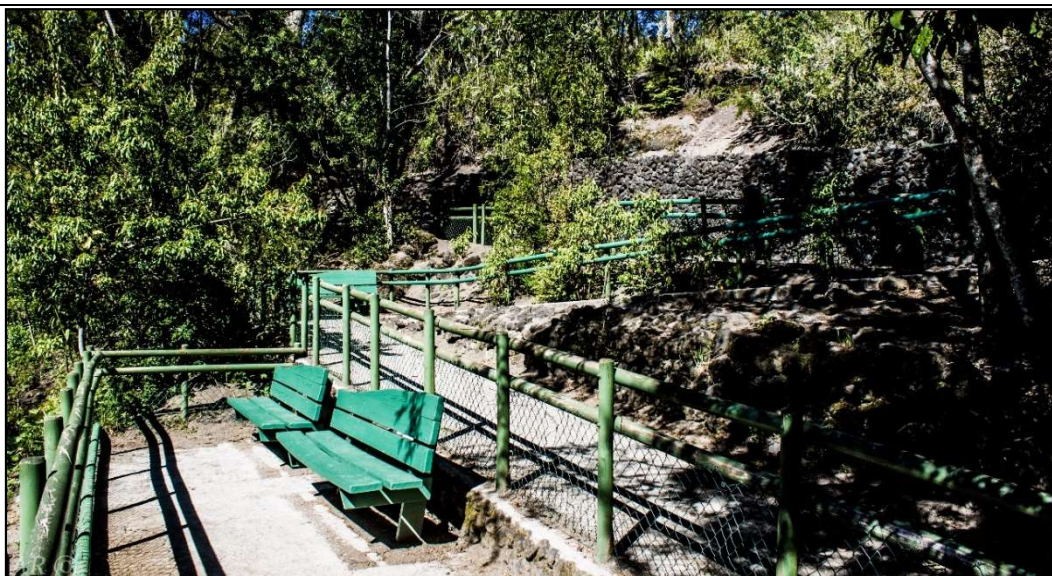


Figura 65. Una de las instalaciones que existen en el sendero Laguna Verde.

Aunque este sitio recibe miles de turistas por temporada, no es solo un lugar de recreación, sino también un punto de encuentro local en donde el salón de las oficinas de CONAF, reúne a los habitantes en eventos como las cuentas públicas, el aniversario del parque o el consejo consultivo entre otras actividades (Figura 64).

Como se trata de un parque nacional, los riesgos de degradación del lugar suelen estar identificados. CONAF, quien está a cargo de su administración, busca prevenir algunos con señaléticas y reglamentación, como el no uso de fuego en lugares desautorizados dentro del parque. Además, invita a respetar los senderos, a no alimentar a los animales y a dejar absolutamente limpio los diferentes sectores del parque. Aun así, debido a la gran extensión del lugar, esto no siempre es considerado por los visitantes.

La naturaleza es muy dinámica considerando su proximidad a volcanes activos, por lo tanto, un nuevo evento eruptivo del volcán Osorno y/o del volcán Calbuco podría modificar este paisaje. Esto se vuelve evidente hoy, debido a capas centimétricas de lapilli y cenizas color café claro de la última erupción del Volcán Calbuco (Abril, 2015) que cubren vastas zonas del PNVPR y en particular del sendero de los Pilleyos, aumentando levemente su dificultad.

Este sitio es representativo de los depósitos de la actividad histórica del volcán Osorno, y aunque son escasamente visibles producto de la vegetación y las cenizas del volcán Calbuco, sus consecuencias son las que formaron esta laguna y su atractivo.

Aspectos Geológicos

Con más de 2000 m² de superficie, laguna Verde es una sección del lago Llanquihue que está emplazada entre rocas volcánicas, y es represada hacia el sur poniente por una barrera de arena que da origen a una pequeña playa. El color de sus aguas está dado por dos especies de microalgas que, como señalan los paneles informativos proporcionados por CONAF, se tratarían de *Cryptomonas off ovata* y *Melosira granulata*.

El bosque nativo ubicado en el sector de laguna Verde es relativamente joven, componiéndose de arbustos como el notro o la murta, y arboles como el coigüe que suele ser de baja estatura, salvo en los sectores perimetrales al lago en donde la abundancia de agua parece favorecer su mayor desarrollo. Todo lo anterior, no es casualidad y tiene un estrecho vínculo con la última erupción del volcán Osorno.

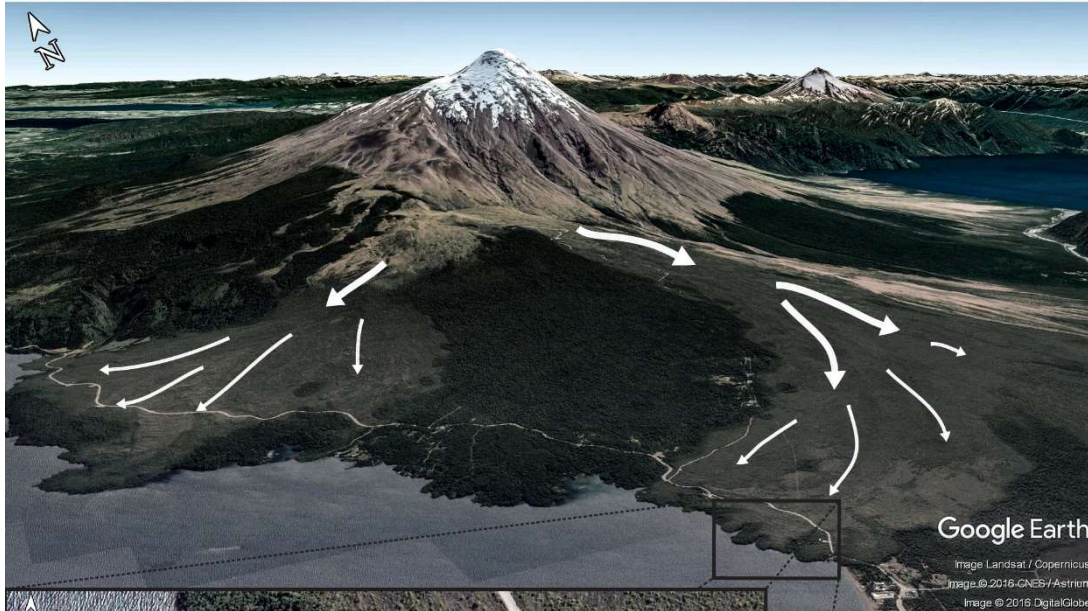
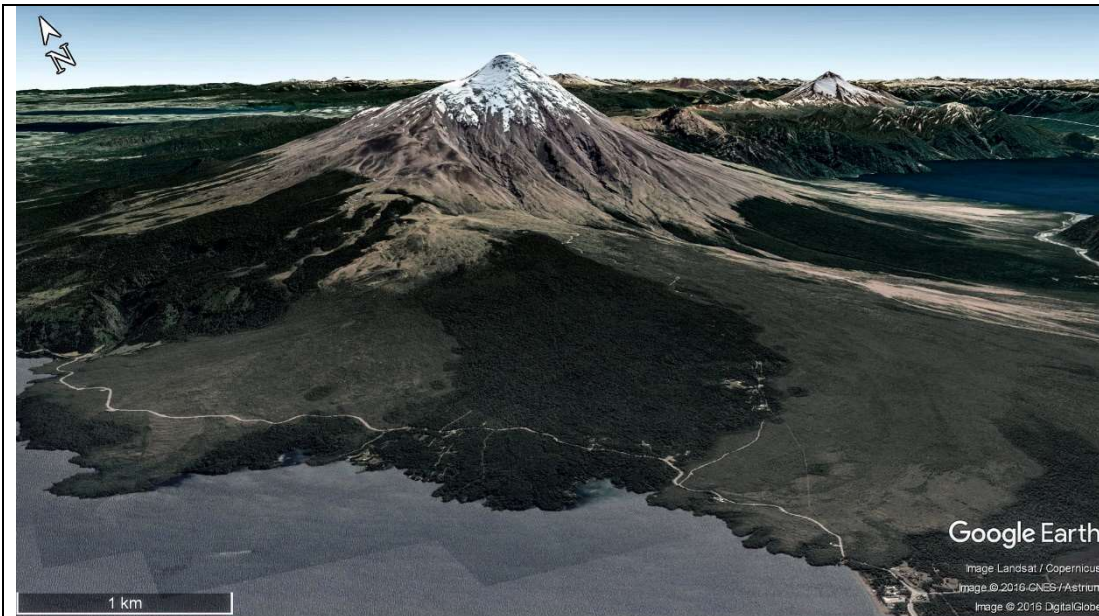


Figura 66. Se muestra una vista 3D del volcán Osorno. Es posible notar que existe una diferencia de colores entre el bosque desarrollado sobre depósitos volcánicos más antiguos que 1835 (color oscuro) y aquel desarrollado sobre las lavas de 1835 (color claro). En flechas blancas, se indica la dirección de los flujos de lava de 1835 que bajaron por los flancos suroeste y oeste del volcán Osorno hacia el lago Llanquihue, atrapando parte de él y dando origen a la laguna Verde.

En 1835, el volcán Osorno tuvo dos episodios eruptivos relevantes: uno en enero y otro en diciembre. Sería el primer evento, visto desde el HMS Beagle en el que viajaba Charles Darwin, el principal responsable de la génesis de laguna Verde ([Ver Sitio La Fisura](#)). Tal como se muestra en la [Figura 66](#), los lóbulos de lavas que bajaron desde el flanco suroeste del volcán Osorno, hoy cubiertas por un joven bosque, habrían alcanzado el lago y, entre dos de estos lóbulos, quedó confinado una parte del lago que dio origen a Laguna Verde.

Aún así, el agua que proviene de la laguna Verde, sigue un estrecho vínculo con el lago Llanquihue, pues el nivel de las aguas es el mismo para ambos. A este nivel de aguas se le conoce también como nivel freático (o tabla de agua) y no solo se encuentra a la vista, como ocurre en el lago y la laguna, sino que también se encuentra en las capas permeables de la tierra formando lo que se conoce como “napas subterráneas”. De esta forma, aun cuando exista una barra de arena entre el lago y la laguna, el agua viaja a través del sedimento poroso y permeable de la playa (Figura 67) y es esa la razón por la que al cavar un pequeño agujero que llegue al nivel del lago, es posible encontrar agua.

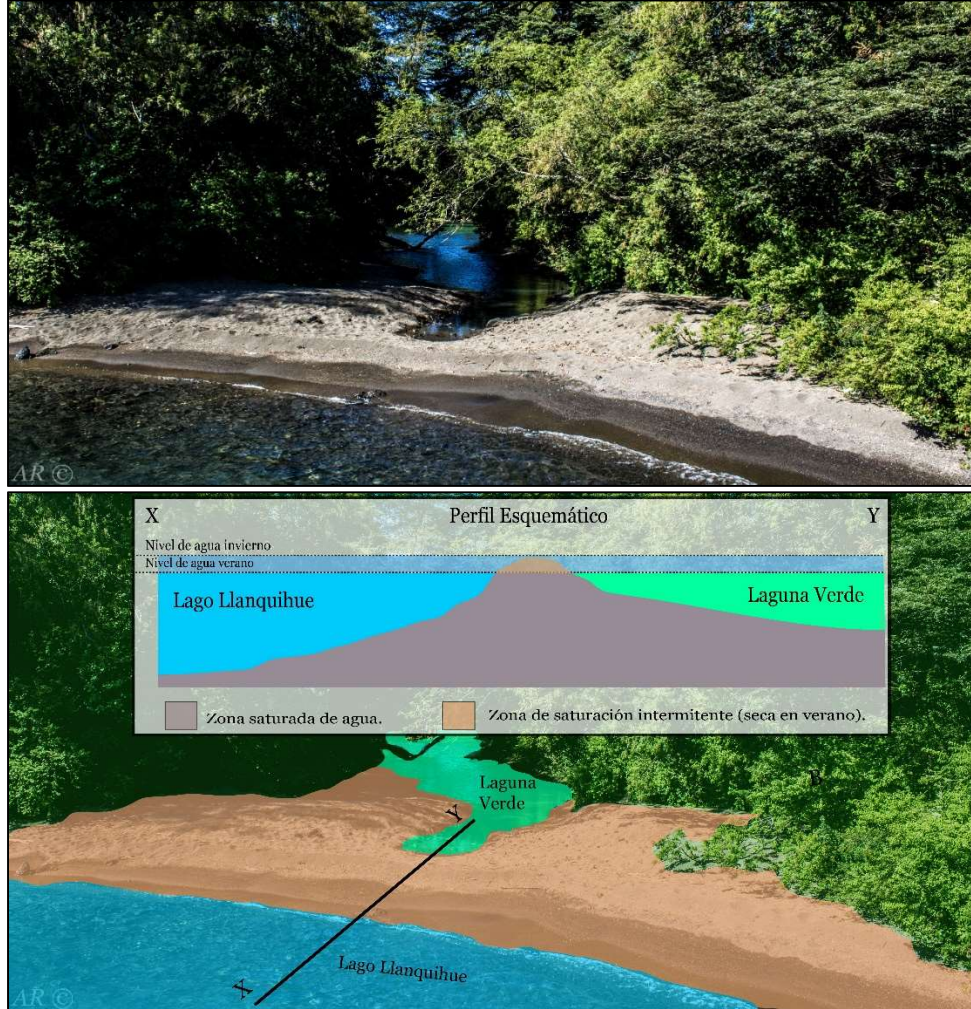


Figura 67. A: Fotografía del lago Llanquihue y la laguna Verde (vista hacia el noreste).B: Esquema que explica porque el nivel del agua de la laguna Verde es el mismo que el del lago Llanquihue.

Una última observación del entorno de este lugar, puede hacerse al recorrer el sendero los Pilleyos, en donde no solo es posible ver algunos de los depósitos de lava, sino también gran cantidad de cenizas de la última erupción del volcán Calbuco ocurrida el 22-23 de abril del año 2015.

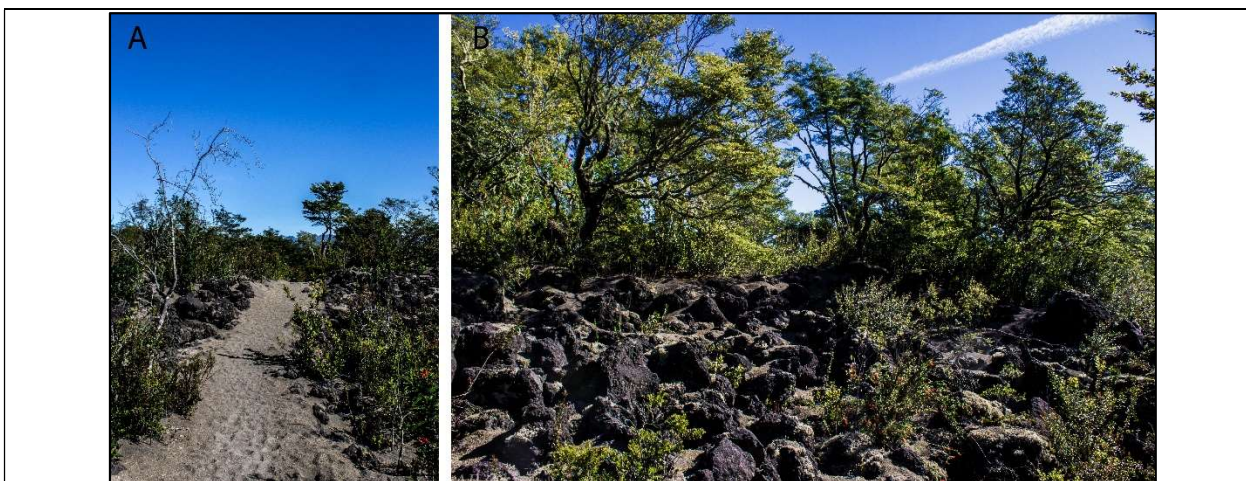


Figura 68. A, Sendero los Pilleyos. Se puede ver como el sendero está cubierto de arena color pardo, compuesta por ceniza y lapilli de la erupción del 22-23 de abril de 2015 del volcán Calbuco. B, Se puede ver un afloramiento típico de las lavas de 1835 donde crecen jóvenes coigües.

Estudios Sugeridos: Establecer una nueva ruta interpretativa que relacione los sitios “Crater Rojo”, “La erupción Fisural de 1835” y “Laguna Verde”

PIROCLASTOS DEL TRÉBOL NORTE

Depósito volcánico interglaciar Pleistoceno de la salida trébol norte, Puerto Varas.

PV06-GL Depósito volcánico interglaciar pleistoceno de la salida trébol norte, “Piroclastos del Trébol Norte”, Puerto Varas.

Características Principales

Sitio de interés científico y educativo. Se trata de un depósito de origen piroclástico formado en un periodo interglaciar, que ha sido fundamental para el entendimiento de los últimos periodos glaciares de la región.

Imagen y/o Esquema

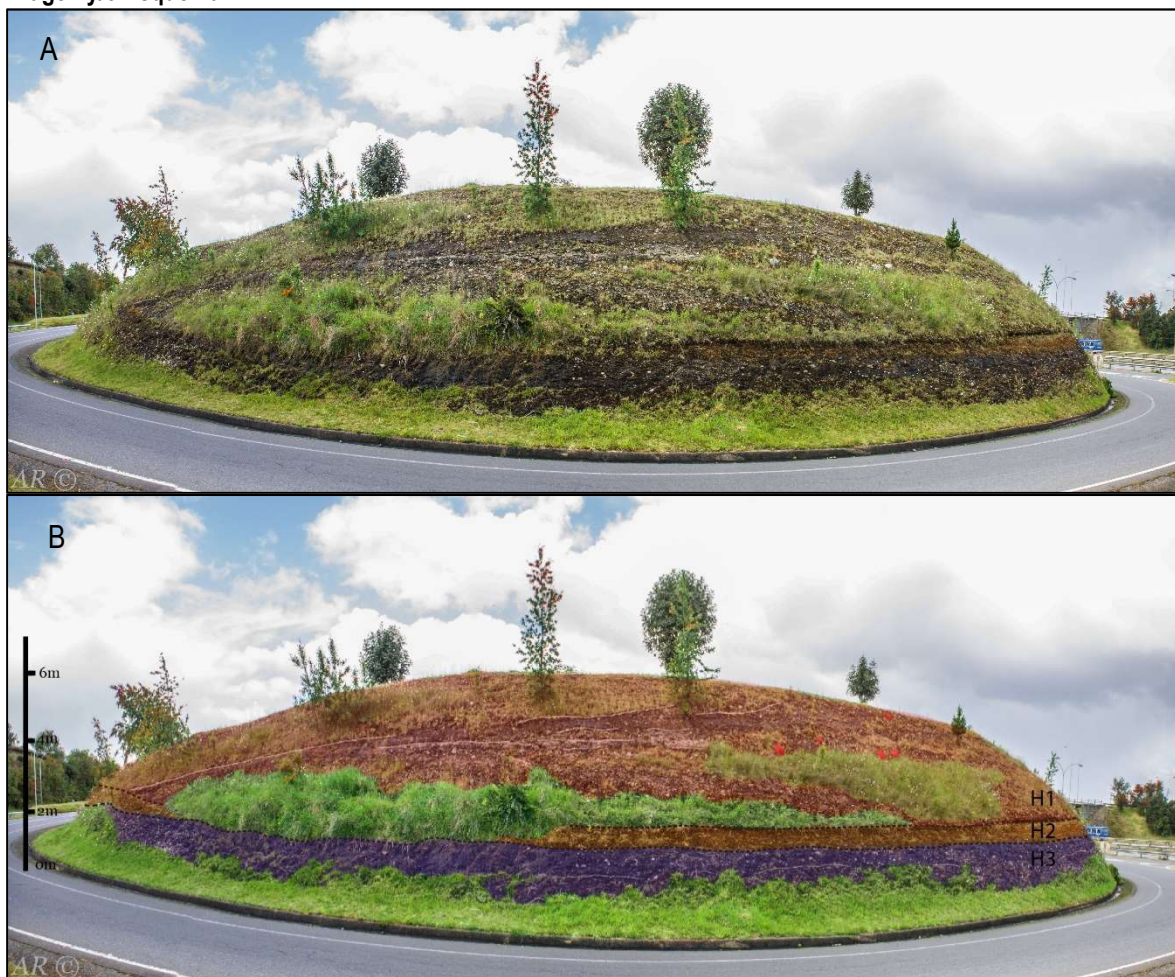


Figura 69. Sitio 1 de la figura 70. A: Fotografía panorámica del sitio de trébol norte. B: Esquema interpretativo en donde se reconocen: H3. Depósitos morrénicos anteriores a la glaciación de Llanquihue. H2. Depósitos piroclásticos interglaciares <39:000 años; H1. Depósitos morrénicos de la glaciación Llanquihue

Descripción General

Este sitio, se ubica en la salida norte de Puerto Varas (“Trébol Norte”) en el circuito norponiente, como se muestra en la [Figura 70](#). Aun cuando este sitio está a un costado de la carretera, su accesibilidad no es buena, debido a que no es posible detenerse con facilidad y solo es posible estacionar en el punto (2) de la [Figura 70](#). Esto dificulta su visitación que, considerando su cercanía con Puerto Varas, podría ser altísima. Por otro lado, este sitio no se encuentra dentro de ningún programa de visitación conocido, ni tampoco es protegido por algún mecanismo legal. Sin embargo, es considerado como un sitio recomendado para su protección como patrimonio geológico (Antinao *et al.* 2000).

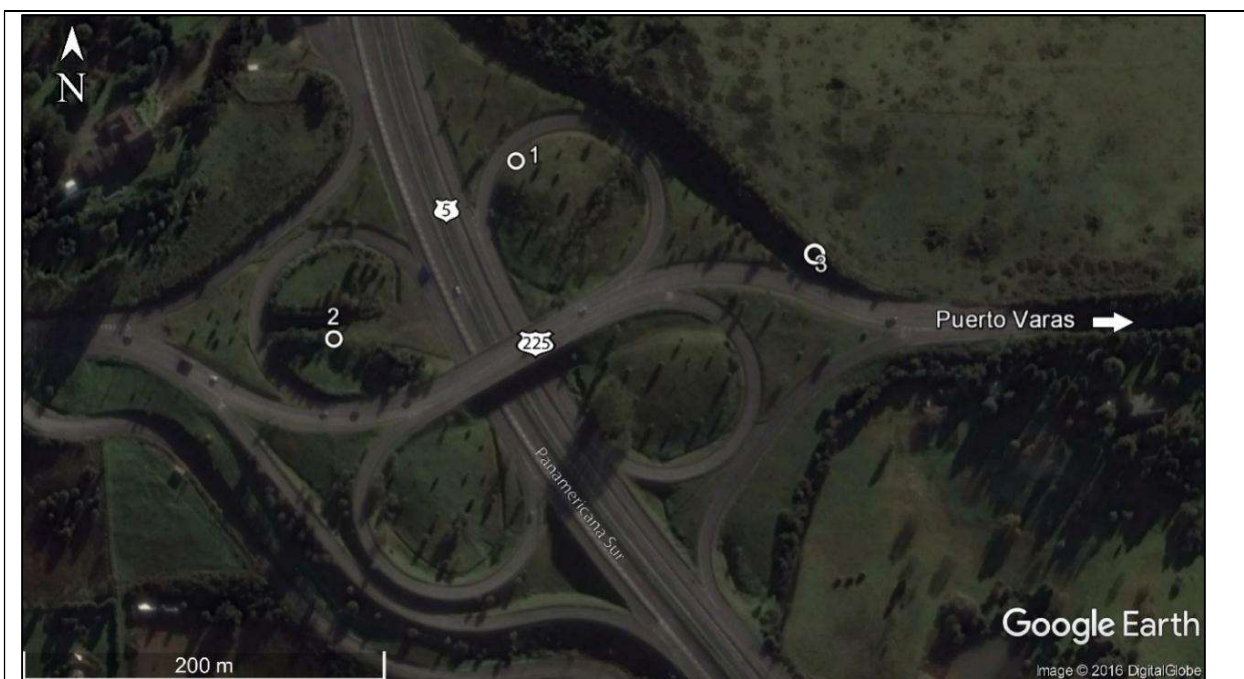


Figura 70 Vista planta de la salida norte de Puerto Varas. Se han identificado y descrito 3 sitios.

Este sitio fue escogido debido a que los elementos geológicos se conservan relativamente bien e ilustran tres procesos geológicos: los periodos glaciares Llanquihue y Santa María (Porter, 1981) o Casma/Colegual (Mercer, 1976; Denton *et al.* 1999) y una erupción volcánica cuyo origen aún es incierto. Sumado a esto, la posibilidad de datación de los elementos orgánicos atrapados en los depósitos volcánicos, han sido fundamentales para el estudio glacial en el sur de Chile, aportando información esencial para caracterizar los diferentes periodos glaciares. Dado esto, este sitio es excepcional desde un punto de vista científico (paleoclimático y estratigráfico), siendo un ejemplo único en la región.

Aspectos Geológicos

Se trata de un afloramiento con dos niveles de depósitos de morrenas glaciales separados por un nivel de depósitos piroclásticos (Figura 69, 71, 72), posiblemente provenientes del volcán Calbuco, que fueron identificados y descritos por Mercer (1972, 1976), Porter (1981) y Denton *et al.* (1999), siendo un punto crucial para el entendimiento de los periodos glaciares de la región. El material orgánico atrapado en los depósitos piroclásticos, permitió obtener edades mínimas de 39.900 C¹⁴ (Mercer, 1976), y >57.800+2300-3200 C¹⁴ (Porter, 1981). Este último autor propuso que los depósitos de la parte superior se habrían formado durante la glaciación Llanquihue, mientras que los depósitos de la parte inferior corresponderían al periodo glacial anterior (Santa María/Casma Colegual). Años más tarde, Denton *et al.* (1999), aprovechando las secciones verticales que quedaron de la remodelación del cruce realizada entre los años 1996-1997, volvió a estudiar estos depósitos, caracterizándolos y encontrando edades similares a las de Mercer (1976) (Figura 71). Además, concluyó que la deformación mecánica sobre el depósito piroclástico fue producida durante la depositación de la morrena de Llanquihue.

De esta forma, si bien se podían separar dos eventos, la datación en este sector no era pertinente para asignar una edad a las morrenas de Llanquihue. Así, escogió un lugar 500 m al oeste de este sitio donde los sedimentos orgánicos en los piroclastos (también removidos por la glaciación) se encontraban separando una delgada capa de depósitos de desagüe ("outwash") y la morrena. Gracias a esto, encontró edades mínimas de ~25,020, ~26,150 y ~29,360 años antes del presente para las morrenas de Llanquihue en esta zona.

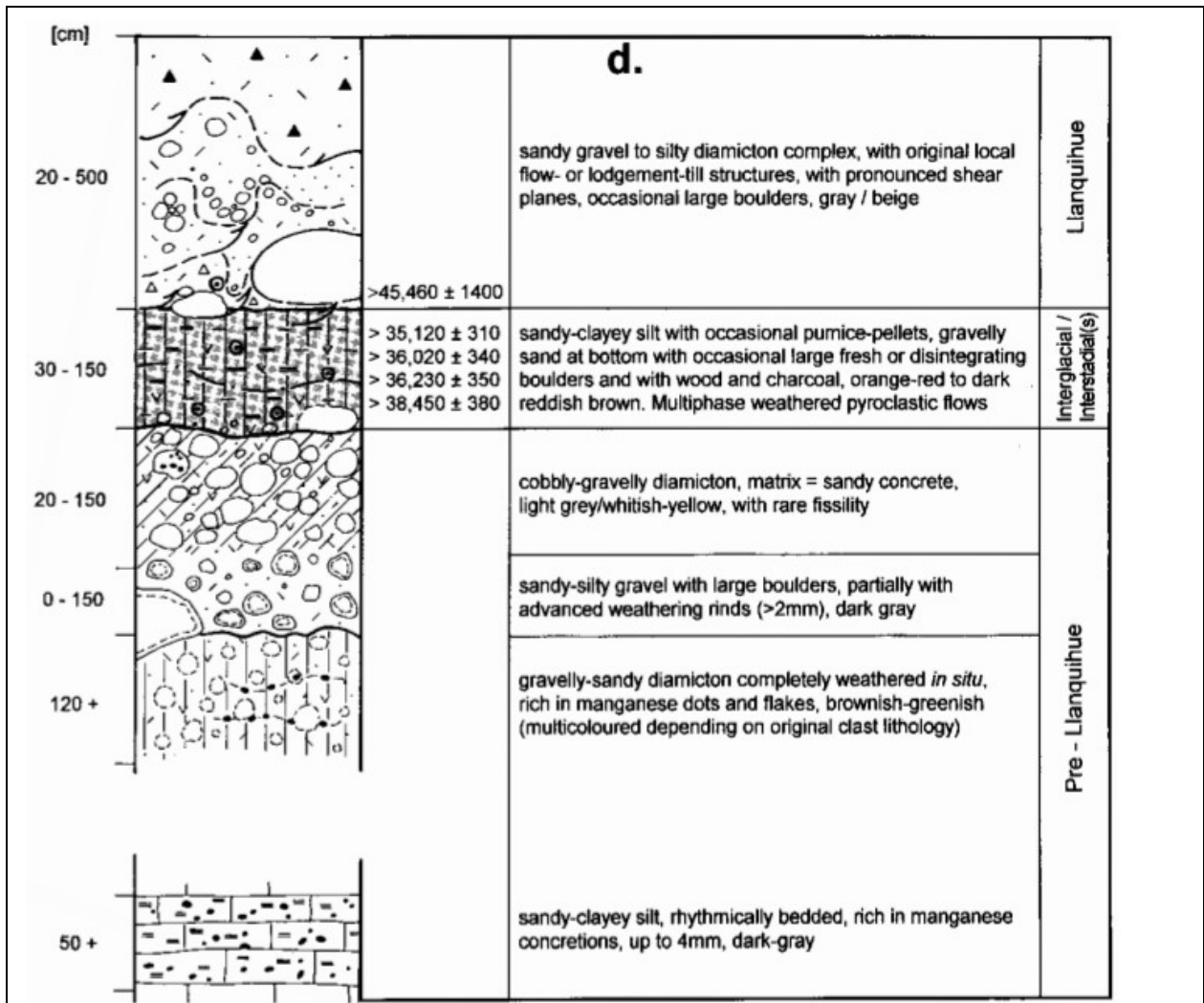


Figura 71 Caracterización con edades radiométricas de una sección en el antiguo cruce de la ruta 5 y la 225.

Lamentablemente, los sitios estudiados por Mercer (1976), Porter (1981) y Denton et al. 1999 hoy no son visibles producto de la vegetación y la construcción del cruce actual, aun cuando existen otros depósitos con una configuración similar.

De esta forma, se seleccionaron tres sitios para ser correlacionados con los sitios estudiados por dichos autores (Figura 70).

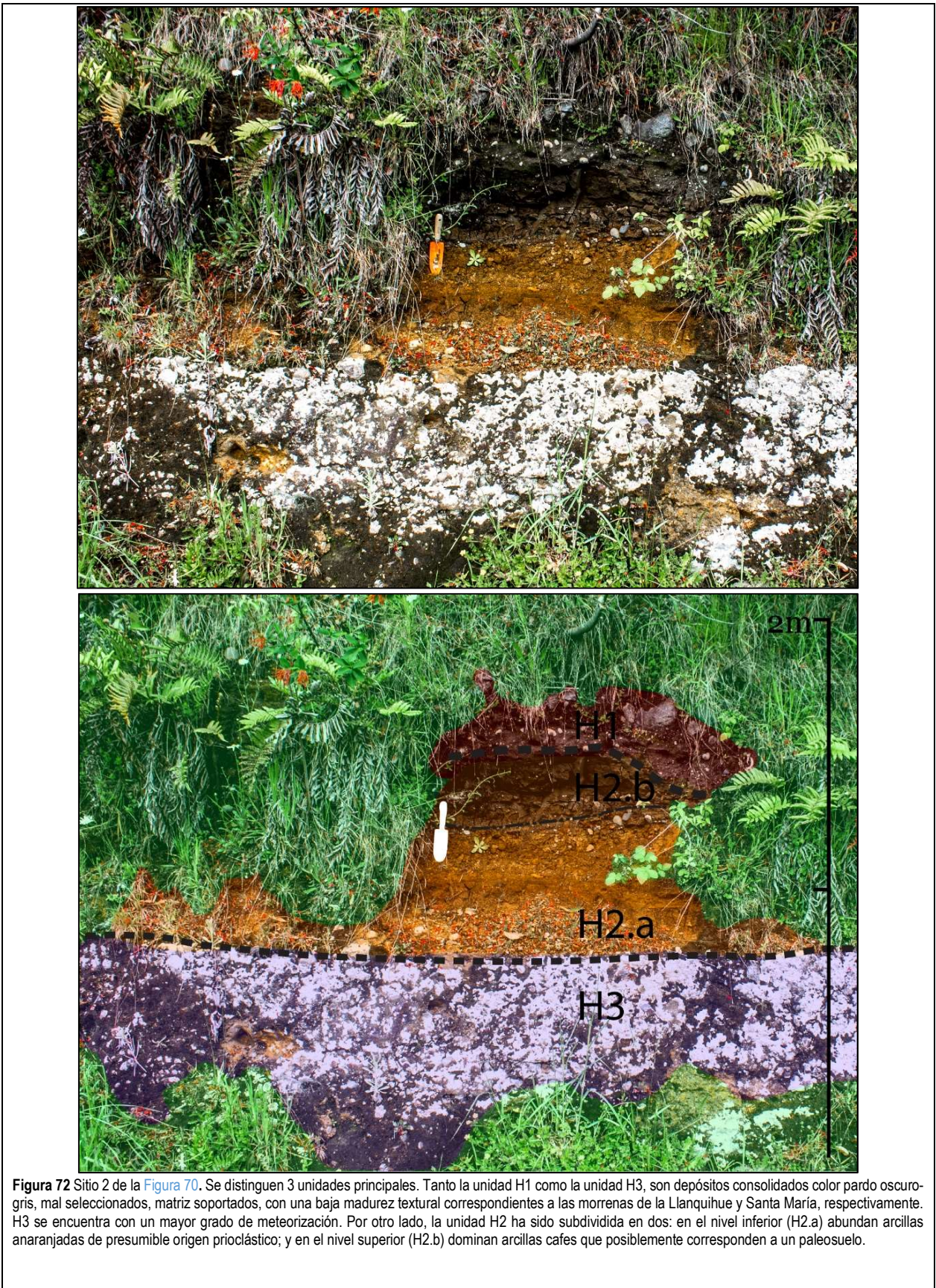


Figura 72 Sitio 2 de la [Figura 70](#). Se distinguen 3 unidades principales. Tanto la unidad H1 como la unidad H3, son depósitos consolidados color pardo oscuro-gris, mal seleccionados, matriz soportados, con una baja madurez textural correspondientes a las morrenas de la Llanquihue y Santa María, respectivamente. H3 se encuentra con un mayor grado de meteorización. Por otro lado, la unidad H2 ha sido subdividida en dos: en el nivel inferior (H2.a) abundan arcillas anaranjadas de presumible origen proclástico; y en el nivel superior (H2.b) dominan arcillas cafés que posiblemente corresponden a un paleosuelo.



Figura 73 Sitio 3 de la [Figura 70](#). Se distinguen 3 unidades principalmente. Tanto la unidad H1 como la unidad H3 son depósitos consolidados color pardo oscuro-gris, mal seleccionados, matriz soportados con una baja madurez textural correspondientes a las morrenas de la glaciación Llanquihue y Santa María respectivamente. Por otro lado, la unidad H2 corresponde a material piroclástico semi-consolidado de tamaño ceniza a lapilli y color anaranjado, posiblemente originados en alguna erupción del volcán Calbuco. H0 corresponde a un suelo actual.

Estudios sugeridos: Nuevas edades radiométricas de mayor precisión, y una caracterización en detalle de las nuevas secciones disponibles a partir de la construcción del trébol norte, que dan una mejor visión tridimensional de los afloramientos, pueden ser útiles para añadir información y entender mejor la duración de los periodos interglaciares además de eliminar algunas inconsistencias en las dataciones de los estudios existentes.

LA MORRENA

Depósitos morrénicos cuaternarios, Ruta 225.

PV07-ED Depósitos morrénicos cuaternarios, La Morrena, Ruta 225.

Características Principales

Sitio de interés educativo/científico. Se trata de un depósito no estratificado de origen glaciar ubicado en el kilómetro 23 de la Ruta 225.

Imagen y/o Esquema

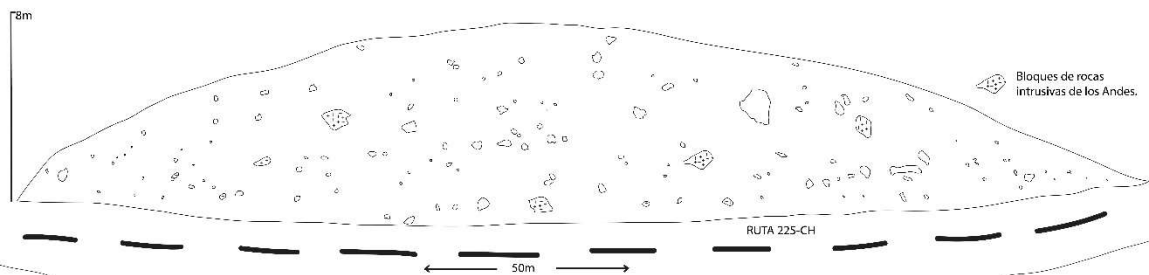


Figura 74 Arriba: Panorámica construida en base a cuatro fotografías. Se puede ver completamente el afloramiento desde el lado sur del camino. Dentro de su forma lobular, se observan bloques grandes y angulosos. Abajo: Esquema del afloramiento.

Descripción General

A 300 metros luego del kilómetro 23 por la ruta internacional 225-CH en dirección a Ensenada, se puede ver este depósito tanto a la ladera sur como norte del camino. Existe un lugar habilitado en la berma norte en donde es posible detenerse con todo tipo de vehículo (desde un pequeño automóvil, hasta un bus turístico). Para recorrer el sitio, es recomendable hacerlo por la ladera sur ya que existe un espacio entre la ciclovía y el afloramiento que entrega una mayor seguridad, no obstante, si se considera en algún recorrido de decenas de personas puede ser preciso tomar precauciones adicionales. Por otra parte, se recomienda no martillar ni desprender bloques, debido a que esto podría causar una caída de gravas o bloques en los sectores más altos.

No existe aún una valoración geológica de este sitio por lo que no es considerado en programas de visitación, ni tampoco tiene algún mecanismo de protección. Salvo alguna extracción a gran escala del depósito producto de alguna obra civil (ensanche de camino, extracción de áridos u otra actividad) el sitio no presenta grandes riesgos de degradación antrópica. Por otro lado, es posible que en algunos años o décadas, la colonización de la vegetación y/o la meteorización natural sean la principal causa de degradación del lugar (desde un punto de vista observacional).

Este sitio muestra los depósitos sedimentarios cuaternarios, en particular a aquellos relacionados a depósitos no estratificados del último periodo glaciar. Sus características se encuentran bien conservadas y visibles gracias a estar cortado por la ruta volviéndose muy ilustrativo para ser estudiado tanto desde un punto de vista científico como en algún programa de educación y/o geoturístico.

Aspectos Geológicos.

Este depósito tiene forma lobular de aproximadamente 6 metros de altura y 50 metros de largo. Se trata de un apilamiento de grandes bloques y gravas insertos en una matriz de limos y arenas (Figura 75)

Una matriz limo-arenosa (70%) sorpota clastos polimicticos predominantemente de caracter ígneo porfíricos, angulosos y de baja esfericidad, presentándose en algunos casos estriados. En la matriz abundan los limos y se observan algunas arenas: fragmentos de rocas extrusivas y cristales redondeados de cuarzo.

Los bloques angulosos de rocas intrusivas (Figura 75, B) encontrados típicamente en la región andina y volcánica activa junto con bloques de caras lisas (Figura 75 A) se han interpretado como bloques desgarrados que evidenciarían el transporte glaciar desde su fuente de origen.

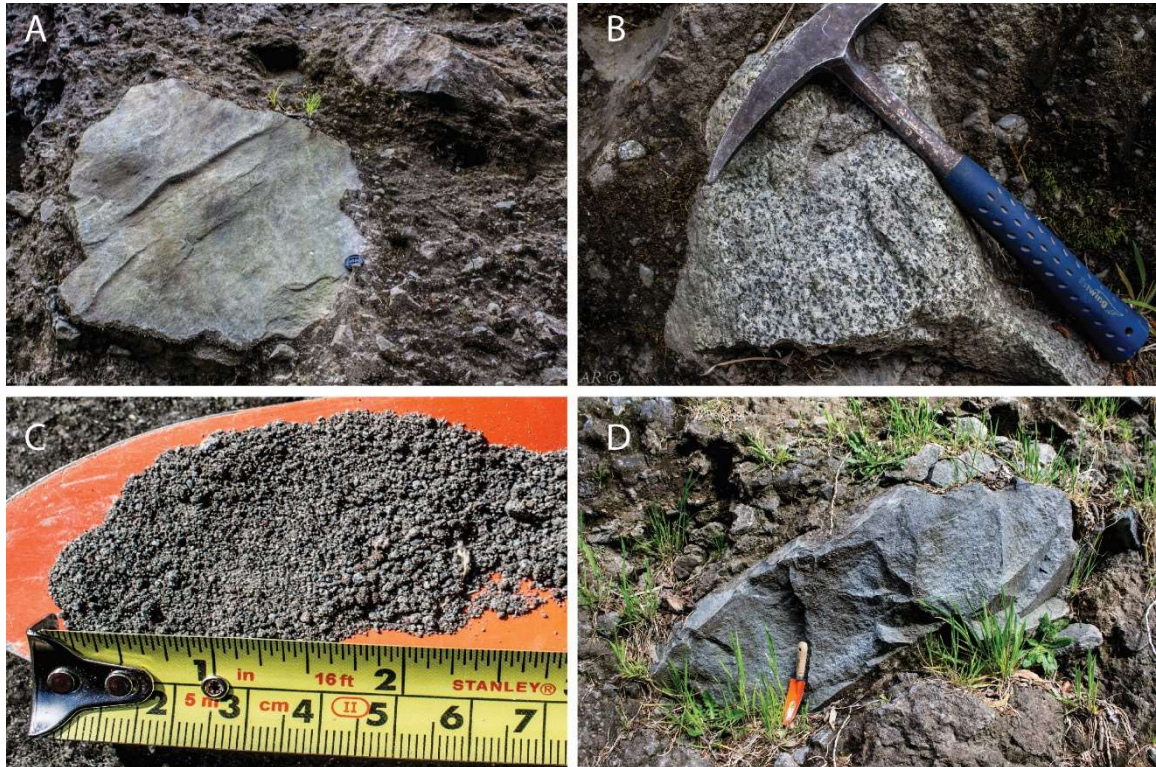


Figura 75. Fotografías que muestran diferentes características del depósito. A: Bloque métrico anguloso, de cara lisa y estriada; B: Bloque anguloso de roca plutónica típica de la región andina; C: Matriz del depósito. Se puede observar material tamaño limo, en algunos formando aglomerados, y tamaño arena. D. Se puede ver un bloque inserto en una matriz areno-limosa que da cuenta de la mala selección del depósito.

Estudios sugeridos: Aun cuando este depósito ha sido interpretado como una morrena, existe documentación sobre una avalancha de rocas producida durante el pleistoceno del volcán Calbuco. Los depósitos de avalancha, suelen tener características similares a las observadas en este depósito. Por otro lado, lo semi consolidado del afloramiento difiere de otros depósitos morrénicos encontrados en la zona que se encuentran consolidados, lo que da cabida a una discusión entre estas dos posibles interpretaciones sobre su origen.

GRAVAS Y ARENAS

Depósitos fluviales cuaternarios (?), Playa Venado.

PV08-ED Depósitos fluviales cuaternarios (?), "Gravas y Arenas", Playa Venado.

Características Principales

Sitio de interés educativo y geoturístico. Se trata de secuencias estratificadas ubicadas a menos de 300 m del acceso a Playa Venado.

Imagen y/o Esquema



Figura 76. Vista hacia el sur del sitio de interés construido a partir de tres fotografías. Dimensiones aproximadas del afloramiento fotografiado: 8 m X 50 m.

Este sitio se encuentra cercano al kilómetro 17, en la ladera sur de la ruta internacional 225-CH que va en dirección a Ensenada, a 300 m de la playa Venado. No hay un lugar habilitado para estacionar vehículos de gran dimensión (p.ej. buses) a menos de 500 m, sin embargo, es posible detenerse frente a playa Venado. Este lugar, puede ser recorrido gracias a un espacio de alrededor de 800 m² de superficie entre la ruta y el sitio que proporciona seguridad a los visitantes/estudiantes/turistas. Se debe considerar que es necesario atravesar la ciclovía y la ruta para tener una visión panorámica del lugar, lo que representa un riesgo.

No existe aún una valoración de este sitio, por lo que no es considerado en programas de visitación, y tampoco tiene ningún mecanismo de protección. Este sitio está próximo a la conocida playa Venado y al fundo Playa Venado³² que abre sus puertas a personas interesadas en disfrutar del paisaje del campo sureño y conocer el proceso de producción de leche y elaboración de manjar gourmet en su propia fábrica (Figura 77).



Figura 77 Manjar, uno de los productos del fundo Playa Venado que pueden ser conocidos en su "Agrotour".

Aunque el depósito se encuentra semi-consolidado existe tanto un riesgo de degradación antrópico por la posibilidad de destruirlo mediante extracción de áridos, ensanchamiento de rutas u otras actividades, como un riesgo natural producto de una muy posible colonización de la vegetación y la meteorización debido a la interacción con la atmósfera.

Este sitio, representa a los depósitos sedimentarios cuaternarios (se asume por relaciones estratigráficas), en particular a aquellos relacionados a depósitos fluviales de los últimos miles de años. Sus rasgos están muy bien conservados y es de los pocos depósitos de este tipo en zonas accesibles, y el único reconocido de esta envergadura. Todo esto lo hace no solo interesante desde un punto de vista científico, sino que muy ilustrativo para explicar los procesos fluviales y sus estructuras asociadas, por lo que se recomienda para ser incluido en futuros programas educativos.

³² <http://www.fundoplayavenado.cl/agroturismo/>

Aspectos Geológicos.

La exposición del afloramiento tiene alrededor de 8 metros de altura en las partes más potentes, y unos 150 metros de largo visible. Hacia el oeste, estos depósitos se pierden de vista producto de un aumento progresivo en la altura de la ruta 255, mientras que hacia el este se cortan de manera escarpada, producto de un agente erosivo posterior que aparentemente es de tipo fluvio-lacustre. En el sector este del afloramiento (Figura 78), se encuentran intercalaciones de niveles estratificados gruesos y finos. Entre los gruesos se encuentran bancos de gravas redondeadas y semiesféricas clasto-soportadas de variado origen (polimíctico) y matriz tamaño arena. En algunos casos, los clastos se observan imbricados y/o con estratificación cruzada. En los niveles finos se tienen arenas y limos retrabajados de origen fundamentalmente volcánico, y con estratificación cruzada plana.



Figura 78. Fotografía en detalle de la estratificación cruzada observada en los depósitos. La estratificación y la imbricación de los clastos indica en este nivel, un flujo este y una deposición hacia el oeste (lado derecho de la imagen). Además es posible ver una intercalación de como un nivel más fino de arenas es sobreyacido por un nivel más grueso de gravas. Esta intercalación se produce varias veces en el depósito

En el sector occidental del afloramiento (Figura 79), es posible observar depósitos matriz soportado, con clastos subangulosos a subredondeados insertos en una matriz compuesta principalmente de limos que engranan de manera lateral sobre las secuencias estratificadas antes descritas. Encima de esto, y con una continuidad lateral visible a lo largo del depósito, se observan sedimentos clasto soportado, de buen redondamiento y mediana esfericidad, con una matriz arenosa color anaranjado. Por último, se encuentra el nivel del suelo de unos 60 cm de espesor, que por su coloración, se piensa es rico en cenizas volcánicas.

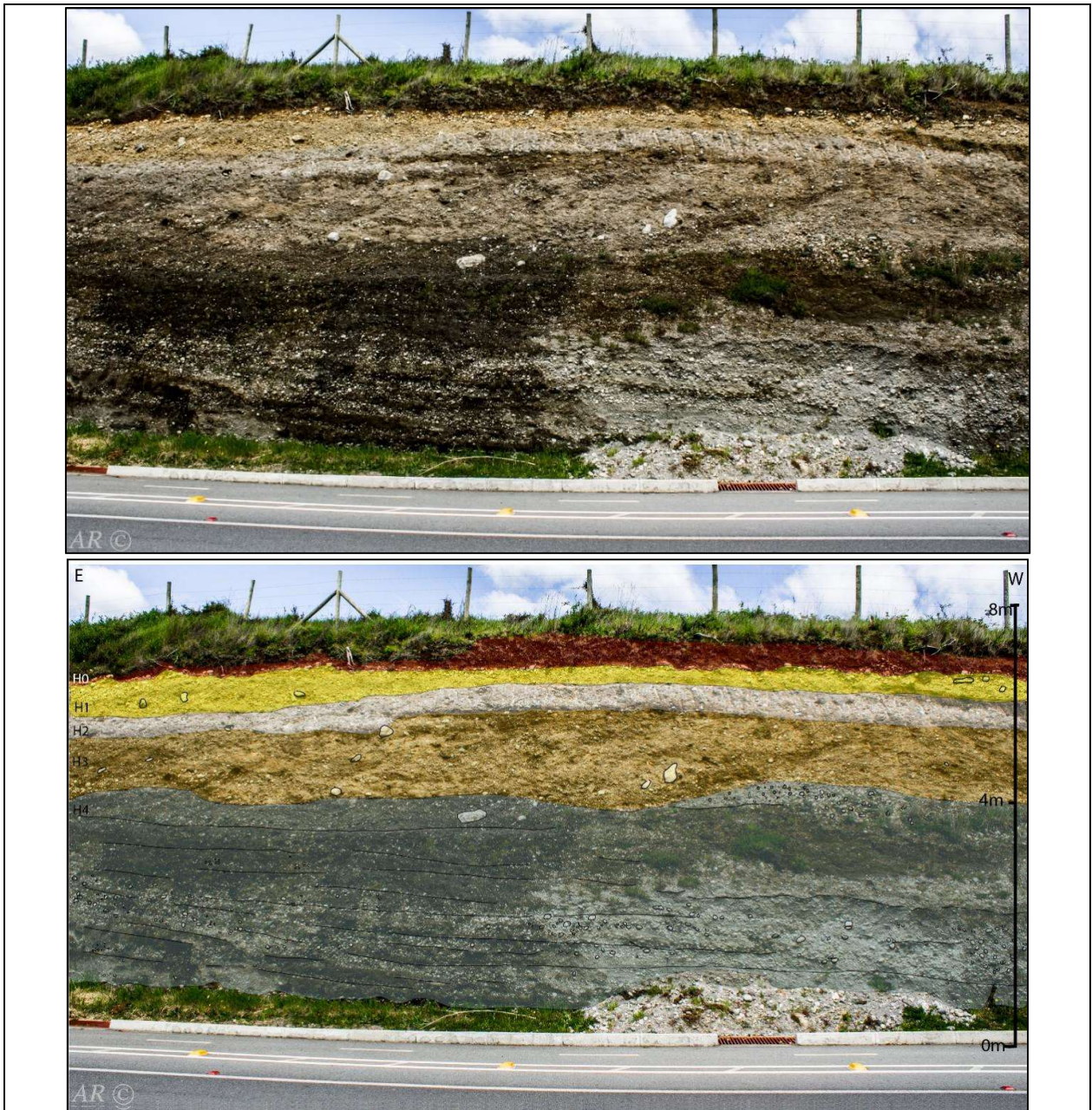


Figura 79 Muestra los diferentes horizontes observados en el sector más occidental del afloramiento: H0, suelo actual; H1, depósito de gravas con matriz amarilla a naranja; H2, arcillas y limos; H3, depósitos de bloques y gravas inserto en una matriz de limos. H4. Secuencias intercaladas de gravas, arenas y limos.

Un aspecto interesante, son algunos delgados niveles en donde predominan las arcillas y limos. En estos sectores, es posible notar como existe una concentración de la humedad en las capas sobreyacentes. Esto se da debido a que el agua se ve imposibilitada a atravesar estas capas que son impermeables y por lo tanto lo hace de manera lateral.

Las características de los bancos de gravas intercalados con arenas, limos y material volcánico sugieren un ambiente fluvial. Debido a la horizontalidad de los estratos y las características antes descritas de los depósitos, se piensa en un estilo fluvial de baja pendiente (p.ej. sistema fluvial trenzado; [Figura 80 y 81](#))



Figura 80 Uno de los tantos sistemas fluviales trenzados, en el Parque Nacional Delani, Alaska.

Sumado a esto, algunos depósitos ubicados hacia el oeste y suroeste del afloramiento han sido interpretados de origen glaciar con presencia de *dropstones* y sugieren una interacción de los depósitos fluviales con este ambiente. En este sentido, los distintos episodios glaciares característicos de esta zona, y las extensas planicies desarrolladas, permiten sugerir un nexo de este sistema con uno de drenaje glaciar conocido como sandur, en donde el desarrollo de sistemas fluviales de baja pendiente es coherentes al drenaje del frente glaciar ([Figura 81](#))



Figura 81 Glaciar Creek, en el Parque Nacional Rocky Mountain, Colorado USA. Se puede ver el sandur o planicie de drenaje glaciar con un sistema fluvial trenzado.

Por último, estos depósitos habrían sido erosionados por procesos posteriores fluviales y/o fluvioacustres que drenaron hacia el Lago Llanquihue muy similares a los que existen 3.5 km al Suroeste en la “Laguna la Poza” (Figura 81).



Figura 82 Laguna La Poza que es un sistema fluvial con un nivel basal igual al del lago.

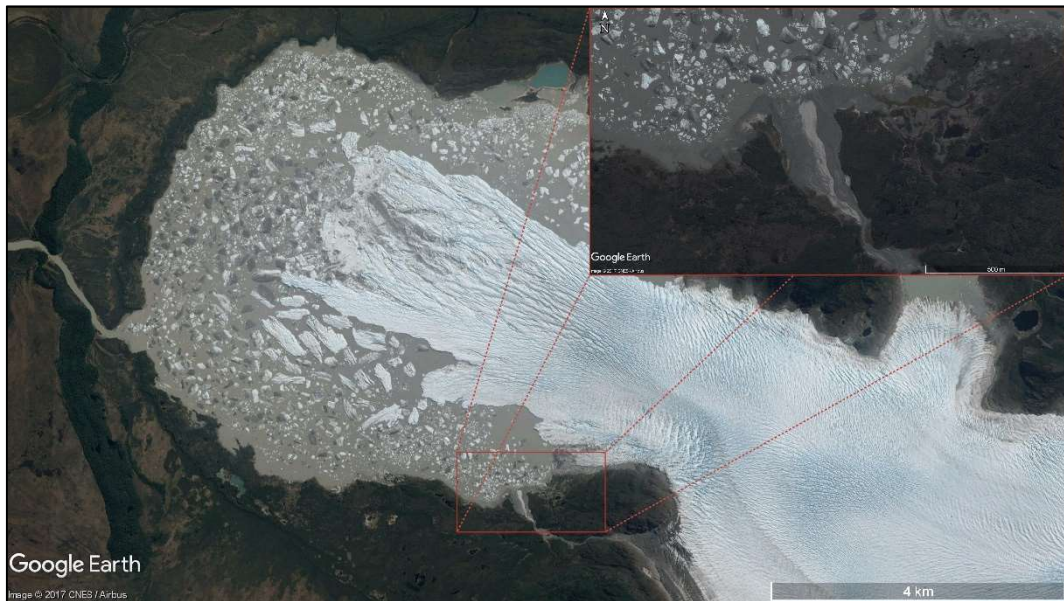


Figura 83. En esta imagen del Glaciar Quintín, Chile, se puede ver como existe un sistema glaciofluvial en la actualidad en los sectores marginales al glaciar principal. Una situación análoga también podría haber ocurrido en este sitio.



Figura 84. Imagen satelital que muestra el área en donde se ubican los depósitos estratificados (1) y la playa Venado (2).

Estudios sugeridos: Determinar las paleocorrientes de los depósitos y establecer la componente N-S con el fin de determinar si los depósitos son provenientes de descargas desde la cordillera o un posible frente glaciar desde el Lago, además de definir el tipo de sistema fluvial desarrollado y su edad. Todo esto para beneficiar la interpretación con fines educativos y geoturísticos.

VARVES DE PUERTO VARAS

Varves lacustres pro glaciares deformadas y fracturadas del Cuaternario, Puerto Varas

PV09-GL Varves lacustres pro glaciares deformadas y fracturadas del Cuaternario , “Varves” de Puerto Varas

Características Principales

Sitio de interés científico, educativo y geoturístico, en donde se pueden observar depósitos lacustres pro-glaciares que fueron posteriormente deformados o fracturados siendo muy ilustrativos para estudiar la deformación frágil y dúctil.

Imagen y/o Esquema



Figura 85. Vista aérea con dirección sur. Se pueden ver los depósitos en la ribera sur del lago. Atrás, se observa la ciudad de Puerto Varas.

Descripción General

Este sitio, se encuentra en Puerto Varas, bordeando el lago Llanquihue por la costanera Vicente Pérez Rosales, a menos de 100 metros del conocido museo de antigüedades Pablo Fierro. Al ser un lugar de acceso público ubicado muy cerca de la ciudad, en el que no existen mayores riesgos en su visitación, convierten a este lugar en un potencial atractivo turístico, no obstante no existe ningún programa de visitación de este lugar, ni tampoco información pública al alcance de algún transeúnte interesado.

Puerto Varas, además de tener más de 37.000 habitantes, es parte del destino turístico “Llanquihue”, líder en el sur, aumentando la cantidad de visitantes principalmente en los meses de diciembre, enero y febrero³³, en otras palabras, la cantidad de potenciales visitantes de este entorno, la no valoración de los elementos geológicos, y la fácil accesibilidad de este lugar, pueden llevar a este lugar a una rápida degradación.

Los elementos geológicos en este lugar son representativos de los procesos glaciares ocurridos hace decenas de miles de años en la región, encontrándose sedimentos de diferentes tipos y diversas estructuras sedimentarias de fácil interpretación que lo convierte no solo en un buen lugar de estudio, si no en un excelente laboratorio al aire libre para comprender procesos sedimentarios. En otras palabras, es un excelente lugar para desarrollar programas educativos y turismo con contenido científico.

El estudio de este lugar ha sido fundamental en los diferentes estudios científicos realizados respecto a las glaciaciones de los últimos miles de años, destacándose el estudio de Susan E. Turbek y Thomas Lowell dedicada específicamente a este sitio en el contexto del estudio multidisciplinario del periodo glacial Llanquihue, que fue publicado en Geografiska Annaler en 1999.

Aspectos Geológicos

En términos generales se observan sedimentos glaciares que han sido depositados y posteriormente deformados o fracturados por acción glacial. Se han identificado rasgos diferentes a lo largo del afloramiento: intercalaciones de arcillas, limos y/o arenas

³³ <http://eha.cl/2016/02/la-region-de-los-lagos-presento-cifras-positivas-de-ocupacion-hoteleria-durante-enero/> ; <http://eha.cl/2015/12/la-region-presento-cifras-positivas-de-ocupacion-hoteleria-durante-la-primera-semana-de-diciembre/>

semiconsolidadas gradadas, fracturadas y deformadas localmente; estratos de limo y/o arena fina sin estratificación interna alternado con capas de arcilla y/o limo altamente deformadas, ubicadas preferentemente en el sector noroeste; gravas y algunos bloques de variada composición insertos en sedimentos de limos y/o arenas masivos, junto con otros que han sido removidos dejando agujeros que se amplían por la erosión del lago; y por último gravas y bloques, que se encuentran no consolidados hacia el interior del lago, posiblemente gracias a que la erosión del lago removió el sedimento que los contenía. Además, diversas estructuras sedimentarias pueden ser observadas en este sitio, como son estructuras de carga, estructuras de asentamiento (estratificación contorsionada, corrida, intraplegada; Figura 69) junto con pequeños fallamientos inversos de pequeña escala producto de la compresión glaciár. Otro aspecto a destacar, es la presencia de grandes bloques observados en los alrededores, posiblemente trasportados como *dropstones*

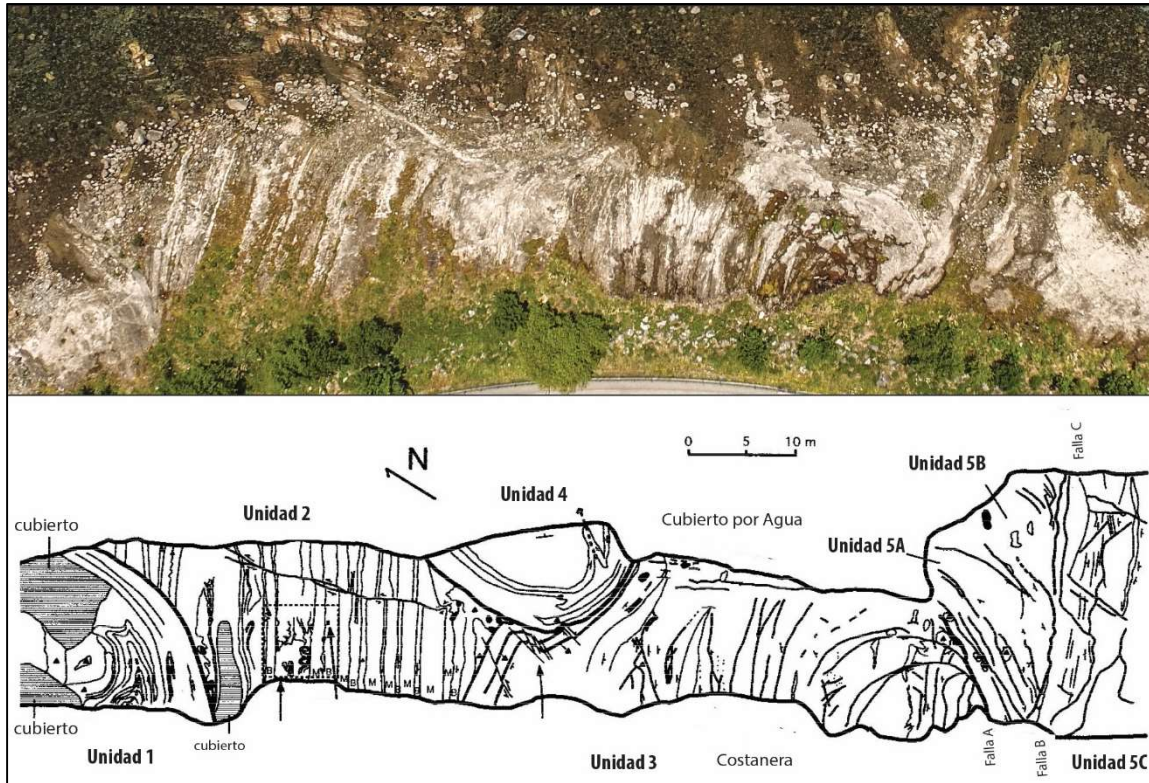


Figura 86 Modificado de Turbek y Lowell (1999), quienes dividen este sitio en 7 unidades principales. Las tres primeras, corresponderían a sedimentos glaciolacustres con diferencias en su deposición y su deformación. El resto de las unidades formarían partes de bloques de las primeras tres unidades trasladados o inclinados por los esfuerzos glaciares.

Para Turbek y Lowell (1999), en una primera etapa, se habrían depositado sedimentos pro glaciares como corrientes turbidíticas. Esto, debido a las gradaciones observadas junto con las estructuras de llama (Figura 87, G) representarían una rápida sedimentación. Sumado a esto, algunas estructuras *rip-up*, producidas cuando un flujo erosivo desprende pequeños fragmentos de la capa inferior y los desplaza y los depósitos intercalados de sedimentos gruesos que incluyen fragmentos de granitoides de los Andes (Figura 87, E) con sedimentos de grano fino, indicarían una depositación episódica completando la caracterización de un flujo turbidítico. Durante la depositación también se abría producido deformación, evidenciada en estructuras recumbentes (Figura 87, A) entre estratos no deformados. Producto de que el glaciar avanzó, los sedimentos habrían sido expuestos a estreses diferenciales, plegándose y fracturándose, no obstante, sin destruirse. Según explica Turbek et al. (1999) la ausencia de un *till* de deformación implicaría que la presión de poros en los sedimentos fue suficiente para prevenir un desgarro significativo de los sedimentos subglaciares. Dicho esto, el movimiento glaciár habría mayormente deslizando en la parte inferior y de deformación no pervasiva en los sedimentos bajo él.

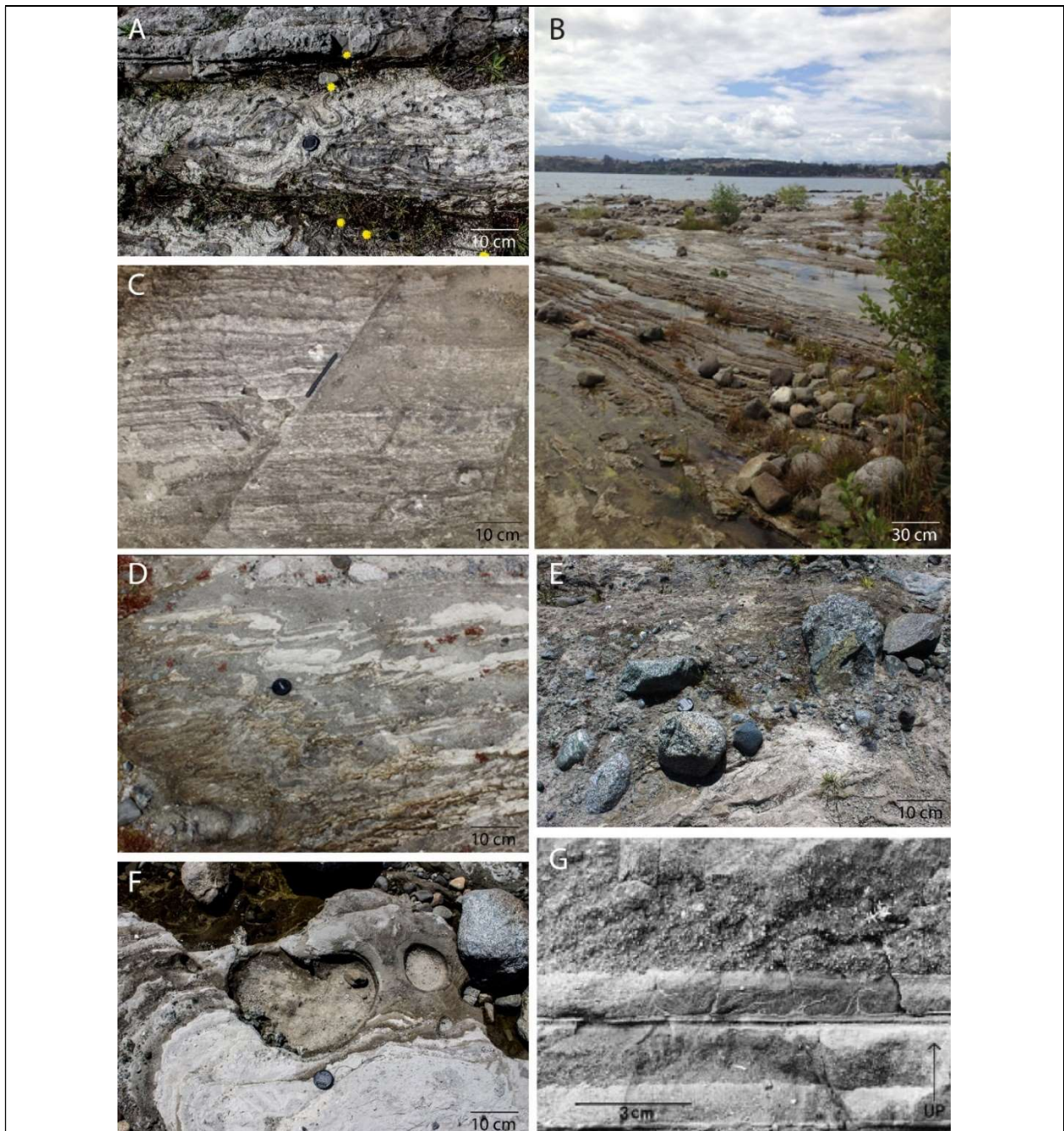


Figura 87 Detalles de diferentes estructuras de este sitio. **A.** Estratificación contorsionada y recumbente en capas de arcilla y limo. Se puede ver como los depósitos que sobreyacen no presentan deformación alguna; **B.** Se observan depósitos laminados ligeramente inclinados **C.** Se puede ver fallamiento inverso en las capas de limo y arcilla que evidencian un ambiente compresional. **D.** Se observa una estratificación plegada y corrida caracterizada por pliegues intraformacionales inclinados con fallas inversas de pequeña escala; **E.** Se puede ver diferentes bloques de granitoides característicos de los Andes; **F:** Moldes de clastos removidos, ensanchados y erosionados por agua. **G.** Estructuras de llama Tomado de *Turbek y Lowell* (1999). Estas se producen en sedimentos no consolidados y saturados en agua cuando se ejerce presión sobre ellos. De esta manera, si una capa más densa es depositada, la presión ejercida obliga a los fluidos a escapar, desarrollando esta estructura. Por esta razón es también un indicador de polaridad.

Estudios sugeridos: Asumiendo que la acción glaciar no fue pervasiva ¿Porqué existen tan pocos afloramientos de este tipo alrededor del Lago Llanquihue?. Nuevas imágenes (p.ej. Drone) permiten visualizar más secciones de este afloramiento que podrían ayudar a complementar esta caracterización. ¿Qué relación tienen estos depósitos con los de Puerto Chico? ¿Porqué estos están deformados y los otros no?

VOLCANES DE ARCILLA

Diques neptunianos cuaternarios en varves glaciares, Puerto Chico

PV10-SE Diques neptunianos cuaternarios en varves glaciares, “Volcanes de Arcilla” de Puerto Chico

Características Principales

Sitio de interés científico, educativo y geoturístico en donde se pueden ver estructuras sedimentarias que forman pequeños “volcanes” de arcilla

Imagen y/o Esquema

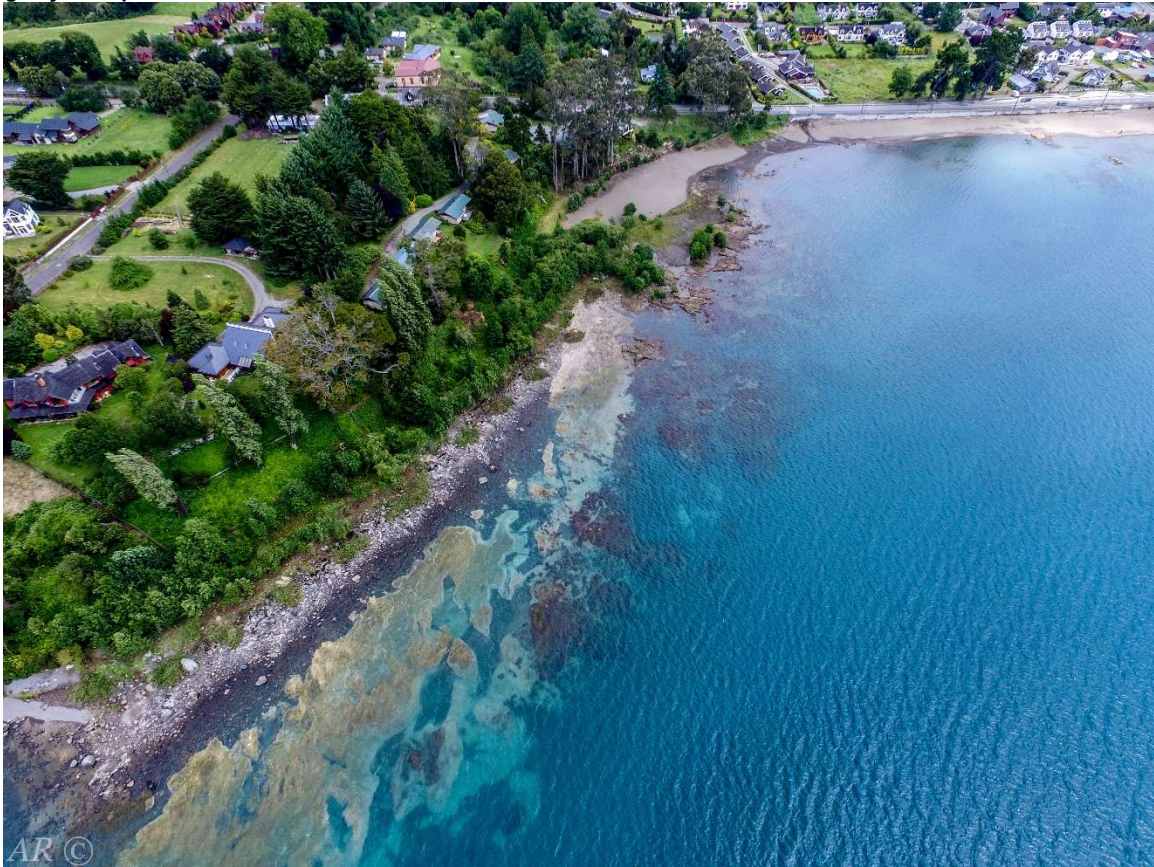


Figura 88. Fotografía aérea con dirección sur. Se pueden ver los afloramientos de depósitos glaciolacustres en tonos marrones. Al fondo, se ve el sector de Puerto Chico.

Descripción General

Este sitio se encuentra en el extremo este de la ciudad de Puerto Varas, en la playa de Puerto Chico. Para llegar a él, es necesario caminar alrededor de la playa que se curva en dirección al norte y cruzar entre un bosque recientemente talado, en el que existen pequeños senderos dejados por los habitantes de la zona. El lugar es de uso público y se encuentra muy próximo al centro urbano. Actualmente es muy visitado, pero no por sus elementos geológicos, si no como un lugar recreacional en donde los habitantes locales y turistas usualmente pisan sin conocimiento este frágil sitio. Además, es común encontrarlo deteriorado, con basura acumulada (sobre todo en temporada alta) y con sus elementos geológicos dañados, ya que no ha sido reconocido por la comunidad científica ni tampoco tiene protección alguna. Esto, sumado a su fácil acceso, lo vuelve vulnerable a la actividad humana.

La exposición de las estructuras sedimentarias, están muy relacionadas a las bajadas en el nivel del lago, ya que suelen encontrarse bajo el agua en los meses lluviosos, no obstante, siempre es posible encontrar algunas a la vista.

Aunque este tipo de formas no son únicas, su abundancia e integridad hacen de este lugar un sitio de excelentes condiciones para poder investigar, estudiar y visitar de cerca estas estructuras, pero se debe tener en consideración que grupos muy grandes pueden inevitablemente causar un daño irreversible a este lugar.

Aspectos Geológicos

A rasgos generales, se distinguen dos unidades. La primera son arenas, gravas y bloques subredondeadas de mala a moderada esfericidad, con clastos de variado origen en los que se encuentran algunos granitoides de los andes. Aunque estos granitoides

en su mayoría se encuentran no consolidados, también hay algunos insertos en una matriz areno limosa. La segunda es muy similar a la encontrada en Frutillar ([ver Sitio Varves de Frutillar](#)), y pareciera sobreyacer a

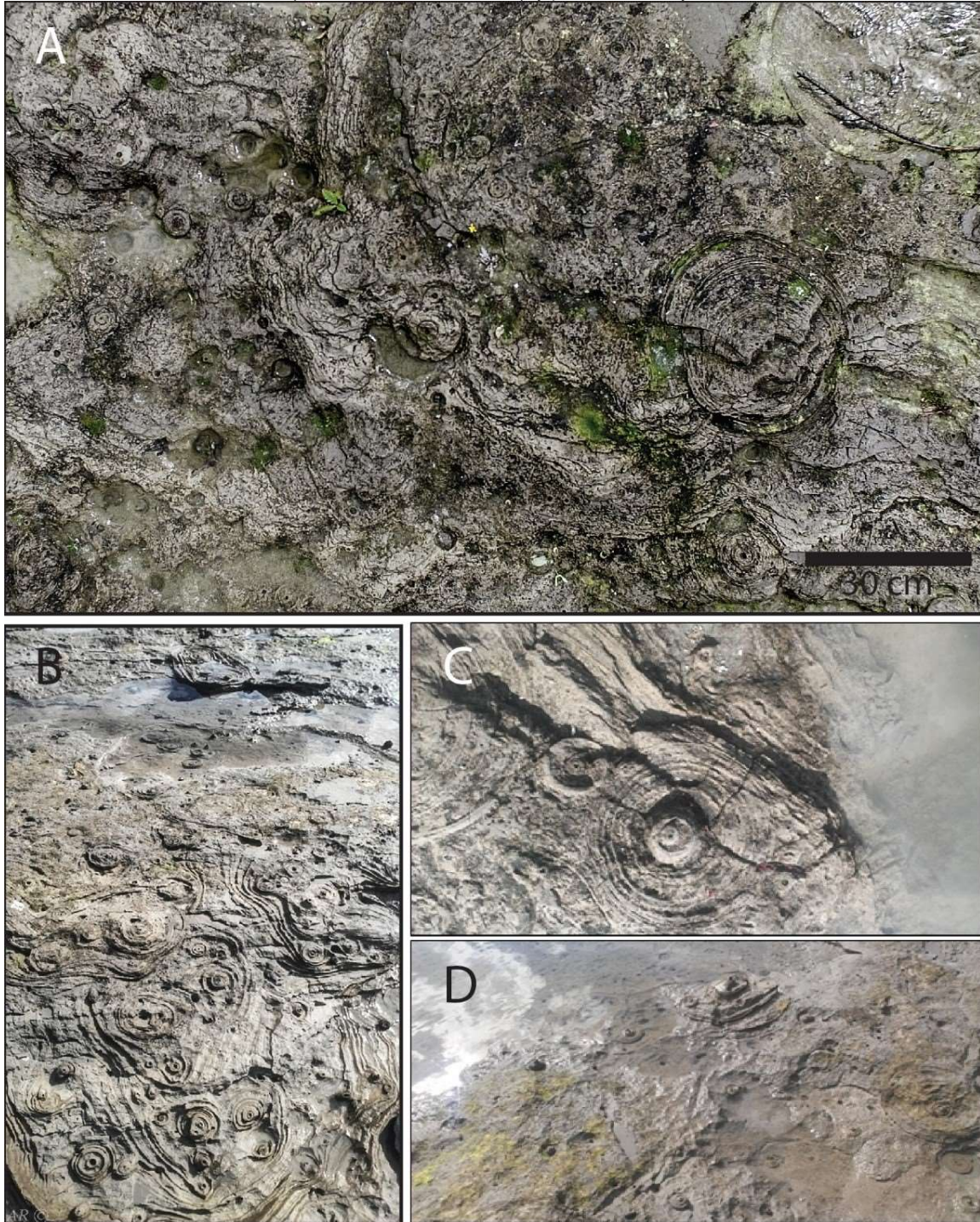


Figura 89. A, Sedimentos de color gris y tamaño arcilla finamente laminados, en donde se pueden observar conos con orificios cilíndricos que poseen a su alrededor círculos concéntricos. Los orificios suelen ser de tamaño centimétrico, encontrándose en su mayoría en un sector de no más de 10 m². Las formas cónicas de estos sedimentos, junto con el particular y regular orificio central relleno de arena, permiten proponer que se trata de un ducto de escape que deforma las delgadas capas de arcilla y genera estos pequeños “volcanes sedimentarios”. Estas estructuras sedimentarias son conocidas técnicamente como diques neptunianos. B, C, fotografías de detalle. En D, se observa la forma de “volcán” que tienen algunos de estas estructuras.

la primera. Esta unidad superior, a su vez, puede ser separada en dos subunidades. La primera (2A, [Figura 91](#)) se encuentra semiconsolidada y tiene, a macro escala, un color gris a pardo claro. Sus capas milimétricas de arcilla y limo están laminadas paralelamente e intercaladas en capas claras y oscuras. Además, presentan un desarrollo de estructuras sedimentarias de escape: formas cónicas y planas con un orificio cilíndrico relleno de arena que dibujan a su alrededor círculos concéntricos

(Figura 90). Por otro lado, se observan bloques métricos sobre e insertos en el sedimento, causando y no causando deformación en la subunidad además de moldes dejados por estos clastos que siguen profundizándose por la erosión del agua. De ocasionarla se interpretan como *dropstones*, es decir, rocas aloctonas que han sido transportadas sobre icebergs flotantes desde su origen. Si no fuera este el caso, pertenecen a la primera unidad y han sido parcialmente cubiertos por el fino sedimento. La segunda subunidad (2B, Figura 91), que aparentemente sobreyace de manera concordante a la primera, se encuentra bastante consolidada y tiene un predominante color marrón. Se observa estratificación paralela, homogénea, con desarrollo de vegetación en algunas zonas, y sin las estructuras sedimentarias presentes en la subunidad inferior. Por otro lado, no se observa fracturamiento o deformación. La Unidad 2 en su totalidad parece tener un manto y rumbo ligeramente distinto al de costa actual (N20°E) lo que pareciera indicar que se encuentran en su posición original.



Figura 90. Se puede ver el contacto entre la unidad 1 y 2A. Al parecer, la unidad 2A sobreyacería de manera concordante a la unidad 1, y su espesor no superaría los 50 cm. La arena que asciende por los pequeños volcanes, correspondería a parte de la matriz de la unidad 1. Esto sugiere la pregunta de si los grandes bloques encontrados en las varves son *dropstones* o simplemente han quedado cubiertos por la subunidad 2A

Respecto a la interpretación global de las unidades, dado el contexto y a que gran cantidad de bloques de la unidad 1, corresponden a rocas intrusivas características del sector andino, es muy posible que los bloques hayan sido transportados por fuerzas glaciares y depositadas posteriormente. Junto con esto, la madurez textural de los clastos y su disposición, permite sugerir que se trata de un depósito de desagüe glaciar o de morrena de fondo, re TRABAJADO por el lago actual. Por otra parte, la subunidad 2A representaría un ambiente lacustre pro glaciar, en donde bloques viajaban en icebergs flotantes que al derretirse precipitaron al fondo sobre el sedimento fino como *dropstones*. Por último la subunidad 2B, pareciera ser un depósito lacustre.

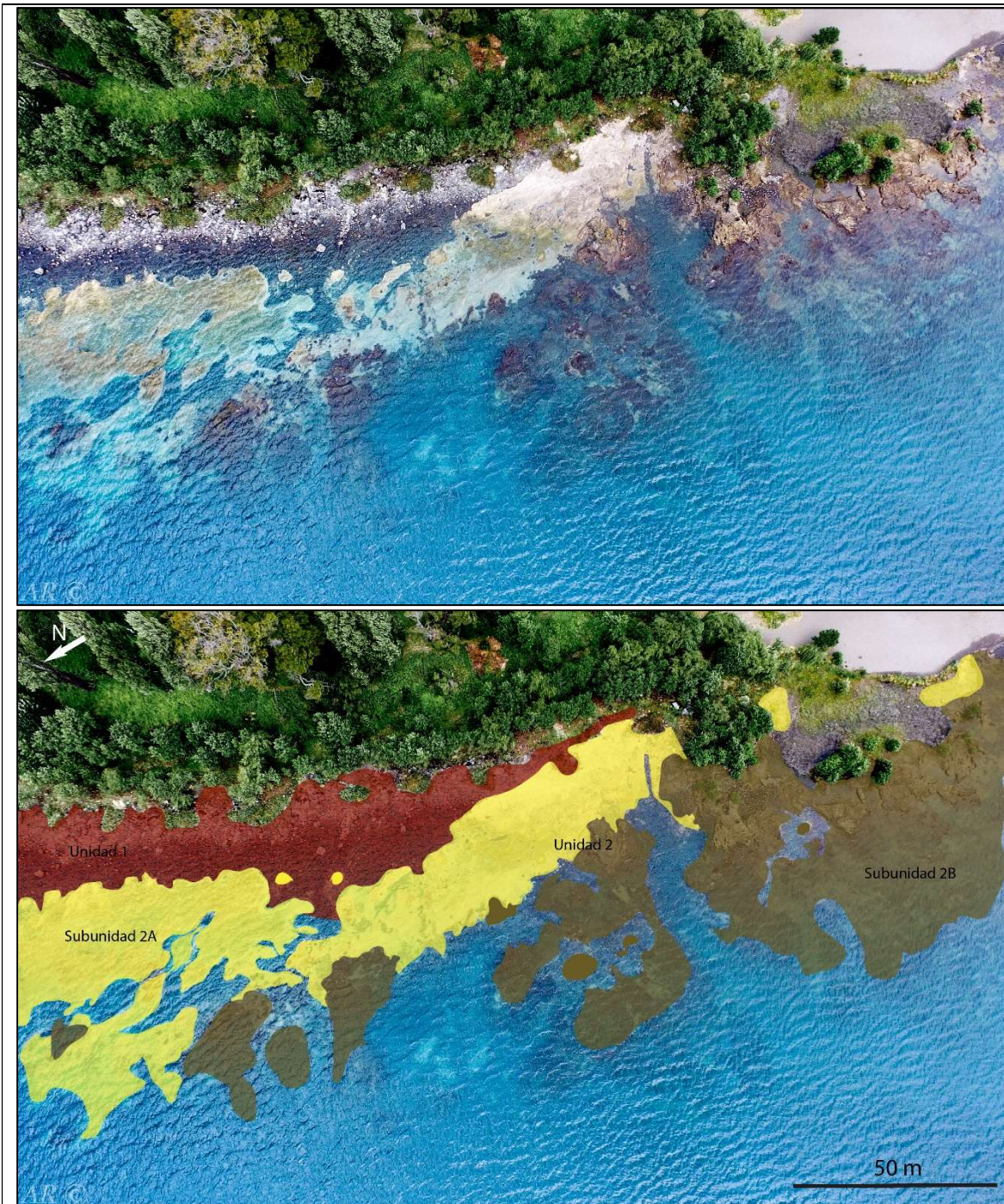


Figura 91 Vista planta del sitio e interpretación de las dos unidades reconocidas en este sector. Mientras que la Unidad 1 tiene un alto contenido de bloques y gravas, la subunidad 2A contrasta con el predominio de sedimentos finos: arcillas y limos color gris a pardo claro y sobre ella la homogénea subunidad 2B, también de grano fino y tonos marrones.

Estudios Sugeridos: Estudio de la génesis y morfología de los diques neptunianos ¿Porqué se formaron? Relación entre estas unidades y los depósitos de características similares en Frutillar y Puerto Varas: ¿Porqué estas unidades no están fracturadas y/o deformadas y si en Frutillar y Puerto varas? ¿Es determinante su posición lateral respecto del avance glaciar? En este trabajo, se han observado varves hasta 300 metros al este de este afloramiento, ¿Cuál es la extensión real de la Unidad 2? ¿Qué representa la Unidad 1?

VARVES DE FRUTILLAR

Varves lacustre pro glaciares deformadas y fracturadas del Cuaternario, Frutillar

FR01-GL Varves lacustre pro glaciares deformadas y fracturadas del Cuaternario, “Varves” de Frutillar”

Características Principales

Sitio de interés científico, geoturístico y educativo propuesto para ser considerado como geositio. En este lugar se pueden observar intercalaciones de arcillas de variadas tonalidades de grises y pardos, en afloramientos pequeños al interior del lago. Además se reconocen los efectos de procesos de deformación frágil y dúctil de estos sedimentos.

Imagen y/o esquema



Figura 92. Vista aérea hacia el sur del sector sur de la playa de Frutillar. Se observan sobre y bajo el nivel del lago, varios afloramientos de depósitos estratificados con tonalidades grises y marrones.

Descripción General

Frutillar es una localidad ubicada a 25 km al norte de Puerto Varas, en el sector oeste del lago Llanquihue. La identidad de este lugar, está fuertemente influenciada por la colonización germana del siglo XIX que fundó en 1856 esta localidad para ocupar las zonas australes y ejercer soberanía. Esta iniciativa fue promovida por el estado de Chile y liderada por personajes de renombre en la zona como Bernardo Philippi y Vicente Pérez Rosales, quienes entregaron terrenos libres de costo a alemanes que quisiera ocupar estas regiones. Cabe destacar que quienes habitaban gran parte del sur de Chile eran mapuches y el conflicto de tierras es un problema que se extiende hasta la actualidad. Algunos lugares, como el Museo Colonial Alemán, recuperan gran parte de la historia moderna de este lugar, siendo lugares típicos de visitación.

Hace casi cinco décadas que en esta localidad se celebra un festival de verano conocido como las semanas musicales. Este evento, en la actualidad reúne a artistas de excelencia y el lugar elegido para ello es el Teatro del Lago, inaugurado el 6 de noviembre del año 2010, siendo el icono actual de Frutillar Bajo.

Las varves lacustres deformadas de Frutillar Bajo se ubican sobre la Playa de Frutillar, en el extremo sur, próximo al Teatro del Lago, cuyo acceso se hace posible gracias a la ruta pavimentada V-155 (costanera Bernardo Philippi) que recorre el sector costero de norte a sur.

Este lugar es de uso público y no es reconocido por la comunidad por su valor geológico, por lo que no cuenta con ningún mecanismo de protección. Esto, ha producido que se encuentre degradado en algunas zonas, principalmente debido a personas que destruyen parte de los frágiles depósitos y/o los rallan. Aun así, existen todavía depósitos en muy buenas condiciones que ilustran diferentes procesos geológicos de manera clara y con potencial para ser interpretado por diversas personas.

Además de tener un valor científico, es sensato pensar en su potencial de uso educativo y turístico mientras se asegure su

conservación y no se contribuya a la degradación del entorno.



Figura 93. Fotografía de uno de los afloramientos cercanos a la orilla del lago, deteriorado producto de dibujos y firmas realizadas por personas. Afloramiento de 1,5 m x 1 m x 0,5 m

Aspectos Geológicos

Los depósitos descritos en esta zona, corresponden a intercalaciones de arcillas y limos de tonalidades blancas, grises y marrones que forman estratos, los cuales están deformados y/o fracturados. Se pueden observar afloramientos sobre el nivel del lago, los que se encuentran parcialmente cubiertos por arenas y limos en el fondo actual. Aunque muchos de los afloramientos se encuentran bajo el agua, existen algunos que sobrepasan varios centímetros el nivel actual desarrollando pequeñas capas de musgo.

A rasgos generales, se distinguen dos unidades (Figura 94). La primera tiene dos subunidades. La primera (inferior) tiene, a macro escala, un color gris y está compuesto por capas milimétricas de arcilla y limo que se encuentran laminadas paralelamente. Sin embargo, es común encontrarlas deformadas y/o fracturadas con un ilustrativo desarrollo de estructuras de compresión (Figura 95). La segunda subunidad, que aparentemente sobreyace a la primera, tiene un predominante color marrón y esta constituido por capas centimétricas de arcilla y limo, estratificadas de forma paralela. A diferencia de la primera subunidad, esta se observa menos deformada y/o fracturada. En algunos sectores de la subunidad 2A es posible identificar estructuras semicirculares concéntricas cuyo interior es un ducto relleno de fina arena (Figura 98) similares a los encontrados en el sitio “Volcanes de Arcilla” interpretados como diques neptunianos.

Una segunda unidad puede ser distinguida desde el aire y corresponde a un aparente cordón de gravas que se encuentra mayormente sumergido y solo aflora en la playa de salida sur de Frutillar Bajo (Figura 99). Un afloramiento en el sector sur de la playa, podría pertenecer a esta unidad. Se trata de gravas y bloques, tanto sueltos como insertos en matriz de limo-arcilla color pardo. Los clastos son de distinto origen, entre ellos existen rocas características del sector andino.

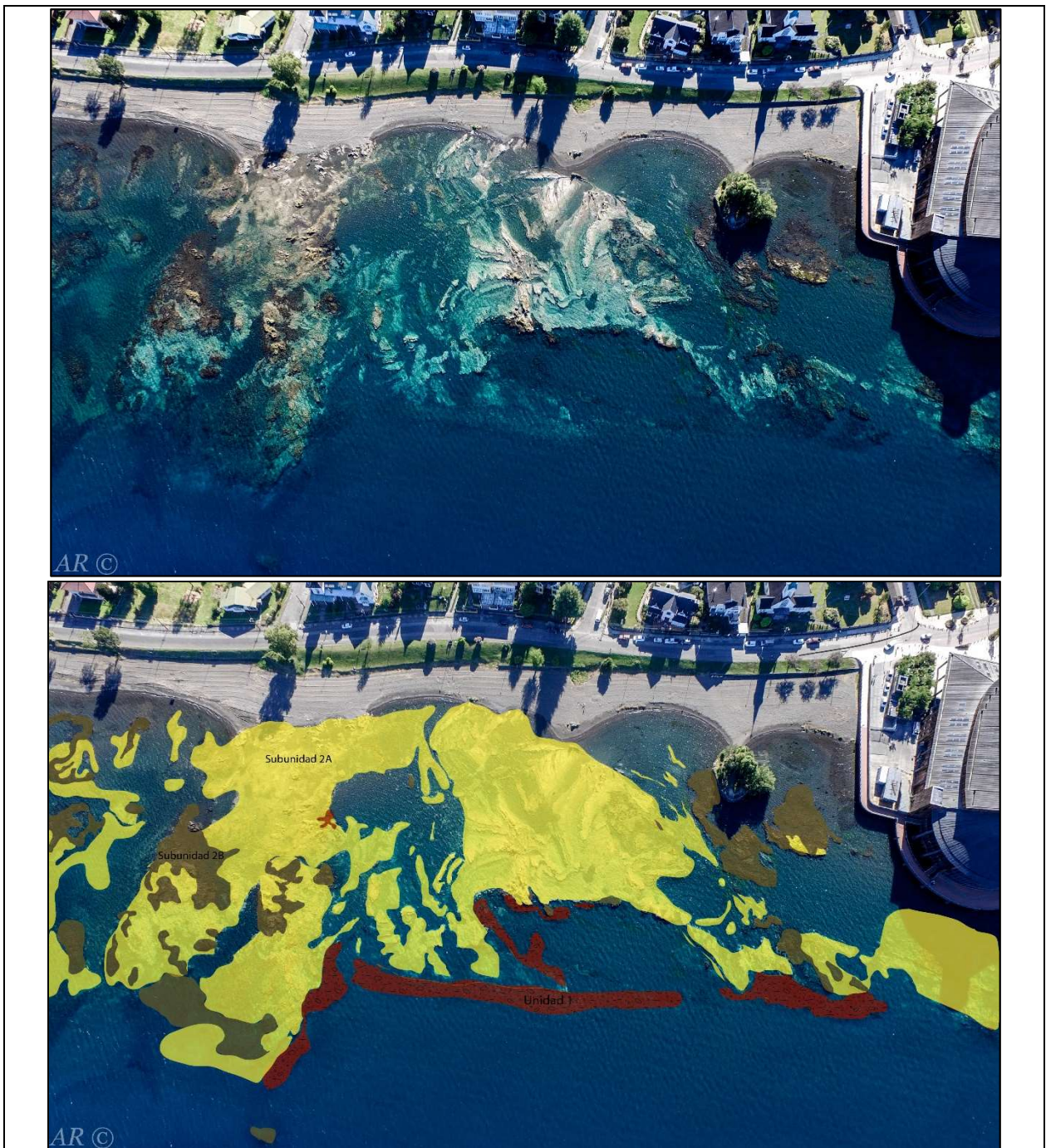


Figura 94 Arriba: Fotografía aérea con vista de planta del sector estudiado. Se pueden ver las unidades grises y marrones en afloramientos que sobrepasan en algunos casos el nivel del lago, y a la derecha se encuentra el Teatro del Lago. Abajo: Esquema de las unidades reconocidas.

Para Turbek y Lowell (1999) estos depósitos representan depósitos pro glaciares posteriormente deformados y fracturados.

Uno de los aspectos más relevantes de este sitio son las intercalaciones claras (verano) y oscuras (invierno) denominadas varves glaciolacustres que representan un año. La intercalación de sedimentos varvados puede contener abundantes compuestos biológicos, químicos y mineralógicos. La mayoría de los componentes del sedimento se producen en el lago (por ejemplo, materia orgánica, conchas silíceas de diatomeas, precipitados minerales), pero el viento es también un agente transportador de pequeñas cantidades de limo, arcilla y cenizas vertidas en el lago. Esto implica que un análisis detallado de

cada varve no solo aporta información cronológica, también guarda memoria de cambios climáticos y puede ser un mecanismo para reconstruir erupciones del pasado

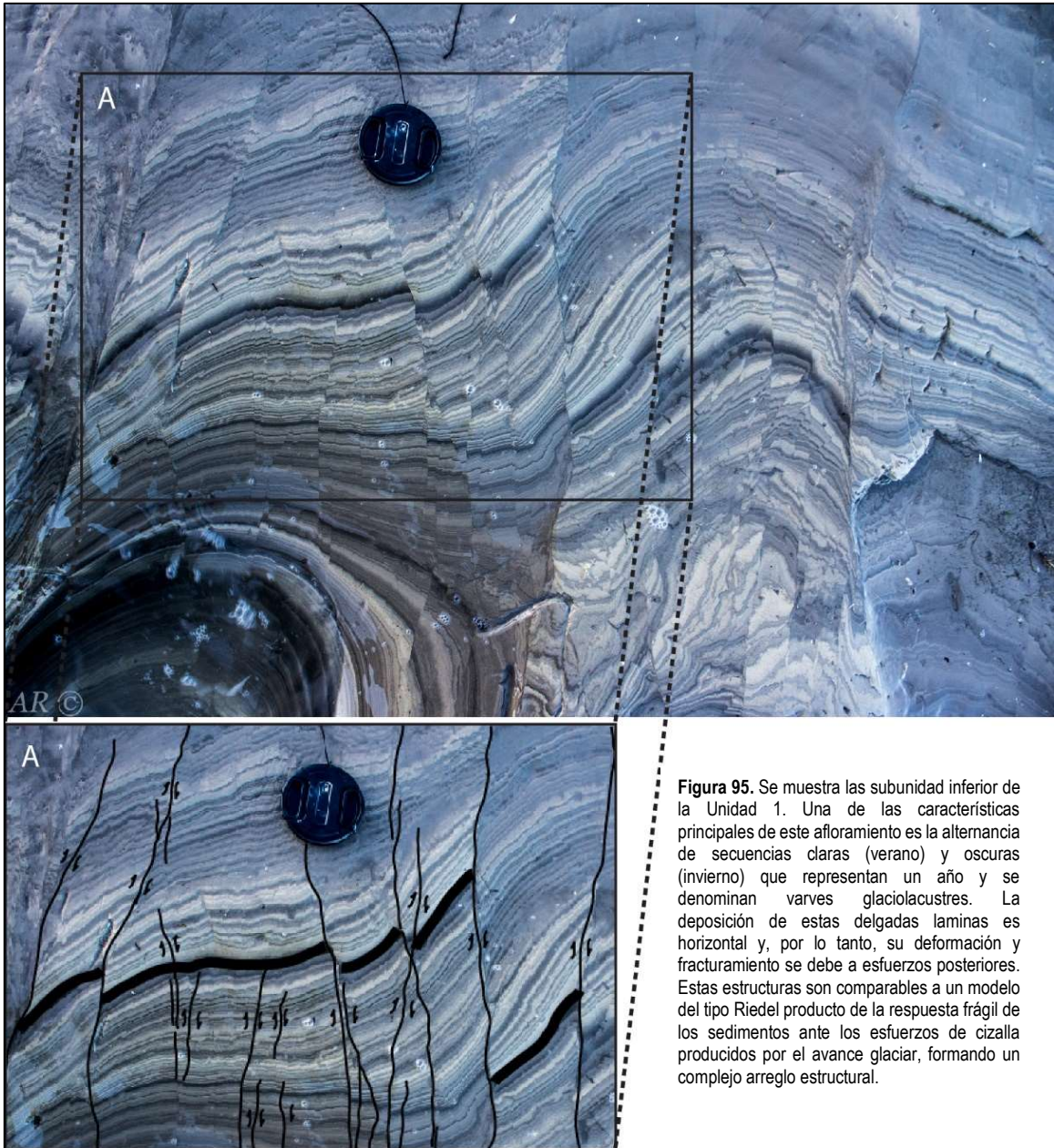


Figura 95. Se muestra las subunidad inferior de la Unidad 1. Una de las características principales de este afloramiento es la alternancia de secuencias claras (verano) y oscuras (invierno) que representan un año y se denominan varves glaciolacustres. La deposición de estas delgadas laminas es horizontal y, por lo tanto, su deformación y fracturamiento se debe a esfuerzos posteriores. Estas estructuras son comparables a un modelo del tipo Riedel producto de la respuesta frágil de los sedimentos ante los esfuerzos de cizalla producidos por el avance glaciar, formando un complejo arreglo estructural.

Otra característica, son las formas circulares que se forman en discretas partes superiores de los depósitos de la primera unidad. En un detallado análisis, es posible notar que estos círculos concéntricos son producto de la deformación que genera un ducto cuyo centro esta relleno de arena que ha sido inyectada desde capas inferiores. La razón de la inyección no ha sido determinada en este estudio, aunque se cree vinculada a la diferencia de densidad entre las capas saturadas de agua dando como resultado escape de fluidos atrapados en capas inferiores. Esto, transportaría arena en diques a la superficie deformando las capas y generando pequeños volcanes sedimentarios.



Figura 96. Se muestra la segunda subunidad de la Unidad 1. Se puede observar una estratificación paralela, con niveles centimétricos, y con desarrollo de musgo en las partes altas.



Figura 97. Se muestra el segundo miembro de la Unidad 1. Se puede ver como es también uno de los lugares escogidos por la Gaviota cahuil (Kaulle). Al igual que las varvas glaciares, el plumaje de estas aves varía estacionalmente cambiando de blanco a negro cuando se encuentra en periodo reproductivo (verano)

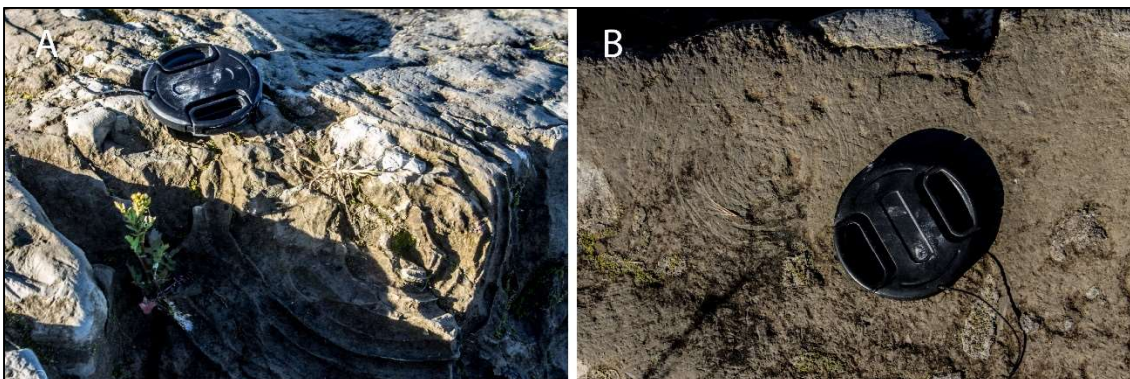


Figura 98. Estructuras semicirculares y concéntricas encontradas en los niveles superiores de estos depósitos. Debido a que en su centro poseen un conducto relleno de arena, han sido interpretadas como estructuras de inyección y la deformación producida por esta, sería la responsable de estas figuras (ver sitio Volcanes de arcilla).



Figura 99 Vista Norte En este sector (sur de la playa) se comienzan a observar gran cantidad de gravas y bloques sueltos que culminan en un pequeño afloramiento consolidado de la Unidad 1.

Estudios Sugeridos: Dataciones de las capas orgánicas encontradas en las varves glaciares, ya que nuevas edades podrían ayudar a mejorar cronológicamente el estudio de los glaciares en Chile. Estudio en detalle de las varves podría permitir conocer acerca de episodios anuales y dar un tiempo de deposición. Se recomienda también estudiar los diques neptunianos.

Capítulo 8 Valoración Cuantitativa del inventario de Geodiversidad

En el Capítulo 4 de este trabajo, fueron presentadas algunas consideraciones sobre el valor funcional que tiene la valoración de los elementos de la naturaleza, en particular de la geodiversidad, así como sobre la metodología propuesta para cuantificar dicha geodiversidad en este trabajo.

Dicho esto, en este capítulo se presenta las valoraciones cuantitativas de los 11 sitios caracterizados en el capítulo anterior separadas que entregan datos acerca de su valor científico, potencial de uso educativo, turístico y su riesgo de degradación, además de un análisis de los datos obtenidos

Valores obtenidos en cada área evaluada: Potencial de uso turístico (PUT), potencial de uso educativo (PUE), valor científico (VC) y riesgo de degradación (RD).

Para la valoración cuantitativa de los geositos se usaron los parámetros de las [Tablas 4,10 y 12](#) de la [Sección 4.3](#) del [Capítulo 4](#) de este trabajo. Se han valorado todas las áreas (VC, PUE, PUT, RD) para cada uno de los sitios siendo respectivamente ponderadas según lo indican las [Tablas 5,7, 9 y 13](#) del mismo capítulo y sección mencionado anteriormente. Por último, estos valores han sido interpretados cualitativamente según la [Tabla 14](#) con un valor bajo ó “<2”, moderado ó entre 2-3, ó alto “>3”.

En la [Tabla 17](#) se presenta una síntesis de los resultados numéricos obtenidos de todos los geositos inventariados.

Los [Gráficos 5, 6, 7, 8](#) muestran respectivamente los resultados obtenidos para VC, PUE, PUT y RD.

Por último, la [Figura 100](#) muestra un diagrama radial del total de sitios y los respectivos valores obtenidos en cada categoría

8.1 Análisis de los datos obtenidos

Haciendo un análisis de los resultados obtenidos y compilados en la [Tabla 17](#) se puede establecer lo siguiente:

- Con relación al valor científico de los sitios con puntuación final encima de la media ([Gráfico 5](#)) consisten en sitios que ciertamente se encuentran en buenas condiciones, tienen una importancia para comprender algún fragmento de la historia geológica del territorio, son singulares y parte de ellos fue eventualmente reconocida por la comunidad científica a través de algún trabajo a fin. Dos sitios, Cráter rojo y Saltos del Petrohué que fueron considerados de interés científico en la evaluación cualitativa no encuentran el mismo resultado en sus puntajes. Esto se debe a que el primero, no es una localidad tipo ni tampoco presenta una diversidad geológica suficiente. El segundo sitio, no ha sido considerado por la comunidad científica para ningún estudio y como una de las consecuencias, no es localidad tipo de ningún fenómeno en el territorio. El resto de los sitios con $VC < 2$ definitivamente no presentan una relevancia científica.

Tabla 17 Síntesis de la evaluación cuantitativa de los sitios inventariados

Potencial de Uso / Sitios	PV01	PV02	PV03	PV04	PV05	PV06	PV07	PV08	PV09	PV10	FR01
Vulnerabilidad	4	4	4	4	4	4	4	4	1	1	1
Accesibilidad	4	4	3	3	4	3	4	4	4	4	4
Limitaciones de Uso	4	2	4	4	4	4	4	4	4	4	4
Seguridad	3	3	3	3	3	2	2	2	4	4	4
Logística	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
Densidad de Población	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
Asociación con otros valores	2	4	2	2	4	4	2	2	4	4	4
Escenario	2	4	2	1	4	0	0	2	2	2	0
Unicidad	4	4	3	2	2	4	1	1	2	2	2
Condiciones de Observación	4	4	4	4	2	3	4	4	4	4	4

Valor Científico / Sitios	PV01	PV02	PV03	PV04	PV05	PV06	PV07	PV08	PV09	PV10	FR01
Representatividad	4	2	2	2	2	4	2	2	2	2	2
Localidad tipo	1	0	0	1	0	2	0	0	2	0	2
Conocimiento científico	0	0	4	0	0	4	0	0	4	0	4
Integridad	4	4	4	4	2	2	4	4	2	4	4
Diversidad Geológica	4	4	1	4	1	4	1	1	4	2	4
Singularidad	4	2	4	4	2	1	1	1	2	4	2
Limitaciones de Uso	4	2	2	2	2	4	4	4	4	4	4
Total	3.20	1.90	2.25	2.40	1.45	2.85	1.80	1.80	2.40	2.30	2.70

Turístico / Sitios	PV01	PV02	PV03	PV04	PV05	PV06	PV07	PV08	PV09	PV10	FR01
Potencial Interpretativo	3	3	3	4	3	2	3	3	2	2	3
Nivel Económico	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Cercanía a áreas de recreación	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
Total	3.15	3.45	2.95	2.80	3.25	2.60	2.45	2.75	2.75	2.75	2.55

Educativo / Sitios	PV01	PV02	PV03	PV04	PV05	PV06	PV07	PV08	PV09	PV10	FR01
Potencial Didáctico	2	2	3	2	3	2	2	2	2	2	2
Diversidad Geológica	4	3	4	4	1	2	2	2	3	2	3
Total	3.20	3.20	3.25	2.95	3.00	2.70	2.65	2.75	2.90	2.80	2.80

Riesgo de degradación / Sitios	PV05	PV01	PV03	PV02	PV09	PV02	PV04	PV08	PV07	PV06	FR01
Deterioro de los elementos geológicos	1	1	1	1	2	3	1	1	3	4	3
Cercanía a áreas/actividades que potencialmente causan degradación	2	0	1	1	0	4	4	4	4	4	4
Protección Legal	3	1	2	2	1	4	4	4	4	4	4
Accesibilidad	4	4	3	3	4	3	4	4	4	4	4
Densidad de población	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
Total	2.10	1.30	1.55	1.55	1.60	3.15	2.70	2.70	3.30	3.60	3.30

	MEDIA VC	MEDIA PUE	MEDIA PUT	MEDIA RD
	2.28	2.93	2.86	2.44

	Basaltos Columnares el Abanico	Salto del Petrohué	Cráter Rojo	La Fisura de 1835	Laguna Verde	Piroclastos del Trébol Norte	La Morrena	Gravas y Arenas	Varves de Puerto Varas	Volcanes de Arcilla	Varves de Frutillar
Valor científico	3.20	1.90	2.25	2.40	1.45	2.85	1.80	1.80	2.40	2.30	2.70
Potencial de uso turístico	3.15	3.45	2.95	2.80	3.25	2.60	2.45	2.75	2.75	2.75	2.55
Potencial de uso educativo	3.20	3.20	3.25	2.95	3.00	2.70	2.65	2.75	2.90	2.80	2.80
Riesgo de degradación	2.10	1.30	1.55	1.55	1.60	3.15	2.70	2.70	3.30	3.60	3.30

Valores altos
Valores medios
Valores bajos

- Con relación al potencial de uso educativo, los sitios mostraron una media 2.93 (Gráfico 6) muy cercana al valor 3 considerado como alto. Esto quiere decir que en su mayoría, los sitios escogidos son buenos ejemplos para ser usados en programas educativos, sumado a esto, todos los valores son PUE>2 lo que indica que los sitios son definitivamente un recurso educacional a considerar. Dicho lo anterior, los cinco sitios con VE>2.93 tienen efectivamente un potencial para ser utilizados en educación en cuanto presentan una buena accesibilidad, una diversidad geológica suficiente para estimular el aprendizaje y un potencial didáctico para ser comprendido por diferentes niveles de educación con las condiciones de seguridad adecuadas.

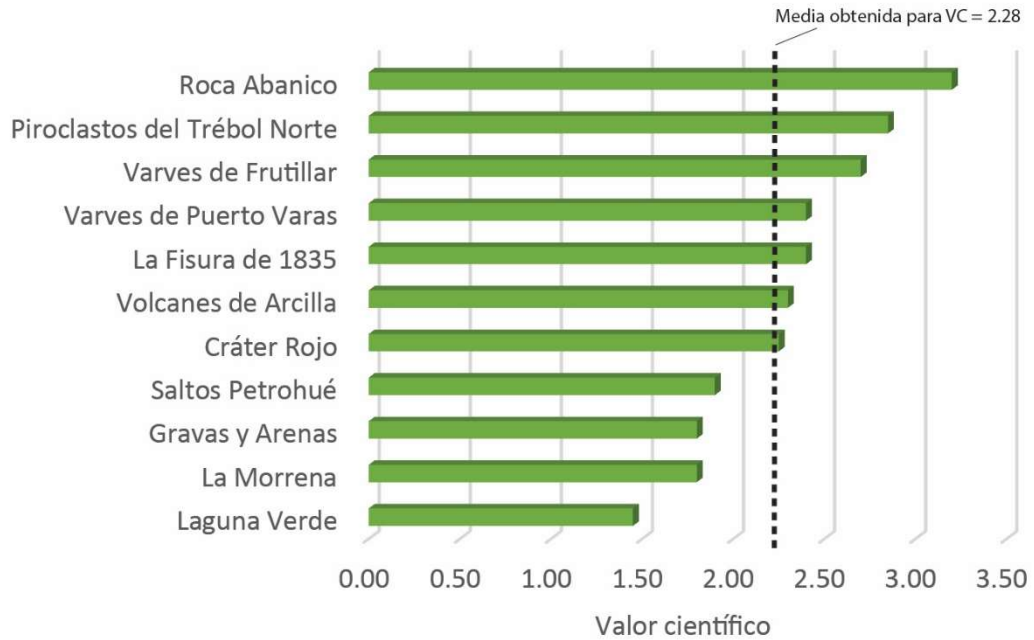


Gráfico 5 Resultados obtenidos para el Valor Científico (VC)

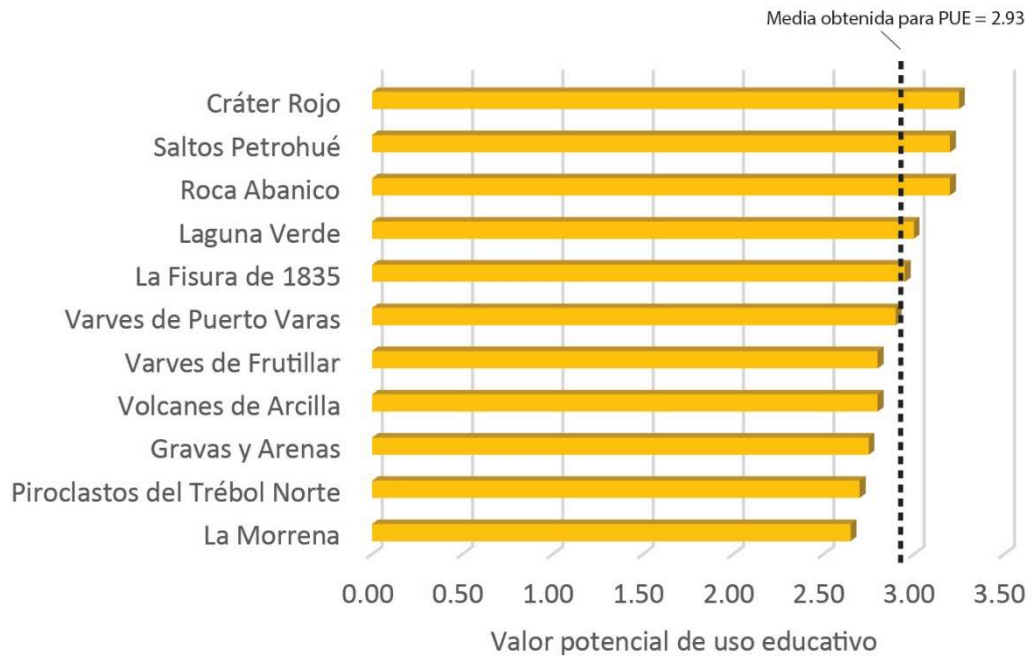


Gráfico 6 Resultados obtenidos para el Potencial de Uso Educativo (PUE)

- El potencial de uso turístico también posee buenos resultados (Gráfico 7). Aquellos sitios que se encuentran por encima de la media son efectivamente los que hoy representan los principales atractivos de la zona de estudio y han sido reconocidos por la comunidad local. Destacan en este grupo Saltos de Petrohué y Laguna Verde iconos del Parque Nacional Vicente Pérez Rosales. Otros dos sitios, Roca Abanico y Cráter Rojo, aún siendo menos visitados, también forman parte de este selecto grupo. Mientras que el primero ha sido reconocido con por la comunidad local encontrando una señalética que lo indica, junto con un mirador y un estacionamiento para poder observarlo, el segundo resulta uno de los principales atractivos del flanco sur occidental del Volcán Osorno, con posibilidad de realizar visitas guiadas. Respecto al resto de los sitios, todos presentan $PUT > 2$ por lo que se recomiendan ser considerados como una nueva alternativa de turismo local.

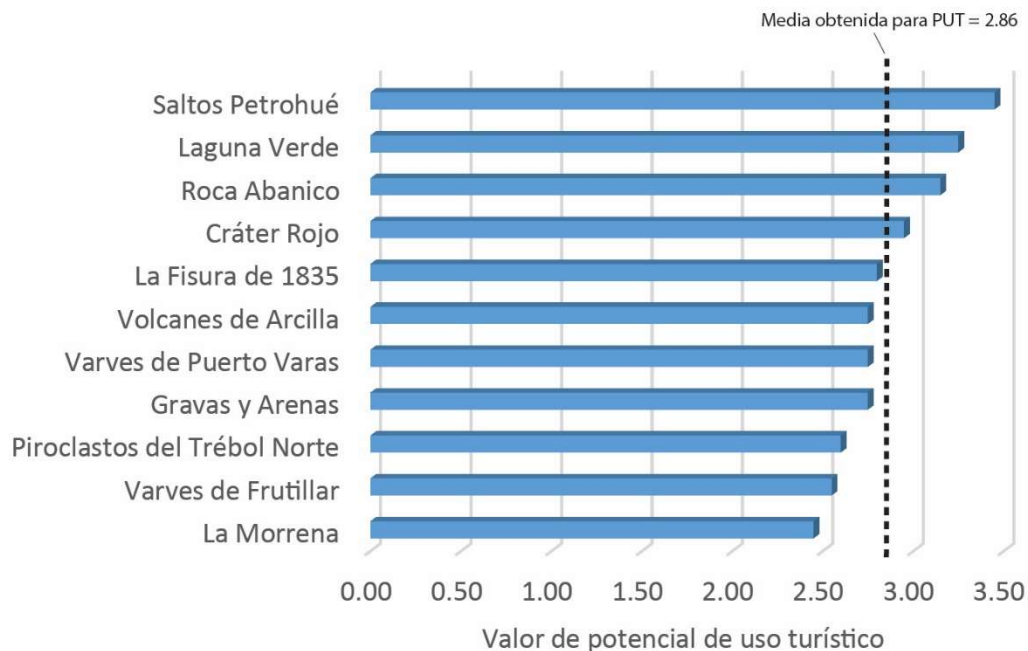


Gráfico 7 Resultados obtenidos para el Potencial de Uso Turístico (PUT)

- Los resultados relacionados al riesgo de degradación son un indicador que pone en evidencia el estado actual de deterioro de un sitio y su fragilidad para ser dañado o destruido por visitantes si no se toman acciones concretas de geoconservación. Además, en caso de no tener protección legal, son también vulnerables a cualquier otro tipo de intervenciones humanas (p.ej explotación de aridos, proyectos inmobiliarios, otros). Respecto a los resultados de la cuantificación del riesgo de degradación (Gráfico 8) 5 sitios, que representan el 45%, han sido considerado sobre la media y si además consideramos que Roca Abanico posee un $RD > 2$ más de la mitad de los sitios deben ser considerados en políticas de geoconservación. Sumado a esto, si un sitio tiene un valor elevado en otra área, como Roca Abanico y Piroclastos de Trébol Norte (Figura 100) que son excepcionales desde un punto de vista científico, deben ser considerados como prioritarios en estos planes.

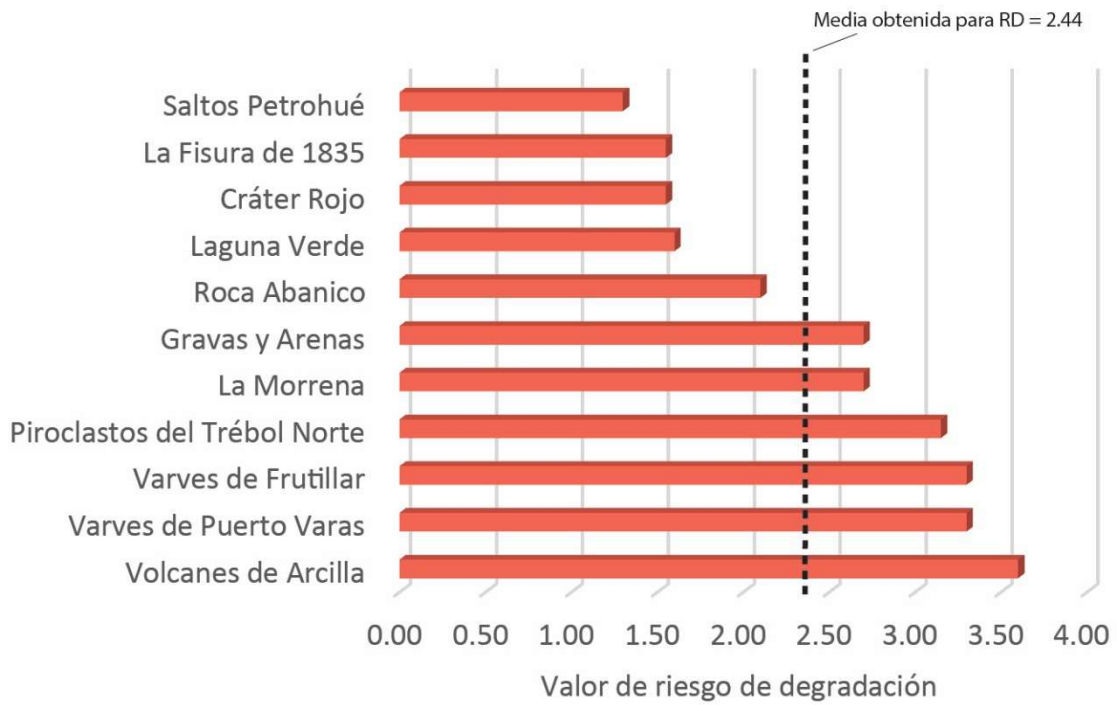


Gráfico 8 Resultados obtenidos para el Riesgo de Degradación (RD)

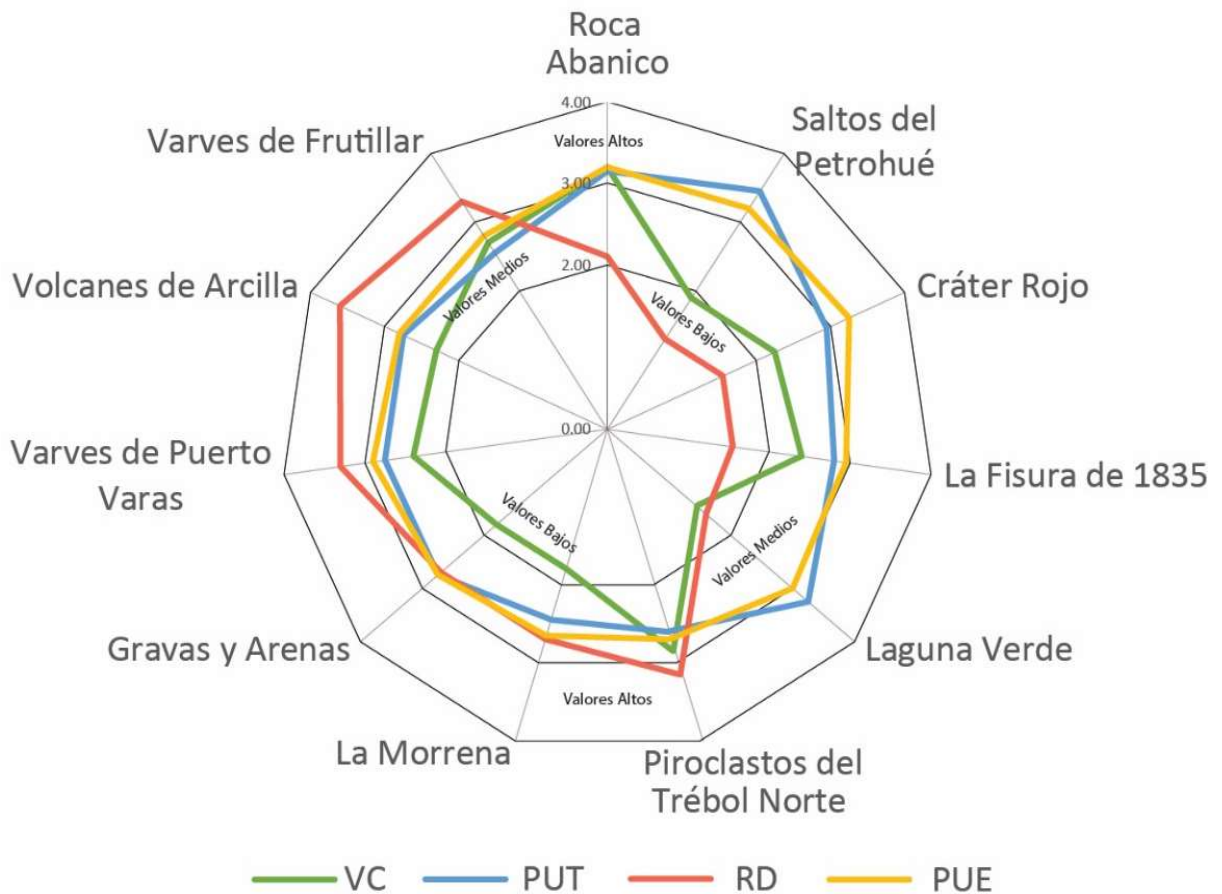


Figura 100. Diagrama Radial de los valores VC, PUT, RD, PUE de los sitios del inventario

La metodología para el análisis cualitativo de la geodiversidad ha sido una herramienta de gran utilidad en este trabajo en la medida que cada sitio ha sido seleccionado y discriminado en base a 4 criterios definidos y organizados por el tipo de interés, reduciendo la subjetividad de su elección y eliminando, de manera preliminar, aquellos sitios que no presentan una plusvalía respecto al resto de la geodiversidad del entorno sin que esto amerite evaluaciones cuantitativas para determinarlo. Esto queda evidenciado en que la valoración numérica para los potenciales de uso científico, turístico y educativo encuentran valores medios y altos para los principales intereses detectados.

Desde un punto de vista científico la búsqueda de sitios asociados a áreas temáticas también es una labor necesaria en cuanto permite saber qué es lo que se está representando y cuán singular es. Además, establece las bases para trabajos futuros que puedan complementar los inventarios realizados, guiando la búsqueda de nuevos sitios hacia las áreas temáticas con menor desarrollo. Dicho lo anterior, también se piensa que para planes educativos y geoturísticos, los beneficios de tener la máxima cantidad de contextos geológicos representados se ven reflejado en una mayor diversidad de procesos para ser estudiados y una mayor variedad de paisajes para ser visitados.

Respecto a la evaluación numérica, para este trabajo se tomaron algunas consideraciones. Para el parámetro “Seguridad” por ejemplo, hay sitios que si bien no tienen infraestructura, han sido considerados con su máximo puntaje debido a que, para juicio del autor, no representan un riesgo al tener un constante flujo de personas. Esto son los casos de Varves de Puerto Varas, Volcánes de Arcilla y Varves de Frutillar que están ubicados en la orilla del lago en zonas de uso habitual.

Se ha asumido que en Parques Nacionales la normativa se cumple y por lo tanto la “Vulnerabilidad” de los sitios que están dentro de estos territorios se ve disminuida por las políticas existentes, aun cuando presenten condiciones similares a sitios que no están en estos territorios. Este ideal debe ser considerado a la hora de tomar medidas reales de gestión.

Aunque la comuna de Puerto Varas, presenta una “Densidad de Población” menor a la de 100 hab/km² hay que considerar que básicamente la mitad de su territorio es área protegida y que esta ciudad recibe cientos de miles de turistas al año (más de 800.000 visitantes tuvo el destino Llanquihue durante el año 2015). Junto a esto, a solo 25 km de Puerto Varas, está Puerto Montt (175.938 hab, 2002), capital de la Región de los Lagos, lo que en términos estrictos, aumenta considerablemente la población base, sobre todo en temporada estival. Es por esto que se ha asignado 2 puntos a esta comuna.

Respecto a la “Unicidad/Singularidad”, la falta de identificación y valoración de la geodiversidad en otras zonas de país vuelve difícil establecer un parámetro comparativo de que es único y que no. Debido a esto los puntajes asignados pueden haber sido sobre o subvalorados de acuerdo a la experiencia y conocimiento del autor.

Considerando lo anterior, la metodología propuesta por Brilha (2016), ajustada levemente al escenario local, resultó una herramienta de trabajo esencial y una referencia que se espera sirva para trabajos futuros. El establecer criterios de valoración para distintas categorías de interés (científico, educativo, turístico) es fundamental para no introducir errores innecesarios y valorar de acuerdo a lo que se necesita. Así, se les ha asignado diferentes puntajes a un mismo sitio, pudiendo fácilmente discriminar el mejor uso que este pueda tener y guiando las futuras investigaciones, programas educativos, turísticos y las políticas públicas

necesarias para la conservación de estos.

Hay que considerar que aun cuando esta valoración cuantitativa busca minimizar la subjetividad con que se evalúa un lugar, los puntajes asignados dependerán del evaluador, su experiencia y su observación durante el trabajo de campo, lo que da un espacio a que estos no sean valores permanentes. Es más, los criterios dependen de las condiciones en que fueron observados y debido a la variabilidad de la naturaleza en todo su espectro (que incluye intervenciones humanas), los puntajes obtenidos varían en cuanto lo hacen las condiciones de cada lugar. Es por esto que se recomienda establecer un programa de geoconservación que mantenga una constante evaluación de las condiciones de cada sitio.

El área de estudio presenta al menos 6 de los 22 contextos geológicos nacionales propuestos por Mourgues *et al.* (2012) siendo 4 representados en el inventario de geodiversidad: Volcanismo Cuaternario, Geoformas y depósitos glaciares del centro y sur de Chile, Mega Estructuras y Neotectónica, y Ambientes Lacustres del Cuaternario. Esto se debe al que el resto de los contextos se inclinan hacia el sector Andino en donde el acceso es de mayor dificultad y, por lo tanto, de menor potencial de uso. Dicho lo anterior, el inventario es robusto para el diseño de programas educativos y geoturísticos relacionados al volcanismo cuaternario y las glaciaciones, que presentan buenas condiciones de accesibilidad y seguridad, pero todavía con muchísimo potencial para desarrollar los otros dos contextos. En este sentido, de los 55 potenciales sitios, al menos 29 han quedado disponibles para ser objetivos claros de una futura investigación

Si bien los puntajes asignados a los sitios buscan ser una representación lo más objetiva posible, hay que considerar que los puntajes obtenidos en cada una de las áreas valoradas son modificables en cuanto lo son las condiciones que afectan directamente a los criterios valorados. Es por esto, que “malos puntajes” no necesariamente indican que un sitio debe ser descartado, si no que permiten mediante un puntaje total, indagar en qué sub-áreas el sitio es débil y cuáles de esas pueden ser mejoradas. Del análisis de los datos se desprende que:

- Con relación al valor científico, un sitio encuentra discordia entre el interés planteado por el autor y la evaluación numérica. Corresponde al sitio Saltos del Petrohué que posee $VC < 2$ debido a no ser considerado por la comunidad científica en ningún estudio, aun cuando se trate de uno de los mayores destinos turísticos de la zona. En este sentido, gracias a este inventario, existe la posibilidad de potenciar este sector, que hoy es visitado por los saltos de agua que hace el río Petrohué en antiguas y erodadas lavas del volcán Osorno, estableciendo nuevos atractivos de carácter geoturísticos descongestionando la pasarela “Diatomea” en donde se encuentra el mirador principal. A nivel regional, el sitio “Roca Abanico” tiene un alto valor científico según las evaluaciones de este estudio. Sin embargo aún no existen estudios de relevancia nacional o internacional de este sitio, siendo un objeto de estudio prioritario en la región. Se establece además un argumento para que los 7 sitios que están sobre el valor científico medio, sean propuestos para el programa de detección de geositios de la SGCh.
- Respecto al potencial de uso educativo, todos sitios han demostrado ser buenos ejemplos para ser usado en programas educativos, en particular para enseñanza media y universitaria presentando valores superiores a 2 (Figura 101). Esto resulta una novedad y una nueva opción de educación en la región en la que se espera este inventario proporciona información básica para la creación de programas de educación fuera del aula. Cabe destacar que sitios como Cráter Rojo, La Fisura de 1835, Laguna Verde que se encuentran conectados en su génesis y a distancias óptimas fueron visitados por los estudiantes de la Universidad Austral en el contexto del terreno de volcanología con

Diagramas de valores



Figura 101 Diagramas radiales de valores de los diferentes sitios según sus valores de VC, PUT, PUE y RD. Se muestra un ejemplo de los valores ideales (4, 4, 4,0) respectivamente. Umbral = 2

muy buenos resultados comprobando la utilidad que tuvo el reconocimiento, valoración y caracterización de estos sitios. Dado esto y en base a criterios como accesibilidad, distancia entre los sitios relativos a un mismo contexto y seguridad de los sitios, se propone la creación de dos rutas educativas una para el contexto Volcanismo Cuaternario y otra para Geformas y depósitos Glaciares del Cuaternario.



Figura 102 Fotografía tomada durante el terreno de la asignatura de Volcanología Física de la Universidad Austral de Chile

- El potencial de uso turístico también presenta posibilidades. Aunque los resultados destaquen sitios ya conocidos en el territorio como Saltos de Petrohué y Laguna Verde, la caracterización realizada en este inventario inviste a estos lugares de nueva información que complementan la ya existente. Además la evaluación cualitativa y cuantitativa demuestra que este trabajo permite pensar en nuevos destinos para el turismo y en particular para el geoturismo con un potencial de uso turístico para todos los sitios inventariados y con nuevos “imperdibles” en el territorio como Roca Abanico y Cráter Rojo.
- Relacionado al riesgo de degradación de los sitios en este territorio, los resultados señalan que más de la mitad de los sitios deben ser considerados en políticas de geoconservación. Sin embargo el sitio Trébol Norte tienen forma de rombo en la Figura 101. Esto quiere decir que sus valores son superiores a 2 en todas sus aristas, en particular en VC y RD, implicando que debe ser uno de los primeros objetivos en un plan de gestión del Patrimonio Geológico, ya que conforma un fragmento esencial en la construcción de la historia de la geológica local y regional. Un aspecto no menor a considerar es el valor “4” para el criterio “Protección Legal”. El establecer políticas públicas, por ejemplo, una legislación que ayude a resguardar la geodiversidad, disminuiría teóricamente el riesgo de degradación de todos los sitios por lo que se recomienda también, seguir impulsando aquellas iniciativas nacionales respecto al reconocimiento de la geodiversidad, sus elementos y la importancia que estos tienen en la sociedad.

La valorización de los sitios, a través de la información disponible sobre su historia geológica, deberá contribuir a educar y concientizar a la población local y visitantes sobre la importancia y necesidad de conservación de los diferentes sitios, debido que, a diferencia de la naturaleza biológica que tiene casi siempre una cierta capacidad para ajustarse a los cambios, la naturaleza abiótica no lo hace. Los

monumentos geológicos y geomorfológicos tienen una extensión finita; no pueden acomodarse al desarrollo, ni mantener su valor intrínseco ante las modificaciones siendo completamente no renovables.

Además se espera que este inventario permita incrementar y agregar valor a las actividades turísticas en curso, favoreciendo la inclusión de alguno de estos sitios en rutas geoturísticas. Estas medidas podrán ampliar las tradicionales recetas utilizadas por la actividad turística, estableciendo un nexo entre los sitios, la ciencia, educación y el desenvolvimiento sustentable de la región conforme a la filosofía de los geoparques ([Anexo B](#)).

La educación, ya sea de manera formal en el aula, a través del geoturismo u otro tipo de programas, no solo genera una población con mayor conocimiento de su entorno natural. Esta misma condición permite entender la dinámica y escala a la que ocurren los procesos geológicos. Así, en territorios como Puerto Varas, en donde existe un peligro latente asociado a los volcanes, es fundamental que exista una comunidad que comprenda la diversidad de eventos que pueden ocurrir, con y sin una erupción, y como reaccionar ante ellos. En este sentido, percibir y apreciar los sitios geológicos, permite vincular a las personas con su territorio, pero también empoderarlos de un conocimiento base acerca de su comportamiento pudiendo mejorar la toma de decisiones a la hora de planificar el territorio o reaccionar ante una situación de emergencia.

Partiendo de la base que la evaluación cuantitativa es una herramienta que facilita la gestión de los sitios caracterizados de los datos obtenidos, se espera que este trabajo pueda ser guía en futuras intervenciones en el territorio. No obstante, no todas las reflexiones pueden ser basadas en criterios numéricos ni todas las soluciones deber ser realizadas para mejorar los puntajes de cada sitio, sobre todo si se trata de lugares públicos y cercanos a comunidades. Para esto, es necesario apoyarse en valoraciones cualitativas junto con un análisis del territorio y sus habitantes. Un sitio, por ejemplo, puede ser tradicionalmente usado por las personas locales como un lugar de recreación cuyo valor no necesariamente esta ligado a lo científico, turístico o educacional. Un rápido análisis numérico, puede llevar a tomar decisiones o soluciones en favor de una línea de pensamiento y podría ocurrir que la implementación de medidas para mejorar criterios como la accesibilidad, infraestructura, información u otra este en desmedro de otros intereses de la sociedad. Dicho esto y debido a que no todas las personas valoramos de igual manera un territorio, no corresponde sobreponer los intereses de la comunidad científica sobre los intereses de los habitantes de un territorio, quienes una vez informados, deber ser los gestores de la toma de decisiones. Así, se ofrece este inventario como una alternativa para la comunidad local y como una nueva perspectiva de desarrollo en investigación, educación y turismo.

Capítulo 10 Conclusiones

La metodología cualitativa y cuantitativa utilizada en este trabajo resulta ser una herramienta de gran utilidad en cuanto permite establecer objetivos claros de qué se está inventariando, para qué, con qué escala y con cuál finalidad. Además la creación de una ficha que guíe el trabajo de campo es sin duda una herramienta clave para la posterior caracterización de los sitios. Los 4 criterios propuestos por Brilha (2016) para la preselección de geositios y sitios de geodiversidad, han establecido un filtro óptimo que se evidencia en los buenos resultados numéricos de la evaluación cuantitativa.

Se ha elaborado un mapa a escala a 1:500.000 de los 6 contextos geológicos identificados en la comuna de Puerto Varas, a partir de los contextos geológicos nacionales propuestos por Mourgues *et al.* (2012). Estos son: Batolitos y Complejos Plutónicos del Mesozoico; Batolitos del Cenozoico (y grandes pórfidos cupríferos y depósitos de oro de Chile), Volcanismo Cuaternario, Mega Estructuras y Neotectónica; Geoformas y Depósitos glaciares del centro y sur de Chile y Ambientes lacustres del Cuaternario. Afloramientos de rocas sedimentarias Cenozoicas y algunos depósitos cuaternarios no han sido identificados dentro de estos contextos. Se han identificado 55 sitios de interés geológico, 40 de ellos han sido visitados, siendo caracterizados y valorados cualitativa y cuantitativamente 11 de ellos. De ésta se ha generado una base de datos de 29 sitios disponibles para futuras investigaciones técnico-científicas que busquen complementar este trabajo.

De acuerdo a sus características y su alto valor científico, resultado de la evaluación cuantitativa de los sitios, 7 lugares han sido considerados para ser propuestos al Programa de Detección y Establecimiento de Geositios en Chile de la SGCh. Todos los sitios tienen un valor moderado-alto en su potencial de uso educativo y turístico, suficientes para ser considerados dentro de la creación de programas relacionando a estas áreas. Desde un punto de vista educativo se propone la creación de dos rutas, una para el contexto Volcanismo Cuaternario y otra para Geoformas y depósitos Glaciares del Cuaternario que estén destinados a la enseñanza media y universitaria. Por otro lado, en cuanto al uso turístico y en particular geoturístico, se espera que este inventario permita desarrollar nuevos atractivos que descongestionen los lugares de visita habitual, además de sumar dos sitios de gran valor escénico: Roca Abanico y Cráter Rojo a los sitios destacados del territorio. Por último, se desprende de este trabajo que los esfuerzos nacionales para establecer políticas públicas que permitan dar cabida a la geodiversidad dentro de la legislación vigente es esencial para sustentar cualquier programa futuro de geoconservación. Además, la apreciación de los sitios geológicos, el entendimiento de su dinámica y su escala, puede contribuir a una población más empoderada en la toma de decisiones frente a eventos geológicos que los afectan directamente (p.ej. erupciones, aluviones, lahares) a la hora de planificar el territorio o reaccionar ante una situación de emergencia.

Considerando la información recopilada y generada en este trabajo, la comuna de Puerto Varas tiene las herramientas para iniciar actividades pioneras en materias de geoconservación, educación y geoturismo en el territorio. Iniciativas en torno a estos tres ejes, acompañadas de una adecuada gestión se transforman en una alternativa real de: aumentar el conocimiento en ciencias de la Tierra en las comunidades y visitantes; generar nuevas alternativas de empleo directo e indirecto en diferentes sectores relacionados al desarrollo del geoturismo; diversificar la oferta turística descongestionando tradicionales puntos de interés; contribuir al desarrollo de una identidad local coherente al entorno natural que caracteriza territorio, establecer un conocimiento base que contribuye a la toma de decisiones en planificación territorial y establecer las bases para estudios de factibilidad de un geoparque, entregando una nueva perspectiva para el desarrollo de la comuna y la región.

Bibliografía

- ADRIASOLA, A. C. THOMSON, S. N. BRIX, M. R. HERVÉ, F. Y STÖCKHERT, B. (2006). Postmagmatic cooling and late Cenozoic denudation of the North Patagonian Batholith in the Los Lagos region of Chile, 41–42 15' S. *International Journal of Earth Sciences*, 95(3), 504-528.
- ADRIASOLA, A. C. Y STOCKHERT, B. (2008). Historia de enfriamiento y deformación de rocas plutónicas a lo largo de la Zona de Falla Liquiñe-Ofqui, Sur de Chile (41°-42° 15'S). *Revista geológica de Chile*, 35(1), 39-61.
- AGUIRRE LE-BERT, L. Y LEVI DRESNER, B (1964). *Geología de la Cordillera de los Andes de las provincias de Cautín, Valdivia, Osorno y Llanquihue*. Instituto de investigaciones geológicas.
- ANDERSEN, B., DENTON, G. H., & LOWELL, T. V. (1999). Glacial geomorphologic maps of Llanquihue drift in the area of the southern Lake District, Chile. *Geografiska Annaler: Series A, Physical Geography*, 81(2), 155-166.
- ANTINAO, J.L. CLAYTON, J.D. SANTIBAÑEZ, I. TOLOCZYKI, M. SCHWERDTFEGER, B. HANISCH, J. Y KRUCK, W. (2000). *Geología para el Ordenamiento Territorial: Estudio Geoambiental del área Puerto Montt-Frutillar, X Región de Los Lagos*. Servicio Nacional de Geología y Minería. Boletín, No. 55. 34 p. 2 mapas escalas 1:100.000 y 1:20.000. Santiago.
- ÁLVAREZ, F. MARTINI, S. HERVÉ, F. Y GUZMÁN, C. (2009). Archipiélago Madre de Díos: Un patrimonio natural y cultural de la Patagonia Chilena. Santiago, 22, S5_001.
- ARAVENA BENDECK, N. (2014). *Geología y geopatrimonio del área de Cerro Castillo XI Región de Aysén Chile*. Memoria para optar al Título de Geólogo (inédito), Universidad de Chile, Departamento de Geología. Disponible en <http://repositorio.uchile.cl/handle/2250/131545>
- BENADO, J. (2013). *Patrimonio geológico del proyecto Geoparque Cajón del Maipo (Región Metropolitana - Chile)*. Tesis de magister, Universidade do Minho, Portugal. Disponible en <http://hdl.handle.net/1822/27649>
- BOWN, F., & RIVERA, A. (2007). Climate changes and recent glacier behaviour in the Chilean Lake District. *Global and Planetary Change*,
- BRILHA, J. B. (2005). *Património Geológico e Geoconservação: a conservação da natureza na sua vertente geológica*.
- BRILHA, J (2012). A Rede Global de Geoparques Nacionais: um instrumento para a promoção internacional da geoconservação. En *Geoparques do Brasil: propostas*, C.Shobbenhaus y C. Silva (Organizadores), CPRM-Serviço Geológico do Brasil, Rio de Janeiro, ISBN: 978-85-7499-154-2, 31-37.
- BRILHA, J. (2016). Inventory and quantitative assessment of geosites and geodiversity sites: a review. *Geoheritage*, 1-16.
- BROCK, M. Y SEMENIUK, V. (2007). Geoheritage and geoconservation-history, definition, scope and scale. *Journal of the Royal Society of Western Australia*, 90(2), 53-87.

BRUGGEN, H. (1927). Sobre la protección de un bloque errático situado cerca de Puente Alto. En: Hervé, F.; Schilling, M; Calderon, M.; Solari, M y Mourgues, A. 2012. La difícil tarea de identificar y proteger el patrimonio geológico de Chile. Actas del XIII Congreso Geológico de Chile, T-10: Geopatrimonio. Pp 896-890.

BRÜGGEN, M. J. (1950). Fundamentos de la Geología de Chile. Instituto Geográfico Militar.

BRUSCHI, V. M., Y CENDRERO, A. (2005). Geosite evaluation: can we measure intangible values. *II Cuaternario*, 18(1), 293-306.

BRUSCHI, V. M. CENDRERO, A. Y ALBERTOS, J. A. C. (2011). A statistical approach to the validation and optimisation of geoheritage assessment procedures. *Geoheritage*, 3(3), 131-149.

CÁCERES, M. MARQUARDT, C. CERPA, L. Y AGUILERA, F (2011). La Ruta de Segerstrom: transversa geoturística y geopatrimonial en la Provincia de Copiapó, Región de Atacama. In Actas del I Simposio de Geoparques y Geoturismo en Chile 13-16 abril de 2011, Melipeuco, Región de la Araucanía (p. 31).

CALDERÓN, M. HERVÉ, F. LOHMAR, S. MOURGUES, F. A. PINTO, L. SCHILLING, M. Y MARTÍNEZ, P. (2009). Geositios 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. Santiago, 22, S5_005.

CARCAVILLA, L. LÓPEZ-MARTÍNEZ, J. Y DURÁN, J.J. (2007). Patrimonio geológico y geodiversidad: investigación, conservación, gestión y relación con los espacios naturales protegidos. Instituto Geológico y Minero de España, Serie Cuadernos del Museo Geominero, nº 7, Madrid, 360 p.

CARCAVILLA, L. DURÁN, J.J. Y LÓPEZ-MARTÍNEZ, J. (2008). Geodiversidad: concepto y relación con el patrimonio geológico. *Geo-Temas*, 10, 1299-1303.

CARCAVILLA L. (2014). Guía práctica para entender el patrimonio geológico. *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, 22(1), 5

CARRASCO, V. PARADA, M. A. Y LÓPEZ-ESCOBAR, L. (1991). Nuevos antecedentes del batolito Nor-Patagónico asociado a la zona de falla Liquiñe-Ofqui a los 41° 30'S, Región de los Lagos, sur de Chile. In Congreso Geológico Chileno No (Vol. 6, pp. 565-568).

CARRASCO, V. (1995). Geología y geoquímica del Batolito Nor-Patagónico y rocas volcánicas, asociadas a la Zona de Falla Liquiñe-Ofqui, Andes del Sur (41° 05'-41° 40'S), X Región. Memoria de Título (Inédita). Universidad de Chile. Departamento de Geología.

CASTRUCCIO, A. CLAVERO, J. SEGURA, A. SAMANIEGO, P. ROCHE, O. LE PENNEC, J. L. Y DROGUETT, B. (2016). Eruptive parameters and dynamics of the April 2015 sub-Plinian eruptions of Calbuco volcano (southern Chile). *Bulletin of Volcanology*, 78(9), 62

CENDRERO, A. (1996). El patrimonio geológico. Ideas para su protección, conservación y utilización. El patrimonio geológico. Bases para su valoración, protección, conservación y utilización. Serie Monografías del Ministerio de Obras Públicas, Transportes y Medio Ambiente. Ministerio de Obras Públicas, Transportes y Medio Ambiente, Madrid, 17-27.

CEMBRANO, J. (1990). Geología del Batolito Nor-Patagónico y rocas metamórficas de su margen occidental (41°50'-42°10' S). Memoria de Título (Inédita). Universidad de Chile. Departamento de Geología. 65 p.

CEMBRANO P., J.; HERVÉ A., F., MORENO R., H; PARADA R., M. A.; THIELE C., R. ;VARELA B.,J. (1993). Compilación geológica actualizada de la X región : sector 1 mapas a escala 1:100.000 y leyenda expandida[monografías]. Santiago : Universidad de Chile, Depto. de Geología, 1993. 13 h.: 11 mapas pleg. col1:100.000 y Leyenda expandida. Departamento de Geología, Universidad de Chile, Santiago, Chile.

CEMBRANO, J., HERVÉ, F., & LAVENU, A. (1996). The Liquine Ofqui fault zone: a long-lived intra-arc fault system in southern Chile. *Tectonophysics*, 259(1-3), 55-66.

CEMBRANO, J., & LARA, L. (2009). The link between volcanism and tectonics in the southern volcanic zone of the Chilean Andes: a review. *Tectonophysics*, 471(1), 96-113.

CHEN, A. LU, Y. Y NG, Y. C. (2015). *The principles of geotourism*. Springer Berlin Heidelberg.

CLAYTON, J. D., CLAPPERTON, C. M., & ANTINAO, J. L. (1997). Las glaciaciones pleistocenas en la cuenca del lago Villarrica, Andes del Sur. En: VIII Congreso Geológico Chileno, pp. 307-311.

CORATZA, P., Y GIUSTI, C. (2005). Methodological proposal for the assessment of the scientific quality of geomorphosites. *El Cuaternario*, 18(1), 307-313.

DARWIN, C.R (1838). On the connection of certain volcanic phenomena in South America; and on the formation of mountain chains and volcanoes, as the Effect of the same Power by which Continents are elevated. *Transactions of the Geological Society of London*, Vol. 5, No. 1838, p. 60-631.

DARWIN, C.R 1839. Narrative of the surveying voyages of His Majesty's Ships Adventure and Beagle between the years 1826 and 1836, describing their examination of the southern shores of South America, and the Beagle's circumnavigation of the globe. *Journal and remarks. 1832-1836*. London: Henry Colburn.

DECARLI, G (2006) *Un Museo Sostenible: museo y comunidad en la preservación activa de su patrimonio*, UNESCO, San José, Costa Rica. Disponible en <http://observatoriocultural.udgvirtual.udg.mx/repositorio/bitstream/handle/123456789/92/Unknown%20-%20Un%20Museo%20Sostenible.pdf?sequence=1>

DENTON, G (1993) Chronology of late Pleistocene Glaciation near Lake Llanquihue between Puerto Varas and Puerto Octay. En: Villagrán, C (ed): 53- 63. *El Cuaternario de la Región de los lagos del sur de Chile*. Taller internacional 'El Cuaternario de Chile'. Guía de excursión.

DENTON, G. H., LOWELL, T. V., HEUSSER, C. J., SCHLÜCHTER, C., ANDERSEN, B. G., HEUSSER, L. E., Y MARCHANT, D. R. (1999). Geomorphology, stratigraphy, and radiocarbon chronology of Llanquihue Drift in the area of the Southern Lake District, Seno Reloncaví, and Isla Grande de Chiloé, Chile. *Geografiska Annaler: Series A, Physical Geography*, 81(2), 167-229.

DEGRAFF, J. M. Y AYDIN, A. (1993). Effect of Thermal Regime on Growth Increment and Spacing. *Journal of Geophysical Research*, 98(B4), 6411-6430.

DIXON G (1996) *Geoconservation: An International Review and Strategy for Tasmania A report to the Parks and Wildlife Service, Tasmania and the Australian Heritage Commission*.

- DOWLING, R. K. (2013). Global geotourism—an emerging form of sustainable tourism. *Czech Journal of Tourism*, 2(2), 59-79.
- DUHART, P. TASSINARI, C. MUÑOZ, J. Y FANNING, M (2006) Edades SHRIMP U-Pb en circones del pórfido diorítico Pichicolo, Batolito Nor-Patagónico, X Región, Chile. XI Congreso Geológico Chileno, Antofagasta, II Región, Chile. Actas Vol2, Volcanismo y Magmatismo, p. 451-454
- DURÁN VALSERO, J. J. BRUSI I BELMONTE, D. PALLÍ I BUXÓ, L. LÓPEZ MARTÍNEZ, J. PALACIO, J. Y VALLEJO, M. (1998). Geología ecológica, geodiversidad, geoconservación y Patrimonio Geológico de la Declaración de Girona. © IV Reunión Nacional de la Comisión de Patrimonio Geológico: Miraflores de la Sierra: Madrid: Junio-Julio de 1998: Comunicaciones, 1998, vol. 1, p. 69-72.
- DURÁN, J. J. (1999). El patrimonio geológico de España: situación actual y perspectivas de futuro. In I Simposium Transfronterizo sobre Patrimonio Natural, 7-2
- EDER, F. W. Y PATZAK, M. (2004). Geoparks--Geological attractions: A tool for public education, recreation and sustainable economic development. *Episodes-Newsmagazine of the International Union of Geological Sciences*, 27(3), 162-164.
- FALCÓN, .F.; ARENAS, M.; CARRASCO, R.; FERNÁNDEZ, J.; GAJARDO, A.; HUERTA, S.; MARÍN, M.; MERINO, A.; MOURGUES, F.; PÉREZ, Y.; VACCARO, H. (2014). Geología para el ordenamiento territorial: área de Antofagasta, Región de Antofagasta. Carta Geológica de Chile, Serie Geología Ambiental 19. Escala 1:50.000.
- FERNÁNDEZ, J. (2007). Identificación y evaluación de Geositos en el Parque Nacional Torres del Paine. Memoria para optar al Título de Geólogo, Universidad de Chile, Departamento de Geología, 72 p.
- FORBES, A. E. BLAKE, S. TUFFEN, H. Y WILSON, A. (2014). Fractures in a trachyandesitic lava at Öraefajökull, Iceland, used to infer subglacial emplacement in 1727–8 eruption. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 288, 8-18. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/266858188_Fractures_in_a_trachyandesitic_lava_at_Oraefajokull_Iceland_used_to_infer_subglacial_emplacement_in_1727-8_eruption
- FUERTES-GUTIÉRREZ, I., Y FERNÁNDEZ-MARTÍNEZ, E. (2010). Geosites inventory in the Leon Province (Northwestern Spain): a tool to introduce geoheritage into regional environmental management. *Geoheritage*, 2(1-2), 57-75.
- GALLEGO, E., Y GARCÍA-CORTÉS, A. (1996). Patrimonio geológico y áreas naturales protegidas. *Geogaceta*, 19, 202-206.
- GARCÍA-CORTÉS, A.; RÁBANO, I.; LOCUTORA, J.; FERNÁNDEZ-GIANOTTI, J.; MARTÍN-SERRANO, A.; QUESADA, C.; BARNOLAS, A.; DURÁN, J.J. (2000). Contextos geológicos españoles de relevancia internacional: establecimiento, descripción y justificación según la metodología del proyecto Global Geosites de la IUGS. *Boletín Geológico y Minero* 111(6): 5-38.
- GARCIA-CORTÉS, A. RÁBANO, I. LOCUTURA, J. BELLIDO, F. FERNÁNDEZ- GIANOTTI, J. MARTÍN-SERRANO, A. QUESADA, C. BARNOLAS, A. AND DURÁN, J.J. (2001), First spanish contribution to the Geosites Project: list of the geological frameworks established by consensus: *Episodes*, v. 24, no. 2, pp. 79-

92.

GARCIA-CORTÉZ A, CARCAVILLA URQUÍ L (2009) Documento metodológico para la elaboración del inventario español de lugares de interés geológico (IELIG), version 12. Instituto Geológico y Minero de España, Madrid, p 61

GARCÍA-CORTÉS, A., CARCAVILLA, L., DÍAZ-MARTÍNEZ, E., & VEGAS, J. (2014). Documento metodológico para la elaboración del Inventario Español de Lugares de Interés Geológico (IELIG). Propuesta para la actualización metodológica. Versión 5/12/2014. Instituto Geológico y Minero de España, 1-64.

GEOESTUDIOS, (2014). Estimación de volúmenes de hielo mediante sondeos de radar en zonas norte, central y sur. SIT N° 338. Dirección General de Aguas. Ministerio de Obras Públicas, Santiago, Chile, Mayo, 352 p.

GONZÁLEZ-FERRAN, O (1973)., Description of volcanic eruptions-Villarrica, Bull. Volcanol. Erupt., 11, 41-42,.

GRAY, M. (2004). Geodiversity: Valuing and conserving Abiotic Nature. En: Brilha, J. B. (2005). Património geológico e geoconservação: a conservação da natureza na sua vertente geológica. p 33 .

GRAY M (2008) Geodiversity: developing the paradigm. Proc Geol Assoc 119:287-298

GUDYNAS, E. (1999). Los límites de la mensurabilidad de la Naturaleza. Ambiente e Sociedade 2 (3-4): 65-79, 1999 - UNICAMP, Brasil Disponible en:
<http://ecologiasocial.com/publicacionesclaes/GudynasLimitesMensuralibidadNaturaleza99.pdf>

HERVÉ, F.; SCHILLING, M; CALDERON, M.; SOLARI, M Y MOURGUES, A. (2012). La difícil tarea de identificar y proteger el patrimonio geológico de Chile. Actas del XIII Congreso Geológico de Chile, T-10: Geopatrimonio. Pp 896-890.

HEUSSER, C. J. (1974). Vegetation and climate of the southern Chilean Lake District during and since the last interglaciation. Quaternary Research, 4(3), 290-315.

HEUSSER, C. J., & FLINT, R. F. (1977). Quaternary glaciations and environments of northern Isla Chiloé, Chile. Geology, 5(5), 305-308.

HEUSSER, C. J., LOWELL, T. V., HEUSSER, L. E., HAUSER, A., ANDERSEN, B. G., & DENTON, G. H. (1996). Full-glacial—late-glacial palaeoclimate of the Southern Andes: evidence from pollen, beetle and glacial records. Journal of Quaternary Science, 11(3), 173-184.

HEUSSER, L., HEUSSER, C., KLECZKOWSKI, A., & CROWHURST, S. (1999). A 50,000-yr pollen record from Chile of South American millennial-scale climate instability during the last glaciation. Quaternary Research, 52(2), 154-158.

HICKEY-VARGAS, R., ABDOLLAHI, M. J., PARADA, M. A., LÓPEZ-ESCOBAR, L., & FREY, F. A. (1995). Crustal xenoliths from Calbuco Volcano, Andean Southern Volcanic Zone: implications for crustal composition and magma-crust interaction. Contributions to Mineralogy and Petrology, 119(4), 331-344.

HOSE, T. A..(2003.) Geotourism in England: A Two-Region Case Study Analysis. En: Hose, T. A. (2008). Towards a history of geotourism: definitions, antecedents and the future. Geological Society, London, Special

Publications, 300(1), 37-60.

JONES, C (2008) History of geoparks. In: Burek CV, Prosser CD (eds) The history of geoconservation, vol 300. Geological Society Special Publications, London, pp 273–277

KLOHN, E. (1963). The february 1961 eruption of Calbuco volcano. Bulletin of the Seismological Society of America Vol. 53:1435-1436

KOMOO, I. Y PATZAK, M. (2008). Global Geoparks Network: an integrated approach for heritage conservation and sustainable use. En: Geoheritage of East and Southeast Asia, 3-13.

LAHSEN A, MORENO H, VARELA J, MUNIZAGA F, LÓPEZ L (1985) Geología y riesgo volcánico del volcán Calbuco y centros eruptivos menores. Proy Canutillar, ENDESA-Univ Chile, Informe Técnico

LARA, L. E., CEMBRANO, J., & LAVENU, A. (2008). Quaternary vertical displacement along the Liquiñe-Ofqui fault Zone: differential uplift and coeval volcanism in the Southern Andes?. International Geology Review, 50(11), 975-993.

LARA, L. E. OROZCO, G. Y PIÑA-GAUTHIER, M. (2012). The 1835AD fissure eruption at Osorno volcano, Southern Andes: Tectonic control by the intraarc stress field instead of remote megathrust-related dynamic strain. Tectonophysics, 530, 102-110.

MERCER, J. H., & LAUGENIE, C. A. (1973). Glacier in Chile ended a major readvance about 36,000 years ago: some global comparisons. Science, 182(4116), 1017-1019.

LAUGÉNIE, C. (1982). La region des lacs, Chili meridional, recherches sur levolution geomorphologique d'un piemont glaciaire quaternaire andin. Universite de Pau et des Pays de l'Adour.

LESCINSKY, D. T., & FINK, J. H. (2000). Lava and ice interaction at stratovolcanoes: use of characteristic features to determine past glacial extents and future volcanic hazards. Journal of Geophysical Research: Solid Earth,

DE LIMA, F. F. BRILHA, J. B. Y SALAMUNI, E. (2010). Inventorying geological heritage in large territories: a methodological proposal applied to Brazil. Geoheritage, 2(3-4), 91-99.

LÓPEZ. L. PARADA, MA. MORENO, H. FREY, F. HICKEY-VARGAS, R. (1992). A contribution to the petrogenesis of Osorno and Calbuco volcanoes, Southern Andes (41°00'-41°30'S): comparative study. Revista Geo Chile Vol. 19, No. 2: 211-226.

LÓPEZ-ESCOBAR, L.; PARADA, M.A.; HICKEY-VARGAS, R.; FREY, F.A.; KEMPTON, P.D.; MORENO, H. (1995). Calbuco Volcano and minor eruptive centers distributed along the Liquiñe-Ofqui Fault Zone, Chile (41°-42°S): contrasting origin of andesitic and basaltic magma in the Southern Volcanic Zone of the Andes. Contributions to Mineralogy and Petrology 119 (4): 345-361.

LÓPEZ CARROZZI, N. (2016). Patrimonio geológico de la comuna de Puchuncaví, para la creación del Geoparque Puchuncaví, V Región de Valparaíso. Disponible en: <http://repositorio.uchile.cl/handle/2250/138033>

MAJOR, J. J., C. G. NEWHALL (1989), Snow and ice perturbation during historical volcanic eruptions and

the formation of lahars and floods, *Bull. Volcanology*, 52, 1–27, . En: LESCINSKY, D. T., & FINK, J. H. (2000). Lava and ice interaction at stratovolcanoes: use of characteristic features to determine past glacial extents and future volcanic hazards. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*,

MARTINI G (1994) Actes du premier symposium international sur la protection du patrimoine géologique. Mémoires de la Société géologique de France, p 165

MARDONES, R. (2012). Valoración de Potenciales Geositos en el Campo Volcánico Pali Aike, XII Región de Magallanes y de la Antártica Chilena, Chile. Memoria para optar al Título de Geólogo (inédito), Departamento de Geología. Universidad de Chile.

MARTÍNEZ, P. (2010). Identificación, caracterización y cuantificación de Geositos, para la creación del I Geoparque en Chile, en torno al Parque Nacional Conguillío. Memoria para optar al Título de Geólogo (inédito), Universidad de Chile, Departamento de Geología. Disponible en: <http://www.repositorio.uchile.cl/handle/2250/103845>

MARTÍNEZ, T; VALENZUELA, D; HEVIA, F; SILVA, G; HERVÉ, F. (2015). Estado actual de reconocimiento y distribución geográfica del Patrimonio Geológico Chileno. En: XIV Congreso Geológico Chileno, 4 - 8 Octubre 2015 Volumen digital III, p. 420-423

MATHEWS, W. H., (1951) The Table, a flat-topped volcano in southern British Columbia, *Am. J. Sci.*, 249, 830–841. En: LESCINSKY, D. T., & FINK, J. H. (2000). Lava and ice interaction at stratovolcanoes: use of characteristic features to determine past glacial extents and future volcanic hazards. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*,

MCKEEVER, P. J. ZOUROS, N. C. Y PATZAK, M. (2010, JANUARY). The UNESCO global network of national geoparks. En: *The George Wright Forum* (Vol. 27, No. 1, p. 14). George Wright Society.

MELLA, M., MUÑOZ, J., VERGARA, M., & KLOHN, E. (2003). Hidrovolcanismo Pleistoceno en el complejo Volcánico Tronador, Zona Volcánica Sur (41 S). In *Congreso Geológico Chileno* (No. 10).

MELLA, M., MUNOZ, J., VERGARA, M., KLOHN, E., FARMER, L., & STERN, C. R. (2005). Petrogenesis of the Pleistocene Tronador Volcanic Group, Andean Southern Volcanic Zone. *Andean Geology*, 32(1).

MENA ACEVEDO, R. (2015). Geoquímica, desarrollo y cronología de los centros eruptivos menores de Cayutué situados sobre la traza de la falla Liquiñe-Ofqui, entre S41°10' y S41°20', X Región de los Lagos. Disponible en <http://repositorio.uchile.cl/handle/2250/13474>

MERCER, J. H. (1976). Glacial history of southernmost South America. *Quaternary Research*, 6(2), 125-166.

MERCER, J. H. (1972). Chilean glacial chronology 20,000 to 11,000 carbon-14 years ago: some global comparisons. *Science*, 176(4039), 1118-1120.

MORENO H., NARANJO, J., LÓPEZ ESCOBAR, L. (1979) Geología y Petrología de la Cadena Volcanica Osorno-Puntiagudo, Andes del Suro, Latitud 41°10'S. Segundo Congreso Geológico Chileno, 6-11 Agosto 1979, Arica, Chile.

MORENO H., VAREKA, J. Y LAHSEN, A. (1985). Geología y riesgo volcánico del volcán Osorno y centros eruptivos menores, Proyecto Hidroeléctrico Petrohué. Informe OICB-06C (Inédito), Empresa Nacional de

Electricidad S.A.-Departamento de Geología de la Universidad de Chile, 212 p. Santiago

MORENO, R. H., G. C. FUENTEALBA (1994), The May 17–19 1994 Llaima volcano eruption, southern Andes (38°42'S-71°44'W, Rev. Geol. Chile, 21, 167–171. En: LESCINSKY, D. T., & FINK, J. H. (2000). Lava and ice interaction at stratovolcanoes: use of characteristic features to determine past glacial extents and future volcanic hazards. Journal of Geophysical Research: Solid Earth,

MORENO, H. (1999A). Mapa de peligros del volcan Calbuco: región de Los Lagos. Servicio Nacional de Geología y Minería.

MORENO, H. (1999B). Mapa de Peligros del Volcán Osorno, Región de los Lagos. Servicio Nacional de Geología y Minería. Documentos de Trabajo, (11), 1.

MORENO, P. I., LOWELL, T. V., JACOBSON JR, G. L., & DENTON, G. H. (1999). Abrupt vegetation and climate changes during the last glacial maximum and last termination in the Chilean lake district: a case study from Canal de la Puntilla (41° S). Geografiska Annaler: Series A, Physical Geography, 81(2), 285-311.

MORENO, H. LARA, L. OROZCO, G. (2010) Geología del Volcán Osorno, Región de los Lagos. Servicio Nacional de Geología y Minería, Carta Geológica de Chile, Serie Geología Básica No. 126, escala 1:50.000, Santiago.

MOURGUES, F. A., SCHILLING, M., CASTRO, C. (2012). Propuesta de definición de los Contextos Geológicos Chilenos para la caracterización del patrimonio geológico nacional. In XIII Congreso Geol. Chileno, Antofagasta (pp. 890-892).

MOURGUES, F., CONTRERAS K., SCHILLING M. E., PARTARRIEU D. (2016) Chile, En: Prieto, J. L. P., Cortez, J. L. S., & Schilling, M. E. Patrimonio geológico y su conservación en América Latina. p. 81-120 Disponible en:
http://www.igeograf.unam.mx/sigg/utilidades/docs/pdfs/publicaciones/geo_siglo21/serie_lib_inves/geoparques.pdf

MUNIZAGA, F.; HERVÉ, F.; DRAKE, R.; PANKHURST, R.J.; BROOK, M.; SNELLING, N. (1988). Geochronology of the Lake Region of South-Central Chile (39°-42°S): preliminary results. Journal of South American Earth Sciences 1 (3): 309-316.

MUÑOZ, J. MORENO, HUGO (2011). Geoturismo en la Provincia de Llanquihue, Región de Los Lagos, Chile. I Simposio Geoparques y Geoturismo: p 102-105

NAKAMURA, K. (1977). Volcanoes as possible indicators of tectonic stress orientation—principle and proposal. Journal of Volcanology and Geothermal Research, 2(1), 1-16.

NEWSOME, D. Y DOWLING, R. (2006). The scope and nature of geotourism. En: Pereira, D. (2010). Geoturismo e Geoparques em Portugal. Ciências Geológicas—Ensino e Investigação e sua História, 475-481.

NEWSOME, D. Y DOWLING, R. K. (EDS.) (2010). Geotourism: The Tourism of Geology and Landscape. Oxford: Goodfellow Publishers.

NARANJO, S., J. A. , H. R. MORENO, N. G (1993). La erupción del Volcán Hudson en 1991 (46°S), Región

- XI, Aisen, Chile, Serv. Nac. Geol. Min. Bol., 44, 50,
- NIETO, L. M. (2001). Geodiversidad: propuesta de una definición integradora. Boletín Geológico y Minero, 112(2), 3-12.
- NÚÑEZ, E. (2010). Método de planificación de áreas protegidas. Manual técnico N 23. Gerencia Áreas Silvestres Protegidas. Corporación Nacional Forestal. 158 pp. Santiago.
- PACCI, D; PÉREZ, E (1979). Guías de excursiones geológicas. A: Morro de Arica-Valle de Lluta. B: Valle de Lluta y Precordillera. C: Valle de Lluta, Precordillera y Altiplano. II Congreso Geológico Chileno. En: Actas del Segundo Congreso Geológico Chileno, pp. 32
- PANKHURST, R. J. WEAVER, S. D. HERVÉ, F. Y LARRONDO, P. (1999). Mesozoic-Cenozoic evolution of the North Patagonian batholith in Aysén, southern Chile. Journal of the Geological Society, 673-694.
- PARTARRIEU BRAVO, D. (2013). Inventario de geositos en la comuna de Lonquimay, para la creación del Geoparque Kütralkura, IX Región de la Araucanía. Memoria para optar al Título de Geólogo (inédito), Universidad de Chile, Departamento de Geología. Disponible en:
- PEREIRA, D. I., PEREIRA, P., ALVES, M. I., Y BRILHA, J. B. (2006). Inventariação temática do património geomorfológico português.
- PEREIRA, D. (2010). Geoturismo e Geoparques em Portugal. Ciências Geológicas—Ensino e Investigação e sua História, 475-481.
- PETIT-BREUILH, M. E. (1999). Cronología eruptiva histórica de los volcanes Osorno y Calbuco. Servicio Nacional de Geología y Minería. Boletín, (53), 45.
- PORTER, S. C. (1981). Pleistocene glaciation in the southern Lake District of Chile. Quaternary Research, 16(3), 263-292.
- PRALONG, J. P. (2005). A method for assessing tourist potential and use of geomorphological sites. Géomorphologie: relief, processus, environnement, 11(3), 189-196.
- PRIAN, J., CAMPOS, A., DE GRAMONT, X., DUHART, P., URIEN, P. (1994) Primeros Aportes del Proyecto Levantamiento Carta Metalogénica de la Décima Región (Chile). al Conocimiento Geológico Regional. 7 Congreso Geológico Chileno 1994, Universidad de Concepción, Chile. Actas Volumen II, p 882-887
- RABASSA, J., & CLAPPERTON, C. M. (1990). Quaternary glaciations of the southern Andes. Quaternary Science Reviews, 9(2), 153-174.
- RAMÍREZ, G. (2012). Contexto geológico del parque biológico Punta Ttotalillo y morfología de cavidades en el Zoológico de Piedra, III Región de Atacama, Chile. Memoria para optar al Título de Geólogo (inédito), Universidad de Chile, Departamento de Geología, 121 p.
- REEDER, J. W., M. DOUKAS (1994) Description of volcanic eruptions-Westdahl, Bull. Volcol. Erupt., 31, 83–86, 1994. En: LESCINSKY, D. T., & FINK, J. H. (2000). Lava and ice interaction at stratovolcanoes: use of characteristic features to determine past glacial extents and future volcanic hazards. Journal of Geophysical Research: Solid Earth,

- RIVERA VIDAL, R. (2014). Geología, Geomorfología y Geopatrimonio en el Complejo Volcánico Nevados de Chillán, Región del Bío Bío, Chile. Noviembre. Memoria para optar a título de Geólogo. Universidad de Concepción, Chile.
- RODRÍGUEZ FONT, C. (2013). Patrimonio geológico en la ciudad de Santiago: caracterización y valoración de geositos en torno a un núcleo urbano. Disponible en <http://www.repositorio.uchile.cl/handle/2250/114697>
- ROSENAU, M., MELNICK, D., & ECHTLER, H. (2006). Kinematic constraints on intra-arc shear and strain partitioning in the southern Andes between 38 S and 42 S latitude. *Tectonics*, 25(4).
- OLIVARES, R. B. (1967). Las Glaciaciones Cuaternarias al Oeste del Lago Llanquihue, en el Sur de Chile. *Revista Geográfica*, 101-108.
- OROZCO, G. (2009). Sistema de Centros Eruptivos de Flanco de la Erupción de 1835 A.D., Volcán Osorno (SCEFO-1835): Significado Tectónico. Disponible en <http://www.repositorio.uchile.cl/handle/2250/103417>
- SCHILLING, M. (2007). Geoparques y Geositos: posibilidades de educación, difusión y valoración del patrimonio geológico a través del Geoturismo en Chile. *ECOengen*, Universidad Central, 7, 19-27.
- SCHILLING, M. (2009). Hacia la creación del primer geoparque en Chile: Parque Nacional Conguillío, Región de la Araucanía. XII Congreso Geológico Chileno, Simposio de Geopatrimonio, Santiago, 22-26 noviembre, artículo S5_027, 4 p.
- SCHILLING, M. CONTRERAS, P. TORO, K. LEVY, C. MARTÍNEZ, P. MORENO, H. Y NARANJO, J. A. (2010). Avances en la creación del Primer geoparque en Chile: Territorio Andino, Región de la Araucanía. En Congreso Peruano de Geología.
- SCHILLING, M. P. CONTRERAS, K. TORO, C. LEVY, P. MARTÍNEZ, H. MORENO, J.A. NARANJO. (2011). Avances en la creación del Primer geoparque en Chile: Territorio Andino, Región de la Araucanía. I Simposio de Geoparques y Geoturismo en Chile, 13-16 Abril de 2011, Melipeuco, Región de la Araucanía, Chile: p 128-131
- SCHILLING, M. TORO, K. CONTRERAS, P. LEVY, C. Y MORENO, H. (2012A). Geoparque Kütralcura: Patrimonio geológico para el desarrollo sustentable de la Región de la Araucanía. II Simposio Geopatrimonio en Chile: p 893-895
- SCHILLING, M. BASUALTO, D. GUERRERO, I. Y TORO, K. (2012B). Exploradores del volcán Llaima: primera iniciativa educativa en el marco del proyecto Geoparque Kütralcura. II Simposio Geopatrimonio en Chile, 999-1000.
- SCHLÜCHTER, C. GANDER, P. LOWELL, T. V. Y DENTON, G. H. (1999). Glacially folded outwash near Lago Llanquihue, southern Lake District, Chile. *Geografiska Annaler: Series A, Physical Geography*, 81(2), 347-358.
- SEGERSTROM, K. (1967). Mapa geológico de una franja transversal de la Provincia de Atacama y guía geológica referido al camino carretero. *Minerales*, No. 96-97, p. 57-72.
- SEGURA, A., CASTRUCCIO, A., CLAVERO, J., LE PENNEC, J. L., ROCHE, O., SAMANIEGO, P., ... & ROMERO, J. (2015). Fallout deposits of the 22-23 April 2015 eruption of Calbuco volcano, Southern

Andes. Holocene, 2, 22-23.

SELLÉS, D., & MORENO, H. (2011). Geología del volcán Calbuco, Región de los Lagos. Servicio Nacional de Geología y Minería. Carta Geológica de Chile, Serie Geología Básica, 20(1).

SEMENIUK V (1997) The linkage between biodiversity and geodiversity. In: R Eberhard (ed), Pattern y Processes: Towards a Regional Approach to National Estate assessment of geodiversity. Technical Series No. 2, Australian Heritage Commission y Environment Forest Taskforce, Environment Australia, Canberra, p 51 ñ 58.

SEMENIUK V (1998) Identifying sites of geoheritage in the region of the RFA (Regional Forest Agreement), Southwestern Australia ñ a Discussion. Report to Department of Conservation y Land Management, Manjimup, and to Australian Nature Conservation Agency (now Environment Australia), Canberra, ACT

SEMENIUK V Y SEMENIUK C A (2001) Human impacts on globally to regionally significant geoheritage features of the Swan Coastal Plain and adjoining coastal zone, southwestern Australia. In: V Gostin (ed), Gondwana to Greenhouse: Australian Environmental Geoscience ñ The Australian Environment. Australian Journal of Earth Sciences Special Publication 21: 181ñ199.

SHARPLES, C. (2002) Concepts and principles of geoconservation. Tasmanian Parks y Wildlife Service [www document].URL
[http://www.dpiw.tas.gov.au/inter.nfs/Attachments/SJON57W3YM/\\$FILE/geoconservation.pdf](http://www.dpiw.tas.gov.au/inter.nfs/Attachments/SJON57W3YM/$FILE/geoconservation.pdf)

SERNAGEOMIN-BRGM (1995) Carta Metalogénica X Región Sur, Chile. Servicio Nacional de Geología y Minería-Bureau de Recherches Géologiques et minières, Informe Registrado IR-95-05, 10 Vols, Santiago.

SERNAGEOMIN (2015a) Reporte Especial de Actividad Volcánica (REAV) Región de los Lagos. Año 2015 Abril 22 (18:00 HL) en: CASTRUCCIO, A. CLAVERO, J. SEGURA, A. SAMANIEGO, P. ROCHE, O. LE PENNEC, J. L. Y DROGUETT, B. (2016). Eruptive parameters and dynamics of the April 2015 sub-Plinian eruptions of Calbuco volcano (southern Chile). Bulletin of Volcanology, 78(9), 62

SERNAGEOMIN (2015b) Reporte Especial de Actividad Volcánica (REAV) Región de los Lagos. Año 2015 Abril 22 (20:45) en: CASTRUCCIO, A. CLAVERO, J. SEGURA, A. SAMANIEGO, P. ROCHE, O. LE PENNEC, J. L. Y DROGUETT, B. (2016). Eruptive parameters and dynamics of the April 2015 sub-Plinian eruptions of Calbuco volcano (southern Chile). Bulletin of Volcanology, 78(9), 62

SERNAGEOMIN (2015c) Reporte Especial de Actividad Volcánica (REAV) Región de los Lagos. Año 2015 Abril 23 (01:00 HL) en: CASTRUCCIO, A. CLAVERO, J. SEGURA, A. SAMANIEGO, P. ROCHE, O. LE PENNEC, J. L. y Droguett, B. (2016). Eruptive parameters and dynamics of the April 2015 sub-Plinian eruptions of Calbuco volcano (southern Chile). Bulletin of Volcanology, 78(9), 62

SERNAGEOMIN (2015d) Reporte Especial de Actividad Volcánica (REAV) Región de los Lagos. Año 2015 Abril 23 (10:30) en: CASTRUCCIO, A. CLAVERO, J. SEGURA, A. SAMANIEGO, P. ROCHE, O. LE PENNEC, J. L. Y DROGUETT, B. (2016). Eruptive parameters and dynamics of the April 2015 sub-Plinian eruptions of Calbuco volcano (southern Chile). Bulletin of Volcanology, 78(9), 62

SERRANO, E., & GONZÁLEZ-TRUEBA, J. J. (2005). Assessment of geomorphosites in natural protected areas: the Picos de Europa National Park (Spain). Géomorphologie: relief, processus, environnement, 11(3), 197-208.

SPRY, A. (1962). The origin of columnar jointing, particularly in basalt flows. *Journal of the Geological Society of Australia*, 8(2), 191-216.

STERN, C. R. (2004). Active Andean volcanism: its geologic and tectonic setting. *Revista geológica de Chile*, 31(2), 161-206.

STUARDO, C. (1973) Vida de Claudio Gay. Escritos y Documentos. En: Gómez, C. (2012). El Museo Nacional de Historia Natural de Chile: Breve reseña de su historia y aspectos de su actual gestión estratégica. Recuperado desde: <http://www.scielo.org.ar/>

SOCIEDAD GEOLÓGICA DE CHILE (2015). La conservación de la geodiversidad y el patrimonio geológico en Chile. Observaciones y recomendaciones al proyecto de ley que crea el Servicio de Biodiversidad y Áreas Protegidas y el Sistema Nacional de Áreas Protegidas: Abril 2015

THIELE R., GODOY, E., HERVÉ, F., PARADA, M. A. Y VARELA, J. (1985) Estudio geológico-estructural regional y tectónico del área de Petrohué-Canutillar (Inédito), Empresa Nacional de Electricidad-Departamento de Geología de la Universidad de Chile, OICB-06C, 157 p. Santiago.

THIELE R, HERVÉ F, PARADA MA, GODOY E (1986) La megafalla Liquiñe-Ofqui en el Fiordo Reloncaví (41°30'), Chile. *Comunicaciones* 37:31-47

TURBEK, S. E., & LOWELL, T. V. (1999). Glacial deposition along an ice-contact slope: an example from the southern lake district, Chile. *Geografiska Annaler: Series A, Physical Geography*, 81(2), 325-346.

URRESTY, C. RAULD, R. GONZALEZ, C. ROZAS, C. (2015) Incorporación del concepto de Geodiversidad y Geopatrimonio en la Planificación Territorial en Chile Actas XIV Congreso Geológico Chileno Volumen digital III, 4 - 8 Octubre 2015, p. 392-395

UNESCO (2016) Celebrating Earth Heritage, Sustaining local Communities. UNESCO Global Geoparks. Division of Ecological and Earth Sciences. France

VEGAS, J. GARCÍA-CORTÉS, A. LOZANO, G. CARCAVILLA, L. Y DÍAZ-MARTÍNEZ, E. (2011). Adaptación de la metodología del inventario español de lugares de interés geológico a los inventarios locales de patrimonio geológico: Municipio de Eguídanos (Cuenca). En: FERNÁNDEZ-MARTÍNEZ, E. Y CASTAÑO DE LUIS, R. Eds. 2011. Avances y retos en la conservación del Patrimonio Geológico en España. Actas de la IX Reunión Nacional de la Comisión de Patrimonio Geológico (Sociedad Geológica de España). Universidad de León. 346 pp.

WEISCHET, W. (1958). Studien über den glazial bedingten Formenchatz der südchilenischen Längssenke im West-Ost Profil beiderseits Osorno. *Petermanns Geographische Mitteilungen*, 102, 161-172. En: Denton, G. H., LOWELL, T. V., HEUSSER, C. J., SCHLÜCHTER, C., ANDERSEN, B. G., HEUSSER, L. E., Y MARCHANT, D. R. (1999). Geomorphology, stratigraphy, and radiocarbon chronology of Llanquihue Drift in the area of the Southern Lake District, Seno Reloncaví, and Isla Grande de Chiloé, Chile. *Geografiska Annaler: Series A, Physical Geography*, 81(2), 167-229.

WEISCHET, W. (1964). Geomorfología glacial de la Región de los Lagos (No. 4). Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas. En: DENTON, G. H., LOWELL, T. V., HEUSSER, C. J., SCHLÜCHTER, C., ANDERSEN, B. G., HEUSSER, L. E., Y MARCHANT, D. R. (1999). Geomorphology,

stratigraphy, and radiocarbon chronology of Llanquihue Drift in the area of the Southern Lake District, Seno Reloncaví, and Isla Grande de Chiloé, Chile. *Geografiska Annaler: Series A, Physical Geography*, 81(2), 167-229.

WIMBLEDON, W. A. P. ISHCENKO, A. A. GERASIMENKO, N. P. KARIS, L. O. SUOMINEN, V. JOHANSSON, C. E. Y FREDEN, C. (2000). Proyecto geosites, una iniciativa de la unión internacional de las ciencias geológicas (iugs). La ciencia respaldada por la conservación. *Patrimonio geológico: conservación y gestión*, 73.

GEOGRAFISKA ANNALER (1999), Plates 1 to 9 of the Southern Lake District of Chile. *Geografiska Annaler: Series A, Physical Geography*, issue 2 , p 81: i-ix.

YOUNT, M. E., T. P. MILLER, R. P. EMANUEL, F. H. WILSON (1985) Eruption in the ice-filled caldera of Mount Veniaminof, U.S. *Geol. Surv. Circ.*, 945, 58-60, En: Lescinsky, D. T., & Fink, J. H. (2000). Lava and ice interaction at stratovolcanoes: use of characteristic features to determine past glacial extents and future volcanic hazards. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*,

ZORA, J. Y ANDRADE, V. (2015) Avances de un catastro de lugares de interés geológico y biológico del Geoparque aspirante de Puchuncaví, Región de Valparaíso, Chile Central. *Actas XIV Congreso Geológico Chileno Volumen digital III*, 4 - 8 Octubre 2015, p. 400-403

ZOUROS, N. Y MC KEEVER, P. (2004). The European geoparks network. *Episodes*, 27(3), 165-171. Disponible en: http://www.lesvosmuseum.gr/cms_files/dynamic/c45710/file/SP14_el_GR.pdf

ZOUROS, N. C. (2007). Geomorphosite assessment and management in protected areas of Greece Case study of the Lesvos island-coastal geomorphosites. *Geographica Helvetica*, 62(3), 169-180.

Links de Interés

www.globalgeopark.org (Global Geopark Network)

www.sociedadgeologica.cl (SGCh)

<http://www.igme.es/LibrosE/GuiasGeo/libros.htm> (GUIAS GEOLOGICAS PARQUES NACIONALES ESPAÑA)

<http://www.igme.es/actividadesIGME/lineas/geodyPatri.htm> (TODO LO RELACIONADO A GUÍAS Y PATRIMONIO DEL IGME ESPAÑA)

IUCN www.iucn.com/about

ANEXOS

ANEXO A: AMENAZAS DE LA GEODIVERSIDAD

AMENAZAS A LA GEODIVERSIDAD



Validar y respaldar información circulante



Valorar y proteger involucrando la geología a las políticas públicas



Educar para la **GEOCONSERVACION**

ANEXO B: PROYECTOS GEOPARQUES

Geoparques

Brilha (2005) explica un geoparque como un territorio con patrimonio geológico excepcional que tiene una política concreta de desarrollo sustentable, de fronteras bien definidas y suficientemente amplias para poder desarrollar el crecimiento económico regional a favor de las personas que habitan el territorio. En este sentido, los geoparques han surgido en la última década como una iniciativa para promover el desarrollo local sostenible, utilizando como eje fundamental el patrimonio geológico. A su vez permite desarrollar una sociedad cohesiva con una meta común, ya que su estructura vuelve socios claves a los habitantes, municipios y autoridades locales, haciéndolos partícipes de sus beneficios y conscientes del valor de su territorio en pos de la construcción de una identidad.

Su estructura se sostiene en tres pilares fundamentales: conservación, educación y desarrollo sustentable. Estas tres aristas que funcionan en conjunto, buscan promover un desarrollo sostenible en la población local a través de distintas actividades que se realizan dentro de estos territorios. Mientras que la geoconservación permite que el valor del territorio permanezca en el tiempo a través del resguardo de la geodiversidad, la educación ayuda a que las comunidades locales y visitantes se vinculen con estas áreas y comprendan el “por qué” del valor del territorio. Por su parte, el geoturismo se transforma en una actividad fundamental en la economía local, no solo por los empleos que significan el desenvolvimiento de las actividades en un geoparque, sino también por la posibilidad de expandir los productos locales a un mayor número de personas y el desarrollo de servicios (hotelería, alimentación, recreación, cultura) ligados a esta actividad.

Eder y Patzak, (2004) consideran que el impacto en un área de geoparque no solo mejora la calidad de vida de las personas que lo habitan, también del entorno rural inmediato, fortaleciendo la identificación de la población con su territorio y potenciando el renacimiento cultural. Además, agregan que, respetando el medio ambiente, los geoparques estimulan el desarrollo de la innovación local: pequeñas empresas, industrias artesanales y nuevos puestos de trabajo generan nuevas fuentes de ingresos. Este vínculo que existe entre un geoparque y el desarrollo local sostenible se ve reflejado en los 127 geoparques reconocidos por la UNESCO, ubicados en 35 diferentes países diferentes, junto con otros cientos que sin tener este reconocimiento, funcionan como tal.

Aunque la mayoría de los geoparques se encuentran en Europa y Asia, en América del Sur ya existen territorios con este reconocimiento (Araipe, Brasil; Grutas del Palacio; Uruguay). En Uruguay, por ejemplo, el reciente geoparque Grutas del Palacio (Figura 5) ha dado a la comunidad local nuevas percepciones acerca de este lugar. Lo que para algunos era una simple curiosidad, hoy es parte del patrimonio geológico con un valor antropológico adicional, que revive y potencia viejas historias de sus antepasados charrúas³⁴.

En Chile, el Geoparque Kutralküra³⁵ no solo se vincula con la comunidad local rural y urbana, también genera un nexo entre la sociedad, las culturas indígenas y el patrimonio natural. Su nombre Kúltral (Fuego) Kura (piedra) proviene del Mapudungun que es la lengua mapuche y en particular de los pewenches que habitan esta zona. Los visitantes no solo son permitidos de ingresar a las tierras sagradas de estas comunidades, también se les regala el aprender de su cultura, costumbres y cosmovisión a través de actividades y servicios³⁶ como alojamiento, comida y cabalgatas. Además, actividades educativas como “Exploradores del Volcán Llaima” (Schilling *et al.* 2012b) han sido realizadas para educar y concientizar a las nuevas

³⁴ Se puede ver un video relacionado en youtube; <https://www.youtube.com/watch?v=BsoWXNTzqM>

³⁵ En vías de postulación a Geoparque UNESCO

³⁶ Algunas de estas referencias pueden ser encontradas en el documental de Kutralkura en youtube; <https://www.youtube.com/watch?v=zl0oU0E4JmY> y en Folllil Pewenche en <http://www.sigpa.cl/ficha-gastronomia:folllil-pewenche.html>

generaciones del valor del territorio (Figura 6).



Figura 103 Muestra una representación teatral realizada por la Asociación de Jubilados y Pensionistas de Flores.

Cuenta la leyenda que los padres de Darien llegaron desde el Golfo de Panamá cuando los europeos conquistaron sus tierras en busca de tesoros. Los indígenas huyeron y llevaron todas las riquezas del templo de Dobaida a las Grutas del Palacio, donde se afincaron tras un largo éxodo. En ese tiempo nació Darien y poco tiempo después su padre murió combatiendo contra la tribu de los Chanás.

Se dice que los tesoros de Dobaida aún yacen en la Gruta del Palacio, y que ni siquiera todos los indios de la tribu más fuerte podría cargarlos para llevárselos, según el relato de la propia Darien.

Foto: <http://www.geoparque.uy>



Figura 104 Tomada en el contexto de la actividad "Exploradores del Volcán Llaima".

Los geoparques no solo promueven actividades en torno a la visita de los sitios, también incentivan otras actividades para el desarrollo de la industria local. En España, por ejemplo, algunos actores locales del Geoparque Villuercas, producen vinos y aceite de oliva que es exportado en el país y también en el extranjero con el sello de calidad del geoparque. En el Geoparque Sobrarbe, se realizan actividades en donde el geoparque busca promocionar sus productos agroalimentarios en expoferias³⁷

³⁷ <http://www.turismosobrarbe.com/agenda/2012/09/el-geoparque-promociona-sus-productos-agroalimentarios-en-la-expoferia-agroalimentaria-de-sobrarbe/>

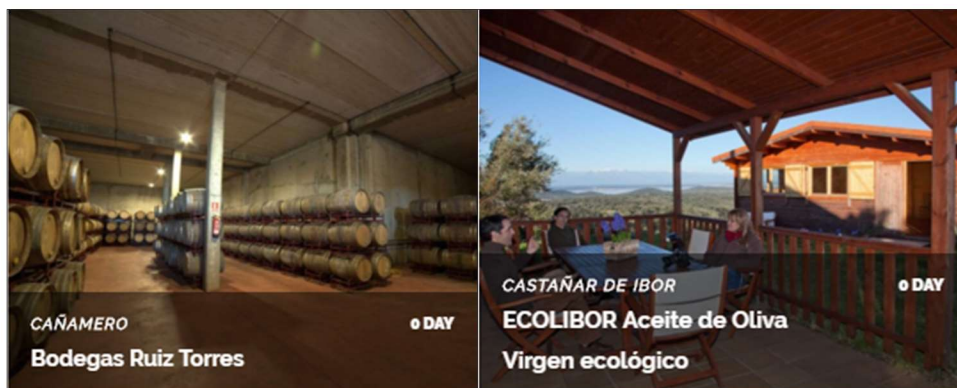


Figura 105 Productos elaborados en el Geoparque Villuercas. Foto: <http://www.geoparquevilluercas.es>

Un geoparque entonces, no solo busca el conocimiento geológico de un territorio, sino que implica una interrelación de muchos aspectos en que las comunidades locales pueden verse beneficiadas.

Un aspecto a aclarar es que si bien el patrimonio geológico (y por ello un geoparque) se encuentra generalmente vinculado a áreas protegidas los objetivos que persiguen son diferentes. Mientras que las áreas protegidas buscan conservar y preservar la variedad natural (generalmente ligada a la biodiversidad) a través de mecanismos legales que son ejercidos por los estados de los diferentes países, un geoparque no es una designación legislativa, sino que un conjunto de territorios (áreas protegidas, áreas rurales y otros) en donde los diferentes elementos pueden buscar un resguardo en legislaciones particulares para cada caso. No obstante, no existe una restricción de actividad económica (como muchas veces sucede en áreas protegidas) dentro de los geoparques, mientras las actividades involucren a la comunidad y no destruyan el patrimonio geológico ni violen ninguna legislación existente (UNESCO, 2016).

Red Global de Geoparques (GGN)

La Red Global de Geoparques³⁸ (GGN, por sus siglas en inglés) fue fundada el año 2004 e inicialmente fue conformada por los 17 miembros de la Red Europea de Geoparques (EGN) y 8 geoparques chinos con el apoyo de UNESCO, desarrollando modelos de mejores prácticas y estableciendo estándares de calidad para territorios que integran entre sus estrategias el desarrollo económico sustentable y la conservación y preservación del patrimonio geológico. Además es una organización sin fines de lucro sujeta a la legislación francesa, y desde el año 2014 es una organización no gubernamental (GGN, 2016; ENG 2016; Referencia digital^{39,40}).

Debido a que el año 2015 se crea un nuevo programa *International Geoscience and Geoparks Program* (IGGP) de Geoparques esta vez desde UNESCO se ha establecido una asociación formal entre estas dos entidades (GGN y UNESCO) con objetivos comunes cambiando el nombre de la red global a “UNESCO GLOBAL GEOPARKS”,⁴¹

La Red Mundial de Geoparques promueve la creación de redes a nivel regional. De esta forma, redes regionales como la Red de Geoparques de Asia-Pacífico (GNPA)⁴² y la Red Europea de Geoparques (EGN)⁴³ (ANEXO B; Acuerdo de Madonie, 2005) actúan como redes regionales en dichos territorios. La GGN prioriza

³⁸ Global Geoparks Network ; <http://globalgeoparksnetwork.org>

³⁹ http://globalgeoparksnetwork.org/?page_id=5

⁴⁰ http://www.europeangeoparks.org/?page_id=342

⁴¹ <http://www.unesco.org/new/en/natural-sciences/environment/earth-sciences/international-geoscience-and-geoparks-programme/>

⁴² Se puede ver en <http://asiapacificgeoparks.org/>

⁴³ Se puede ver en <http://www.europeangeoparks.org/>

en la creación de nuevas redes regionales similares, que reflejen las condiciones locales en otras partes del mundo. Un ejemplo de esto es la reciente red de Geoparques de Lationamerica y el Caribe que fue creada el presente año 2017.

Por otra parte, esta red global organiza conferencia cada dos años (en China 2004; Irlanda 2006; Alemania 2008; Malasia 2010; Japón 2012; Canada 2014⁴⁴; y Inglaterra 2016 en el Geoparque Torkay⁴⁵) generando cada vez más adherentes. Entre el año 2005 y el año 2017 muchísimos Geoparques han sido incluidos en la GGN y a la fecha cuenta con 127 Geoparques, en 35 países distribuidos en 5 continentes.

10.1.1.1 Los objetivos de la Red Mundial de Geoparques

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

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

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

10.1.1.2 Misión de la RGG

⁴⁴ <http://www.globalgeopark.org/News/Events/8342.htm>

⁴⁵ Se puede ver en <http://ggn2016.com/>

Debido a que el patrimonio de la Tierra es parte integrante del patrimonio natural y cultural (tangibles e intangibles), esta organización y sus profesionales están comprometidos con la conservación y gestión de éste, junto con su divulgación a la sociedad. Esto se vuelve una práctica, debido a que los geoparques de la GGN son herramientas para conservar y mejorar el valor de las áreas (paisajes y formaciones geológicas) de importancia en la historia geológica de la Tierra que son claves para entender su evolución, además de promover el desarrollo sostenible, por ejemplo, a través del turismo y la educación en donde la ciencia y la comunidad local se involucran de manera simbiótica.

Por otro lado, los Geoparques Globales promueven el conocimiento de la historia del planeta leído en sus rocas y paisajes, desarrollando vínculos entre el patrimonio geológico y todos los otros aspectos del patrimonio natural y cultural de estas áreas. Así, la geodiversidad es la base de todos los ecosistemas y la base de la interacción humana con el paisaje.

Programa GLOBAL UNESCO GEOPARKS

Un geoparque UNESCO debe tener un patrimonio geológico de carácter internacional avalado por especialistas en esta temática. Además, son paisajes en donde la ciencia y la comunidad local se benefician mutuamente a través de la conservación del territorio. La educación es un pilar central en un geoparque UNESCO y debe integrar desde los niveles más básicos hasta los universitarios. Además, tiene la misión de transmitir la historia de la Tierra ya sea a través de rocas, paisajes, o procesos geológicos en curso, estableciendo un vínculo entre el patrimonio geológico y todos los otros aspectos del patrimonio natural y cultural, mostrando claramente como la diversidad geológica es un sustento de los ecosistemas y la humanidad.

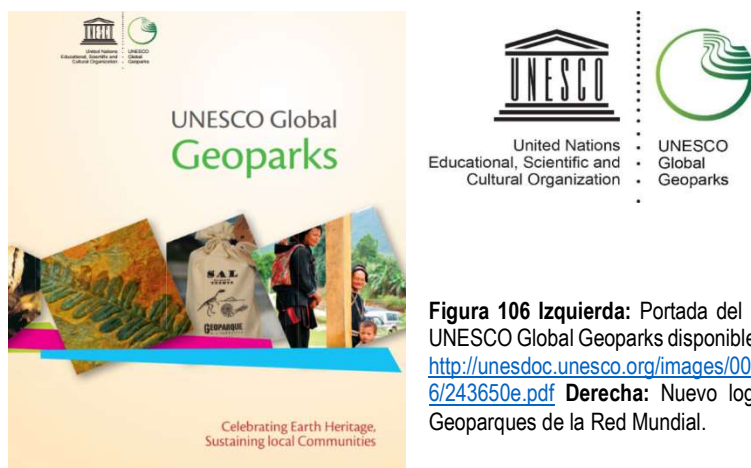


Figura 106 Izquierda: Portada del programa UNESCO Global Geoparks disponible en la red <http://unesdoc.unesco.org/images/0024/002436/243650e.pdf> **Derecha:** Nuevo logo de los Geoparques de la Red Mundial.

Los Geoparques UNESCO tienen derecho a usar un logotipo de este organismo para cumplir estos objetivos una vez sean aprobados.

Cabe destacar que no es un requisito para desarrollar un geoparque el ser reconocido por UNESCO, sin embargo, si lo es para formar parte de la GGN y en este sentido UNESCO apoya con su sello de calidad las diversas iniciativas relacionadas a la conservación del patrimonio geológico ([Capítulo 3: Antecedentes Internacionales](#)) y en particular a aquellos geoparques que cumplen estas condiciones. Además el año 2015, UNESCO lanzó un programa exclusivamente dedicado a esta temática llamado UNESCO Global Geoparks que puede ser consultado en su sitio web⁴⁶.

⁴⁶ <http://www.unesco.org/new/en/natural-sciences/environment/earth-sciences/unesco-global-geoparks/> además se puede descargar un pdf del siguiente link

Calendario de las actividades que están establecidas por la UNESCO para la propuesta de un Geoparque⁴⁷.

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

Antes de que cualquier solicitud formal, cualquier aspirante Geoparque Mundial de la UNESCO debe manifestar su interés en la creación de un Geoparque a través de un canal oficial como la Comisión Nacional UNESCO de cada país o un organismo gubernamental encargado de las relaciones con la UNESCO, con la participación, de existir, el Comité/Foro Nacional de Geoparques. Una vez listo, el expediente formal⁴⁸ completo y cuidadosamente revisado debe ser presentado a la UNESCO por el canal oficial antes mencionado.

Es importante que dentro de las solicitudes se envíen material de apoyo que entregue información de que el parque ha funcionado desde hace al menos 1 año con las orientaciones de un Geoparque Mundial de la UNESCO.

También documentación de apoyo de todas las autoridades locales y regionales relevantes y por una carta de apoyo de la Comisión Nacional de UNESCO.

El expediente de solicitud debe seguir con precisión el formato descritos⁴⁹ y destacando las debilidades y fortalezas del territorio.

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

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

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

3. Las evaluaciones de escritorio al 30 de abril.

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

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

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

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

<http://unesdoc.unesco.org/images/0024/002436/243650e.pdf>

⁴⁷ <http://www.unesco.org/new/en/natural-sciences/environment/earth-sciences/unesco-global-geoparks/application-process/>

⁴⁸ Este expediente o "aplicación dossier" se encuentra en: http://www.unesco.org/new/fileadmin/MULTIMEDIA/HQ/SC/pdf/Application_dossier_UGG_18feb2016.pdf

⁴⁹ Los puntos a describir en el expediente son: Identificación del Área, Patrimonio Geológico, Geoconservación, Actividades económicas y plan de negocios, intereses y argumentos para pertenecer a UNESCO Global Geoparks.

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

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

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

El consejo puede Aceptar, no aceptar o establecer un plazo de 2 años para mejorar la candidatura. Para este último caso, puede ser posible una nueva evaluación de Campo por parte de UNESCO.

Después de la aceptación nacional de UNESCO, se firma un documento legal que desliga a UNESCO de toda gestión o actividad económica dentro del Geoparque.

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

ANEXO C: Otros resultados.

En este trabajo, se tuvo la oportunidad de realizar un viaje en helicóptero hacia un lugar llamado *Laguna Neumayer* en donde se tomaron dos muestras de rocas ígneas extrusivas porfíricas de matriz vítrea, clasificadas a muestra de mano como basaltos melanocráticos porfíricos de texturas seriadas y plagioclasas eudrales que sugieren una fábrica al menos planar. Estas muestras no han sido analizadas con mayor detalle. Sin embargo, de acuerdo a su disposición estratigráfica y su cercanía al centro de emisión, este afloramiento de unos 200 m² que está emplazado dentro de un circo glaciar y pierde continuidad en un valle colgado que se precipita al este, ha sido considerado como perteneciente al Complejo Volcánico Tronador. Esto sugiere una extensión inédita del complejo volcánico hacia el sector oeste, no obstante, se recomienda un análisis más detallado de las muestras.

Por otro lado, cercano a la frontera con Argentina, en el sector del cerro Riggi, se han encontrado secuencias metasedimentarias finas y gruesas, en donde se han observados clastos deformados por un esfuerzo perpendicular al manto del depósito. Estas secuencias abarcan un área estimada de al menos 500 m² y tampoco se encuentran en las referencias bibliográficas. Se piensa forman parte del Basamento Paleozoico.

Por último, el mismo cerro Riggi, posee un área estimada de más de 2 km² de depósitos volcánicos de diferente composición, que parecieran formar un complejo volcánico independiente al de volcán Tronador. Este, a su vez, formaría un lineamiento aproximado N-S con el volcán Fonk.

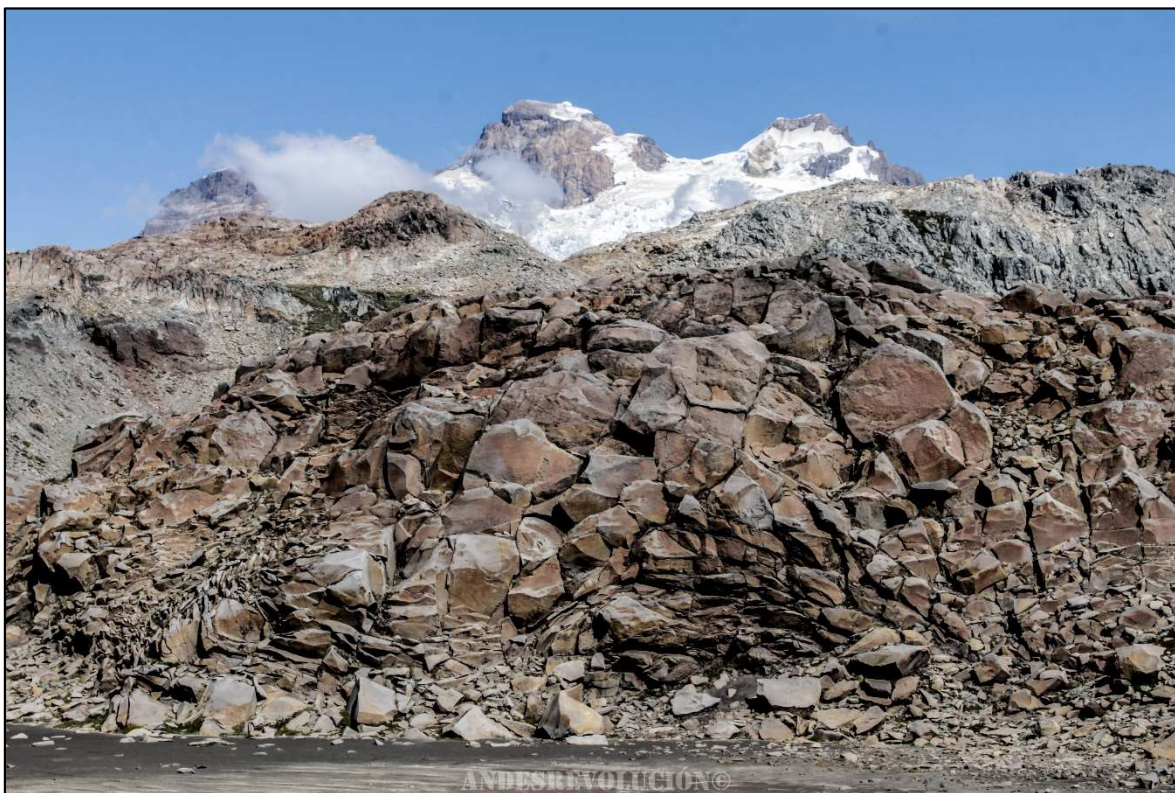


Figura 107 Vista sur desde el cerro Riggi al Complejo Volcánico Tronador. Se puede ver uno de los depósitos volcánicos existentes en el cerro Riggi que actualmente están asignados equivocadamente al Batolito Nor-Patagónico

ANEXO D: Declaración de Digne- Les-Bains (1991).

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