

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 “descascaramiento” 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