

Universidade do Minho
Escola de Ciências

José Miguel Benado Wilson

**Patrimonio geológico del proyecto geoparque Cajón del Maipo
(Región Metropolitana - Chile)**

Mestrado em Património Geológico e Geoconservação

Trabalho efectuado sob a orientação de:

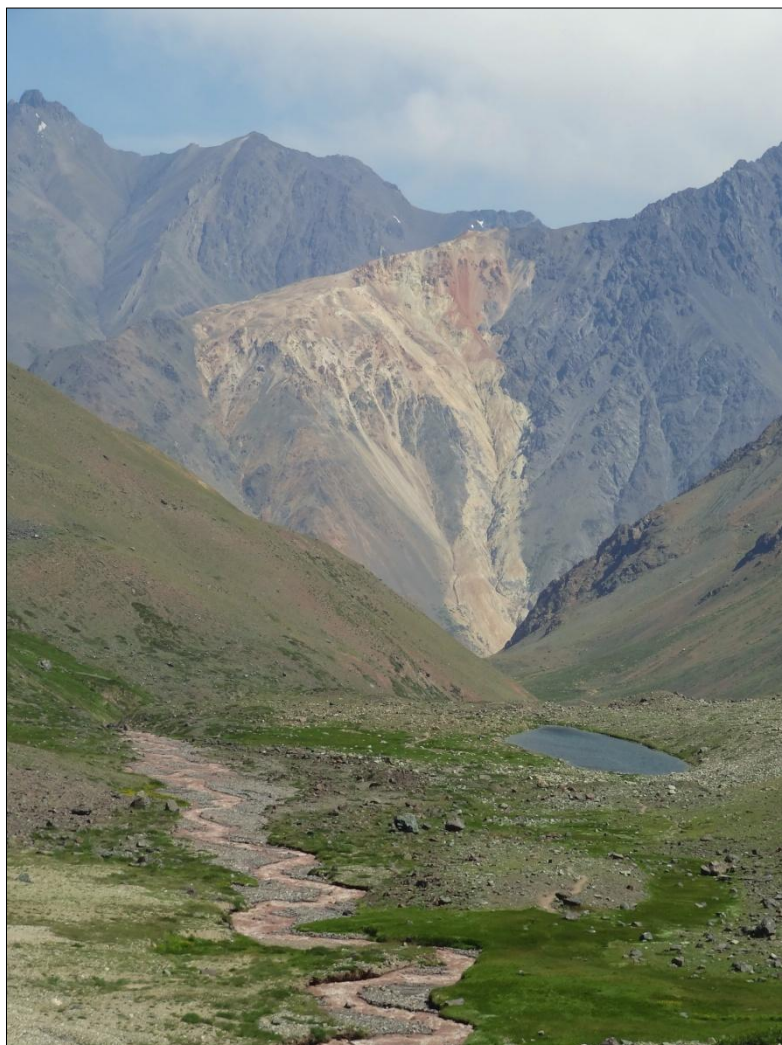
- Professor Doutor José Brilha
- Doutor Manuel Schilling

Braga, Portugal, Agosto 2013

É AUTORIZADA A REPRODUÇÃO INTEGRAL DESTA TESE/TRABALHO APENAS PARA EFEITOS DE INVESTIGAÇÃO, MEDIANTE DECLARAÇÃO ESCRITA DO INTERESSADO, QUE A TAL SE COMPROMETE.

Dedicatoria

*Este trabajo está dedicado a todos
los que quieren y disfrutan del
Cajón del Maipo.*



Remoción en masa Las Amarillas, estero y laguna Morales. Monumento Natural El Morado.

Agradecimientos

Realizar este trabajo no habría sido posible sin la colaboración y ayuda de muchas personas, a quienes les expreso todo mi agradecimiento:

- Profesor José Brilha, orientador de este proyecto de tesis en Portugal, por su compromiso como orientador, apoyo y calidad humana. ¡¡Mejor orientador imposible!!

- Manuel Schilling, orientador de este proyecto en Chile, por el gran apoyo prestado para convencer a Conicyt de aceptar el cambio de mi beca para el Magíster en Patrimonio Geológico y Geoconservación, Universidad de Minho, por invitarme a participar del proyecto de geoparque en el Cajón del Maipo, por la simpatía y por sus exhaustivas correcciones.

- Profesores Reynaldo Charrier y Renato Henriques, quienes sin ser formalmente orientadores de este proyecto de tesis, lo fueron de *facto*, siendo un apoyo desinteresado y fundamental para su realización. Gracias Profesor Reynaldo por todo el tiempo dedicado para conversar de la geología del Cajón, las sugerencias de geositios, la bibliografía ofrecida y la compañía a terreno. Gracias Profesor Renato por toda la paciencia y tiempo dedicado para esclarecer mis dudas referentes al uso de los software Argis y FileMaker 12 Pro Advance.

- Waldo Vivallo, por toda la ayuda prestada para conseguir bibliografía sobre la geología del Cajón. Describir las termas, los recursos geológicos de la Comuna y completar el mapa geológico, entre otras cosas, no habría sido posible sin su ayuda.

- Profesor Francisco Hervé, pionero en los temas de patrimonio geológico en Chile, y persona que con su calidad humana y amor por la geología ha sido y es una gran fuente de motivación para los estudiantes. Muchas gracias por el apoyo prestado para convencer a Conicyt de aceptar el cambio de mi beca para el Magíster en Patrimonio Geológico y Geoconservación, Universidad de Minho, por las sugerencias de geositios y simpatía.

- Humberto Espinosa, uno de los autores del maravilloso libro “El Patrimonio del Cajón del Maipo: Huellas de la Naturaleza, Historia e Identidad”. Muchas gracias por el tiempo dedicado, contactos, consejos y simpatía.

- María José Herrera, por todo el tiempo dedicado, simpatía, las sugerencias de geositios y, en particular, por las descripciones y figuras de los glaciares Nieves Negras y El Morado, las cuales fueron hechas especialmente para este proyecto de tesis.

- Profesores y entendidos de la geología del Cajón como son Alfonso Rubilar, Christian Salazar, Marco Pfeiffer, Sergio Sepúlveda, Luisa Pinto, Roberto Román, Cristóbal Ramírez, Gabriel Vargas y Francisco Gutiérrez. Muchas gracias por el tiempo dedicado, sugerencias de geositios y/o ayuda con material bibliográfico y desinteresada colaboración.

- Mis amigos Flavia y Caco, Juanca, Nico y Maru, Gil, Pajarito y Úrsula, por acompañarme a terreno y/o su ayuda para realizar este proyecto, ¡¡se pasaron!!.

- Mis tías Carol y Jacqueline, mi madre, primo Martín y mi padre, por su apoyo, acompañarme a terreno y cariño. A mi primo Carlos, por sus fundamentales clases de reparación de bicicletas y todo el cariño expresado en tantas conversaciones por los cafés de Ñuñoa.

- María José, amiga del alma y apoyo esencial. Muchas gracias por todo tu cariño.

Resumen

La Comuna de San José de Maipo, también conocida como Cajón del Maipo, se ubica en la Cordillera de Los Andes, 50 km al este de la ciudad de Santiago (capital de Chile). Posee una superficie de $\sim 5.000 \text{ km}^2$ y una población de aproximadamente 13.000 habitantes. Es una Comuna considerada semi-rural, fuertemente asociada a la práctica del ecoturismo y un área que fue declarada Zona de Interés Turístico Nacional. Esta clasificación compromete al Estado, entre otras cosas, a promover el desarrollo turístico sustentable de la zona, estimular las actividades productivas vinculadas al turismo y proteger los recursos naturales y culturales asociados.

En el siguiente trabajo se inventarió, caracterizó y cuantificó el patrimonio geológico de valor científico presente en la Comuna de San José de Maipo, un territorio donde se han desarrollado abundantes trabajos de investigación en relación a su geología, especialmente a partir de 1957, con la creación de la Escuela de Geología de la Universidad de Chile. Los resultados obtenidos en el presente trabajo serán la base de futuros estudios destinados a la creación de un geoparque en la zona, proyecto que está siendo impulsado por la Sociedad Geológica de Chile.

Después de una exhaustiva revisión bibliográfica y entrevistas con entendidos en la geología de San José de Maipo, se definieron 11 áreas temáticas que representan los elementos y procesos de la geodiversidad de mayor relevancia presentes en el territorio. Para cada una de las áreas temáticas, fueron seleccionados geositos de valor científico, en base a 4 criterios cualitativos: i) Contenido Científico; ii) Integridad; iii) Rareza; iv) Representatividad. En una etapa preliminar, se confeccionó una lista tentativa de 56 geositos, la cual fue reducida a 38 después de sucesivas evaluaciones en terreno y discusión de los 4 criterios antes mencionados. Estos lugares representan el patrimonio geológico de mayor valor científico en la Comuna de San José de Maipo. Conjuntamente, los 38 geositos seleccionados fueron evaluados cuantitativamente respecto de su nivel de vulnerabilidad, y sus potenciales usos científico, didáctico y turístico, con la finalidad de facilitar futuros planes de conservación.

Los antecedentes y resultados obtenidos en este trabajo son presentados en detalle en una base de datos creada usando el Software FileMaker 12 Pro Advance®. Este Software permite exportar la información en un formato utilizable por los sistemas de información geográfica, por consiguiente, se pretende que la base de datos pueda servir tanto como apoyo para la gestión del eventual futuro geoparque, como para planes de ordenamiento territorial en la Comuna.

Se estima que algunos de los geositos inventariados son de relevancia internacional y cuentan con gran potencial para ser estudiados y disfrutados por la sociedad. Sin embargo, ninguno de los geositos seleccionados cuenta con medidas de protección o de valorización, por ende, actualmente, todavía no se cumplen las condiciones mínimas para que el patrimonio geológico de la Comuna de San José de Maipo sea la base de un eventual geoparque integrado en la Red Global de Geoparques.

Debido a los grandes recursos naturales presentes en la Comuna de San José de Maipo, existe una constante presión por implementar grandes proyectos hidroeléctricos y mineros en su territorio. Esta situación podría poner en riesgo alguno de los geositos inventariados, por tanto, se procura que el presente trabajo sirva para alertar a la comunidad local y las autoridades competentes, sobre la necesidad de implementar medidas eficaces de geoconservación en la región.

Patrimônio geológico do projeto Geoparque Cajón del Maipo (Região Metropolitana, Chile)

Resumo

A área de San José de Maipo, também conhecida como Cajón del Maipo, localiza-se na cordilheira dos Andes, 50 km a leste da cidade de Santiago (capital de Chile). Possui uma superfície de ~5.000 km² e uma população com cerca de 13 mil habitantes. É uma área considerada semirrural, fortemente associada à prática do ecoturismo, declarada Zona de Interesse Turístico Nacional. Esta classificação compromete o Estado, entre outras coisas, a promover o desenvolvimento turístico sustentável, estimular as atividades produtivas vinculadas ao turismo e proteger os recursos naturais e culturais associados.

Neste trabalho, procedeu-se à inventariação, quantificação e caracterização do patrimônio geológico de valor científico de San José de Maipo, um território onde têm sido desenvolvidos abundantes trabalhos de investigação referentes à geologia, especialmente a partir de 1957, com a criação da Escola de Geologia da Universidade do Chile. Os resultados deste trabalho servem de suporte aos estudos de criação de um geoparque nesta região, projeto promovido pela Sociedade Geológica do Chile.

Depois de uma exaustiva revisão bibliográfica e entrevistas com especialistas na geologia de San José de Maipo, definiram-se 11 áreas temáticas que representam os elementos e processos da geodiversidade de maior relevância no território. Foram feitos trabalhos de campo para a identificação e seleção de geossítios de valor científico para cada área temática, com base em 4 critérios qualitativos: i) Conteúdo científico; ii) Integridade; iii) Raridade; iv) Representatividade. Inicialmente, foram identificados 56 potenciais geossítios, tendo sido reduzidos a 38 após sucessivas avaliações no terreno e aplicação destes 4 critérios. Estes locais representam o patrimônio geológico de valor científico de San José de Maipo. Foi ainda realizada uma avaliação quantitativa para avaliação do potencial dos geossítios para uso científico, educativo e turístico, assim como da sua vulnerabilidade, com a finalidade de facilitar futuros planos de conservação dos 38 geossítios inventariados.

Os dados e resultados obtidos neste trabalho constam de uma base de dados desenvolvida para o efeito, com recurso ao software FileMaker 12 Pro Advance®, que permite exportar a informação num formato compatível com sistemas de informação geográfica. Deste modo, pretende-se que a base de dados possa servir tanto como apoio para a gestão do eventual geoparque, como em planos de ordenamento territorial de San José de Maipo.

Alguns dos geossítios inventariados são de relevância internacional e todos possuem grande potencial para serem desfrutados pela sociedade, a partir dos três tipos de uso mencionados antes. Porém, nenhum dos geossítios conta com medidas de proteção e de valorização, pelo que, atualmente, não se cumprem ainda os requisitos mínimos para que o patrimônio geológico de San José de Maipo seja a base dum eventual geoparque integrado na Rede Global de Geoparques.

Devido à ocorrência de abundantes recursos naturais em San José de Maipo, existem fortes pressões para executar grandes projetos hidroelétricos e mineiros no seu território, podendo colocar em risco alguns dos geossítios selecionados. Espera-se que este trabalho sirva para alertar a comunidade local e as autoridades competentes, sobre a necessidade de implementar medidas eficazes de geoconservação na região.

Geological heritage of the Cajón del Maipo Geopark project (Metropolitan Region, Chile)

Abstract

San José de Maipo county, also known as Cajón del Maipo, is located in Central Andes about 50 km east to Santiago city (the capital of Chile). It has a surface area of 4,995 km² and a population of about 13,000 inhabitants. San José de Maipo is a semi-rural county, strongly associated with the practice of ecotourism and nominated as a "National Zone of Tourism Interest". This classification commits the government to promote the development of sustainable tourism in the area, the stimulation of productive activities related to tourism, and the protection of natural and cultural resources, among others.

This thesis presents an inventory, characterization and quantification of the geological heritage of scientific value occurring in San José de Maipo county, an area where extensive geological research has been carried out, particularly since 1957, with the creation of the Geology School of the University of Chile. The results of this work will serve as support for studies to create a geopark in the region, a project under the auspices of the Geological Society of Chile.

After an extensive literature review and interviews with experts on the geology of the area, 11 frameworks representing the elements and processes most relevant of the local geodiversity were defined. Geosites with exceptional scientific value were sought in each of the frameworks based in 4 qualitative criteria: i) Scientific knowledge; ii) Integrity; iii) Rarity; iv) Representativeness. In a preliminary stage, a tentative list of 56 geosites was made, which was reduced to 38 after successive field assessments and discussion of the 4 criteria mentioned above. These sites represent the geological heritage with scientific value in the San José de Maipo County. Furthermore, the 38 selected geosites were assessed for their scientific, touristic, and educational values, as well as by their vulnerability levels, in order to establish conservation management priorities.

The results of this work were presented in detail, and in a friendly way, in a database created using FileMaker 12 Pro Advance Software®. This software allows to export the information into a format usable by Geographic Information Systems. The database can be used as a support for the future geopark management and for land-use planning in the County.

Some of the inventoried geosites have international relevance and great potential to be studied and enjoyed by the society. However, none of the selected geosites are under any conservation or recover measures. Therefore, currently the geological heritage of San José de Maipo County does not fulfil the minimum standards to be the basis of an eventual geopark of the Global Geoparks Network.

Due to the significant geological resources occurring in the county, there is a constant interest in implementing major water and mining projects in the territory, that can endanger some of the selected geosites. This work is intended to alert the local community and authorities on the need to implement effective geoconservation in the region.

Índice de Capítulos

	Pág.
Capítulo 1. Introducción	1
1.1 Contexto.....	2
1.2 Objetivo	3
1.3 Justificación	4
1.4 Metodología.....	5
 Capítulo 2. Antecedentes de la Comuna de San José de Maipo	 8
2.1 Ubicación y Accesos	9
2.2 Antecedentes Físicos	9
2.3 Biodiversidad	10
2.4 Antecedentes Socioeconómicos	13
2.5 Áreas Protegidas y Antecedentes Patrimoniales.....	14
 Capítulo 3. Geología de la Comuna de San José de Maipo.....	 18
3.1 Contexto Geotectónico	19
3.1.1 <u>Zona Volcánica de los Andes del Sur</u>	20
3.1.1 <u>Historia Geotectónica de Chile central (resumido de Muñoz, 2011)</u>	21
3.2 Descripción Geológica de la Comuna de San José de Maipo	23
3.2.1 <u>Rocas Estratificadas</u>	25
3.2.1.1 Formación Río Colina	25
3.2.1.2 Formación Río Damas.....	25
3.2.1.3 Formación Lo Valdés	26
3.2.1.4 Formación Colimapu	26
3.2.1.5 Formación Abanico.....	26
3.2.1.6 Formación Farellones	27
3.2.1.7 Unidad Volcánica Antigua	28
3.2.1.8 Unidad Volcánica Nueva	29
3.2.2 <u>Rocas Intrusivas</u>	29
3.2.2.1 Unidad Intrusiva I	29
3.2.2.2 Unidad Intrusiva II	30
3.2.3 <u>Depósitos no consolidados</u>	30
3.2.4 <u>Estructuras tectónicas (modificado de Fock, 2005)</u>	31
3.2.5 <u>Recursos geológicos</u>	32
3.2.5.1 Recurso Hídrico	32
3.2.5.2 Suelos	32
3.2.5.3 Fuentes Termales	33
3.2.5.4 Yacimientos de Rocas y Minerales Industriales	34
3.2.5.5 Yacimientos Metálicos	35
 Capítulo 4. Inventario de los geositos.....	 36

4.1 Resumen Metodológico	37
4.2 Selección de los geositos	39
4.2.1 <u>Rocas Intrusivas</u>	39
4.2.2 <u>Rocas Sedimentarias</u>	40
4.2.3 <u>Deformaciones Tectónicas</u>	40
4.2.4 <u>Volcanismo</u>	40
4.2.5 <u>Registro Paleontológico</u>	41
4.2.6 <u>Remociones en Masa</u>	41
4.2.7 <u>Glaciares y Morfologías asociadas</u>	41
4.2.8 <u>Morfología Fluvial</u>	42
4.2.9 <u>Fuentes Termales y de Aguas Minerales</u>	43
4.2.10 <u>Minas y Yacimientos</u>	44
4.2.11 <u>Otros</u>	44
4.2.11.1 Suelos	44
4.2.11.2 Contacto Camino al Volcán	45
4.2.11.3 Geología y Cultura	45
4.3 Descripción de los geositos	45
4.3.1 <u>Zona Las Vizcachas — San Gabriel</u>	46
1- Mirador terrazas del río Maipo	46
2- Cantera La Obra	48
3- Falla cuaternaria La Cantera	49
4- Suelo Los Álamos	51
5- Remoción en masa cerro Divisadero	52
6- Estratos sector El Toyo	54
7- Anticlinal del Maipo	55
8- Vuelta del Padre	57
9- Plutón San Gabriel	58
4.3.2 <u>Zona río Colorado</u>	60
10- Cerro El Plomo	60
11- Plutón La Gloria	62
12- Remoción en masa estero Parraguirre (resumido de Hauser, 2000)	63
13- Volcán Tupungatito	65
4.3.3 <u>Zona río Yeso</u>	66
14- Ignimbrita Pudahuel	67
15- Glaciar Echaurren Norte	68
16- Embalse El Yeso	70
17- Termas del Plomo	71
4.3.4 <u>Zona San Gabriel — volcán San José</u>	73
18- Contacto Plutón San Gabriel — Formación Abanico	73
19- Anticlinal Volcado	75
20- Plutón Los Lunes	76
21- Pueblo El Volcán	77
22- Remoción en masa Las Amarillas	79
23- Monumento Natural El Morado	81
24- Fósiles Lo Valdés	82
25- Localidad Tipo Formación Lo Valdés	85
26- Puente Colina	86
27- Icnitas del valle Las Arenas	88
28- Glaciar El Morado	90
29- Diapiro La Yesera	92
30- Termas Baños Colina	93

31- Localidad Tipo Formación Río Colina	94
32- Glaciar Nieves Negras	96
33- Volcán San José	98
4.3.1 Zona San Gabriel — volcán Maipo	100
34- Puente El Cristo	100
35- Contacto Camino al Volcán	102
36- Puente de Tierra.....	103
37- Localidad Tipo Formación Colimapu	104
38- Volcán Maipo — Caldera Diamante	106
 Capítulo 5. Cuantificación	 109
5.1 Antecedentes	110
5.2 Resultados de la Cuantificación	115
 Capítulo 6. Discusiones	 119
6.1 Resultados	120
6.2 Análisis	121
6.2.1 Análisis del Inventario	121
6.2.2 Análisis de la Cuantificación	122
6.2.3 Análisis del patrimonio geológico	123
 Capítulo 7. Bibliografía	 126
7.1 Referencias	127
7.2 Leyes y Decretos	136
 Anexos	 138
 Anexo 1. Yacimientos de rocas y minerales industriales, y de yacimientos metálicos presentes en la Comuna de San José de Maipo.....	 139
Anexo 2. Geositios seleccionados, asociados a las áreas temáticas de interés geológico nacional.....	142

Anexo fuera del texto: DVD-ROM con la Base de Datos de los geositios inventariados

Índice de Figuras

Figura 1.1. Ubicación de la Comuna de San José de Maipo en el contexto Sudamericano.....	3
Figura 2.1. Ejemplos de pisos de vegetación. Fotografías tomadas de Santiago Andino (2010).	11
Figura 2.2. Ejemplos de floras con categoría de conservación. Imágenes tomadas de Fredericksen <i>et al.</i> (2011).....	12
Figura 2.3. Ejemplos de fauna catalogados en peligro de extinción en el área de la Comuna de San José de Maipo. Fotografías realizadas por Nicolás Fuentes y tomadas de Santiago Andino (2010)	12
Figura 2.4. Comunas de la Provincia Cordillera.	13
Figura 2.5. Mapa general de antecedentes físicos, patrimoniales y rutas de la Comuna de San José de Maipo y su respectiva simbología. Los límites del Proyecto Santiago Andino fueron tomados de Santiago Andino (2010). Los límites de las áreas protegidas están basados en SEREMI (2011)	14
Figura 3.1. Unidades morfoestructurales de Chile entre los 32º y 35º S. Basado en Charrier & Muñoz (1994), Giambiagi et al. (2001), Giambiagi et al. (2003ª) y Tassara & Yáñez (2003). Modificado de Fock (2005)	19
Figura 3.2. Zonas volcánicas de los Andes. Modificado de Stern (2004).	20
Figura 3.3. Perfiles de la evolución paleogeográfica de Chile central durante el Cenozoico. Tomado de Fock (2005).....	22
Figura 3.4. Mapa geológico de la Comuna de San José de Maipo y su respectiva leyenda. Basado en Thiele (1980), Rivano & Tapia (2004), SERNAGEOMIN (2004), Fock (2005) y Muñoz (2011).	23
Figura 3.5. Perfil A-B del Mapa Geológico. Basado en Fock (2005).	25
Figura 3.6. Mapa de los principales afloramientos de intrusivos presentes en la Comuna de San José de Maipo. La ubicación y forma de los intrusivos está basada en Thiele (1980), Rivano & Tapia (2004), SERNAGEOMIN (2004), Fock (2005) y Muñoz (2011)	30
Figura 3.7. Diagrama de Piper de las aguas termales estudiadas en la Comuna. Modificado de Bustamante <i>et al.</i> (2010).	33
Figura 4.1. Mapa y Leyenda de localización de los geositos.	37
Figura 4.2. Esquema con las posiciones de los geositos seleccionados y las principales localidades de la Comuna de San José de Maipo.	39
Figura 4.3. Foto de un cuadro con una antigua publicidad de la Fuente Mineral Millahue	43
Figura 4.4. Terraza del río Maipo y zona de extracción de áridos, sector Las Vizcachas.....	47
Figura 4.5. Cantera La Obra.	48
Figura 4.6. Traza de falla en el sector La Cantera. Fotografía gentileza de Juan Pablo Contreras, Servicio Nacional de Geología y Minería.....	50
Figura 4.7. Perfil de suelo Los Álamos.....	51
Figura 4.8. Remoción en masa cerro Divisadero.....	53
Figura 4.9. Estratos sector El Toyo.	54
Figura 4.10. Vista al anticlinal del Maipo.	56
Figura 4.11. Sector Vuelta del Padre.....	57
Figura 4.12. Plutón San Gabriel.....	59
Figura 4.13. Cerro El Plomo. Fotografías gentileza del Profesor Roberto Román, Universidad de Chile.....	61
Figura 4.14. Plutón La Gloria	62
Figura 4.15. Remoción en masa del estero Parraguirre. La imagen de la izquierda es gentileza del Profesor Reynaldo Charrier, Universidad de Chile.	64

Figura 4.16. Volcán Tupungatito. La imagen de la izquierda es una foto aérea gentileza de Daniel Basualto, SERNAGEOMIN. La imagen de la derecha es una foto tomada en terreno, gentileza de Rodrigo Zamora, Centro de Estudios Científicos	65
Figura 4.17. Ignimbrita Pudahuel.....	67
Figura 4.18. Balance de masa acumulado del glaciar Echaurren Norte. Tomado de Escobar <i>et al.</i> (2010)	69
Figura 4.19. Panorámica del embalse El Yeso.....	71
Figura 4.20. Termas del Plomo.	72
Figura 4.21. Contacto litológico Plutón San Gabriel — Formación Abanico	74
Figura 4.22: Anticlinal volcado en la rivera norte del valle del río El Volcán. Fotografía gentileza del Profesor Reynaldo Charrier, Universidad de Chile.....	75
Figura 4.23. Geositio Plutón Los Lunes. La fotografía de la derecha es gentileza del Profesor Reynaldo Charrier, Universidad de Chile	77
Figura 4.24. Pueblo El Volcán.....	78
Figura 4.25. Remoción en masa Las Amarillas.....	80
Figura 4.26. Monumento Natural El Morado.	81
Figura 4.27. Localidad de Lo Valdés.....	83
Figura 4.28. Fósiles de la Formación Lo Valdes.	84
Figura 4.29. Localidad Tipo Formación Lo Valdés. Fotografía gentileza del Profesor Reynaldo Charrier, Universidad de Chile.	85
Figura 4.30. Sector Puente Colina.....	87
Figura 4.31. Bloque con las probables icnitas de dinosaurio. Fotografía gentileza del Profesor Reynaldo Charrier, Universidad de Chile	89
Figura 4.32. Glaciar El Morado y sistema morrénico terminal. Imagen gentileza de María José Herrera, Universidad de Chile.....	90
Figura 4.33. Glaciar y lago proglacial El Morado. Fotografía gentileza del Profesor Roberto Román, Universidad de Chile.	91
Figura 4.34. Diapiro La Yesera. Fotografía gentileza del Profesor Reynaldo Charrier, Universidad de Chile.....	92
Figura 4.35. Termas Baños Colina.....	94
Figura 4.36. Sector de la Localidad Tipo Formación Río Colina	95
Figura 4.37. Glaciar Nieves Negras.	96
Figura 4.38. Imagen satelital del glaciar Nieves Negras y sistema morrénico lateral. Imagen gentileza de María José Herrera, Universidad de Chile.	97
Figura 4.39. Volcán San José.....	99
Figura 4.40. Sector Puente El Cristo.....	101
Figura 4.41. Contacto litológico camino al volcán Maipo.....	102
Figura 4.42. Sector Puente de Tierra.	104
Figura 4.43. Localidad Tipo Formación Colimapu.....	105
Figura 4.44. Volcán Maipo y laguna del Diamante. Fotografía gentileza de Patricia Sruoga, Servicio Geológico Minero Argentino.	107
Figura 4.45. Mapa geológico — geomorfológico del Complejo Eruptivo volcán Maipo — caldera Diamante. Imagen tomada de Sruoga <i>et al.</i> (2012).....	107
Figura 6.1. Distribución de los geositos seleccionados por área temática.	120
Figura 6.2. Ejemplos de posibles LIGs de valor no estrictamente científico.	124

Índice de Tablas

Tabla 2.1. Indicadores morfométricos de los principales ríos de la Comuna. Datos tomados de Ormeño (2007).	10
Tabla 2.2. Fauna catalogada en peligro de extinción en el área de la Comuna de San José de Maipo. Datos tomados de Fredericksen <i>et al.</i> (2011)	13
Tabla 2.3. Índices socioeconómicos. Datos fueron tomados de ING (2008)	14
Tabla 2.4. Bienes con categoría de Monumento Nacional en la Comuna de San José de Maipo. Datos tomados de Espinosa <i>et al.</i> (2011)	17
Tabla 3.1. Coordenadas, edad estimada y actividad histórica de los principales volcanes de la Cordillera de los Andes Centrales, presentes en la Comuna de San José de Maipo. Tabla modificada de González-Ferrán (1995).	29
Tabla 3.2. Nombre y edades de los principales afloramientos de intrusivos presentes en la Comuna de San José de Maipo. Datos tomados de Muñoz (2011)	30
Tabla 3.3. Usos de suelo y sus respectivas superficies, en la Comuna de San José de Maipo. Datos tomados de EMG Ambiental S.A. (sin año)	33
Tabla 3.4. Características químicas de las aguas termales estudiadas en la Comuna. Modificado de Bustamante <i>et al.</i> (2010)	34
Tabla 3.5. Principales yacimientos de rocas y minerales en la Comuna de San José de Maipo. Datos tomados de Carrasco <i>et al.</i> (2004)	Anexo 1
Tabla 3.6. Resumen de los yacimientos metálicos presentes en la Comuna de San José de Maipo. Datos tomados de Rivano & Tapia (2004)	Anexo 1
Tabla 4.1. Áreas Temáticas de interés geológico nacional, asociadas a los geositios seleccionados en la Comuna de San José de Maipo	Anexo 2
Tabla 5.1. Descripción de los parámetros cuantitativos de evaluación.	110
Tabla 5.2. Parámetros cuantitativos de evaluación, con sus respectivas ponderaciones y alternativas	112
Tabla 5.3. Puntajes parciales de cuantificación para cada geositio	116
Tabla 5.4. Puntajes finales y ranking relativo de los valores Científico, Didáctico, Turístico y de Vulnerabilidad, para cada geositio	117
Tabla 5.5. Puntajes y ranking relativo de la necesidad de conservación frente a un potencial uso Científico, Didáctico y Turístico de cada geositio	118
Tabla 6.1. Resumen de los 4 geositios con mayor puntaje, para los valores científico, didáctico y turístico, y de vulnerabilidad	120
Tabla 6.2. Resumen de los 3 geositios con mayor puntaje de necesidad de conservación frente a un potencial uso Científico, Didáctico y Turístico de cada geositio	121
Tabla 6.3. Distribución de los puntajes en cada uno de los 4 tópicos cuantificados	123

PATRIMONIO GEOLÓGICO DEL PROYECTO GEOPARQUE CAJÓN
DEL MAIPO (REGIÓN METROPOLITANA - CHILE)

*“ ...No one fact in the geology of South America, interested me
more than these terraces of rudely-stratified shingle...”*

(Charles Darwin, Cajón del Maipo, 1845)

Capítulo 1.

Introducción

Capítulo 1. Introducción

1.1 Contexto

Chile es un país que cuenta con una gran diversidad climática, más de 4300 km de litoral continental, un abrupto relieve causado por la subducción de las placas oceánicas de Nazca y Antártica bajo la placa Sudamericana, y cientos de glaciares y volcanes presentes en su cadena andina. Producto de estas y otras características, en Chile suponemos tener un patrimonio geológico de relevancia internacional, sin embargo este patrimonio no ha sido debidamente identificado y solo contadas acciones se han tomado para protegerlo y divulgarlo a la sociedad para su conocimiento y disfrute.

A gran escala, los pasos más importantes son encabezados por la Sociedad Geológica de Chile y el Servicio Nacional de Geología y Minería (SERNAGEOMIN). La primera de estas instituciones desarrolla un programa de detección de geositos de relevancia nacional, mientras que la segunda lidera el proyecto “Modelo de Geoparque en Chile, Etapa I”, que tiene como objetivo crear el primer geoparque de Chile en torno al volcán Llaima y al Parque Nacional Conguillío, en la región de la Araucanía (Schilling *et al.*, 2012).

A escala regional se destaca una iniciativa desarrollada por la Corporación Nacional Forestal (CONAF), en colaboración con el Instituto Antártico Chileno y la Empresa Nacional de Petróleo (ENAP), que individualizó una docena de geositos en la Región de Magallanes y materializó la construcción de paneles explicativos en al menos algunos de ellos (Hervé *et al.*, 2012). Además, se han realizado en los últimos años algunas memorias de Título de Geólogo, las cuales han estado destinadas a identificar y evaluar el patrimonio geológico en diversas zonas del país (Hervé *et al.*, 2012), como son el Parque Nacional Torres del Paine (Fernández, 2007), Parque Nacional Conguillío (Martínez, 2010), Parque Nacional Pale-Aike (Mardones, 2012), áreas costeras de la Región de Atacama (Ramírez, 2012), Comuna de Lonquimay en la Región de la Araucanía (Partarrieu, 2013) y en la zona urbana de la ciudad de Santiago (Rodríguez, 2013).

La siguiente Tesis pretende inventariar y cuantificar los geositos con valor científico, presentes en la Comuna de San José de Maipo (figura 1.1). En esta zona se han desarrollado abundantes trabajos de investigación en relación a su geología, especialmente a partir de 1957, con la creación de la Escuela de Geología de la Universidad de Chile. Actualmente, la Sociedad Geológica de Chile está impulsando el aún incipiente proyecto de crear un geoparque que siga los lineamientos de la Red Global de Geoparques en esta área.

Mediante su estructura metodológica y productos, se busca que el presente trabajo sea un aporte para futuros estudios en el ámbito del patrimonio geológico en Chile y, en particular, sea la base geológica para la creación del futuro geoparque en la Comuna de San José de Maipo.

Desde un punto de vista social, en los últimos años se ha constatado en Chile el desarrollo de numerosos y populares movimientos locales que buscan defender su patrimonio natural y forma vida, frente a grandes proyectos industriales y/o energéticos (Calama en la II Región, Freirina en la IV Región, Aysén en la XI Región, etc.). Este también es el caso de la Comuna de San José de Maipo, en el que gran parte de su población se ha organizado en el movimiento “No a Alto Maipo”, contra la creación de 2 centrales hidroeléctricas de pasada en su territorio.

Dada esta condición, el presente trabajo también pretende ser un antecedente con soporte científico para que el patrimonio geológico sea un factor a considerar en futuras evaluaciones de impacto ambiental en la Comuna y, fundamentalmente, ser un aporte para que la sociedad local tenga aún más conciencia del valor de la naturaleza en su territorio, y por tanto pueda tener más herramientas para decidir cómo quieren organizarlo.

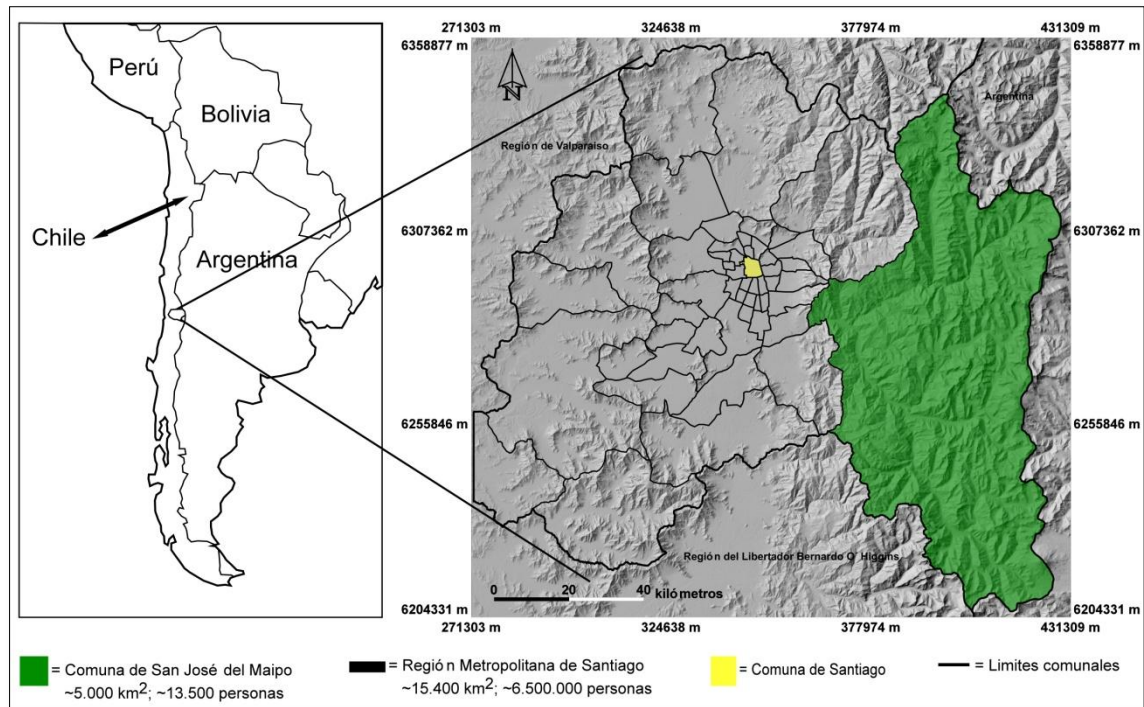


Figura 1.1. Ubicación de la Comuna de San José de Maipo en el contexto Sudamericano.

1.2 Objetivo

El objetivo general de este trabajo es inventariar, caracterizar y cuantificar el patrimonio geológico (*sensu lato*) con valor científico presente en la Comuna de San José de Maipo.

Los objetivos específicos son:

- I. Evaluar si el patrimonio geológico presente en el área de la Comuna de San José de Maipo, cumple con los estándares mínimos, para ser la base geológica de un eventual geoparque que siga los lineamientos de la Red Global de Geoparques promovida por Unesco.
- II. Crear una base de datos que describa en forma exhaustiva la geología y aspectos patrimoniales de cada uno de los geositos seleccionados en este inventario. Se pretende que esta base de datos tenga un formato amigable y sea fácilmente adaptable para cualquier área de Chile y/o el Inventario Nacional de Geositos.

1.3 Justificación

Se ha escogido realizar un inventario del patrimonio geológico, solo de valor científico, por dos motivos:

- I. El presente inventario pretende ser la base geológica de un eventual geoparque reconocido por la Unesco en la Comuna. Para que un área pueda optar a la categoría antes mencionada, una de las condiciones a cumplir es tener un patrimonio geológico de relevancia internacional (Zouros, 2009). Cómo determinar si el patrimonio de un área es de relevancia internacional puede ser subjetivo y complejo, pero el autor cree que mediante un inventario de lugares de valor científico se consiguen los antecedentes más verosímiles en ese sentido.
- II. Producto de la gran dimensión del área de estudio (~5000 km²), el tiempo y los recursos limitados que se dispusieron para hacer este trabajo de investigación, fue necesario reducir los valores del patrimonio geológico a inventariar.

La elección de la Comuna de San José de Maipo como potencial área para establecer un geoparque, se justifica por:

- I. La Comuna muestra una diversidad geológica excepcional, con rocas jurásicas de origen marino y rocas volcánicas y plutónicas del Cenozoico, pliegues y fallas que evidencian una intensa actividad tectónica (Thiele, 1980), al menos 11 volcanes (González-Ferrán, 1995), 7 fuentes termales estudiadas (Bustamante *et al.*, 2010), 718 glaciares inventariados (Geoestudios Ltda, 2011), decenas de yacimientos minerales y abundantes depósitos sedimentarios holocenos de origen fluvial, glacial, volcánico y gravitacional.
- II. Producto de los importantes recursos geológicos presentes en la Comuna, existe un constante interés por implementar grandes proyectos hídricos y mineros en su territorio. En general, la población local rechaza estas iniciativas, argumentando que estos no traerán beneficios directos para el desarrollo de la Comuna, además de amenazar sus formas de vida y el patrimonio natural del territorio. Dado este antecedente, creemos que la creación de un geoparque en esta área podría ser una alternativa de ordenamiento territorial acorde con las voluntades de la población local, la cual busca un desarrollo sustentable y de convivencia armoniosa con su entorno natural.
- III. En un radio de sólo ~50 km, el proyecto “Geoparque Cajón del Maipo” contaría con más de 6 millones de personas como público potencial.
- IV. La Comuna cuenta con una tradición asociada al ecoturismo, siendo habituales las prácticas de esquí, andinismo, escalada, rafting, ciclismo de montaña, pesca, campismo, baños termales y caminatas al aire libre entre otras actividades.
- V. Existen importantes iniciativas dedicadas a la conservación de la naturaleza en el territorio, especialmente de su componente biológica.
- VI. San José de Maipo fue declarada "Zona de Interés Turístico Nacional". Esta clasificación compromete al Estado, entre otras cosas, a promover el desarrollo turístico sustentable de la zona, estimular las actividades productivas vinculadas al turismo y proteger los recursos naturales y culturales asociados (SERNATUR, 2009).

- VII. Pese a ser un país condicionado por sus características geológicas, donde destacan grandes yacimientos de cobre, una intensa actividad sísmica y volcánica, peligros geológicos como remociones en masa, inundaciones y tsunamis, el nivel de educación en Ciencias de la Tierra en Chile es considerablemente bajo. En este sentido, la creación de un geoparque próximo a la capital, donde habita cerca del 40% de la población nacional, permitiría involucrar a la comunidad en actividades educativas relacionadas a las Geociencias y fomentar una convivencia más armónica con el medio ambiente.

1.4 Metodología

Para cumplir los objetivos mencionados anteriormente, se desarrolló una metodología basada en el trabajo de Lima *et al.* (2010), el cual sintetiza los pasos que deben desarrollarse para realizar un inventario del patrimonio geológico de valor científico en áreas de gran dimensión. Estos autores 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 o en inglés *Frameworks*, son un resumen de los procesos, eventos o elementos geológicos que más representan la geodiversidad de una zona de gran dimensión o región. En consecuencia, al buscar geositos asociados a las Áreas Temáticas, un investigador podrá estar seguro/a que todos los procesos, elementos o eventos relevantes de la geodiversidad de su área de estudio, estarán incorporados en el futuro inventario del patrimonio geológico.

Basado en el trabajo antes citado, previo a iniciar el proceso de búsqueda de potenciales geositos, se definieron 4 criterios cualitativos para discernir cuándo un lugar posee valor científico, y cómo discriminar si un lugar X, posee más valor que un lugar Y. Estos criterios son:

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

Tomando en cuenta los antecedentes antes mencionados, el desarrollo de este trabajo de tesis comenzó con el proceso de selección de geositos. Esta fase incluyó las siguientes etapas metodológicas:

- **Revisión Bibliográfica:** se recopiló y analizó la bibliografía referente a la geología presente en el área de la Comuna de San José de Maipo. Este proceso permitió resumir la geología de la Comuna, definir una lista de 11 áreas temáticas de interés geológico y hacer una lista preliminar de potenciales geositos para cada una de las áreas temáticas.
- **Contactos con Especialistas:** se contactaron profesores del Departamento de Geología, Universidad de Chile, y especialistas en la geología de la Comuna de San José de Maipo, para pedirles su opinión sobre eventuales geositos de valor científico de cada una de las áreas temáticas previamente definidas. Esta etapa permitió ampliar la lista preliminar de potenciales geositos.
- **Trabajo en Terreno:** durante 21 días, repartidos entre los meses de diciembre del año 2012 a marzo del año 2013, se visitaron en terreno los potenciales geositos de la lista tentativa obtenida a partir de la revisión bibliográfica y el contacto con especialistas en la geología de la Comuna. Esta etapa permitió recabar antecedentes patrimoniales de cada geosito, corroborar la información geológica, complementar los antecedentes previos y sumar nuevas propuestas.
- **Lista definitiva de potenciales geositos:** después de las etapas antes mencionadas, se elaboró una lista definitiva con 56 potenciales geositos que abarcan las distintas áreas temáticas previamente definidas. Es importante recalcar que los 56 geositos seleccionados en esta etapa ya corresponden a locales con valor científico, toda vez que este criterio estuvo presente en la elaboración de cada una de las etapas precedentes.
- **Evaluación cualitativa:** usando la lista de 56 potenciales geositos, se establecieron comparaciones entre aquellos de la misma área temática en base a los 4 criterios de valor científico descritos anteriormente. Esta etapa permitió seleccionar solo los geositos más destacados de cada área temática y obtener una lista final de 38 geositos para el área de estudio. Estos lugares corresponden, según el objetivo de este proyecto, al patrimonio geológico de mayor importancia científica en la Comuna de San José de Maipo.

Basado en la bibliografía recaba y el trabajo en terreno, se describió la geología y los aspectos patrimoniales de los 38 geositos seleccionados. Esta descripción se muestra de manera general en el Capítulo 4 de este documento, y en forma específica en la base de datos que se encuentra en el Anexo fuera del texto.

Con el fin de facilitar futuros planes de conservación, los 38 geositos seleccionados fueron evaluados cuantitativamente usando una metodología basada en García-Cortés & Carcavilla (2009). Estos autores evalúan el patrimonio geológico respecto a 4 tópicos: i) Valor Científico; ii) Valor Didácticos; iii) Valor Turístico; iv) Vulnerabilidad. Se consideró esta metodología como la más adecuada para el área de estudio, ya que los valores antes mencionados son también los potenciales usos de los geositos en un eventual geoparque y, por su parte, la evaluación de la vulnerabilidad permite establecer prioridades de protección entre los geositos y restringir sus posibles usos.

Usando el Software FileMaker 12 Pro Advance[®], se creó una base de datos donde se describe en forma detallada los aspectos geológicos y patrimoniales de los 38 geositos seleccionados, es posible revisar y modificar el proceso de cuantificación, y se tiene acceso a fotos, ubicación

en imágenes satelitales y distintos tipos de mapas relacionados a los geositios seleccionados. Es importante mencionar que el Software FileMaker 12 Pro Advance® permite exportar la información en un formato utilizable por los sistemas de información geográfica, por tanto, se pretende que la base de datos creada pueda servir, tanto como apoyo para futuros planes de manejo territorial en la Comuna, como para la futura gestión del eventual geoparque.

Finalmente, se analizó el cumplimiento de los objetivos planteados y se discutió el potencial del patrimonio geológico de la Comuna para ser un geoparque reconocido por la Unesco.

Capítulo 2.

Antecedentes de la Comuna de San José de Maipo

Capítulo 2. Antecedentes de la Comuna de San José de Maipo

2.1 Ubicación y Accesos

La Comuna de San José de Maipo se ubica en el límite oriental de la Región Metropolitana (figura 1.1), aproximadamente entre las coordenadas 33°33′-34°17′S y los 70°30′-69°46′O, presentando una superficie de 4994,8 km² (PAC Consultores, 2010). Al este limita con Argentina, al norte con la Región de Valparaíso, al sur con la Región del Libertador Bernardo O'Higgins y al oeste con el área urbana del gran Santiago, específicamente con las comunas de Puente Alto, Pirque, La Florida, Peñalolén, Las Condes y Lo Barnechea.

San José, la capital comunal, se encuentra a ~48 km de la ciudad de Santiago, ~100 km de la ciudad de Rancagua, ~375 km de la ciudad de Mendoza (Argentina) y ~25 Km de la Comuna de Puente Alto.

Para acceder a la Comuna en vehículo se puede utilizar la ruta G-25, la cual es la continuación de Avenida La Florida, o la ruta G-421, arteria que conecta la Comuna de Pirque con la localidad El Toyo, ubicada dentro del área de la Comuna a ~3 km al sur de localidad de San José (figura 2.5).

Existen además varios pasos fronterizos históricos como Las Pircas, Piuquenes, Nieves Negras, Alvarado Sur y Cruz de Piedra entre otros, pero actualmente tienen reconocimiento oficial sólo los pasos Piuquenes y Cruz de Piedra. El primero de ellos se ubica relativamente próximo al sector Termas del Plomo, y está habilitado en forma temporal. El paso Cruz de Piedra se ubica en las cercanías del volcán Maipo, está permanente habilitado, pero su acceso es restringido (figura 2.5).

2.2 Antecedentes Físicos

La Comuna esta emplaza en la Cordillera de los Andes y presenta un paisaje de montaña joven, modelado fundamentalmente por la acción tectónica, glaciár, volcánica y fluvial.

En un corto trecho de ~60 km en dirección O-E, las alturas de la cordillera van desde ~780 m s.n.m en la localidad de Las Vizcachas, ~1010 m s.n.m en la capital comunal San José y más de una veintena de cumbres que superan los 5.000 m s.n.m en sus zonas más orientales. El límite este de la Comuna coincide con el arco volcánico actual, donde destacan el volcán Tupungato (~6.570 m s.n.m), volcán Maipo (~5.290 m s.n.m) y los volcanes activos Tupungatito (5.600 m s.n.m) y San José (5.856 m s.n.m).

El límite administrativo de la Comuna está determinado por la alta hoya hidrográfica del río Maipo, con más de 5.000 km². Sus principales tributarios son el río Colorado, que llega al Maipo cerca de la localidad de San José, y los ríos Volcán y Yeso, que se unen al Maipo cerca de la localidad de San Gabriel (figura 2.5). Sus regímenes hidrológicos son mixtos, con fuertes crecidas en invierno, primavera y comienzos de verano, pero existe predominancia del régimen nival, ya que los caudales máximos estivales duplican los gastos volumétricos medios de invierno (Ormeño, 2007).

A modo general, se reconoce en la zona centro-este de la Comuna un marcado patrón de cauce S-N, el cual estaría asociado a un control estructural (figura 3.4), mientras que en las zonas más occidentales los ríos presentan un patrón dendrítico sin orientaciones preferenciales. Los ríos muestran cauces con carga de fondo de alta pendiente, patrón de sinuosidad media-alta, generalmente con pocas barras, y un lecho compuesto con gravas y arenas gruesas. Se caracterizan por ser muy inestables, cambiando rápidamente su patrón de escorrentía (Ormeño, 2007). En la tabla 2.1 se resumen los indicadores morfométricos de los principales ríos de la Comuna.

El límite de las nieves perpetuas se ubica generalmente por sobre los 4.000 m s.n.m, existiendo en la Comuna 718 glaciares inventariados, entre los cuales 40 son de Valle, 177 de Montaña, 13 Glaciaretos y 538 de tipo Rocoso, abarcando en total una superficie de 387,52 km² (Geoestudios Ltda, 2011). Ormeño (2007) menciona que aguas abajo de la localidad de San Gabriel no se observan restos de unidades morfoestratigráficas glaciales, ni tampoco indicios de erosión glacial, por tanto es muy probable que las lenguas glaciales que bajaban por los valles cordilleranos de la Comuna sólo alcanzaron la zona cercana a la intersección de los ríos Yeso, Volcán y Maipo (figura 2.5).

Nombre del Río	Desnivel [m]	Largo del Cauce [km]	Pendiente del cauce	IS	Área cuenca [km ²]
Maipo	3796	158,3	0,024	1,585	5384
Volcán	1039	22,6	0,046	1,209	452
Yeso	1583	42,5	0,037	1,360	625
Colorado	1663	55,7	0,030	1,278	1589
Olivares	1451	41,2	0,035	1,164	466

Tabla 2.1. Indicadores morfométricos de los principales ríos de la Comuna. IS= Índice de Sinuosidad y la Pendiente del Cauce es un promedio. Datos tomados de Ormeño (2007).

Producto de su abrupta orografía, diferencial de insolación y numerosos ríos entre otros factores, la Comuna puede presentar diferentes tipos de climas en escasos kilómetros de distancia, siendo difícil dar una clasificación general que abarque toda su área. En particular, la localidad de San José (capital comunal) presenta una temperatura mínima promedio de 1°C y una máxima promedio de 28°C, se caracteriza por presentar lluvias invernales, una estación seca que dura entre 7 y 8 meses y precipitaciones que varían de 1.200-2.000 mm entre agua y nieve. Es posible clasificar el clima de San José como tipo “Templado cálido con estación seca prolongada” (PAC Consultores, 2010).

2.3 Biodiversidad

De forma general, es posible caracterizar la flora nativa de la Comuna en función de su altitud (Fredericksen *et al.*, 2011; Espinosa *et al.*, 2011) (figura 2.1):

- Piso del Bosque esclerófilo (~600-1.700 m s.n.m): presenta un estrato arbustivo muy heterogéneo, pero las especies dominantes son el quillay (*Quillaja saponaria*) y el litre (*Lithraea caustica*). Otra especie importante es el bollén (*Kageneckia oblonga*) y el peumo (*Cryptocarya alba*), este último ubicado en los sectores más húmedos (laderas de exposición sur).
- Piso subandino (~1.650-2.000 m s.n.m): piso que reúne asociaciones dominadas por olivillo (*Kageneckia angustifolia*), guindilla (*Guindilia trinervis*) y duraznillo (*Colliguaja integerrima*).

- Piso andino inferior (~1.950-2.800 m s.n.m): piso que reúne asociaciones dominadas por arbustos, comúnmente entre 0,5-1,2 m de altura. Se registra un estrato arbustivo y otro herbáceo. Las especies dominantes son el horizonte (*Tetraglochin alatum*) y la hierba negra (*Mulinum spinosum*).
- Piso andino superior (~2.500-3.250 m s.n.m): son comunidades de matorrales que rara vez superan los 0,5 m de altura. Presenta dos estratos principales, uno arbustivo y otro herbáceo. Las especies dominantes son la zarcilla (*Berberis empetrifolia*), llareta (*Laretia acaulis*), *Adesmia schneideri*, *Nassauvia* y *Senecio*. También es importante mencionar en este piso las Vegas, las cuales son un tipo de humedal que se caracteriza por poseer agua gran parte del año y que adquieren gran relevancia en el aspecto productivo, como forraje, y desde el punto de vista de la conservación, ya que son el hábitat de muchas especies.
- Piso altoandino (~3.250-3.600 m s.n.m): son comunidades herbáceas perennes que rara vez superan los 30 cm de altura. Existen al menos dos tipos de vegetación, los sectores dominados por una estepa herbácea con coirón (*Poa holciformis*), y los sectores pedregosos algo más húmedos, con dominancia de subarbustos muy bajos o hierbas perennes como *Nassauvia lagascae*, *N. pinnigera*, entre otras. Sobre este piso la vegetación es extremadamente escasa y fragmentada y, en particular, sobre los 4.000 m s.n.m prácticamente no se encuentran plantas.

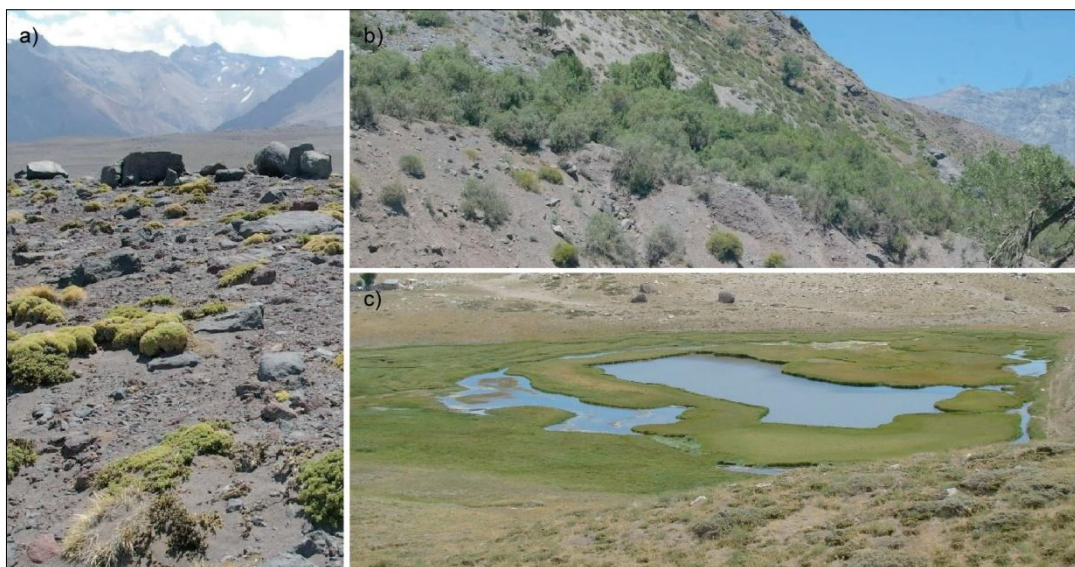


Figura 2.1. Ejemplos de pisos de vegetación. a) Piso Altoandino; b) Piso del Bosque esclerófilo; c) Vega, probablemente perteneciente al Piso Andino superior. Fotografías tomadas de Santiago Andino (2010).

Considerando toda la vegetación presente en la Comuna, Fredericksen *et al.* (2011) identificaron 9 especies que presentan alguna categoría de conservación, estas son: Lirio de la cordillera (*Alstroemeria umbellata*); Espinifloro (*Austrocactus spiniflorus*); Quisco (*Trichocereus chiloensis*); Quisquito anaranjado (*Pyrrhocactus curvispinus*); Ciprés de la Cordillera (*Austrocedrus chilensis*); Llareta (*Laretia acaulis*); *Solaria miersioides*; Guayacan (*Porlieria chilensis*); Lingue (*Persea lingue*). Entre ellas, el Espinifloro es considerado una especie rara y en peligro de extinción (figura 2.2).

Respecto a la fauna, Fredericksen *et al.* (2011) identificaron en la Comuna de San José de Maipo al menos 140 especies de vertebrados no acuáticos, entre los cuales la mayor riqueza pertenece a las aves, con un 58% de las especies, y seguido por los mamíferos con un 25%. De

las 140 especies de vertebrados identificados, casi un 20% corresponde a especies endémicas del país, 48 especies (34,3%) están catalogadas como amenazadas y/o raras y 7 están catalogadas como en peligro de extinción (al menos en el área específica de la Comuna; tabla 2.2).



Figura 2.2. Ejemplos de floras con categoría de conservación. a) Lirio de la cordillera; b) Espinifloro; c) Llareta; d) Quisquito anaranjado. Fotografías tomadas de Fredericksen *et al.* (2011).



Figura 2.3. Ejemplos de fauna catalogados en peligro de extinción en el área de la Comuna de San José de Maipo. a) Guanaco (*Lama guanicoe*); b) Vizcacha (*Lagidium viscacia*); c) Cururo (*Spalacopus cyanus*). Fotografías realizadas por Nicolás Fuentes y tomadas de Santiago Andino (2010).

Entre los reptiles destacan las especies propias de zonas aledañas a Santiago, como la lagartija parda de El Morado (*Liolaemus moradoensis*), el lagarto leopardo del Ramón (*Liolaemus ramonensis*), el lagarto de Lo Valdés (*Liolaemus valdesianus*) y el gruñidor de El Volcán (*Pristidactylus volcanensis*). Entre las aves nativas destaca por ser un símbolo de los Andes el cóndor (*Vultur gryphus*), junto con otras aves más comunes como el águila (*Geranoaetus melanoleucus*) y la turca (*Pteroptochos megapodius*), entre otros. Los mamíferos nativos son

escasos y difíciles de observar, pero es importante mencionar la vizcacha (*Lagidium viscacia*), el zorro culpeo o colorado (*Lycalopex culpaeus*), los guanacos (*Lama guanicoe*) y pumas (*Puma concolor*) (Espinosa *et al.*, 2011) (figura 2.3).

Nombre común	Nombre científico	Tipo
Lagartija de Gravenhorst	<i>Liolaemus gravenhorstii</i>	Reptil
Matuasto	<i>Phymaturus flagellifer</i>	Reptil
Gruñidor de El Volcán	<i>Pristidactylus volcanensis</i>	Reptil
Vizcacha	<i>Lagidium viscacia</i>	Mamífero
Cururo	<i>Spalacopus cyanus</i>	Mamífero
Guanaco	<i>Lama guanicoe</i>	Mamífero
Torcaza	<i>Patagioenas araucana</i>	Ave

Tabla 2.2. Fauna catalogada en peligro de extinción en el área de la Comuna de San José de Maipo. Datos tomados de Fredericksen *et al.* (2011).

2.4 Antecedentes Socioeconómicos

Junto a las comunas de Pirque y Puente Alto, la Comuna de San José de Maipo pertenece administrativamente a la Provincia Cordillera (figura 2.4). Con sus casi 5.000 km², la Comuna presenta el mayor tamaño de la Región, el cual corresponde al 90,35% del territorio provincial y al 32,43% del área regional. A pesar de su gran tamaño, al año 2002 en la Comuna de San José de Maipo vivían tan solo 13.376 habitantes (ING, 2008), lo que representa una densidad poblacional de 3,74 [habitantes/km²], la más baja de la Región.

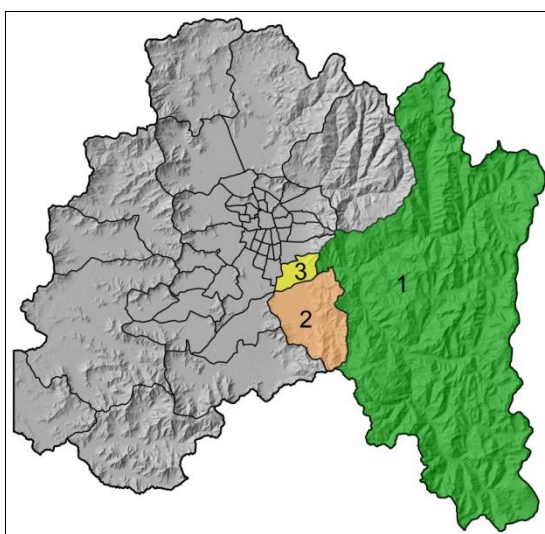


Figura 2.4. Comunas de la Provincia Cordillera. Los números corresponden a: 1) San José de Maipo; 2) Pirque; 3) Puente Alto.

Como se deduce de la tabla 2.3, del total de la población comunal, el 69,61% vive en zonas consideradas rurales, situación que difiere considerablemente del 3,1% de la Región Metropolitana o el 2,16% de la Provincia Cordillera. Este hecho, en parte, puede explicarse por las condiciones geomorfológicas de la Comuna, pero también, a juicio del autor, por una opción de forma de vida de sus habitantes. Entre las localidades más habitadas podemos nombrar a la capital comunal San José (6.140 personas), El Canelo (3.539 personas) y San Gabriel (2.159 personas), todas ellas ubicadas sobre la ruta G-25 (figura 2.5).

Según el Plan de Desarrollo Comunal (PAC Consultores, 2010), el crecimiento demográfico en San José de Maipo ha sido bastante menor que el provincial, en parte por el auge de la Comuna de Puente Alto, pero también por la falta de servicios básicos y el decaimiento de la industria minera en la Comuna. La misma fuente contabiliza que en la Comuna el 11,1% de la población vive bajo la línea de la pobreza (porcentaje relativamente mayor que al 10,6% regional) y el 3,6% son considerados indigentes.

	Región Metropolitana	Provincia Cordillera	Comuna de San José de Maipo
Superficie [km²]	15.403,2	5.528,3	4.994,8
Población Total	6.061.185	522.856	13.376
Población Rural	186.772	11.291	9.311

Tabla 2.3. Índices socioeconómicos. Los datos fueron tomados de ING (2008), documento que está basado en el censo nacional del año 2002.

Respecto al empleo, la Comuna presenta una tasa de desocupación del 7,4%, lo cual es sólo levemente superior al 7,3% del país. Del total de personas empleadas, el 57,6% trabaja en el sector económico terciario, 18,5% en el sector secundario y 11,8% en el sector primario. El rubro que más personas emplea es Comercio y Hotelería con un 18,5% del total, seguido por Construcción con un 10,35%, y Transporte y Telecomunicaciones con 8,67% (PAC Consultores, 2010).

En términos generales, se reconocen en la Comuna 4 actividades económicas productivas, todas ellas relacionados a los recursos naturales: i) Turismo; ii) Minería; iii) Generación de Energía Eléctrica; iv) Agricultura y Ganadería. Sin embargo, existe un consenso que la actividad con mayor potencial de desarrollo y capacidad de generar empleo local es el Turismo, en particular el Ecoturismo (SERPLAC, 2003; PAC Consultores, 2010). En este contexto, el año 2001 toda el área de la Comuna fue declarada "Zona de Interés Turístico Nacional", una clasificación que compromete al Estado, entre otras cosas, a promover el desarrollo turístico sustentable de la zona, estimular las actividades productivas vinculadas al turismo, y proteger los recursos naturales y culturales asociados (SERNATUR, 2009).

2.5 Áreas Protegidas y Antecedentes Patrimoniales

En la Comuna de San José de Maipo existen 3 grandes áreas protegidas por sus valores naturales. De oeste a este, ellas son:

● = Principales localidades	■ = Áreas Protegidas	== = Paso Fronterizo
▲ = Principales volcanes	■ = Proyecto Santiago Andino	— = Límite comunal
■ = Principales glaciares	■ = Ruta Patrimonial Río Olivares-Gran Salto	— = Camino pavimentado
■ = Principales cuerpos de agua	○ = Santuario de Altura Cerro El Plomo	— = Camino de ripio o tierra
— = Principales ríos		

Figura 2.5. Leyenda del mapa general de antecedentes físicos, patrimoniales y rutas de la Comuna de San José de Maipo. Las áreas protegidas son: 1) Santuario de la Naturaleza San Francisco de Lagunillas y Quillayal; Santuario de la Naturaleza Cascada de las Animas; 3) Monumento Natural El Morado. Los límites del proyecto Santiago Andino fueron tomados de Santiago Andino (2010). Los límites de las áreas protegidas están basados en SEREMI (2011).

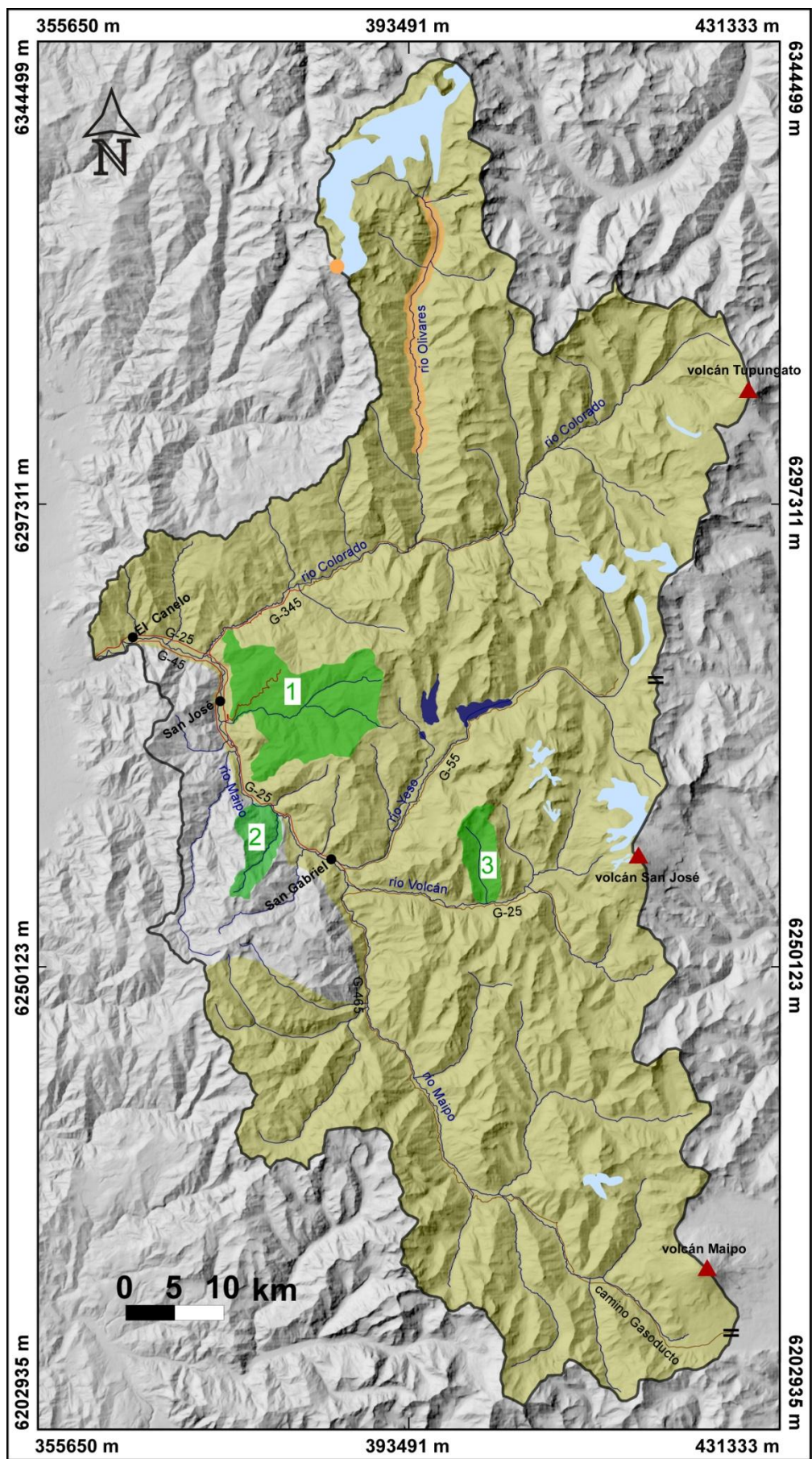


Figura 2.5. Mapa general de antecedentes físicos, patrimoniales y rutas de la Comuna de San José de Maipo.

- I. Santuario de la Naturaleza San Francisco de Lagunillas y Quillayal: corresponde a dos predios aledaños, de propiedad privada y ubicados próximos a la localidad de San José (figura 2.5), cuyas superficies suman ~13.426 ha. Sus principales características se relacionan con ser un reservorio de la flora y fauna de Chile central, muchas de ellas especies nativas y algunas endémicas. Además, se reconoce un gran potencial ecoturístico relacionado a la belleza escénica de los predios, se han registrado sitios arqueológicos que dan cuenta de la presencia prehispánica en Chile central, y se desarrollan actividades vinculadas a las tradiciones de la zona, como son el arreo de ganado y el rodeo (Decreto Exento Nº 775, 2008).
- II. Santuario de la Naturaleza Cascada de las Animas: corresponde a un predio de propiedad privada de ~3.600 ha, ubicado en las cercanías de la localidad de San Alfonso (figura 2.5). Se caracteriza por la presencia de una vegetación nativa del tipo esclerófila y xerófila de la precordillera andina y fauna asociada a este tipo de ambiente (Decreto Exento Nº 480, 1995). Además, posee varios elementos geomorfológicos de alto valor escénico, como son sus quebradas abruptas y cascadas donde se observan potentes secuencias volcánicas del Mioceno intensamente plegadas.
- III. Monumento Natural El Morado: corresponde a un terreno de propiedad pública de ~3.009 ha, ubicado en las cercanías de la localidad de Baños Morales (figura 2.5). Es de las pocas áreas protegidas en Chile por motivos explícitamente geológicos, toda vez que su creación obedece al propósito de proteger la cuenca del estero Morales, la cual es considerada un exponente representativo de los procesos de glaciación en los Andes Centrales (Decreto Supremo 2.581, 1994). Entre sus principales atractivos podemos mencionar varias morfologías glaciares muy representativas y bien preservadas, como son el valle en forma de “U”, un gran circo glaciar, un prominente *horn* con sus respectivos aretes y una morrena frontal entre otros.

Conjuntamente, existen en la Comuna importantes iniciativas dedicadas específicamente a la conservación de la biodiversidad, donde destaca el proyecto Santiago Andino, una iniciativa pública-privada que abarca ~92% de la superficie comunal (figura 2.5) y que tiene como objetivo conservar, restaurar y proteger *in situ* los ecosistemas de montaña (Santiago Andino, 2010). Un importante logro de este proyecto fue conseguir la declaración de Zona prohibida de Caza para toda el área comunal, junto con declarar Zona de Interés Científico para efectos Mineros aproximadamente el 50% de su superficie. Esta última declaración implica que para realizar labores mineras se debe solicitar permiso al Presidente de la República, procedimiento más complejo y engorroso que el habitual, y que por tanto desincentiva la creación de nuevos proyectos mineros.

Además, es importante mencionar que la Comuna de San José de Maipo, junto con las comunas de Colina, Lo Barnechea, Las Condes, Peñalolén y La Florida, conforman la Asociación de Municipalidades Parque Cordillera. Este organismo tiene como objetivos principales fomentar la protección del patrimonio natural del contrafuerte cordillerano, la educación ambiental de sus visitantes y la promoción de la vida al aire libre de forma responsable con el medioambiente.

Respecto a los antecedentes patrimoniales de la Comuna, podemos mencionar:

- Bienes muebles e inmuebles: en la Comuna existen 8 bienes catalogados como Monumento Nacional, entre ellos 7 Monumentos Históricos y 1 Zona Típica. Estos antecedentes se resumen en la tabla 2.4.

- **Patrimonio Arqueológico:** los sitios arqueológicos están protegidos por la Ley 17.288 de Monumentos Nacionales y su reglamento sobre Excavaciones y/o Prospecciones Arqueológicas, Antropológicas y Paleontológicas. Este Reglamento, entre otras cosas, establece que los yacimientos arqueológicos son Monumento por el solo ministerio de la Ley, por tanto no es necesario que postulen a una declaración oficial.

Tal vez por este motivo no fue posible, en el contexto de este trabajo de tesis, conseguir una lista oficial de sitios arqueológicos en la Comuna. Sin embargo, entre los sitios sobre los que hay alguna información, podemos destacar los santuarios de Altura de los cerros El Plomo (al noroeste de la Comuna) y Peladeros (cerca de San Gabriel), y las zonas de Laguna del Indio (cerca de Laguna Negra) y Puente de Tierra (cerca de la confluencia de los ríos Maipo y Barroso) (CMN, 2004; Cornejo, 2008; Espinosa *et al.*, 2011). Entre los lugares antes nombrados, sin lugar a dudas el más relevante es el Santuario de Altura del cerro El Plomo, en cuya cima se reportó el hallazgo de un niño congelado originario de la cultura Inca. Actualmente, este sitio forma parte de la Lista Tentativa de Chile para el Patrimonio Mundial de la Unesco (CMN, 2004).

- **Ruta Patrimonial Río Olivares - Gran Salto:** consiste en un corredor de ~27 km bordeando el río Olivares, el cual recupera antiguas sendas utilizadas para la explotación minera, la caza y la actividad ganadera. Entre sus principales atractivos destacan la posibilidad de observar farellones rocosos, morrenas, cascadas, formaciones de vegas y la posibilidad de avistar cóndores. El terreno es de propiedad fiscal y es administrado por el Ministerio de Bienes Nacionales.

Nombre	Categoría	Sector	Decreto	Fecha
Construcciones existentes a lo largo del trazado del ferrocarril militar Puente Alto-El Volcán	Monumento Histórico	Varios sectores a lo largo de la ruta G-25	DS 423	5-11-1991
Iglesia y casa parroquial de San José de Maipo	Monumento Histórico	San José	DS 309	15-6-1992
Capilla y casa del ex fundo El Manzano	Monumento Histórico	El Manzano	DE 364	3-7-1996
Edificio del ex sanatorio Laennec	Monumento Histórico	San José	DE 780	28-8-2002
Casa de salud de mujeres Carolina Doursther	Monumento Histórico	San José	DE 672	24-8-2004
Aduana de El Manzano	Monumento Histórico	El Manzano	DE 948	5-11-2004
Ocho piezas ferroviarias que se indican del ex ferrocarril militar Puente Alto-El Volcán	Monumento Histórico	Varios sectores a lo largo de la ruta G-25	DE 278	17-7-2009
Centro histórico de San José de Maipo	Zona Típica	San José	DE 266	1-7-2010

Tabla 2.4. Bienes con categoría de Monumento Nacional en la Comuna de San José de Maipo. Datos tomados de Espinosa *et al.* (2011) y del sitio en internet del Consejo de Monumentos Nacionales (www.monumentos.cl).

Capítulo 3.

Geología de la Comuna de San José del Maipo

Capítulo 3. Geología de la Comuna de San José del Maipo

3.1 Contexto Geotectónico

Con una longitud superior a los 4.200 km, Chile continental se extiende desde los 18°S, donde geográficamente la frontera está en el Altiplano compartido con Perú, Bolivia y Argentina, hasta los 56°S, cuando Tierra del Fuego se encuentra con la Antártica. Su margen occidental es el Océano Pacífico, y su límite oriental está determinado por las altas cumbres de la Cordillera de Los Andes, la cual con un ancho prácticamente nunca superior a los 200 km, se eleva desde el nivel del mar hasta casi los 7.000 m s.n.m (Moreno & Gibbons, 2007).

Desde el punto de vista geológico, Chile se ubica en el extremo suroccidental de la placa continental Sudamericana, la cual se desplaza continuamente por sobre las placas de Nazca y Antártica. Esta condición tectónica, causa que Chile sea un país con una intensa actividad sísmica y volcánica, además de determinar las grandes morfoestructuras presentes en su territorio.

En particular, la Comuna de San José de Maipo se encuentra en Chile central, en la unidad estructural conocida como Cordillera Principal (figura 3.1), la cual en base a diferencias en sus rasgos geológicos, puede dividirse en esta zona en un segmento occidental y otro oriental. En su flanco occidental está conformada por rocas volcánicas y sedimentarias cenozoicas, principalmente de las formaciones Abanico y Farellones, intruidas por rocas plutónicas del Mioceno (Thiele, 1980). En su flanco oriental, la Cordillera Principal está compuesta principalmente por rocas mesozoicas que se presentan fuertemente deformadas, conformando las denominadas fajas plegadas y corridas de Aconcagua (entre los 32°S y 34°S) y de Malargüe (entre los 34°S y 36°S) (Farías, 2007).

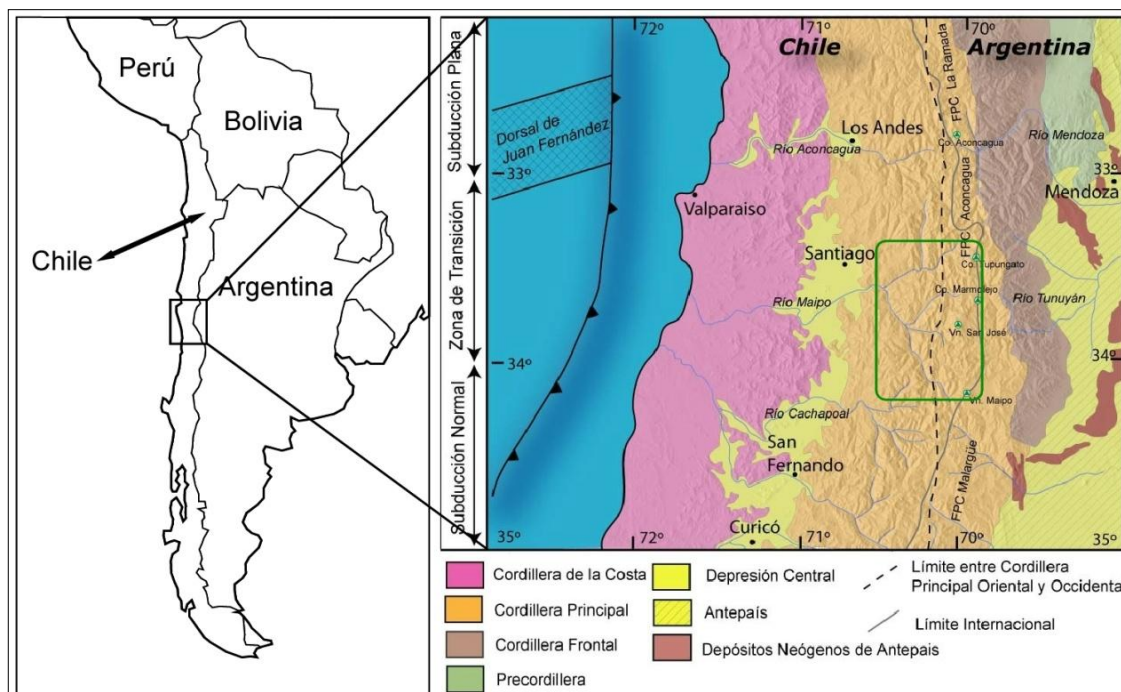


Figura 3.1. Unidades morfoestructurales de Chile entre los 32° y 35° S. Encerrado en verde el área aproximada de estudio. Basado en Charrier & Muñoz (1994), Giambiagi *et al.* (2001), Giambiagi *et al.* (2003^a) y Tassara & Yáñez (2003). Modificado de Fock, 2005.

3.1.1 Zona Volcánica de los Andes del Sur

La actual cadena volcánica de los Andes de América asociada al margen convergente, ha sido dividida en 4 zonas o segmentos: Zona Volcánica Norte [ZVN (5°N - 2°S)], Central [ZVC (14° - 27°S)], Sur [ZVS (33° - 46°S)] y Austral [ZVA (49° - 55°S)] (figura 3.2). Esta segmentación se basa en diferencias en la evolución geológica mesozoica y cenozoica de cada área, diferencias morfoestructurales, el grosor cortical, el ángulo de subducción, diferencias en la tectónica y el volcanismo actual entre otras características (Stern, 2004).

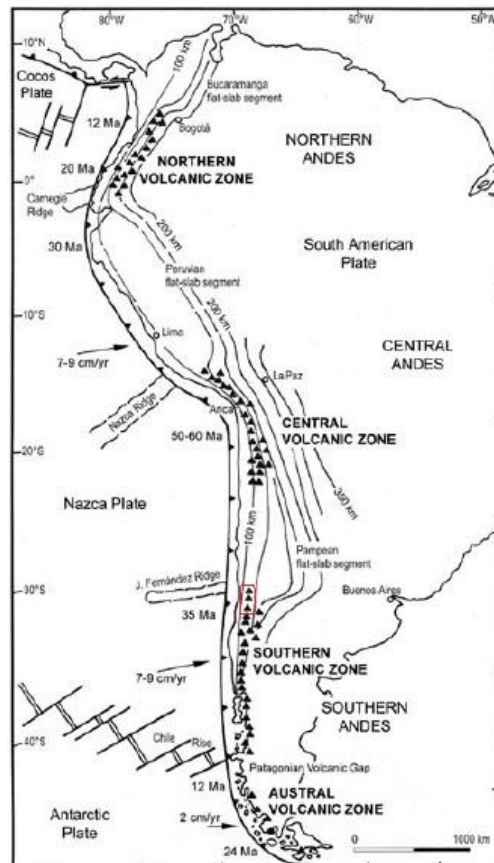


Figura 3.2. Zonas volcánicas de los Andes. Encerrada en rojo el área aproximada de estudio. Modificado de Stern (2004).

La zona de estudio está inmersa en la Zona Volcánica Sur (ZVS), la cual incluye por lo menos 60 edificios volcánicos con actividad histórica y potencialmente activos entre Chile y Argentina, presenta una tasa de convergencia entre las placas estimada en 7-9 cm/año, una dirección de convergencia levemente oblicua y un ángulo de subducción que aumenta desde el norte ($\sim 20^{\circ}$) hacia el sur ($>25^{\circ}$) (Stern, 2004).

En particular, la Comuna de San José del Maipo se ubica en la parte norte de la ZVS (33° - $34,5^{\circ}\text{S}$), la cual corresponde a un arco de hasta 120 km de ancho, con cuencas de intra-arco y volcanes de arco en Chile y Argentina. Incluye 3 complejos volcánicos principales (Tupungato - Tupungatito, San José - Marmolejo y Maipo), los cuales forman una estrecha cadena de dirección N-S en la frontera entre Chile y Argentina, aproximadamente 290 km al este de la fosa (Stern, 2004). La corteza continental se caracteriza por presentar espesores relativamente altos, y generalmente magmas ricos en sílice y productos eruptivos explosivos (SEGEMAR, 2008).

Es importante notar que inmediatamente al norte del área de estudio hay una zona de ausencia de volcanismo (figura 3.1), la cual sería consecuencia de un cambio a una subducción más plana, asociada a la presencia de la dorsal asísmica de Juan Fernández (Farías, 2007). Al sur de los 34°, por el contrario, la subducción presenta las características típicas de una subducción tipo chilena (sensu Uyeda y Kanamori, 1979; Uyeda, 1987 en Fock, 2005). Esto implica que el área de estudio se encuentra en una zona de transición volcánica, la cual marca el inicio del arco volcánico Holoceno correspondiente a la denominada Zona Volcánica Sur de los Andes (Stern, 2004).

3.1.2 Historia Geotectónica de Chile central (resumido de Muñoz, 2011)

Los ~160 Ma representados en las rocas de la Comuna de San José de Maipo se relacionan al denominado Ciclo Tectónico Andino (Mpodozis & Ramos, 1989), el cual se habría iniciado durante el Jurásico inferior, con la reorganización paleogeográfica del borde occidental de Gondwana, y el reinicio de una subducción activa. Desde este período hasta el Cretácico Inferior, la configuración general del margen continental chileno estuvo caracterizada por el desarrollo de un arco ubicado en la actual Cordillera de la Costa, y una amplia cuenca de trasarco extensional afectada por transgresiones y regresiones marinas. Esta última cuenca se ubica en el lado oriental de Chile central y parte del lado occidental de Argentina, y se conoce como cuenca de Neuquén (Charrier & Muñoz, 1994).

Durante el Cretácico Superior un evento compresivo, que ha sido relacionado al término de la separación progresiva entre Sudamérica y África, provocó la inversión y alzamiento de la cuenca de trasarco (Charrier & Muñoz, 1994). La evolución posterior, hasta el Eoceno inferior, está representada en Chile central sólo por una marcada discordancia de erosión, por lo que no ha sido bien constreñida. A partir de los ~40 Ma un evento extensional afecta nuevamente el margen continental, desarrollándose en la región andina actual una cuenca de intra-arco extensional y subsidente (figura 3.3a-b), donde más de 2.500 m de material volcánico y volcanoclástico con lentes sedimentarios pertenecientes a la Formación Abanico fueron depositados (Godoy *et al.*, 1999; Charrier *et al.*, 2002; Fuentes, 2004; Kay *et al.*, 2005, en Muñoz, 2011). La extensión habría estado principalmente controlada por la actividad de fallas normales, posteriormente invertidas, que delimitan los afloramientos actuales de la Formación Abanico (Godoy *et al.*, 1999; Charrier *et al.*, 2002; Fock *et al.*, 2006, en Muñoz, 2011).

La inversión de esta cuenca durante el Mioceno inferior (figura 3.3c-d), producto de un evento contraccional, da paso al régimen tectónico que ha producido la actual configuración estructural y morfológica de los Andes en Chile central (Godoy *et al.*, 1999; Charrier *et al.*, 2002; Giambiagi & Ramos, 2002; Fock, 2005; Fock *et al.*, 2006; Farías, 2007; Farías *et al.*, 2008, 2010, en Muñoz, 2011), pudiendo reconocerse varios pulsos de deformación que han migrado progresivamente hacia el este. Estos pulsos se muestran en la figura 3.3c-f, y pueden ser resumidos en:

1. Oligoceno superior a Mioceno inferior: se inicia la inversión de la Cuenca de Abanico (Godoy *et al.*, 1999; Charrier *et al.*, 2002, Fock *et al.*, 2006, en Muñoz, 2011).
2. Mioceno medio-superior: la deformación migra hacia el este hasta afectar los depósitos mesozoicos del flanco occidental de la Cordillera Principal, generándose con ello la faja plegada y corrida del Aconcagua y de la Ramada (Giambiagi & Ramos, 2002; Giambiagi *et al.*, 2003; Fock, 2005, Fock *et al.*, 2006, en Muñoz, 2011).

3. Mioceno superior hasta los inicios del Plioceno: se desarrolla el alzamiento de la Cordillera Principal y continua la deformación asociada a la faja plegada y corrida, a través de retrocorrimientos y corrimientos fuera de secuencia en el borde oriental de la antigua cuenca de Abanico (Giambiagi & Ramos, 2002; Fock, 2005, Fock *et al.*, 2006, en Muñoz, 2011). Sincrónicamente a este evento se produce el mayor alzamiento de superficie y exhumación regional en los Andes (Skewes & Holmgren, 1993; Kurtz *et al.*, 1997; McInnes *et al.*, 2005; Farías *et al.*, 2008; Maksaev *et al.*, 2009, en Muñoz, 2011), estimándose que para la zona comprendida entre los 33°-34°S, habría ocurrido entre los 10 y 4 Ma, acumulando un total de 2 km de alzamiento en 2 Ma (Farías *et al.*, 2008, en Muñoz, 2011).

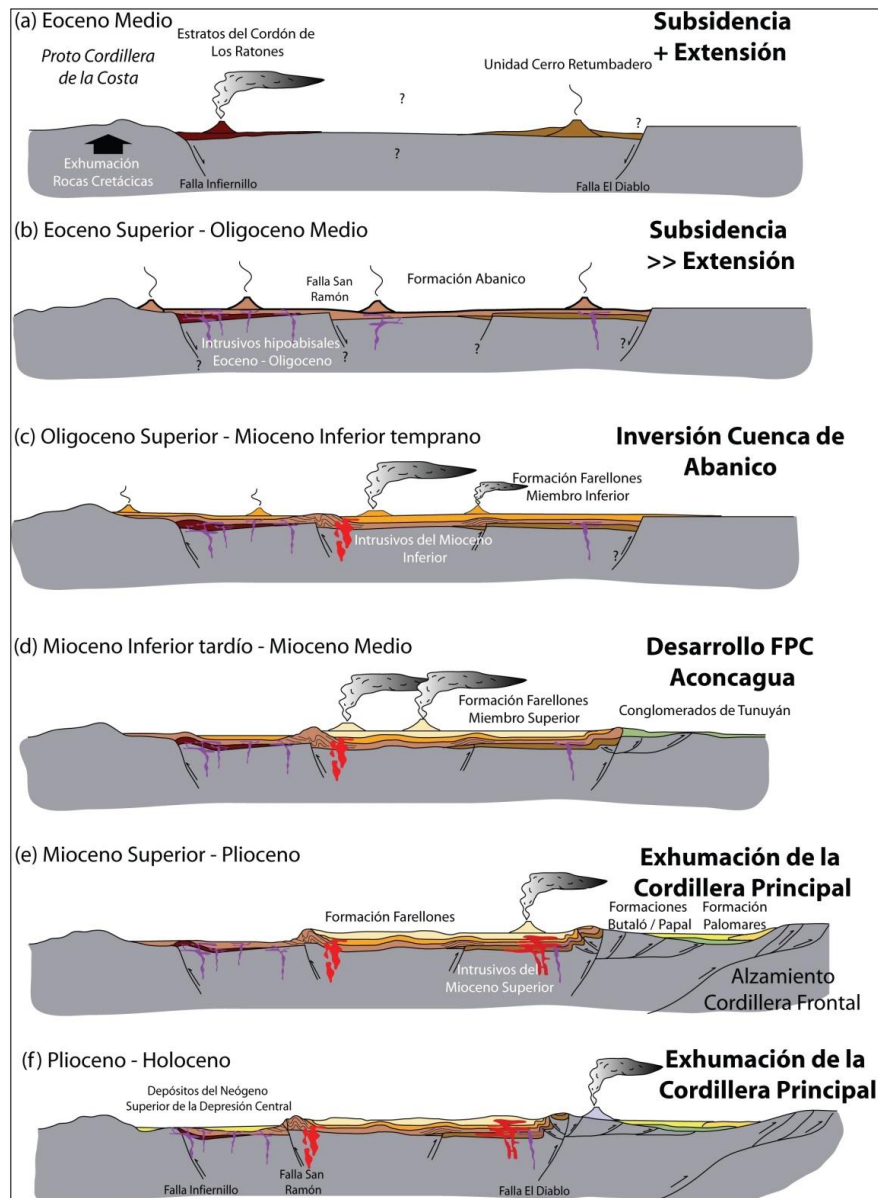


Figura 3.3. Perfiles de la evolución paleogeográfica de Chile central durante el Cenozoico. FPC: faja plegada y corrida. Tomado de Fock (2005).

4. Inicios el Plioceno hasta la actualidad: se desarrollan procesos de deformación y acortamiento en el antepaís, y de deformación de rumbo en la Cordillera Principal (Giambiagi & Ramos, 2002; Farías, 2007; Farías *et al.*, 2010, en Muñoz, 2011).

Es importante mencionar que los eventos de alzamiento y exhumación del orógeno andino son el resultado del progresivo engrosamiento cortical que sucede a la inversión de la cuenca de Abanico. El engrosamiento ha sido inferido principalmente en base a estudios de la evolución composicional que muestran las unidades magmáticas entre los 32° y 34°30'S durante este período (Kay *et al.*, 1991; Kay & Mpodozis, 2001; Kay *et al.*, 2005, en Muñoz, 2011). De este modo, se ha estimado que el grosor de la corteza previo a la inversión habría sido de alrededor de 30-35 km, mientras que actualmente es de ~60 km bajo la Cordillera Principal (Tassara *et al.*, 2006, en Muñoz, 2011).

3.2 Descripción Geológica de la Comuna de San José de Maipo

Los límites administrativos de la Comuna coinciden con los cerca de 5.000 km² de alta hoya hidrográfica del río Maipo, y en sus rocas están registrados más de 160 millones de años de historia geológica, siendo posible observar una gran geodiversidad que incluye rocas jurásicas de origen marino, rocas volcánicas y plutónicas del Cenozoico, pliegues y fallas que evidencian una intensa actividad tectónica, volcanes, termas, glaciares, yacimientos minerales y depósitos sedimentarios holocenicos de origen fluvial, glacial, volcánico y gravitacional.

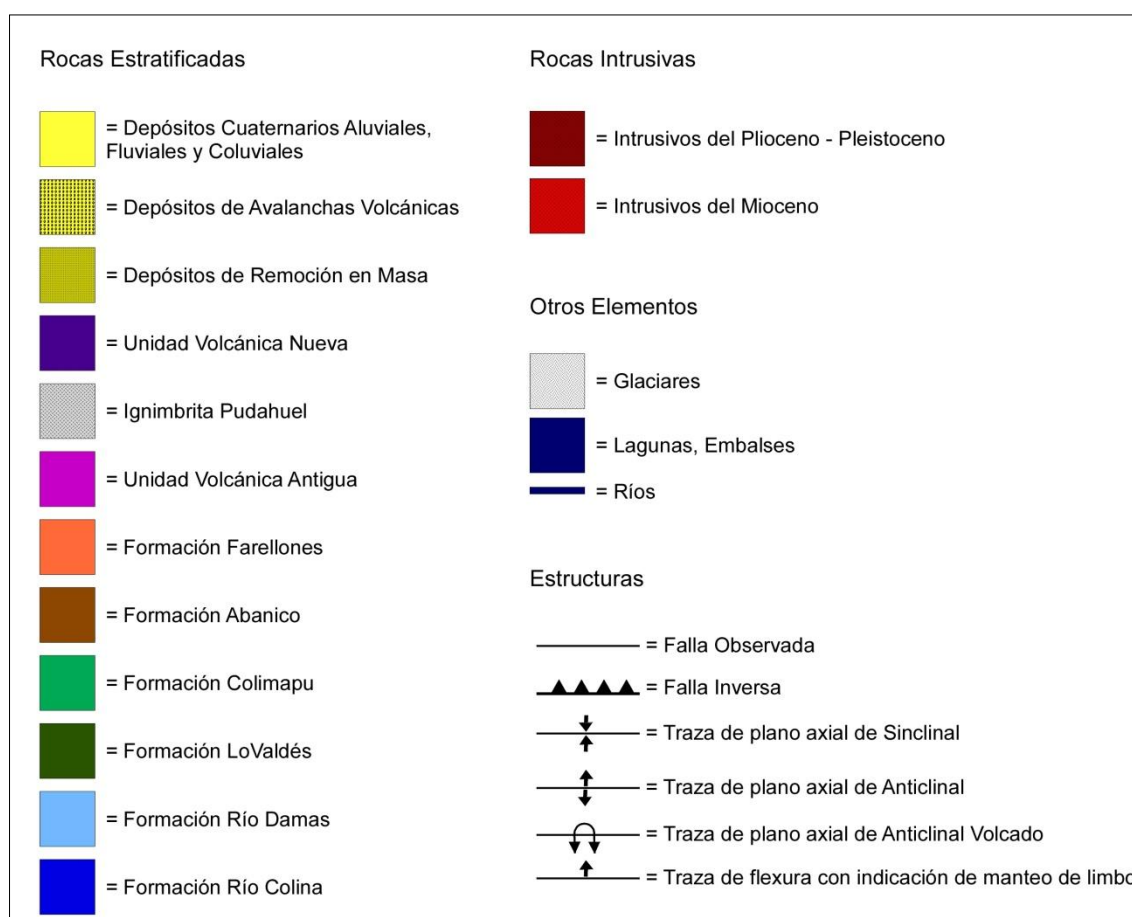


Figura 3.4. Simbología del Mapa geológico de la Comuna de San José de Maipo.

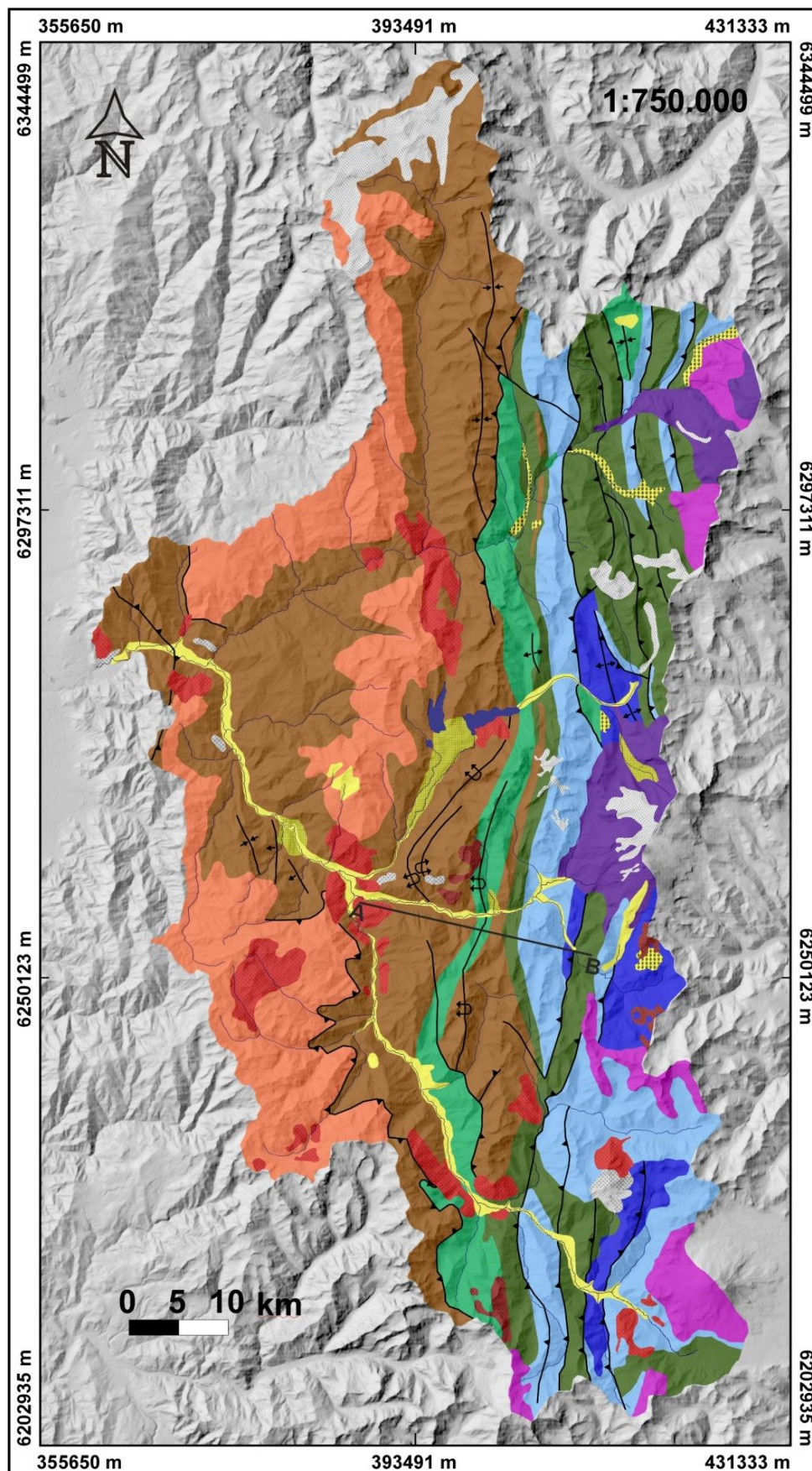


Figura 3.4. Mapa geológico de la Comuna de San José de Maipo. Basado en Thiele (1980), Rivano & Tapia (2004), SERNAGEOMIN (2004), Fock (2005) y Muñoz (2011).

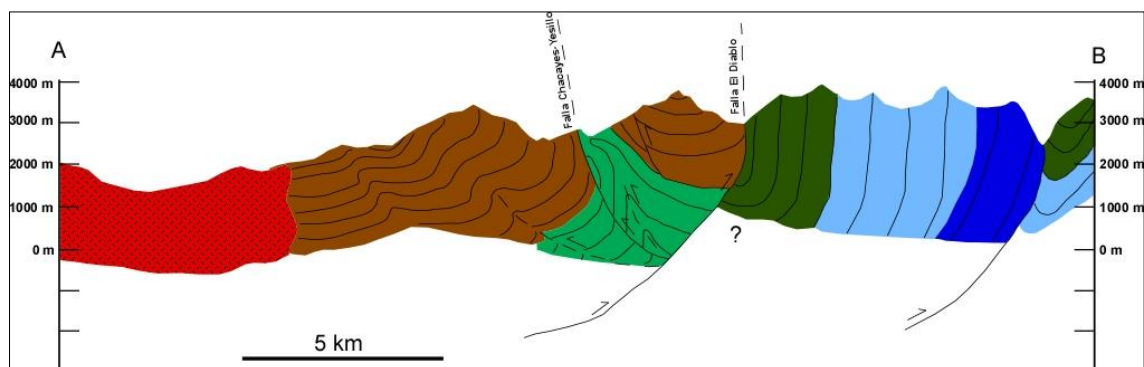


Figura 3.5. Perfil A-B del Mapa Geológico. Basado en Fock (2005).

3.2.1 Rocas Estratificadas

En el área de estudio afloran rocas estratificadas (volcánicas y sedimentarias) que han sido depositadas en ambientes marinos y continentales, y que abarcan desde el Jurasico Medio hasta la actualidad. Estas rocas se distribuyen principalmente en franjas de orientación norte-sur y se encuentran intruidas por filones, lacolitos, filones-mantos, stocks y batolitos de edad Miocena a Pleistocena (Thiele, 1980). Muchos de estos estratos presentan una intensa deformación mediante plegamientos y fallas, posibilitando que rocas cada vez más antiguas puedan ser observadas a medida que nos movemos hacia el este de la Comuna (figura 3.4). De las más antiguas a las más jóvenes, estas rocas son:

3.2.1.1 Formación Río Colina (González, 1963; Jurasico Medio-Superior)

La sección tipo fue definida en el valle del río Colina y aflora principalmente al sur del volcán San José, en la parte suroriente de la Comuna (figura 3.4).

Corresponde a una secuencia de sedimentitas marinas compuesta principalmente por calizas y lutitas calcáreas oscuras, lutitas fisibles finamente estratificadas, areniscas, conglomerados finos y con algunas intercalaciones de rocas volcánicas andesíticas. Además, presenta yeso interestratificado y domos diapíricos del mismo material, los cuales la intruyen. Su espesor visible no supera los 800 m (Thiele, 1980).

Los fósiles estudiados indican una edad oxfordiana para los niveles superiores y caloviana para los inferiores. El contacto basal es desconocido y su techo es concordante con la Formación Río Damas (Thiele, 1980).

3.2.1.2 Formación Río Damas (Klohn, 1960; Jurasico Superior)

La sección tipo fue definida en la provincia de Colchagua (~35° 00' S), pero la Formación Río Damas está presente en toda el área de estudio, aflorando como una larga y continua franja de orientación N-S en el centro este de la Comuna de San José del Maipo (figura 3.4) (Thiele, 1980).

Está compuesta por conglomerados y brechas conglomerádicas gruesas a medianas, de colores rojizos y verdosos, con intercalaciones potentes de areniscas y limolitas de colores púrpura

claro a marrón. Se intercalan niveles abundantes de rocas volcánicas andesíticas y se reconocen pequeños lentes de yeso. La potencia aproximada del conjunto es de 3.000 m.

No han sido encontrados fósiles en esta Formación, pero se le asigna una edad kimmeridgiana (Thiele, 1980), por estar apoyada en contacto concordante sobre el conjunto oxfordiano de la Formación Río Colina, y porque subyace, también concordantemente, con las capas marinas del Titoniano inferior de la Formación Lo Valdés.

3.2.1.3 Formación Lo Valdés (González, 1963; Jurásico Superior - Cretácico Inferior)

Fue definida en el sector de Lo Valdés, en el valle del río Volcán, en el sector sureste de la Comuna. En el área de estudio aflora como largas y continuas franjas de dirección N-S (figura 3.4), las cuales están separadas en escamas estructurales que provocan la repetición de los estratos superiores de la secuencia hacia el este, e imbricándose con bloques estructurales de la Formación Río Damas (Thiele, 1980).

La secuencia se compone de calizas, calcilutitas, lutitas y areniscas calcáreas, conglomerados, brechas y lavas andesíticas (Fock, 2005). Las calizas son de colores gris-azulados y se presentan en estratos compactos de fractura concoidal y de regular espesor. Se estima una potencia de ~1.350 m (Thiele, 1980).

Se le asigna una edad mediante fósiles Tithoniano - Hauteriviano (Thiele, 1980) y se encuentra en contacto concordante con la subyacente Formación Río Damas, y con la suprayacente Formación Colimapu (Thiele, 1980).

3.2.1.4 Formación Colimapu (Klohn, 1960; Cretácico Inferior)

La Formación Colimapu fue definida en la quebrada La Mona, en el extremo suroriental del área de estudio. Sus estratos se distribuyen en franjas N-S (figura 3.4), presentando una estructura constante de plegamiento, y un anticlinal apretado y volcado hacia el oeste en el sur de la Comuna (Thiele, 1980).

Está compuesta por una serie de capas lateralmente discontinuas de areniscas y lutitas rojas, conglomerados de matriz arenosa gris rojiza, tufitas rojas con niveles de rocas piroclásticas aéreas y algunas lavas andesíticas y calizas. En los sectores que ha sido posible estimarlo, su espesor alcanza un valor aproximado de 2.000 m (Thiele, 1980).

La edad mínima tentativa determinada mediante registros fósiles sería albiana, y su edad máxima, de acuerdo a la edad asignada a la Formación Lo Valdés que la subyace de forma concordante, sería Hauteriviano (Thiele, 1980). Su contacto con la suprayacente Formación Abanico es aún materia de discusión.

3.2.1.5 Formación Abanico (Aguirre, 1960; Eoceno superior - Mioceno inferior)

La Formación Abanico fue definida en la Provincia de Aconcagua, al norte del área de estudio. En el sector de la Hoja de Santiago aflora como dos franjas paralelas de dirección aproximada N-S, separadas principalmente por la Formación Farellones. En la Comuna de San José de Maipo aflora una pequeña parte de la franja occidental y gran parte de la franja oriental (figura 3.4).

Es una secuencia que localmente se encuentra intensamente deformada, está compuesta de lavas andesíticas a riolíticas, depósitos volcanoclásticos y depósitos sedimentarios fluviales, aluviales y lacustres (Charrier *et al.*, 2002), que puede dividirse en dos franjas: i) la franja occidental es volcánica compuesta por tobas, ignimbritas, brechas y delgados niveles sedimentarios con niveles volcanoclásticos, intruida por una serie de filones manto andesíticos; ii) la franja oriental está compuesta principalmente por depósitos volcanoclásticos, tobas, flujos piroclásticos, delgadas intercalaciones sedimentarias, niveles sedimentarios de areniscas, areniscas conglomerádicas y conglomerados con desarrollo de paleocanales y estratificación cruzada, además de lutitas con concreciones calcáreas (Thiele, 1980; Fock, 2005; Farías, 2007 en Eyquem, 2009). La secuencia completa tiene un espesor aproximado de 2.500 m (Thiele, 1980).

La edad de la Formación Abanico ha sido materia de discusión y de variadas investigaciones científicas. Actualmente, el estudio de mamíferos fósiles (Flynn *et al.*, 2003; Wyss *et al.*, 1990 en Eyquem, 2009) en conjunto con dataciones Ar/Ar (Charrier *et al.*, 1996 en Eyquem, 2009) permiten asignarle una edad Eoceno superior - Mioceno inferior.

También los contactos han sido materia de discusión. Entre la base de la Formación Abanico y la subyacente Formación Colimapu el contacto ha sido descrito como una discordancia angular (Klohn, 1960; Aguirre, 1960; Charrier *et al.*, 1996, 2002, en Fock, 2005), concordante (González, 1963; Thiele, 1980; Godoy *et al.*, 1988, en Fock, 2005), y al sur de los 34° S como una falla inversa fuera de secuencia de la faja plegada (Godoy & Palma, 1990; Godoy, 1991; Godoy & Lara, 1994; Godoy *et al.*, 1999 en Fock, 2005). Para el contacto con la suprayacente Formación Farellones, diversos autores han reconocido relaciones concordante o transicional (Aguirre, 1999), pseudo-concordante (Godoy & Lara, 1994, en Eyquem, 2009) y discordante (Klohn, 196; Thiele, 1980; Rivano *et al.*, 1990, en Eyquem, 2009).

Otros autores piensan que el contacto entre ambas formaciones estaría controlado por la inversión de la cuenca extensional en la que se depositó la Formación Abanico, manifestándose localmente como una discordancia o discordancia progresiva, en aquellos lugares donde el tectonismo facilitó el movimiento de algunas fallas inversas que afectaron a los depósitos, o como un paso gradual, en los lugares donde no se produjo actividad tectónica (Charrier *et al.*, 2002).

3.2.1.6 Formación Farellones (Klohn, 1960; Mioceno inferior - medio)

La Formación Farellones fue definida en el sector homónimo al norte del área de estudio, aflorando en la Comuna de San José de Maipo como una larga y continua franja de orientación aproximada N-S, que separa las franjas occidental y oriental de la Formación Abanico (figura 3.4).

Es una sucesión compuesta de lavas, tobas e ignimbritas con intercalaciones de brechas. Las lavas manifiestan un claro predominio sobre las tobas y brechas, mientras que la alternancia de rocas volcanoclásticas más finas, en tramos de 4 a 5 metros, producen una marcada estratificación en la serie (Thiele, 1980). Rivano *et al.* (1990) proponen la existencia de dos miembros para la Formación Farellones: uno inferior tobáceo a ignimbrítico, de composición riolítico-dacítico, y otro superior, compuesto por flujos andesítico-basálticos, con intercalaciones de tobas y aglomerados andesíticos, intruidos por domos riolodacíticos y filones andesíticos. Según los mismos autores, el primero representaría el producto de erupciones tipo caldera, y el segundo correspondería a una interdigitación de lavas y materiales

vocanoclásticos proveniente de estratovolcanes. El espesor estimado de la Formación Farellones es de 2.500 m, aunque aparece aumentado por los numerosos mantos intrusivos y lacolitos que intercalan la secuencia (Thiele, 1980).

De acuerdo a las dataciones radiométricas disponibles (Charrier & Munizaga, 1979; Munizaga y Vicente, 1982; Vergara *et al.*, 1988 en Fock, 2005), a la Formación Farellones se le asigna una edad miocena. En esta Formación se incluye a la Formación Colorado - La Parva, la cual fue definida inicialmente como pliocena al correlacionarla litoestratigráficamente con riolitas pliocenas de la localidad de Río Blanco (Thiele, 1980), pero posteriormente, en base a dataciones K/Ar, Beccar *et al.* (1986) y Rivano *et al.* (1990) la incluyen en la Formación Farellones (Fock, 2005). Como se discute en el punto 3.2.1.5, su contacto con la Formación suprayacente Abanico es aun materia de discusión, mientras que su techo corresponde a la actual superficie de erosión (Thiele, 1980).

Es importante mencionar que la presencia de depósitos sintectónicos en el miembro inferior de la Formación Farellones, sugiere que la depositación de su base estaría íntimamente relacionada con la deformación de los depósitos acumulados en la cuenca donde se depositó la Formación Abanico, hecho que explicaría la aparente coexistencia temporal y la complicada relación de contacto entre ambas formaciones (Fock, 2005). Además, según Fock (2005) no se puede realizar una división clara y exacta entre las Formaciones Abanico y Farellones, y en la zona de estudio, la única manera de separarlas es a través de criterios litológicos, estructurales y cronológicos no usados anteriormente. De esta forma, se asignan las lavas basálticas y andesíticas de signatura toleítica con intercalaciones volcanoclásticas a la Formación Abanico, mientras que tobas, tufitas, lutitas y areniscas volcanoclásticas con depósitos sintectónicos del Mioceno inferior, son asignadas al miembro inferior de la Formación Farellones (Fock, 2005).

3.2.1.7 Unidad Volcánica Antigua (Thiele y Katsui, 1969).

Esta unidad se define como los esqueletos de volcanes extinguidos, formados principalmente por coladas andesíticas y traquiandesíticas, de colores rojizos y amarillentos. La distribución de estas coladas ocupan una importante superficie del área fronteriza (figura 3.4), constituyendo las cumbres más altas de la Hoja de Santiago y en la cual destacan el volcán Tupungato (6.570 m s.n.m) y cerro Marmolejo (6.150 m s.n.m) (tabla 3.1). La unidad volcánica aparece sellando todas las estructuras de pliegues y fallas del mioceno que caracterizan la región y no parece estar afectada, en superficie, por fallas de importancia regional (Thiele, 1980).

El zócalo de estos esqueletos volcánicos extintos es constituido por los terrenos paleozoicos, mesozoicos y cenozoicos. Se le asigna una edad pleistocena (Thiele, 1980).

Una unidad destacable durante el Pleistoceno es la denominada Ignimbrita Pudahuel, la cual corresponde a depósitos piroclásticos de cenizas y lapilli pumiceo de composición riolítica, con amplia distribución en la Depresión Central y en los valles aledaños. Posee un espesor de hasta 10 m expuestos, su base cubre depósitos aluviales y su techo, en el área de estudio, está disectado por los cursos fluviales del río Maipo y/o cubierto por sus depósitos o por conos aluviales (figura 3.4) (López. 2004). Su edad calculada por trazas de fisión es de 450.000 $\pm$ 60.000 a A.P (Stern *et al.*, 1984).

3.2.1.8 Unidad Volcánica Nueva (Thiele y Katsui, 1969)

En esta unidad se agrupan los volcanes que presentan manifestaciones históricas de actividad, entre los cuales destacan el volcán Tupungatito (5.460 m s.n.m) y el volcán San José (5.880 m s.n.m) (tabla 3.1), edificados sobre el volcán Tupungato y el cerro Marmolejo respectivamente (Thiele, 1980).

Están formados por coladas andesíticas frescas, con intercalaciones de mantos de brechas y piroclastos menores (bombas, lapilli y cenizas) predominantemente oscuros, y actualmente se reconocen emanaciones en ellos. Las cenizas volcánicas que se observan en numerosos lugares de los valles cordilleranos y en la Depresión Central están asociados a esta Unidad, sin embargo, debido a su actual grado de evolución diagenética, se incluyen dentro de la Unidad de Depósitos no consolidados (Thiele, 1980).

Están sobreimpuestos a la Unidad Volcánica Antigua y en términos generales se le asigna una edad holocena (Thiele, 1980).

Nombre	Coordenadas	Edad	Actividad
Tupungato	33° 22' S, 69° 47' W	Plioceno Inferior-Medio	
Tupungatito	33° 25' S, 69° 50' W	Pleistoceno-Holoceno	1987
Cerro Negro	33° 28' S, 69° 42' W	Plioceno-Pleistoceno	
Piuquenes	33° 32' S, 69° 48' W	Plioceno-Pleistoceno (?)	
Marmolejo	33° 44' S, 69° 51' W	Pleistoceno	
La Engorda	33° 45' S, 69° 55' W	Pleistoceno	
Plantat	33° 46' S, 69° 54' W	Holoceno	si
San José	33° 49' S, 69° 54' W	Pleistoceno-Holoceno	1991
Caldera del Diamante	34° 08' S, 69° 47' W	Pleistoceno Inferior-Pleistoceno Medio	
Maipo	34° 10' S, 69° 49' W	Pleistoceno Superior	1912
Don Casimiro	34° 14' S, 69° 54' W	Pleistoceno (?)	

Tabla 3.1. Coordenadas, edad estimada y actividad histórica de los principales volcanes de la Cordillera de los Andes Centrales, presentes en la Comuna de San José de Maipo. Tabla modificada de González-Ferrán (1995).

3.2.2 Rocas Intrusivas

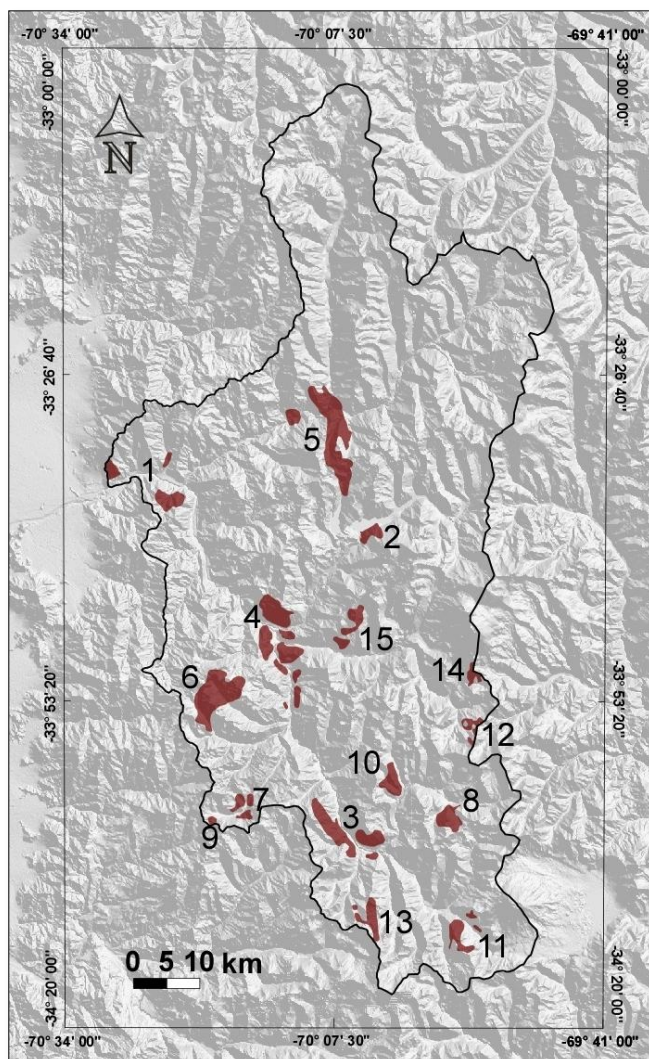
El plutonismo que dio origen a las rocas intrusivas en el área de estudio, puede interpretarse como un proceso continuo, por un lapso prolongado, detectándose una polaridad relativa de enfriamiento de los distintos plutones, siendo más jóvenes aquellos que están hacia el este de la Comuna (Thiele, 1980). En base a sus características petrográficas y estructurales, Thiele (1980) agrupó las rocas intrusivas presentes en la región en dos unidades:

3.2.2.1 Unidad Intrusiva I

Está representada por los plutones de mayor extensión en el sector y que intruyen hasta la Formación Farellones. Los tipos litológicos principales son granodiorita, monzogranito y monzonita cuarcífera (Thiele, 1980). En la figura 3.6 y la tabla 3.2 se muestran la ubicación y edades, respectivamente, de los principales cuerpos pertenecientes a esta unidad en el área de estudio.

3.2.2.2 Unidad Intrusiva II

Esta unidad está representada por stocks, lacolitos, filones manto y diques, que cortan profusamente hasta la Formación Farellones. Están compuestos principalmente por microgranodioritas, pórfidos dioríticos, dacitas y andesitas (Thiele, 1980). Gran parte de ellos son intrusivos del Eoceno superior - Mioceno inferior (Fock, 2005) y, por tener edad y geoquímica similares a las lavas de la Formación Abanico, es posible que correspondan a sus conductos alimentadores (Wall *et al.*, 1999, en Fock, 2005). En la Comuna de San José de Maipo, destacan por su extensión los afloramientos del sector Baños Azules (valle del río Colorado) y el estero El Diablo (Lo Valdés).



Nº	Nombre	Edad (Ma)
1	La Obra	~ 19-20
2	Cerro Mesón Alto	~ 11-12
3	Alfalfalito	~ 12
4	San Gabriel	~ 11
5	La Gloria	~ 10
6	La Carlota	~ 9
7	Extravío	~ 8
8	Río Negro	~ 8
9	Laguna Negra	~ 7
10	Jeria	~ 6-7
11	Cruz de Piedra	~ 5-6
12	Arroyo Colina	~ 3-4
13	Cerro Catedral	~ 3
14	Paso Colina	~ 1,3
15	Los Lunes	~ 1

Tabla 3.2. Nombre y edades de los principales afloramientos de intrusivos presentes en la Comuna de San José de Maipo. Datos tomados de Muñoz (2011).

Figura 3.6. Mapa de los principales afloramientos de intrusivos presentes en la Comuna de San José de Maipo. Algunos intrusivos continúan fuera del área de la Comuna, pero esas secciones no fueron incluidas. La línea negra continua representa el límite comunal. La ubicación y forma de los intrusivos está basada en Thiele (1980), Rivano & Tapia (2004), SERNAGEOMIN (2004), Fock (2005) y Muñoz (2011).

3.2.3 Depósitos no consolidados

- Depósitos Fluviales, Fluvio-Glaciales y Aluviales: están caracterizados por material de distinto calibre, representados por tamaños de bloques a gravas, arenas, limos y arcillas, de petrografía relacionada con las distintas unidades antes mencionadas. En la Comuna de San José de Maipo, estos depósitos rellenan la gran mayoría de los valles interiores, sobresaliendo aquellos que forman importantes niveles de terrazas en el valle del río Maipo (Thiele, 1980).

- Depósitos Lacustres: corresponden a depósitos de dimensiones reducidas finamente laminados compuestos de limos y arcillas, que se han acumulado en lagos formados detrás de algunas morrenas frontales o de depósitos producidos por desmoronamientos en los valles de los ríos Colina, Colorado, Maipo y Yeso (Thiele, 1980).
- Depósitos Gravitacionales: se reconocen en prácticamente toda el área de estudio, siendo los más importantes aquellos productos de la reptación del suelo y talud, que producen importantes acumulaciones detríticas en la base de pendientes suaves y fuertes, respectivamente. La mayoría de los fondos de valles enclavados en las partes altas de la cordillera están rellenos por taludes laterales, siendo posible observar importantes derrumbes de cerros, por ejemplo en el valle del río Colina, quebrada Arrayán, valle del río Colorado, valle del río Yeso y valle del río Maipo (Thiele, 1980).
- Depósitos Glaciares: corresponden a morrenas marginales y acumulaciones de detritos provenientes de glaciares de roca, los cuales se ubican en la mayoría de las cabeceras de las quebradas por sobre la cota 2.500 m s.n.m, en circos glaciares y en nichos de las altas cumbres. Se acumularon también morrenas terminales y de retroceso en los valles de los ríos Colorado, Yeso, Volcán y esteros afluentes, siendo especialmente notorios por su ubicación a menor altitud las morrenas de laguna Negra, quebrada del Morado y del río Volcán (Thiele, 1980).

3.2.4 Estructuras tectónicas (modificado de Fock, 2005)

Debido al mayor grado de deformación que muestran las formaciones hacia el sector oriental del área estudiada, el marco estructural se presenta con diferentes características de oeste a este.

En la parte más occidental, en el límite entre la Depresión Central y la Cordillera Principal, las rocas de la Formación Abanico se encuentran fuertemente plegadas y falladas, observándose de oeste a este un pliegue sinclinal y anticlinal, ambos apretados y asimétricos con ejes de orientación NS a NNE, los que en algunos casos son cortados por fallas inversas a lo largo de su eje. Estos pliegues continúan hacia el sur de la granodiorita La Obra y del río Maipo, observándose que sus flancos occidentales llegan a ser incluso verticales (Sellés y Gana, 2001, en Fock, 2005). La deformación en este sector está íntimamente ligada al sistema de falla San Ramón, cuya traza fue identificada por Rauld (2002) e interpretada como a una falla inversa de vergencia al oeste, pero que según Fock (2005) correspondería a una falla normal, la cual habría sido invertida en uno o más eventos deformativos durante el Oligoceno superior - Mioceno inferior. Evidencias geomorfológicas indican que la falla de San Ramón ha tenido actividad reciente, lo cual representa un gran peligro sísmico para Santiago (Charrier *et al.*, 2005).

Al este del cerro de Ramón y hasta la franja de los intrusivos del Mioceno medio - superior (por ejemplo, los plutones La Gloria y San Gabriel), la Formación Abanico se encuentra plegada suavemente, formando un sinclinal y un anticlinal de longitudes de onda kilométricas y pequeña amplitud, con ejes orientados aproximadamente norte - sur (Fock, 2005).

Al este de los intrusivos del Mioceno medio - superior, las rocas de la Formación Abanico se encuentran fuertemente deformadas por un sistema de fallas y pliegues de vergencia oeste (falla Yesillo - Chacayes), que corresponden a retrocorrimientos asociados a la falla El Diablo. Esta falla, ubicada en el límite entre la Cordillera Principal Occidental y Oriental,

correspondería a la estructura más occidental de la faja plegada y corrida del Aconcagua en este sector, marcando un cambio en el estilo y vergencia de deformación en la Cordillera Principal (Fock, 2005).

3.2.5 Recursos geológicos

San José de Maipo, es tal vez la Comuna de la Región Metropolitana que presenta una mayor ligación entre su identidad cultural - desarrollo económico, y el uso y explotación de sus recursos geológicos.

Espinosa *et al.* (2011) describen algunos ejemplos de esta relación, como la explotación de las minas de plata de San Pedro de Nolasco, descubiertas en 1692 frente al Plutón San Gabriel, descritas por Ignacio Domeyko y nombradas por Charles Darwin entre otros, que incentivaron el poblamiento de la región y la fundación de la Villa Alta de San José de Maipo, por el Gobernador de Chile Ambrosio O'Higgins en 1792.

Otro ejemplo de esta relación, es la construcción del canal San Carlos, el cual es un canal artificial que fue pensado a comienzos del siglo XVIII, pero cuya construcción solo concluyó en 1920. Este canal lleva aguas del río Maipo al río Mapocho, y durante el siglo XIX permitió aumentar significativamente el área agrícola del valle Mapocho, regando alrededor de 90.000 hectáreas al suroriente de Santiago (Espinosa *et al.*, 2011). Ya hacia fines del Siglo XIX, otro ejemplo destacable de esta relación fue la explotación minera en distintos establecimientos cercanos a la zona de El Volcán, la cual fue una industria pujante, alcanzando en su apogeo a producir más del 40% del cobre que se extraía en Chile (Ilustre Municipalidad de San José de Maipo, 2010).

A continuación se revisan algunos de los principales recursos geológicos y sus usos asociados actuales, en la Comuna de San José de Maipo:

3.2.5.1 Recursos Hídricos

En la alta cordillera del área de estudio, es posible encontrar las nacientes del río Maipo y prácticamente todos los tributarios que conforman su hoya hidrográfica, la cual posee un área total de 15.380 km² (Ormeño, 2007), de los cuales ~5.000 km² están dentro del área administrativa de la Comuna. Actualmente, el río Maipo atiende el ~70% y el ~90%, de las demandas de agua potable y regadío respectivamente, de la Región Metropolitana (Dirección General de Aguas, 2004). Además, en la Comuna las aguas de la cuenca del río Maipo son utilizadas en la generación de electricidad por la empresa AES Gener S.A, la cual posee varias plantas hidroeléctricas, entre las que destacan las centrales Maitenes, Alfalfal, Queltehues y El Volcán, que generan 30,8 MW, 178 MW, 48,9 MW y 13 MW de energía, respectivamente (consultado en www.gener.cl, el 1-3-2013).

3.2.5.2 Suelos

De los ~5.000 km² de territorio que abarca la Comuna de San José de Maipo, el 73% de la superficie corresponde a alta cordillera, no siendo posible encontrar desarrollo de suelo propiamente tal, solo un sustrato rocoso con escasa evolución. El restante 27%, equivalente a 122.079 ha, corresponde a una superficie donde se han desarrollados suelos con distintos grados de evolución (EMG Ambiental S.A., sin año).

Un resumen de las superficies y usos de estas 122.079 ha, se presenta en la tabla 3.3:

Uso del Suelo	Superficie (ha)	Porcentaje (%)
Cultivos anuales y permanentes	736	0,6
Forrajeras	446	0,36
Suelos en barbecho	170	0,14
Pradera mejorada	743	0,61
Pradera natural	14.452	11,84
Plantaciones forestales	273	0,22
Bosque nativo	26.722	21,89
Matorrales	77.891	63,80
Infraestructura	647	0,53
Total de Suelo	122.080	100

Tabla 3.3. Usos de Suelo y sus respectivas superficies. Datos tomados de EMG Ambiental S.A. (sin año).

3.2.5.3 Fuentes Termales (resumido de Bustamante *et al.*, 2010)

En la Comuna se reconocen 7 sectores con manifestaciones de aguas termales, de norte a sur: Tupungato, Salinillas, El Plomo, Baños Morales, Termas de Colina, Puente de Tierra y Baños Azules. Las 6 primeras fueron estudiadas por Bustamante *et al.* (2010), mientras que para Baños Azules no se encontró bibliografía disponible que describan sus aguas.

Muestra	Cód	Temp	pH	Cond	TDS	Na	K	Ca	Mg	Li	Cl	SO4	HCO3	CO3	SiO2	B	B.I.
Tupungato	Tupu	28.3	6.13	3960	3765	30.2	46.5	589	108	1.09	298	1630	707	0.421	30.2	3.75	-0.29
Salinillas	Sali	33.3	6.12	50300	36759	92.0	103	1040	64.9	2.2	20900	1560	339	0.267	12.2	6.18	0.29
El Plomo	Plom	44.0	6.8	19860	15009	82.7	31.6	870	92.1	0.568	6850	2380	141	0.646	13.8	2.97	0.39
Baños Morales	Mora	23.0	6.31	36900	27231	87.6	242	986	223	3.54	14600	1100	1440	1.38	45.9	7.29	0.33
Colina Maipu	Colm	52.0	6.52	40700	30670	87.5	391	1100	267	12	14900	3090	1050	3.76	73.9	31.6	0.31
Puente de Tierra	Puen	41.2	6.09	52100	42063	89.4	224	1420	191	5.5	22400	2870	1200	1.41	24.6	18.3	0.31

Cond: conductividad eléctrica en $\mu\text{S}/\text{cm}$ TDS: total de sólidos disueltos en mg/l B.I.: balance iónico Concentración en mg/l

Tabla 3.4. Características químicas de las aguas termales estudiadas en la Comuna. Modificado de Bustamante *et al.* (2010).

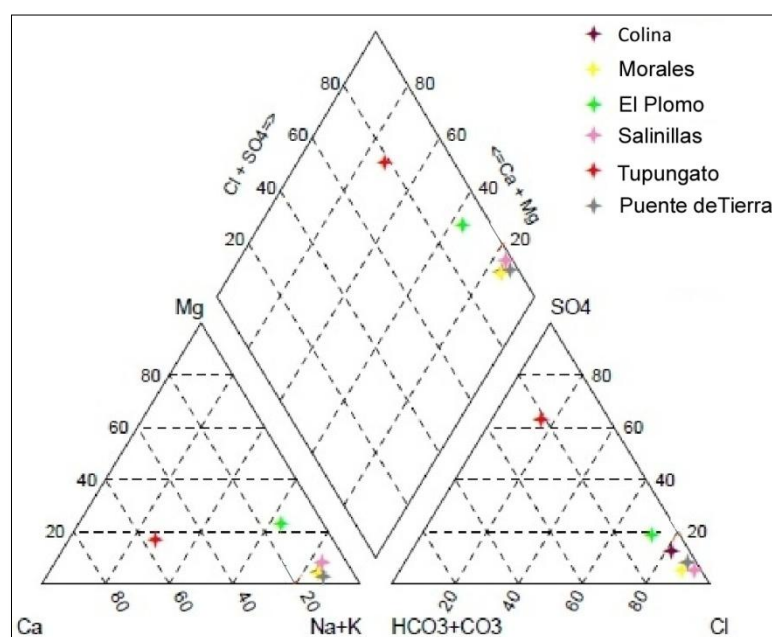


Figura 3.7. Diagrama de Piper de las aguas termales estudiadas en la Comuna. Modificado de Bustamante *et al.* (2010).

Los estudios de Bustamante *et al.* (2010) muestran que los diagramas de Stiff de las fuentes de Salinillas, El Plomo, Baños Morales, Termas Colina y Puente de Tierra muestran geometrías similares, según sus diagramas de Piper pueden clasificarse como tipo cloruradas sódicas (figura 3.7) y todas presentan concentraciones grandes de boro y bajas en litio (tabla 3.4). En base a estos antecedentes y otros, los autores antes mencionados proponen un origen cogenético para las aguas termales, el cual tendría como fuente de calor un volcán activo asociado a una cámara magmática intermedia andesítica y/o andesítica basáltica (probablemente del volcán San José o el Maipo). La fuente termal Tupungato, a diferencias de las demás, es del tipo sulfatada cálcica y tendría un origen hidroquímico distinto (figura 3.7). Las 6 aguas termales son del tipo salobre a muy saladas, no siendo aptas para consumo humano, ni para regadío sin tratamiento previo.

Si estudios más detallados comprobasen la existencia de un sistema de agua-vapor en torno al área de los volcanes San José y Maipo, de acuerdo con el rango de temperaturas máximas entre 120°-170° obtenidas con geotermómetros de Na-K en los afloramientos de Termas de Colina, Baños Morales y Puente de Tierra, este sistema tendría el potencial para ser usado como fuente para calefacción ambiental, aire acondicionado, invernaderos, etc., de los pueblos aledaños (Bustamante *et al.*, 2010).

3.2.5.4 Yacimientos de Rocas y Minerales Industriales

- **Áridos:** Los principales yacimientos de explotación de áridos en la Comuna corresponden a depósitos fluviales y aluviales asociados al río Maipo. Estos depósitos, compuestos por gravas y arenas, son profusamente explotados mediante bancos de decantación localizados en el cauce del río Maipo, entre los sectores de Las Vizcachas y El Toyo, y principalmente en el sector de La Obra. Según Carrasco *et al.* (2004), existen 8 yacimientos en explotación en la Comuna, los cuales obtienen arena fina, arena estuco, arena gruesa, gravilla y grava, destinada a la construcción habitacional y obras civiles.
- **Azufre:** Según Carrasco *et al.* (2004), el yacimiento Nieves Negras, ubicado cerca de la frontera con Argentina, al sur del volcán San José, es el único yacimiento de azufre hasta ahora encontrado en la Región Metropolitana. Los mismos autores lo describen como un cuerpo estratiforme y/o irregular relacionado con la actividad efusiva de la Unidad Volcánica Nueva, el cual contiene unas 10.000 t de azufre y 50% S. Debido a una relación de factores como su dimensión, ubicación y acceso entre otros, es considerado un yacimiento de escaso interés económico.
- **Carbonato de Calcio:** los yacimientos de caliza presentes en el área de estudio están genética y espacialmente relacionados con las secuencias volcánico-sedimentarias del Jurasico y del Cretácico Inferior. El Jurasico está representado por las rocas carbonatadas de la Formación Río Colina, donde destaca especialmente el yacimiento Eureka, el cual contiene mantos de caliza de hasta 50 m de potencia intercalados en areniscas y lutitas, con contenidos promedio del orden de 60-90% CaCO_3 y reservas de 50.000.000 t (Carrasco *et al.*, 2004). Los yacimientos del Cretácico Inferior están representados por la Formación Lo Valdés, y corresponden a mantos de entre 15-20 m de potencia, con calizas de 85-95% CaCO_3 y reservas superiores a 10.000.000 t (Carrasco *et al.*, 2004). En el año 2004 existían 9 yacimientos de caliza inventariados (Carrasco *et al.*, 2004) en la Comuna, todos distribuidos entre las zonas de alta cordillera de los valles de los ríos Yeso, Volcán, Colina y Maipo. La gran mayoría de

estos yacimientos han sido explotados con la finalidad de obtener caliza para la metalurgia del cobre y la fabricación de cemento y cal.

- Granito: El único yacimiento de granito actualmente explotado en la Comuna es la cantera La Obra. De edad terciaria superior (Thiele, 1980), el intrusivo La Obra consiste en un cuerpo irregular de granodiorita de color gris blanco, el cual es explotado de forma artesanal principalmente para su uso en ornamentación paisajística y doméstica (Carrasco *et al.*, 2004).
- Pumicita: Los yacimientos de pumicita corresponden a la Ignimbrita Pudahuel, la cual es un depósito de edad cuaternaria que se distribuye en la Comuna principalmente en el valle del río Maipo (Carrasco *et al.*, 2004). En la Región Metropolitana en general, los yacimientos de pumicita comprenden mantos de hasta 10 m de potencia visible de ceniza volcánica con 70% SiO₂, 13% Al₂O₃, 1% de Fe₂O₃ y piedras pómez en proporciones de 5-10%. El año 2004 existía un solo yacimiento de pumicita inventariado en la Comuna, el yacimiento El Toyo (Carrasco *et al.*, 2004).
- Travertinos: En algunas de las fuentes de aguas termales, como por ejemplo Baños Colina, Morales y Azules, se han desarrollado extensos y potentes depósitos de travertinos, los cuales solo han sido explotados esporádicamente (Thiele, 1980).
- Yeso: Importantes y grandes estructuras diapíricas de yeso pertenecientes a la Formación Río Colina, son explotados en los valles de los ríos Yeso y Colina. También son explotados algunos yacimientos menores que afloran irrumpiendo los estratos de la Formación Lo Valdés (Thiele, 1980). En el año 2004 existían 7 yacimientos de yeso en explotación en la Comuna de San José de Maipo, los cuales en su conjunto, durante el año 2001, alcanzaron una producción equivalente al 82% de la producción nacional (Carrasco *et al.*, 2004).

3.2.5.5 Yacimientos Metálicos

En el área de estudio, la minería metálica está mayoritariamente representada por mineralizaciones de cobre y, esporádicamente, de cinc, cobalto, oro, plata y plomo. Los yacimientos se enmarcan dentro de la franja metalogénica de la cadena Andina, conocida a lo largo del norte y centro de Chile. Los yacimientos están relacionados con el magmatismo granodiorítico y dacítico de las Unidades Intrusivas I y II respectivamente, los cuales cortan las formaciones volcánicas Abanico y Farellones (Thiele, 1980).

Destaca en la Comuna el Distrito Minero El Volcán, el cual presenta mineralización en sulfuros, enriquecimiento secundario ausente, y minerales de ganga como turmalina, cuarzo, baritina y calcita. La mineralización en este sector se presenta en vetas verticales dentro de las rocas estratificadas de la Formación Abanico, y en las rocas graníticas del intrusivo San Gabriel (Thiele, 1980).

En las tablas 3.5 y 3.6, Anexo 1, se muestra un resumen de los principales yacimientos de rocas y minerales industriales y de los distintos yacimientos metálicos, respectivamente, presentes en la Comuna de San José de Maipo.

Capítulo 4.

Inventario de los geositios

Capítulo 4. Inventario de los geositos

4.1 Resumen Metodológico

Como se menciona en el ítem 1.4 Metodología, después de una exhaustiva revisión bibliográfica de la geología del área de estudio, se definieron 10 áreas temáticas que sintetizan los elementos o procesos geológicos más representativos de la geodiversidad, presente en la Comuna de San José de Maipo. Estas áreas temáticas son: i) Rocas Intrusivas; ii) Rocas Sedimentarias; iii) Deformaciones Tectónicas; iv) Volcanismo; v) Registro Paleontológico; vi) Remociones en Masa; vii) Glaciares y morfologías asociadas; viii) Morfología Fluvial; ix) Fuentes Termales y de Aguas Minerales; x) Minas y Yacimientos.

Además, se definió la categoría xi) Otros, la cual agrupa lugares que no se encuadran entre las áreas temáticas previamente nombradas, y que no necesariamente cuentan con un valor científico relevante, pero fueron seleccionados como un complemento que permite que todos los aspectos de la geodiversidad presentes en la Comuna estén incorporados en el inventario.

Luego de realizadas las etapas de Revisión Bibliográfica, Contacto con Especialistas y Trabajo en Terreno, se confeccionó una lista con 56 potenciales geositos de valor científico. Entre ellos, y para cada una de las 10 áreas temáticas, se seleccionaron los lugares más destacados según los criterios de i) Contenido Científico, ii) Integridad, iii) Rareza y iv) Representatividad, explicados en el ítem 1.4. Metodología. Una vez finalizado este procedimiento, se obtuvo una lista final de 38 geositos, que a juicio del autor, y según la metodología aplicada, son el patrimonio geológico de mayor valor científico en la Comuna de San José de Maipo.

La localización exacta de los geositos seleccionados se muestra en la figura 4.1, mientras que sus ubicaciones relativas, respecto a las principales localidades del sector, se muestra en la figura 4.2.



Figura 4.1. Leyenda del Mapa de localización de los geositos.

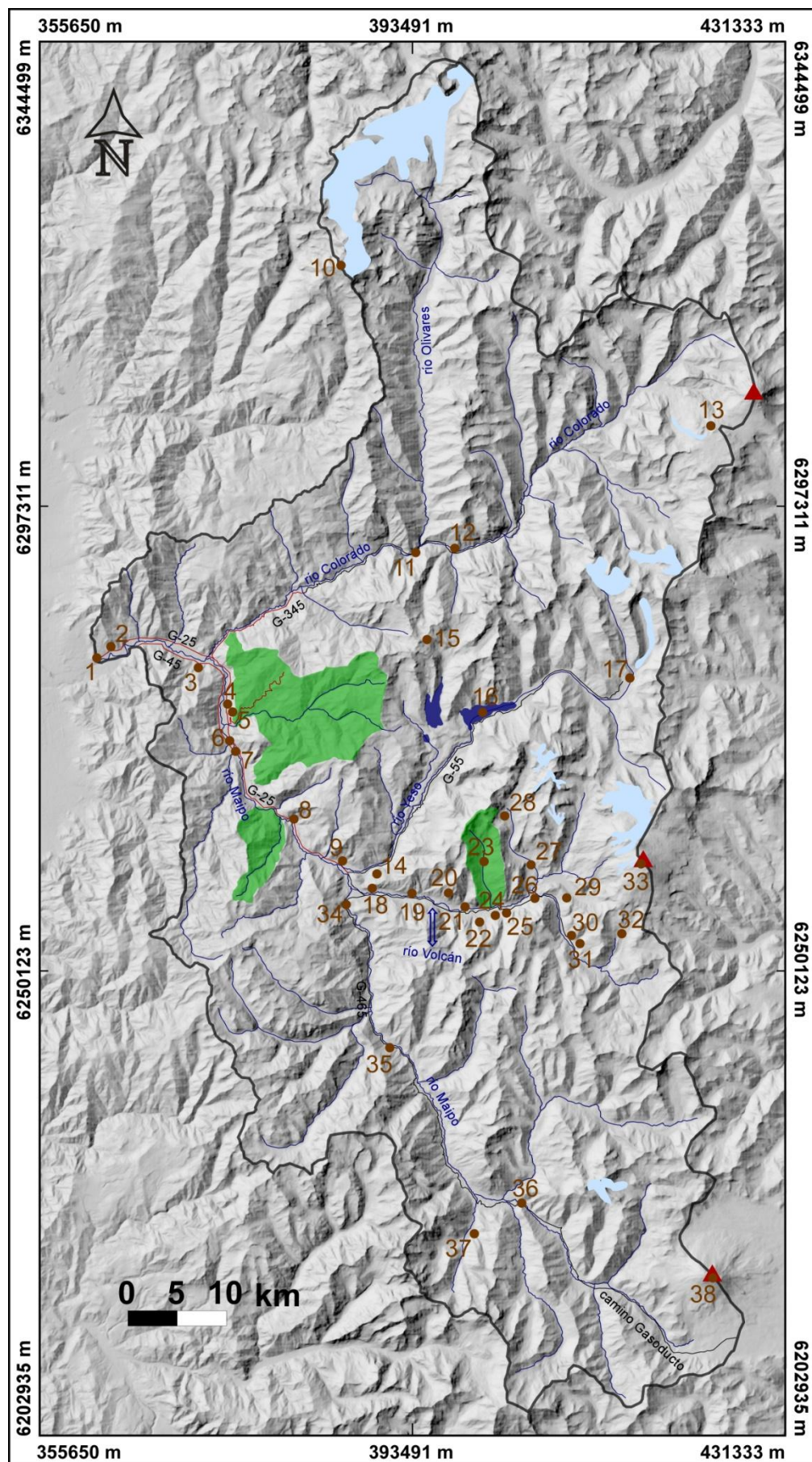


Figura 4.1. Mapa de localización de los geositos. La numeración es consecuente con la usada en la sección 4.3.

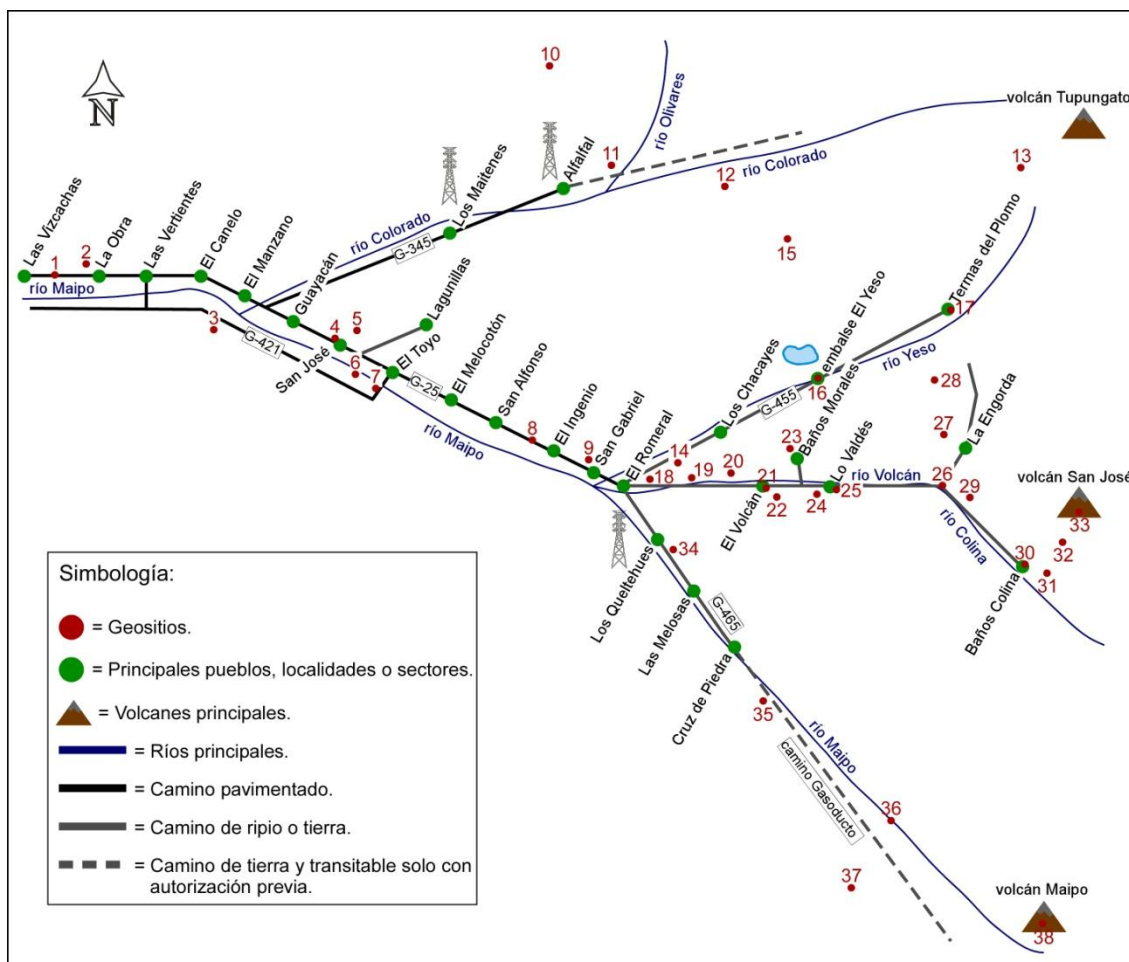


Figura 4.2. Esquema con las posiciones de los geositos seleccionados y las principales localidades de la Comuna de San José de Maipo. La numeración es consecuente con la usada en la sección 4.3. La figura es esquemática y **no** se encuentra a escala. Algunas distancias relativas basadas en experiencia en terreno y Google Earth son: i) Las Vizcachas-San Gabriel, son ~44,5 km; ii) río Colorado, desde la confluencia con el río Maipo hasta la confluencia con el río Olivares, son ~30 km; iii) río Yeso, desde San Gabriel hasta las Termas del Plomo, son ~47,5 km; iv) San Gabriel - volcán San José, desde San Gabriel hasta Baños Colina, son ~31,5 km; v) San Gabriel - volcán Maipo, son ~85 km.

4.2 Selección de los geositos

A continuación se presenta la selección de los geositos para cada área temática, y se exponen las justificaciones que respaldan su inclusión en el inventario. La elección de los lugares se basó en los criterios cualitativos de i) Contenido Científico, ii) Integridad, iii) Rareza y iv) Representatividad, pero es importante mencionar que existieron contados casos en que no fue posible seleccionar un sitio A, frente a otro B, solo en base a estos antecedentes. En esas situaciones, se usaron como criterios adicionales de selección la cantidad de elementos de la geodiversidad presentes en cada lugar y/o su accesibilidad.

4.2.1 Rocas Intrusivas

Como se muestra en la figura 3.6, existen al menos 15 grandes cuerpos plutónicos en la Comuna, cuyas edades han sido determinadas mediante dataciones radiométricas y, por lo tanto, cumplen con el criterio de Contenido Científico. Entre ellos, se han seleccionado para este Inventario: i) plutón Los Lunes, por ser el intrusivo más joven; ii) plutón La Gloria, por ser

el afloramiento intrusivo que más área abarca; iii) plutón San Gabriel, porque probablemente es el más estudiado en la Comuna.

4.2.2 Rocas Sedimentarias

Existen en el área de estudio algunos lugares conocidos por presentar depósitos de travertinos (Thiele, 1980), un tipo de roca sedimentaria relativamente rara en la Región Metropolitana. En el contexto de este trabajo se lograron visitar 4 de estos sitios, entre los cuales se seleccionó un depósito de ~5 m de extensión, el cual forma un puente natural en el río Maipo. Este lugar es conocido por los arrieros de la zona como Puente de Tierra, e incluye una fuente termal ubicada ~15 m aguas abajo.

Además, por los criterios de "Contenido Científico" y "Representatividad", las 3 localidades tipo de formaciones geológicas que están presentes en la Comuna fueron seleccionadas para el Inventario. Estas son: i) Localidad Tipo Formación Río Colina (sedimentitas marinas, 159-152 Ma); ii) Localidad Tipo Formación Lo Valdés (calizas marinas, 139-125 Ma); iii) Localidad Tipo Formación Colimapu (areniscas continentales y depósitos volcano-sedimentarios, 120-107 Ma). Es importante mencionar que estas formaciones son principalmente sedimentarias, sin embargo, las formaciones Lo Valdés y Colimapu presentan algunas intercalaciones volcánicas y la Formación Río Colina se presenta intruída por filones andesíticos, por tanto, en estricto rigor, estas localidades abarcan más de un área temática.

4.2.3 Deformaciones Tectónicas

Al encontrarse la Comuna de San José de Maipo inmersa en plena cordillerana andina, sus rocas cuentan con amplios registros de evidencias tectónicas. Sin embargo, entre las áreas más estudiadas, hay algunos lugares que destacan claramente por ser más representativos que otros. En este sentido, se seleccionaron los geositos: i) Anticlinal del Maipo; ii) Estratos Sector El Toyo (estratos de crecimiento); iii) Falla cuaternaria La Cantera (neotectónica); iv) Contacto Plutón San Gabriel — Formación Abanico; v) Vuelta del Padre (par sinclinal-anticlinal).

Es importante mencionar que el sitio "Falla cuaternaria La Cantera" se encuentra en un lugar de acceso restringido, usado habitualmente como área de práctica de tiro, por lo tanto no se recomienda visitarlo sin autorización previa. Ormeño (2007) describe una traza de falla que presenta características geológicas similares y estaría en un área de libre acceso (cercana a la confluencia de los ríos Maipo y Colorado), pero lamentablemente no fue posible encontrarla.

4.2.4 Volcanismo

Según la tabla 3.1, en el área de estudio existen al menos 11 volcanes. Entre ellos, fueron seleccionados para este Inventario los volcanes Tupungatito, San José y el centro eruptivo volcán Maipo — caldera Diamante, bajo el criterio de Contenido Científico.

La elección de los volcanes Tupungatito y San José se justifica porque son los centros eruptivos que presentan mayor actividad en la Comuna, y sobre ellos el Servicio Nacional de Geología y Minería de Chile lleva un plan de monitoreo y vigilancia, el cual desarrolla un reporte mensual sobre el estado de sus actividades volcánicas. Por su parte, el centro eruptivo volcán Maipo — caldera Diamante, es quizás el elemento geológico más estudiado en la Comuna, y su erupción ocurrida ~0,45 Ma atrás (Stern *et al.*, 1984), la cual expulsó ~450 km³ de material pumicio, es

probablemente el acontecimiento que más ha marcado el paisaje de la Comuna en al menos los últimos 500.000 años.

Junto con estos grandes cuerpos volcánicos, se ha seleccionado el lugar mejor conservado y más representativo de la Ignimbrita Pudahuel en la Comuna, la cual corresponde a la denominación chilena para los depósitos de material pumicio antes mencionados. La Ignimbrita Pudahuel, por su amplia distribución e importancia geológica, es un elemento destacado en el mapa geológico regional (figura 3.4).

4.2.5 Registro Paleontológico

Entre las distintas formaciones geológicas presentes en el área de estudio, se encuentra abundante fauna fósil en las formaciones Río Colina (Tavera, 1968) y Lo Valdés (González, 1963; Biró-Bagóczy, 1964, 1980; Aguirre-Urreta & Charrier, 1990), presencia de carófitas fósiles en la Formación Colimapu (Martínez & Osorio, 1963) y evidencias de restos carbonosos y flora fósil en la Formación Abanico (Thiele, 1980). Además, se reconocen gran cantidad de estructuras sedimentarias en la Formación Río Damas, tales como icnitas de vertebrados, estratificación gradada, grietas de barro y huellas de gotas de lluvia entre otras (Moreno, 2007).

Entre todo este registro paleontológico, sin lugar a duda los más estudiados son los fósiles de la Formación Lo Valdés (139-125 Ma), donde destaca por su abundancia y accesibilidad el yacimiento fosilífero cercano a su Localidad Tipo, en el valle del río Volcán. Este lugar ha sido seleccionado para el Inventario final, y se ha denominado en este trabajo como “Fósiles Lo Valdés”.

Además, se ha seleccionado un bloque perteneciente a la Formación Río Damas (139 Ma), ubicado en el valle Las Arenas, el cual presenta huellas de dinosaurio, probablemente del orden Sauropoda (Moreno, 2007). Hasta el momento, estas icnitas son el único registro encontrado de la antigua presencia de dinosaurios en la Comuna.

4.2.6 Remociones en Masa

La Comuna de San José de Maipo corresponde a una zona de relieve abrupto, con unidades geológicas que denotan fuerte deformación tectónica y meteorización, además de ser una zona sísmica y volcánicamente activa. Estos factores hacen que los procesos de remoción en masa sean muy frecuentes, históricos y geológicamente relevantes, otorgando una amplia gama de potenciales geositos para esta área temática. Dados estos antecedentes, se intentó que los sitios escogidos, además de su valor científico, mostrasen la diversidad de procesos de remoción en masa que hay en el área de estudio. De este modo, se escogieron procesos asociados a flujos detríticos (Las Amarillas), deslizamientos de bloques rocosos (Puente Colina), deslizamientos rotacionales (cerro Divisadero) y una remoción de tipo aluvionar (estero Parraguirre), los cuales a juicio del autor, en su tipo específico de remoción en masa, son los más representativos de la Comuna.

4.2.7 Glaciares y Morfologías asociadas

Como se evidencia en el ítem anterior, en la Comuna de San José de Maipo los procesos de remoción en masa son bastante frecuentes y muchas veces de gran escala. Este hecho conlleva

que en varias zonas los depósitos de origen glaciar estén mezclados con los provenientes de procesos de remoción, y en muchos lugares (por ejemplo en la zona del embalse del Yeso, las áreas cercanas a la localidad de San Gabriel y en el valle Las Arenas, entre otros), sea incluso muy difícil poder diferenciarlos. Dado este antecedente, y sumado a que no se encontró en la bibliografía ningún depósito de till y/o morfología glaciar de relevancia científica fuera de las zonas inmediatamente cercanas a los cuerpos glaciares, se optó por seleccionar en esta área temática solamente glaciares, y no sus depósitos o morfologías asociadas.

Respecto a los cuerpos glaciares, según trabajos encargados por la Dirección General de Aguas, Gobierno de Chile, en la Comuna de San José de Maipo existen 718 glaciares inventariados, entre los cuales 40 son de Valle, 177 de Montaña, 13 Glaciaretos y 538 de tipo Rocoso, abarcando en total una superficie de 387,52 km² (Geoestudios Ltda, 2011). A pesar de la importancia de las nieves y glaciares como recurso hídrico para la Región Metropolitana, donde vive aproximadamente el 40% de la población de Chile (~6.500.000 personas), estos glaciares de la Cordillera de los Andes centrales han sido escasamente estudiados.

Según la bibliografía encontrada en el contexto de este proyecto de Tesis (Centro de Estudios Científicos, 2012; Escobar & Cox O'ttinger, 2010; Infante, 2009; Universidad de Magallanes, 2009; Escobar *et al.*, 1995; Peña *et al.*, 1984; Marungunic, 1979; Peña & Narvona, 1978), en la Comuna han sido investigados los glaciares Bello, Cerro El Plomo, Del Rincón, Echaurren Norte, Esmeralda, Juncal Sur, La Paloma, Mesón Alto, San Francisco, Yeso y Yeso 2, pero sus estudios se limitan mayoritariamente a balances de masa o mediciones de espesores mediante Radio Eco Sondajes, sin incluir descripciones referentes a la morfología. Además, a juicio del autor, la elección de estos glaciares no responde a criterios geológicos, glaciológicos o incluso de accesibilidad precisos, situación que vuelve complejo el discriminar que glaciar tiene más valor científico que otro.

Entre los pocos glaciares que sí han sido objeto de estudio, fueron seleccionados para este Inventario el glaciar Echaurren Norte y el glaciar San Francisco. El glaciar Echaurren Norte fue escogido bajo el criterio de Contenido Científico, ya que sobre él se ha mantenido un programa de monitoreo de balance de masa desde 1975, siendo el registro más amplio de América Latina (Escobar & Cox O'ttinger, 2010). El glaciar San Francisco fue seleccionado como parte de los elementos de interés de un lugar de mayor dimensión, el área protegida Monumento Natural El Morado. Este Monumento se caracteriza por presentar varias morfologías glaciares muy representativas y bien preservadas, como son el valle en forma de U, un gran circo glaciar, un prominente *horn* con sus respectivos aretes y una morrena frontal entre otros.

Conjuntamente, y para completar esta área temática del Inventario, se han seleccionado los glaciares Nieves Negras y El Morado, los cuales no cuentan con estudios previos, pero poseen marcadas morrenas laterales y una laguna proglaciar en su cabecera, respectivamente, siendo ejemplos muy representativos de este tipo de morfologías. Además, comparado con la gran mayoría de los glaciares de la Comuna, los glaciares Nieves Negras y El Morado son de relativo fácil acceso y forman parte de la iconografía turística de la región.

4.2.8 Morfología Fluvial

Existen diversos cuerpos de agua como cascadas, lagos, lagunas, saltos, embalses, surgencias, etc., que forman parte de la diversidad geológica de la Comuna.

Entre las cascadas, destacan por su espectacularidad la conocida cascada de la Ánimas y el Gran Salto Olivares, este último localizado al final de la Ruta Patrimonial Río Olivares — Gran

Salto. Sin embargo, según la información recabada y la bibliografía encontrada en el contexto de este trabajo, estas cascadas no han sido objeto de estudios científicos específicos y no son causadas por un accidente geológico de interés (cambio litológico, falla, etc.), por tanto, a pesar de su valor escénico, no fueron consideradas para este Inventario.

Entre las lagunas y embalses, los más representativos por su tamaño son la laguna Negra ($600 \times 10^6 \text{ m}^3$), laguna Lo Encañada ($50 \times 10^6 \text{ m}^3$) y el embalse El Yeso ($250 \times 10^6 \text{ m}^3$), los cuales forman parte de la gran cuenca del río Yeso y constituyen la mayor reserva de agua potable líquida de la Región Metropolitana. Estos cuerpos de agua presentan un Contenido Científico similar, sin embargo se optó por seleccionar para este Inventario el embalse El Yeso, ya que es el único de los tres casos que no presenta restricciones para su visita y forma parte de la iconografía turística de la Comuna, siendo un lugar concurrido para prácticas de deportes acuáticos y pesca deportiva.

Junto al embalse El Yeso, se ha incluido en esta área temática los sitios denominados Puente El Cristo y Mirador Terrazas del Maipo, ambos bajo el criterio de Representatividad. El primero es un valle muy estrecho donde el río Maipo corta al Plutón San Gabriel, formando morfologías como marmitas de gigante y cárcavas, entre otras. El segundo es un mirador a los distintos niveles de terrazas formados por la acción del río Maipo, las cuales son de los rasgos geomorfológicos más llamativos en la Comuna.

4.2.9 Fuentes Termales y de Aguas Minerales

Según lo discutido en el Capítulo 3, ítem 3.2.5.3, se conocen 7 sectores con manifestaciones de aguas termales en la Comuna, entre los cuales solamente Baños Azules no cuenta con bibliografía disponible que describan sus aguas. Entre las termas que sí han sido objeto de estudio, Salinillas, Plomo, Baños Morales, Termas Baños Colina y Puente de Tierra pueden clasificarse como tipo cloruradas sódicas y presentarían un origen cogenético, mientras que las aguas de las Termas Tupungato son del tipo sulfatada cálcica, y tendrían un origen hidroquímico diferente (Bustamante *et al.*, 2010).



Figura 4.3. Fotografía de un cuadro con una antigua publicidad de la Fuente Mineral Millahue.

En base a estos antecedentes, y bajo el criterio de Rareza, debiese ser parte de este Inventario la fuente termal Tupungato. Sin embargo, su información bibliográfica se reduce solamente al

análisis de sus aguas, y se localiza en una zona de difícil acceso que no logró ser visitada por el autor de este trabajo, por tanto se optó por seleccionar las fuentes de mayor interés entre las restantes 5.

Entre las aguas cloruradas sódicas, fueron seleccionadas para este Inventario las termas del Plomo y Baños Colina, ya que en sus alrededores presentan más elementos de la geodiversidad que las demás, como son la presencia de fósiles en la primera, e interesantes pliegues y diapiros de yeso en las cercanías de la segunda.

Respecto a las Aguas Minerales, existen dos zonas que han sido estudiadas, las Aguas Minerales Millahue (figura 4.3), cerca del sector de El Melocotón, y las Aguas Panimavia, en el Monumento Natural El Morado. La primera de ellas fue buscada profusamente por el autor de este trabajo, pero, aparentemente, o la vertiente cambió de sitio o se secó. La segunda de ellas, fue incluida como parte del geosítio Monumento Natural El Morado, un lugar que abarca varios elementos de interés.

4.2.10 Minas y Yacimientos

Entre los yacimientos cuya ubicación es conocida, según los compendios de las tablas 3.5 y 3.6, en Anexo 1, realizados en el contexto de este trabajo, existen por lo menos 33 minas de yacimientos metálicos y 27 de rocas o minerales industriales en la Comuna de San José de Maipo.

Entre ellos, se han seleccionado para este Inventario: i) Cantera La Obra, ya que es el único yacimiento de granito actualmente en explotación en la Comuna; ii) Diapiro La Yesera, por ser a juicio del autor, el yacimiento más representativo del área de estudio; iii) Yacimiento Nieves Negras, ya que es el único yacimiento de azufre existente en la Región Metropolitana (Carrasco *et al.*, 2004). Este último yacimiento, debido a su ubicación poco accesible en las faldas del volcán San José, y la escasa información bibliográfica disponible que lo describa, no fue incluido como un geosítio individual, sino como parte de los intereses asociados al volcán San José.

4.2.11 Otros

4.2.11.1 Suelos

A pesar que la Comuna de San José de Maipo se encuentra a tan solo ~50 km de Santiago, no existen, o no fue posible encontrar en el contexto de la realización de este proyecto de tesis, descripciones científicas u oficiales de perfiles de suelo en el área de estudio.

Este hecho podría explicarse por la vocación histórica predominantemente minera de la Comuna y/o, porque dadas sus características geomorfológicas (valles estrechos, clima, etc.) y topográficas (fuertes pendientes, riesgos de procesos erosivos, etc.), bajo los estándares de décadas pasadas, sus suelos fueron considerados de poco potencial agrícola. Sin embargo, para intentar mostrar y representar todos los elementos de la geodiversidad presentes en la Comuna, durante el transcurso de este estudio se identificaron varios sitios con perfiles de suelos, entre los cuales, por su accesibilidad, condiciones de seguridad y visibilidad, se seleccionó el afloramiento de la calle Los Álamos. Este LIG fue descrito en forma general, por tanto necesita ser más estudiado.

4.2.11.2 Contacto Camino al Volcán

Se incluyó en esta área temática un contacto litológico entre un pequeño intrusivo innominado y los estratos de la Formación Abanico, al cual se le llamó “Contacto Camino al Volcán”. Este sitio fue encontrado durante el desarrollo de este proyecto de tesis, durante un día de trabajo en terreno realizado en un sector de acceso restringido, donde lamentablemente no fue posible regresar, por tanto los estudios sobre la litología del intrusivo, tipo de contacto y edad están pendientes.

4.2.11.3 Geología y Cultura

La historia de la Comuna de San José de Maipo está estrechamente ligada a la explotación de sus recursos geológicos. El mejor ejemplo de esto se encuentra en que la fundación de la localidad de San José (actual pueblo principal de la Comuna) en 1792, es consecuencia directa del aumento de la población en la zona, producto de la explotación de las minas de plata de San Pedro de Nolasco (Espinosa *et al.*, 2011). Estas minas fueron descubiertas en 1692 y descritas por Ignacio Domeyko, además de ser nombradas por Francis Head y Charles Darwin entre otros.

Debido a su gran importancia en la historia de la Comuna, las minas de San Pedro de Nolasco debiesen ser parte de este Inventario, sin embargo, aunque el autor revisó profusamente la bibliografía disponible, se entrevistó con geólogos entendidos en la zona, expertos en patrimonio de la Comuna y arrieros conocedores del área, no fue posible averiguar el lugar exacto donde se encuentran sus antiguos yacimientos.

Otros lugares de interés cultural relacionados a la explotación de recursos geológicos, son los vestigios de la explotación de cobre en la mina del Cristo, la infraestructura abandonada del expoblado de la central hidroeléctrica Queltehues, y los vestigios de la explotación minera en el Pueblo El Volcán, los dos primeros ubicados en el cajón del río Maipo, y el segundo en el valle del río El Volcán. Entre ellos, se ha seleccionado para el Inventario de esta tesis los vestigios de la localidad de El Volcán, ya que es una zona que tuvo su auge, apogeo y posterior declive, relacionados a la minería de cobre, siendo actualmente el lugar con mayor concentración de vestigios ligados a esta industria.

Otro tipo de lugares de interés geocultural presentes en el área de estudio, son aquellos sitios que tuvieron un carácter sagrado y/o políticamente estratégico para los pueblos originarios, producto de alguna característica geológica relevante. Destacan en este sentido los santuarios de altura de los cerros El Plomo (al noroeste de la Comuna) y Peladeros (cerca de San Gabriel), y las zonas de laguna del Indio (cerca de laguna Negra) y Puente de Tierra (cerca de la confluencia de los ríos Maipo y Barroso) (CMN, 2004; Cornejo, 2008 y Espinosa *et al.*, 2011). Entre ellos, se ha escogido para este Inventario al cerro El Plomo, ya que presenta una gran diversidad geomorfológica, es visible desde prácticamente todo el valle central y forma parte de la Lista Tentativa de Chile para Patrimonio Mundial de la Unesco, lo que avala su importancia cultural.

4.3 Descripción de los geositos

A continuación se describen en forma general, los 38 geositos seleccionados en la Comuna de San José de Maipo. Una descripción más detallada, tanto de sus antecedentes geológicos como patrimoniales, se encuentra en la base de datos en el Anexo fuera del texto.

Para organizar de mejor forma la información referente a la accesibilidad a los geositos, la Comuna fue dividida en 5 zonas: i) Las Vizcachas — San Gabriel; ii) río Colorado; iii) río Yeso; iv) San Gabriel — volcán San José; v) San Gabriel — volcán Maipo. La numeración de las áreas temáticas usada en las siguientes descripciones es consecuente con la usada en el ítem 4.1, mientras que la ubicación y numeración de los geositos corresponde a la mostrada en las figuras 4.1 y 4.2.

Es importante mencionar, que junto con enmarcar los geositos seleccionados con alguna de las áreas temáticas específicamente definidas para la Comuna de San José de Maipo, cada geosito fue asociado a algunas de las áreas temáticas de interés geológico nacional propuestas por Mourgues & Schilling (2012). Esta información se encuentra detallada en la base de datos en el Anexo fuera del texto, y en forma resumida en la tabla 4.1, Anexo 2.

4.3.1 Zona Las Vizcachas — San Gabriel (geositos del 1-9)

Entre las localidades de Las Vizcachas y San Gabriel hay ~44,5 km (figura 4.2). Las rutas de acceso a esta zona son las carreteras G-25 y G-421, las cuales son las vías de entrada a la Comuna, son pavimentadas, están en buenas condiciones y, en esta área, son accesibles durante todo el año.

Nº 1			
MIRADOR TERRAZAS DEL RÍO MAIPO			
Área Temática	Coordenadas		
VIII	33°35'53,29''S	70°29'46,34''O	787 m s.n.m
Descripción Prácticamente todos los valles principales de la Comuna presentan sistemas de terrazas. Sobre ellas se han construidos los poblados, los caminos, se desarrollan las áreas de cultivo, son habitualmente usadas por los arrieros para llevar a pastar sus animales, muchas de ellas presentan vegas que albergan flora y fauna endémica de la región, y son tal vez el rasgo geomorfológico más llamativo del área de estudio. De esta misma opinión fue Charles Darwin, que en el transcurso de su célebre viaje en el H.M.S Beagle, durante marzo de 1835 recorrió la actual Comuna de San José de Maipo y escribió en su diario: “ <i>...No one fact in the geology of South America, interested me more than these terraces of rudely-stratified shingle...</i> ” (Darwin, C. 1845). Para Darwin, los distintos niveles de terrazas presentes en la Comuna constituyeron una prueba de que la Cordillera de los Andes se elevó de manera paulatina y gradual, y no en un episodio puntal y catastrófico, como pensaba la mayoría de los geólogos de su época. El mirador seleccionado en el contexto de este Inventario, se localiza entre los sectores de las Vizcachas y La Obra. Allí, es posible observar al menos tres niveles escalonados de terrazas y al río Maipo con un índice de sinuosidad anómalamente alto en relación a los sectores inmediatamente aguas arriba y abajo, lo cual provoca acumulación de sedimentos y, por tanto, que la zona sea habitualmente usada para la explotación de áridos. Según Ormeño (2007), la singularidad observada en este sector podría ser explicada por un factor litológico, ya que las			

rocas adyacentes corresponden al Plutón La Obra, y/o por un factor tectónico. Este último estaría asociado a un alzamiento del terreno producto de una falla ciega, la cual estaría generando un obstáculo al flujo normal del río y represando sus aguas.

Es importante mencionar que entre los pueblos de los Morros y el Melocotón, Ormeño (2007) identificó un sistema de cuatro terrazas fluviales agradacionales encajadas entre sí. Entre estas terrazas, la más alta y antigua presenta una inclinación hacia el este, lo cual es interpretado por el mencionado autor como una rotación causada por una falla inversa, asociada a la falla de San Ramón.



Figura 4.4. Terraza del río Maipo y zona de extracción de áridos, sector Las Vizcachas.

Uso

El mirador seleccionado es un restaurante de propiedad privada. El lecho del río Maipo, en el sector inmediatamente en frente del mirador seleccionado como geositio, es habitualmente usado para la extracción de áridos, mientras que en otros sectores son usadas con fines agrícolas.

Acceso y Seguridad

El punto seleccionado como mirador de las terrazas es el restaurante "Vista al Río", el cual es accesible directamente desde la ruta G-25 y cuenta con estacionamientos. Cualquier sector cercano al restaurante ofrece la misma vista, pero debido a la alta circulación de vehículos y lo estrecha de la berma, no son recomendables.

Propuesta de Intervención

- El lugar seleccionado como mirador fue escogido por su seguridad y accesibilidad, pero no necesariamente es el mejor punto de observación de las terrazas. Se sugiere, por tanto, buscar de forma más exhaustiva el lugar que reúna las mejores condiciones para establecer el mirador definitivo.
- Se sugiere la creación de un panel que explique los procesos que causaron la formación de las terrazas.

Nº 2

CANTERA LA OBRA

Área Temática	Coordenadas		
X	33°35'37''S	70°29'30''O	900 m s.n.m

Descripción

La cantera La Obra es un yacimiento del Plutón La Obra, localizado en la localidad homónima, en límite oeste de la Comuna. Es el cuerpo plutónico más antiguo en el área de estudio.

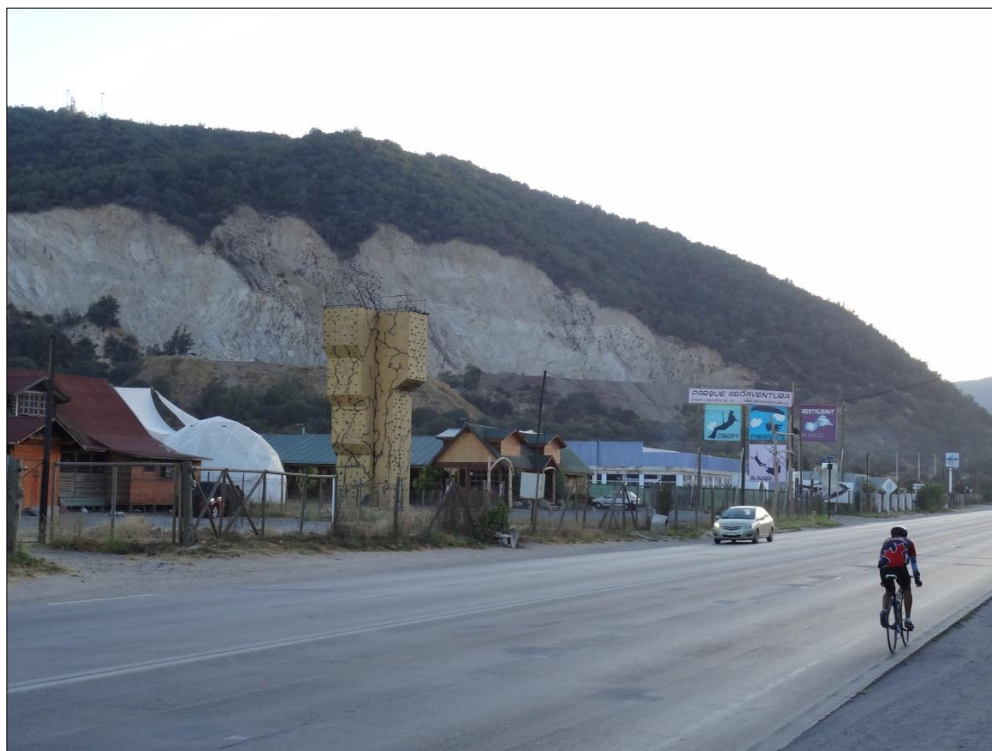


Figura 4.5. Cantera La Obra. Fotografía tomada entre el sector de Las Vizcachas.

El yacimiento consiste en un afloramiento irregular, de granodiorita de color gris blanco y de edad Mioceno inferior (~19-20 Ma, Muñoz, 2011), el cual es explotado de forma artesanal para la obtención de baldosas, placas, adoquines, bloques para defensa fluvial y elementos de

ornamentación doméstica y paisajística, que son comercializadas principalmente en la ciudad de Santiago (Carrasco *et al.*, 2004). En los bordes del batolito también es explotado el maicillo.

La fundación de la localidad de La Obra y las primeras explotaciones del batolito se remontan al año 1743, cuando rocas graníticas provenientes de este intrusivo fueron el principal elemento utilizado en las faenas de construcción del canal San Carlos (Espinosa *et al.*, 2011).

Uso

Es un lugar actualmente explotado en forma artesanal para la extracción de granito y usado habitualmente en salidas a terreno de cursos universitarias de geología.

Acceso y Seguridad

Aunque el Plutón se encuentra inmediatamente enfrente de la carretera G-25, no es fácil encontrar una vía que permita tocar el afloramiento. En particular, a la zona actualmente explotada es posible acceder de lunes a viernes previa solicitud a las personas que se encuentran trabajando en el sector. Los días no laborales está generalmente cerrado.

Propuesta de Intervención

Se sugiere gestionar un acceso directo y seguro al Intrusivo. Este podría ser una entrada cercana a la zona explotada en el sector La Obra, o cercana al predio de la empresa "Geoaventura", en la localidad de Las Vizcachas.

Nº 3

FALLA CUATERNARIA LA CANTERA

Área Temática	Coordenadas		
III	33°35'58,50''S	70°22'29,85''O	943 m s.n.m

Descripción

Entre las localidades de El Manzano y San José de Maipo, Lavenu & Cembrano (2006) identificaron un sistema de 5 terrazas fluviales más el nivel actual del río Maipo. En una antigua cantera abandonada cercana a la confluencia de los ríos Maipo y Colorado, en la terraza T5, la más antigua y ubicada a mayor altitud del sistema antes mencionado, es posible observar varias trazas de fallas cuaternarias que hacen de este sitio un lugar de interés para estudiar la neotectónica en la Cordillera de los Andes centrales.

En el sector de la cantera, T5 tiene un espesor expuesto de ~20 m y se encuentra a ~175 m sobre el nivel T0 del río. Desde su base hasta la cima, T5 presenta ~6 m de depósitos fluviales gruesos, 1,5 m de posible toba removilizada, 3,5 m de arenas con lentes de grava y ~7 m de depósitos de flujo de detritos. No ha sido posible determinar exactamente la edad de T5, sin embargo podría constreñirse al Pleistoceno inferior gracias a la capa de ceniza, la cual

correspondería a la “Unidad Cuaternaria Joven” definida por Rauld (2002) (Lavenu & Cembrano, 2006).

Las fallas que se observan en este sector son inversas, de rechazo centimétrico a métrico, con un rechazo acumulado de hasta 11 m y con orientaciones comprendidas entre N30°E y N135°E, la mayoría con manteo hacia el norte. Un cálculo de inversión de los datos de fallas y estrías en T5 permitió determinar una dirección σ_1 de N338°E subhorizontal, el cual documenta un acortamiento cuaternario principal aproximadamente N-S dentro del dominio de la Cordillera Principal. Esta deformación resultaría de la partición regional del vector de convergencia oblicua entre las placas de Nazca y Sudamérica, donde un “buttress” ~33°S, produciría el gradiente de velocidad latitudinal en el antearco necesario para conducir este acortamiento (Lavenu & Cembrano, 2006).



Figura 4.6. Traza de falla en el sector La Cantero. Fotografía gentileza de Juan Pablo Contreras, Servicio Nacional de Geología y Minería.

Uso

El geosítio se encuentra en un recinto privado de acceso restringido, el cual se utiliza habitualmente como campo de práctica de tiro.

Acceso y Seguridad

El geosítio se ubica en la ladera sur del río Maipo, unos pocos metros aguas abajo de la confluencia con el río Colorado. Para ver el afloramiento desde cerca es necesario subir una ladera moderadamente empinada y bastante resbaladiza, que además presenta bastante material suelto. No es recomendable visitarlo sin solicitar una autorización previa.

Propuesta de Intervención

- Para el futuro uso de este lugar como geosítio, es fundamental habilitar un sendero de acceso y generar un convenio con los dueños del terreno para establecer formas de visitarlo sin peligro.
- Se sugiere el retiro periódico de la vegetación que dificulta la visibilidad de la traza de Falla y, para proteger el sitio de la degradación natural, es recomendable crear barreras de contención que aminoren los efectos de la erosión y los deslizamientos de tierra.

Nº 4

SUELOS LOS ÁLAMOS

Área Temática	Coordenadas		
XI	33°38'30.41"S	70°21'0.26"O	1.016 m s.n.m

Descripción

El LIG se encuentra en el pueblo de San José de Maipo, población Villa Victoria, en la esquina de las calles Doctor Octavio Guy y Los Álamos, donde ésta última avenida corta una de las terrazas intermedias del río Maipo, dejando expuesto a ambos costados el perfil de suelo seleccionado.



Figura 4.7. Perfil de suelo Los Álamos. Fotografía tomada mirando al norte.

Las terrazas intermedias del río Maipo son generalmente de origen mixto fluvial-coluvial, presentan suelos de texturas gruesas a medias (arenosas, franco arenosas) en superficie, y sustratos constituidos mayoritariamente por ripio, gravas redondeadas y subredondeadas.

El perfil seleccionado posee una sección de ~3,5 m y es factible distinguir, a grosso modo, al menos 3 horizontes desde la superficie hasta su base: A) ~25 cm de suelo arcilloso oscuro, rico en material orgánico; B) ~50 cm con tamaños de sedimentos de arcilla a arenas, de colores oscuros, rojos y amarillos; C) ~2,75 m de material grano creciente, con tamaños de sedimentos que varían de milímetros a metros, de color predominantemente gris. Según Pfeiffer (2013, comunicación personal), corresponde a un suelo con escaso desarrollo pedogenético, con epipedón ócrico y horizonte subsuperficial con escaso desarrollo de color y estructura, pudiendo ser clasificado, preliminarmente, como Inceptisol.

Uso

Las terrazas presentan un uso habitacional, pero el perfil de suelo aflora hacia la calle pública.

Acceso y Seguridad

Es posible acceder al perfil de suelo directamente en vehículo, por camino pavimentado. La calle Los Álamos se encuentra en la periferia del pueblo de San José, es escasamente transitada y muy segura.

Propuesta de Intervención

A diferencia de los demás geositos, el perfil de suelo Los Álamos no cumple con ser un lugar de interés científico. Fue incluido en el inventario final para que todos los elementos de la geodiversidad presente en la Comuna estuviesen representados, por tanto se sugiere realizar una descripción geológica más exhaustiva sobre el LIG y/o buscar otro perfil de suelo que tenga un valor científico mayor.

Nº 5

REMOCIÓN EN MASA CERRO DIVISADERO

Área Temática	Coordenadas		
VI	33°38'48"S	70°20'41"O	1.220 m s.n.m

Descripción

El cerro Divisadero se localiza junto al pueblo de San José de Maipo, inmediatamente al este del sanatorio Elba Guarategua Peña, y ha sido afectado por sucesivas remociones en masas en las últimas dos décadas.

La primera remoción descrita se generó en su ladera este el 8 de octubre de 1997, como un deslizamiento rotacional principalmente de suelo, con derivación en flujos detríticos que

causaron graves daños en las viviendas ubicadas al pie del cerro (Villarroel *et al.*, 2000). El 8 de septiembre de 1999 los flujos se reactivaron, alcanzando el patio del sanatorio Elba Guarategua Peña sobre la terraza fluvial superior del río Maipo. En julio del 2005 se constató la presencia de grietas de tracción abiertas con anchos de hasta 1 m dentro de la masa perteneciente al deslizamiento del año 1997, lo cual sugirió un grado de actividad importante de la masa deslizada, y que ésta no se encontraba estabilizada (Sepúlveda *et al.*, 2010).



Figura 4.8. Remoción en masa cerro Divisadero. El predio blanco es el sanatorio Elba Guarategua Peña.

En base a estos antecedentes, y producto del riesgo que implica sobre el sanatorio y viviendas que se han reinstalado al pie de la ladera, se realizaron estudios geofísicos y geomorfológicos de detalle, con el fin de evaluar el potencial riesgo geológico de futuros eventos de remoción en masa. En estos estudios se reconocieron y cartografiaron zonas de escarpes, grietas, zonas de generación de flujos de detritos y grietas de tracción entre otros elementos geomorfológicos, lo cual permitió crear mapas de peligro de flujos de detritos, de deslizamientos superficiales y de flujos asociados y caídas de roca. Además, se propuso restringir el uso del suelo y se sugirieron medidas de mitigación para los potenciales peligros asociados (Sepúlveda *et al.*, sin año).

Dada la magnitud de la cicatriz dejada por el deslizamiento, se sugiere observar el cerro desde lejos, por ejemplo desde el camino Pirque — El Toyo, donde se recomiendan específicamente las coordenadas $33^{\circ}38'38''\text{S}/70^{\circ}21'34,14''\text{O}/924\text{ m s.n.m.}$

Uso

Aparentemente el cerro Divisadero no cuenta con uso actual, sin embargo su uso potencial está limitado por el peligro asociado a los deslizamientos de tierra.

Acceso y Seguridad

Al cerro Divisadero se accede por el camino a Lagunillas, el cual está pavimentado y en buenas condiciones. Sin embargo, para entrar al sector con la cicatriz dejada por el deslizamiento hay que saltar una reja de protección y la ladera del cerro puede ser resbaladiza. Se recomienda visitar el lugar siempre acompañado y teniendo precaución.

Propuesta de Intervención

Las mejores condiciones para apreciar la remoción se logran desde gran distancia, por tanto se sugiere buscar, determinar y habilitar un mirador seguro para su observación.

Nº 6

ESTRATOS SECTOR EL TOYO

Área Temática	Coordenadas		
III	33°40'24.75"S	70°20'52.77"O	989 m s.n.m

Descripción

El geosítio “Estratos sector El Toyo” es un mirador localizado ~1 km al norte (aguas abajo) del puente el Toyo, en un camping ubicado ~100 m al norte del puente que cruza el estero el Sauce, en el camino G-421 hacia Pirque.



Figura 4.9. Estratos sector El Toyo. Notar que los estratos al nivel del lecho del río están inclinados, mientras que los estratos cerro arriba se encuentran subhorizontales.

En este sector es posible observar estratos de crecimiento correspondientes a la Formación

Abanico, junto con diversos tipos de depósitos volcánicoclásticos y estructuras deposicionales como paleocanales, laminaciones y estratificación cruzada entre otras. Mirando el cerro en la ladera sur del río Maipo, se observa que las capas superiores son prácticamente horizontales, mientras que las capas inferiores cercanas al lecho del río presentan una inclinación hacia el este (~35° SE), tal vez como consecuencia de la acción de una falla ciega. Análisis de U-PB (SHRIMP) en zircón y $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ en plagioclasa de rocas de los estratos horizontales, permitieron estimar edades comprendidas entre 22-21 Ma (Zurita, 1999, en Fock, 2005), lo cual permite concluir que la deformación en la Formación Abanico fue anterior a los 22 Ma (Giambiagi <i>et al.</i>, 2010).
Uso El terreno seleccionado como mirador está dentro de un área privada comercial, destinada a camping y piscinas de agua de río. El lugar es también ocasionalmente utilizado en salidas a terreno de cursos universitarios de geología.
Acceso y Seguridad El camping seleccionado como mirador queda ~1 km aguas abajo del puente El Toyo y a ~100 m del puente que cruza el estero El Sauce, siendo posible acceder directamente en vehículo. El mirador es bastante seguro, aunque si es visitado con niños hay que tener precaución, ya que se encuentra en el borde del lecho del río Maipo.
Propuesta de Intervención Se sugiere establecer un convenio con los dueños del terreno, el cual permita a los usuarios un acceso gratuito al mirador, y que divulgue la existencia de un camping con piscinas en el área.

Nº 7			
ANTICLINAL DEL MAIPO			
Área Temática	Coordenadas		
III	33°40'48.65"S	70°20'36.06"O	1.010 m s.n.m
Descripción Entre el sector sur del pueblo San José y la localidad de San Alfonso, es fácilmente distinguible un gran pliegue anticlinal que presenta su eje aproximadamente coincidente con el río Maipo, cuyas aguas en esta zona corren SE-NO. Para el sector El Toyo, donde se encuentra el mirador del anticlinal seleccionado en este Inventario, Aguirre (1999) midió un rumbo N11°E con manteo 25°SW para las capas más cercanas al lecho del río, e infirió tres inflexiones en el buzamiento del eje del pliegue, dos al sur del Toyo y uno al norte. El mismo autor describe las rocas como acumulaciones			

volcanoclásticas, probablemente pertenecientes a las formaciones Abanico y Farellones, las cuales se abrían acumulado en una cuenca de subsidencia rápida durante tres ciclos depositacionales.

Según se menciona en el LIG “Estratos sector el Toyo”, los niveles superiores dentro de esta estructura tienen edades radiométricas U/Pb (SHRIMP) en zircón y $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ en plagioclasa comprendidas entre 22-21 Ma (Zurita, 1999 en Fock, 2005), lo cual indicaría que las rocas se plegaron con posterioridad a los 21 Ma. Después del proceso de deformación y hasta la actualidad, el río Maipo ha ido erodando la parte central del anticlinal, formando el valle y dejando como vestigios los cerros laterales con estratos de inclinaciones opuestas.



Figura 4.10. Vista al anticlinal del Maipo. Fotografía tomada en el sector del Puente El Toyo, mirando hacia el sur.

Uso

La observación del anticlinal del Maipo es habitual en el contexto de las clases universitarias de geología. El cerro o sector a observar que fue seleccionado, aparentemente no presenta uso actual.

Acceso y Seguridad

El punto escogido como mirador se ubica ~150 m al sur del puente El Toyo, en dirección a la Comuna de Pirque. Es posible acceder directamente en vehículo, sin embargo la calle no presenta berma para estacionar y durante los fines de semana suele ser muy transitada.

Propuesta de Intervención

El anticlinal del Maipo es fácilmente observable desde muchos sectores a partir del pueblo de San José, por tanto se sugiere establecer un consenso de donde se encuentra el mejor mirador. En particular, el lugar seleccionado en este inventario se encuentra junto a un terreno aparentemente de uso habitacional intermitente, por ende podría establecerse algún tipo de convenio con los lugareños para usar una pequeña área como estacionamiento, y crear un mirador con un panel que describa y explique las características geológicas del lugar.

Nº 8

VUELTA DEL PADRE

Área Temática	Coordenadas		
III	33°44'42.83"S	70°17'10.96"O	1.112 m s.n.m

Descripción

Vuelta del Padre es el nombre con que se denomina una estrecha curva ubicada entre las localidades de San Alfonso y El Ingenio, inmediatamente al este del túnel Tinoco, el cual fue declarado Monumento Histórico en 1991 (MINEDUC, 1991).



Figura 4.11. Sector Vuelta del Padre. Arriba se muestran los estratos bien diferenciados en el límite este de la curva. Abajo a la izquierda, se muestran estratos deformados por actividad tectónica inmediatamente aguas abajo de la Vuelta del Padre, mientras que abajo a la derecha, se muestran marmitas de gigante ubicadas en el sector de la curva.

La ladera sobre el meandro de la Vuelta del Padre constituye una gran barrera rocosa, cuyos diferentes estratos claramente diferenciados entre sí, podrían pertenecer tanto al techo de la Formación Abanico, como a la base de la Formación Farellones. En la ladera sur de esta zona es posible observar un par de pliegues sinclinal — anticlinal apretados y cercanos entre sí, con rumbo aproximado NS-NNW, de gran belleza escénica y muy representativos de procesos de deformación tectónica. En el límite este de la curva, es posible observar morfologías fluviales como superficies pulidas y marmitas de gigante.

Ormeño (2007) destacó una serie de particularidades para esta curva: i) el valle tiene una estrechez anómala. Mientras aguas arriba y abajo el valle medido a través de su terraza

principal presenta un ancho promedio de ~300 m, en esta zona no supera los 100 m; ii) a pesar de ser un sustrato muy duro, en este sector el río Maipo adquiere un claro patrón meandriforme y presenta, en relación a los sectores inmediatamente aguas arriba y abajo, un aumento en su índice de sinuosidad; iii) en los sectores cercanos a la curva las pendientes (largo del río considerado, dividido en el desnivel correspondiente en ese largo) del río Maipo no superan los 0,015 [m/m], mientras que en la Vuelta del Padre se eleva drásticamente a 0,0285 [m/m], constituyendo por tanto un *Knick point*.

Se cree que estas anomalías podrían ser consecuencia de un bloque descendido holóctono, (Thiele, 1980, en Ormeño, 2007) o una particular dureza de la roca asociada al anticlinal del Maipo (Fock, 2005 y Ormeño, 2007), por lo que su origen es todavía es incierto y materia de discusión.

Uso

El geosítio es usado ocasionalmente en salidas a terreno de cursos universitarios de geología.

Acceso y Seguridad

La Vuelta del Padre se localiza entre los pueblos de San Alfonso y El Ingenio, aproximadamente 2 km al norte de El Ingenio. Es posible acceder directamente en vehículo por la ruta G-25, sin embargo no existe un lugar seguro para detenerse. Por lo cerrada y estrecha, la curva de la Vuelta del Padre es probablemente una de las más peligrosas en la Comuna, no siendo recomendable descender del vehículo o detenerse en este sector.

Propuesta de Intervención

Para su futuro uso como geosítio, se sugiere establecer un convenio con el restaurante y observatorio astronómico Pailalén, localizado en la ladera norte del río Maipo, arriba del cerro inmediatamente al frente de la Vuelta del Padre. Este establecimiento cuenta con una linda, y quizás la única, vista segura a los distintos elementos de interés del geosítio.

Nº 9

PLUTÓN SAN GABRIEL

Área Temática

Coordenadas

I

33°46'56.40"S

70°13'37.30"O

1.368 m s.n.m

Descripción

El Plutón San Gabriel aflora mayoritariamente en la confluencia de los ríos Volcán y Yeso, aproximadamente en el centro del área de estudio, y es uno de los iconos turísticos de la Comuna.

La superficie expuesta tiene ~15 km de largo, ~7,7 km de ancho, está a ~ 3.125 m s.n.m e

intruye a los estratos de la Formación Abanico, con los cuales en parte está en contacto por falla (Baeza, 1999). Litológicamente, el Plutón San Gabriel está compuesto por granodiorita, monzogranito y monzonita cuarcífera (Thiele, 1980), y tiene una edad ~11 Ma (Baeza, 1999 & Kurtz *et al.*, 1997).



Figura 4.12. Plutón San Gabriel. Fotografía tomada en la localidad homónima.

El punto de observación seleccionado en este trabajo es conocido como “Los Rodados de San Gabriel”, el cual es un excelente mirador para apreciar grandes bloques desplomados de granodiorita de este intrusivo y de rocas metasedimentarias de la Formación Abanico. Estos bloques o rodados, probablemente caen del acantilado como consecuencia del aumento de la presión interna, causado por el congelamiento del agua que está en sus grietas, siendo a menudo arrastrados pendiente abajo por aludes o avalanchas. Desde este sector, también es posible observar la planta de elaboración de planchas de “volcanita” para la construcción El Romeral, las cuales se fabrican con yeso del valle del río Colina, ~25 km en dirección este.

Durante el verano en esta área se practica escalda en roca y, durante el invierno, es un lugar muy visitado por familias que van a divertirse con la nieve que se acumula entre los rodados. Además, es la entrada para el sendero del trekking hacia la cumbre del Plutón San Gabriel.

Uso

El plutón San Gabriel es usado habitualmente en salidas a terreno de cursos universitarios de geología y durante todo el año en actividades ecoturísticas como escalada en roca, andinismo, etc. Aparentemente es propiedad pública, pero el mejor sector para disfrutar de la nieve y la entrada para escalar su la ladera más accesible, queda en un recinto privado donde cobran por ingresar.

Acceso y Seguridad

El intrusivo es accesible en vehículo o locomoción colectiva. Específicamente, para acceder al sector Los Rodados, hay que tomar un desvío de ripio unos metros al este del reten de carabineros. No presenta peligros aparentes.

Propuesta de Intervención

El Plutón San Gabriel es fácilmente accesible y es usado con fines recreativos, tanto en invierno como en verano, además de ser la entrada a hacia los valles de los ríos Volcán, Yeso y Maipo. Dados estos antecedentes, es a juicio del autor, un lugar ideal para crear o establecer medidas de difusión del patrimonio geológico en general (centro de interpretación, museo, etc.).

4.3.2 Zona río Colorado (geositos del 10-13)

El acceso a esta zona es a través de la ruta G-345. Desde la confluencia de los ríos Colorado y Maipo hasta la localidad El Alfalfal hay ~22,5 km, los cuales están pavimentados y en buenas condiciones (figura 4.2), aunque existe un gran tránsito de camiones que transportan materiales mineros, por tanto se recomienda conducir con precaución. Aguas arriba de El Alfalfal, el camino es de ripio y continua por ~26 km más hasta una zona de extracción minera.

Para acceder aguas arriba del sector El Alfalfal, es necesario pedir autorización previa al Ejército de Chile, etapa que comienza enviando un e-mail a prediocolorado@gmail.com. Como propuesta de intervención común para los geositos ubicados en este sector, se sugiere intentar aminorar la burocracia necesaria para obtener este permiso.

Nº 10			
CERRO EL PLOMO			
Área Temática	Coordenadas		
XI	33°13'58.00"S	70°12'44.00"O	5.424 m s.n.m
Descripción			
El cerro El Plomo es una montaña de ~5.424 m s.n.m ubicada en el límite noroeste del área de estudio, colindante con la comuna de Lo Barnechea. En 1954 se reportó el hallazgo de un niño congelado originario de la cultura Inca en su cima, hecho que condujo al posterior descubrimiento de que el cerro El Plomo fue, para esta cultura, uno de sus principales complejos ceremoniales. En él se habría establecido el santuario de altura más austral del antiguo Tawantinsuyu (Espinosa <i>et al.</i>, 2011). Según CMN (2004) la elección del cerro El Plomo como santuario no es casual y, por el contrario, sería consecuencia del culto a las montañas, un elemento fundamental en la cosmovisión Inca. Algunas de las razones que explican la elección del cerro El Plomo son su gran altura, el tamaño del cerro, sus grandes glaciares y que su pared oeste es visible desde			

prácticamente todo el valle de Santiago. Desde su falsa cima es visible todo el valle central, el cerro Aconcagua (~6.960 m s.n.m), el volcán Tupungato (~6.570 m s.n.m), el volcán Marmolejo (~6.108 m s.n.m), el volcán San José (~5.856 m s.n.m) y la multiplicidad de cumbres que conforman la Comuna. Además, desde su parte sureste grandes glaciares abastecen al río Olivares y desde su ladera oeste nace el río Mapocho, el cual es fundamental para la agricultura de la región.



Figura 4.13. Cerro El Plomo. A la izquierda se muestra el sector de Piedra Numerada (camino a la cima del Plomo) y a la derecha el Niño del Plomo en su cámara de frío y los mocasines que usó durante el trayecto al santuario. Todas las fotografías son gentileza del Profesor Roberto Román, Universidad de Chile.

Para el Gobierno de Chile, el emplazamiento del santuario (fundamentalmente elegido en función de variables geológicas), las estructuras que lo componen, el excelente estado de conservación del cuerpo congelado del niño que en él se sacrificó y de su ajuar y alhajamiento, entre otros factores, hacen de este sitio un testimonio excepcional de la civilización incaica y del mundo andino en general, por lo que ha decidido que forme parte de la Lista Tentativa de Chile para el Patrimonio Mundial de la Unesco (CMN, 2004).

Uso

El cerro El Plomo es usado ocasionalmente con fines ecoturísticos.

Acceso y Seguridad

Según Andeshandbook (www.andeshandbook.org), la mejor época para acceder al cerro El Plomo es entre los meses de noviembre y enero, cuando la aproximación no presenta tanta nieve. Existen varias rutas posibles de ascenso, aunque para todas hay que llegar primero al poblado de Farellones. Ascender hasta la cumbre toma ~3 días y, en un contexto de alta montaña, su dificultad radica en ser un ascenso más bien físico, que técnico o peligroso. Su ascenso se recomienda solo para personas con experiencia previa en alta montaña.

Propuesta de Intervención

Producto de su gran altura y difícil acceso, promover un uso ecoturístico masivo del cerro El

Plomo no es viable. Sin embargo, este lugar es un ejemplo paradigmático de la relación de los antiguos incas con los aspectos geológicos de la naturaleza, y por ende presenta un gran potencial para mostrar el valor cultural de la geología, por ejemplo, en un futuro centro interpretativo o museo.

Nº 11

PLUTÓN LA GLORIA

Área Temática	Coordenadas		
I	33°30'2.59"S	70°8'35.56"O	3.000 m s.n.m

Descripción

El Cordón La Gloria es un Plutón que aflora en el valle del río Colorado, próximo a la planta hidroeléctrica El Alfalfa, centro norte de la Comuna de San José de Maipo. Se caracteriza por ser el mayor afloramiento de un cuerpo intrusivo en al área de estudio.



Figura 4.14. Plutón La Gloria.

Intruye a rocas que van desde el Cretácico tardío hasta principios del Mioceno de la Formación Abanico, que en las zonas inmediatamente vecinas al Plutón, se compone principalmente de areniscas volcanoclásticas y lavas andesíticas, ligeramente deformadas y alteradas (Cornejo & Mahood, 1997).

El intrusivo posee ~20 km de largo en dirección N-S, ~5 km de ancho en dirección E-O y su cima está a ~3.000 m s.n.m. Presenta variaciones en su textura, granulometría y modas minerales, tanto horizontales como verticales, pero en las zonas expuestas al nivel del río Colorado, aproximadamente a 1.500 m s.n.m, es mayoritariamente granodiorita y monzonita cuarcífera,

grano medio y equigranular. Su edad estimada es ~10 Ma (Deckart *et al.*, 2010). El sector norte del Cordón La Gloria se encuentra afectado por fallas y un importante fracturamiento (Rauld, 2012).

El Plutón es atravesado por el río Colorado en varias secciones de dirección NE-SO, quedando expuestas paredes de ~2.000 m que son usadas habitualmente para escalada en roca. Además, presenta numerosas cascadas y posas naturales, siendo, a juicio del autor, unos de los puntos de mayor valor escénico de toda la Comuna.

Uso

El Plutón La Gloria es actualmente utilizado en prácticas relacionadas al ecoturismo, como caminatas y escalada en roca entre otras actividades.

Acceso y Seguridad

Desde aproximadamente 5 km aguas arriba de la central hidroeléctrica El Alfalfal, es posible tocar el intrusivo durante varios kilómetros, por ambas laderas del camino. La zona es segura, pero el camino es estrecho y se recomienda tener precaución con el tráfico de los grandes camiones que trasladan productos mineros.

Propuesta de Intervención

Se sugiere buscar y definir el lugar más adecuado para la observación del Plutón La Gloria.

Nº 12

REMOCIÓN EN MASA ESTERO PARRAGUIRRE

Área Temática	Coordenadas		
VI	33°29'58.77"S	70° 6'6.61"O	1.645 m s.n.m

Descripción (resumido de Hauser, 2000)

El día 29-11-1987 una remoción en masa en el flanco este del valle del estero Parraguirre, 17 km aguas arriba de su confluencia con el río Colorado, deslizo ~2,8-3,3x10⁶ m³ de rocas sedimentarias pertenecientes a la Formación Río Damas, las cuales cayeron como un desprendimiento en caída libre por ~1.000 m. Estas rocas, al impactar contra el piso del estero Parraguirre, habrían removido un importante volumen de depósitos glaciofluviales condicionando la inmediata puesta en acción de una cuantiosa masa de lodo, arena, grava y bloques rocosos. Todo este material, ayudado por la favorable pendiente del eje hidráulico del estero, rápidamente incremento su energía y evolucionó a un gran aluvión.

Ya en el valle del río Colorado, el flujo de material se habría desplazado a unos 60 km/h con alturas que sobrepasaron los 10 m, arrasando con las instalaciones de 4 campamentos del aquel entonces proyecto de construcción de la central hidroeléctrica El Alfalfal. En la antigua

central Maitenes (32 Mw), los daños causados por la destrucción total de sus estructuras de bocatomas se calcularon en US\$ 12 millones, siendo además arrasados 18 puentes metálicos de reciente construcción en el valle, junto con extensos trechos de camino. El aluvión provocó la muerte de 37 personas.



Figura 4.15. Remoción en masa del estero Parraguirre. La imagen de la izquierda es una foto aérea del valle del estero Parraguirre, gentileza del Profesor Reynaldo Charrier, Universidad de Chile. La foto a la derecha corresponde al bloque de ~3.000 t que fue arrastrado por ~14 km desde el estero Parraguirre, hacia el valle del río Colorado.

En una terraza cercana a la bocatoma Los Maitenes, es posible observar un perfil con un depósito asociado al aluvión de tan solo 0,45 m, precedido por al menos 3 niveles aluviales cuyos espesores superan en exceso al generado en el estero Parraguirre. Este hecho nos proporciona una idea de la energía puesta en acción por los aluviones prehistóricos. Se estima que el volumen total comprometido en la remoción del estero Parraguirre alcanzó los $20 \times 10^6 \text{ m}^3$ (Valenzuela y Varela, 1991, en Hauser, 2000).

Como el acceso al estero Parraguirre es bastante complejo, se ha elegido como punto para representar el geosítio una zona distante ~3,5 km de la confluencia entre los ríos Colorado y Olivares, aguas arriba del río Colorado. En este punto es posible observar un bloque rocoso de ~3.000 t (figura 4.15), el cual fue arrastrado por un trecho de ~14 km, siendo un ejemplo de la energía liberada durante esta remoción.

Uso

El sector donde se encuentra el gran bloque aparentemente no tiene uso actual, mientras que las áreas cercanas al estero Parraguirre presenta explotación minera activa.

Acceso y Seguridad

El gran bloque que fue arrastrado durante la remoción se encuentra a ~12 km aguas arriba de la central hidroeléctrica El Alfalfal, en una amplia zona de planicie de inundación del río Colorado. Este sector es accesible en vehículo y, al menos durante la estación de verano, es completamente seguro.

Propuesta de Intervención

Se sugiere averiguar la factibilidad de acceder al estero Parraguirre y, en caso de ser favorable

y no tan complejo, investigar lugares de interés geológico relacionados a la remoción del día 29-11-1987 en el sector.

Nº 13

VOLCÁN TUPUNGATITO

Área Temática	Coordenadas		
IV	33°23'14''S	69°48'49''O	5.603 m s.n.m

Descripción

El volcán Tupungatito está ubicado al noreste de la Comuna de San José de Maipo, ~3 km al oeste de la frontera con Argentina. A pesar de estar a ~5.600 m s.n.m, solamente es visible desde su base en su acceso occidental. Según la ficha descriptiva del Servicio Nacional de Geología y Minería (SERNAGEOMIN, sin año-a), el volcán Tupungatito posee un diámetro basal de 7,5 km, un área basal de 44 km² y un volumen estimado de ~30 km³.

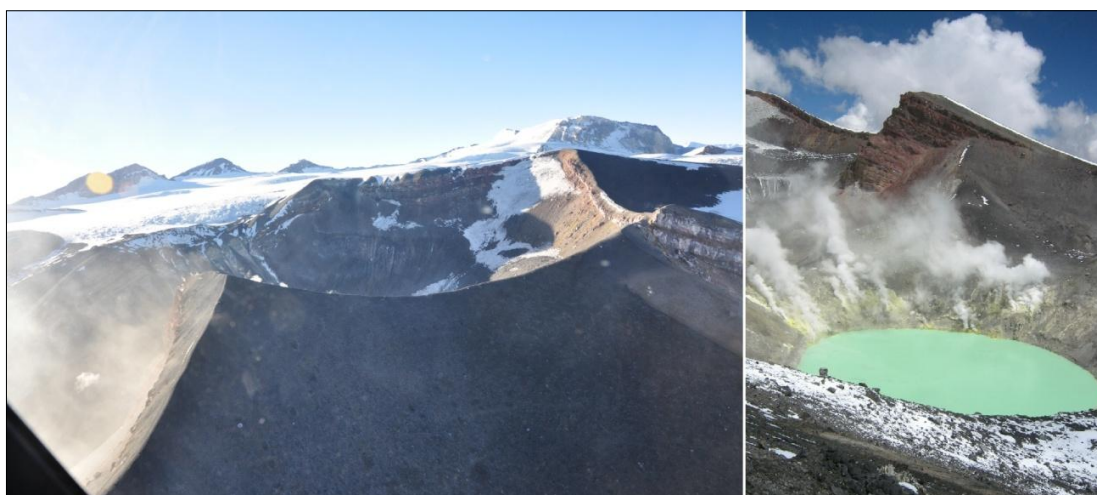


Figura 4.16. Volcán Tupungatito. La imagen de la izquierda es una foto aérea gentileza de Daniel Basualto, SERNAGEOMIN. La imagen de la derecha es una foto hecha en terreno, gentileza de Rodrigo Zamora, Centro de Estudios Científicos.

La misma fuente menciona: “Posee ocho cráteres bien preservados, donde se ha concentrado la actividad eruptiva histórica y la actividad fumarólica permanente, los cuales se localizan en el extremo norte de una depresión semi-circular de 4 km de diámetro abierta al noroeste. Esta estructura ha sido interpretada como un anfiteatro de deslizamiento (Moreno *et al.*, 1988) o como una caldera volcánica compuesta (González-Ferrán, 1995). Dentro de esta depresión se ha desarrollado una extensa y potente masa de hielo que descarga hacia el río Colorado con un espesor de entre 15 y 190 metros (Zamora *et al.*, 2011).

Este volcán es relativamente joven (menor a 55+17 ka), desarrollado con posterioridad a su vecino más antiguo, el volcán Tupungato. Los productos del volcán Tupungatito, de composición esencialmente andesítica, son principalmente lavas, lahares y flujos piroclásticos, que cubren su flanco noroeste y rellenan el valle del río Colorado, hasta 19 km en el caso de las lavas y hasta 12 km en el caso de un flujo de escoria y subsecuente lahar, ambos recientes. Depósitos piroclásticos se disponen en torno a los cráteres.

Los registros de erupciones históricas varían entre 19 eventos desde 1829 (González-Ferrán, 1995) y 25 eventos desde 1646 (Petit-Breuilh, 2004). Estos eventos incluyen reactivaciones menores e incrementos de actividad fumarólica y habrían sido de baja explosividad (índice de explosividad volcánica 1 ó 2), caracterizados por explosiones, columnas de gases y cenizas (González-Ferrán, 1995; Petit-Breuilh, 2004). Su última erupción con depósito reconocible ocurrió en 1959-1960, con emisión de una colada de lava de 1,85 km de longitud y caída de ceniza en Argentina, y su última reactivación menor ocurrió en 1986 con una débil columna de cenizas negras que cubrieron levemente una pequeña área de sus glaciares (Casertano, 1963; González-Ferrán, 1995; Petit-Breuilh, 2004)”.

Uso

Desde el punto de vista científico, como parte de un plan de monitoreo y vigilancia sobre el volcán Tupungatito, Sernageomin desarrolla un reporte mensual sobre el estado de sus actividades volcánicas. Desde el punto de vista turístico, es ocasionalmente utilizado en prácticas de andinismo.

Acceso y Seguridad

Solo acceder hasta la base del volcán Tupungatito es un trekking por sí mismo, el cual puede tomar días de expedición. Según Andeshandbook (www.andeshandbook.org), la época más adecuada para intentar el ascenso a su cumbre es entre diciembre y marzo, y puedo durar entre 5 a 7 días para subir, más 2 ó 3 para el descenso. En un contexto de alta montaña, es considerada una ascensión de mediana dificultad.

Propuesta de Intervención

Dadas las difíciles condiciones de acceso del volcán Tupungatito, sumado a que es visible solamente desde su base en su acceso occidental, su uso como geosítio solo es factible en actividades ecoturísticas extremas o como contenido científico en un eventual centro de interpretación.

4.3.3 Zona río Yeso (geositios del 14-17)

Se accede a esta zona por la ruta G-455, la cual presenta una extensión de ~43 km desde la localidad de El Romeral hasta las Termas del Plomo (figura 4.2). El camino es de ripio o tierra, está en malas condiciones y se recomienda utilizar un vehículo de doble tracción. Durante la estación de invierno, es muy probable que el camino se encuentre cortado o el acceso restringido por motivos de seguridad.

Una propuesta de intervención común para todos los geositios de esta zona es la necesidad de mejorar las condiciones de la ruta G-455.

IGNIMBRITA PUDAHUEL

Área Temática	Coordenadas		
IV	33°47'42.91"S	70°11'22.32"O	1.790 m s.n.m

Descripción

Ignimbrita Pudahuel es el nombre usado en Chile para referirse a depósitos piroclásticos de cenizas y lapilli pumiceo de composición riolítica, con amplia distribución en la Depresión Central, en los valles aledaños y en particular en la Comuna de Pudahuel, en las cercanías del aeropuerto de Santiago. En Argentina estos depósitos son conocidos como Ignimbrita Diamante. Entre los afloramientos de Chile y Argentina, los depósitos de la Ignimbrita Pudahuel abarcan $\sim 23.000 \text{ km}^2$ (Guerstein, 1993).

Stern *et al.* (1984) estudiaron 45 muestras de pómez recogidas en distintos afloramientos de flujos piroclásticos, en la Cordillera de la Costa, la Depresión Central, y la vertiente occidental de la Cordillera Principal a lo largo de los valles de los ríos Maipo y Cachapoal en Chile, y en el margen oriental de la Precordillera en Argentina. Basados en los contenidos de elementos trazas y la composición isotópica de los distintos afloramientos, combinados con la geoquímica distintiva que diferencia a estas rocas de otras rocas volcánicas de la región, entre otros antecedentes, los autores antes mencionados sugirieron que los flujos piroclásticos que originaron estos depósitos fueron generados durante una erupción, o una serie de erupciones cercanamente espaciadas, desde una fuente común: el centro eruptivo volcán Maipo — caldera Diamante.



Figura 4.17. Ignimbrita Pudahuel. La fotografía de la izquierda fue tomada en las cercanías de la localidad de San Gabriel. La fotografía de la derecha fue tomada $\sim 2,5 \text{ km}$ aguas arriba de la localidad de El Romeral.

Según Guerstein (1993), el depósito de ignimbrita está integrado por tres unidades, correspondientes a tres erupciones sucesivas. Durante estos eventos eruptivos se evacuaron $\sim 450 \text{ km}^3$ (Stern *et al.*, 1984) de material rico en pómez desde una cámara magmática poco profunda ($< 7 \text{ km}$), provocando el colapso del techo de la cámara y la subsecuente formación de la caldera Diamante (Sruoga *et al.*, 2012).

La edad de los eventos eruptivos es motivo de controversia. Stern *et al.* (1984) analizaron trazas de fisión en circones de dos muestras, obteniendo edades de $0,47 \pm 0,07 \text{ Ma}$ y $0,44 \pm 0,08 \text{ Ma}$. Basadas en dataciones $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ en biotitas Wall *et al.* (2001) sugirieron una edad de formación de estos depósitos entre 1,4 y 2,2 Ma, mientras que estudios en la base del volcán

Maipo, en el área cercana a la represa Agua del Toro en Argentina, muestran una edad plateau $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ de $0,43 \pm 0,07$ Ma (Gudnason *et al.*, 2012, en Sruoga, 2012).

En la Región Metropolitana los yacimientos de la Ignimbrita Pudahuel comprenden mantos de hasta 10 m de potencia visible de ceniza volcánica, con 70% SiO_2 , 13% Al_2O_3 , 1% de Fe_2O_3 y piedras pómez en proporciones de 5-10% (Carrasco *et al.*, 2004). En la Comuna de San José de Maipo estos depósitos están generalmente disectados por los cursos fluviales del río Maipo y/o cubierto por sus depósitos o por conos aluviales (López, 2004).

El afloramiento escogido para este inventario se encuentra entre los valles de los ríos Yeso y Volcán, aproximadamente 2,5 km al este de la localidad de El Romeral. Consiste en hasta ~10 m de cenizas emplazadas sobre rocas de la Formación Abanico, siendo visible desde el pueblo del El Ingenio en el oeste, hasta varios kilómetros al este del pueblo de San Gabriel, aguas arriba del río Yeso. Caminando entre el afloramiento, se observa que el depósito presenta disyunción columnar. Asumiendo una edad de 0,45 Ma para el depósito de la ignimbrita, y una altura sobre el cauce actual del río de ~150 m, Stern *et al.* (1984) calcularon una tasa integrada de levantamiento — erosión de ~0,3 mm/año para este sector de los Andes.

Uso

El geosítio no cuenta con uso actual y, aparentemente, se encuentra en un terreno privado.

Acceso y Seguridad

La base del cerro donde se encuentra la ignimbrita es accesible en vehículo por la ruta G-455, luego, hasta al lugar donde se encuentra el depósito, es necesario realizar una pequeña caminata de moderada dificultad.

Propuesta de Intervención

Se sugiere la creación de un sendero de acceso hacia el depósito, la limpieza de la vegetación del área y la instalación de un panel que describa y explique el origen de la ignimbrita.

Nº 15

GLACIAR ECHAURREN NORTE

Área Temática

VII

Coordenadas

33°34'49.90"S

70° 7'54.27"O

3.700 m s.n.m

Descripción

El glaciar Echaurren Norte se ubica al norte de la laguna Negra, entre los valles de los ríos Colorado y Yeso. Limita al sur por los contrafuertes del cerro Echaurren (~4.230 m s.n.m), por el occidente por las paredes verticales de un macizo innominado (~4.127 m s.n.m) y por el norte por una arista regular de amplio desarrollo circular, que culmina en una cumbre también

innominada (~ 3.975 m s.n.m) (Peña & Narvona, 1978).

El glaciar está formado por la conjunción de dos circos unidos por un cuerpo central. Este sistema está orientado según un rumbo SO-NE, se extiende por 1,2 km de largo desde los 3.650 m s.n.m en su base, hasta los 3.880 m s.n.m en su cima, posee un ancho medio de 0,4 km y una superficie de 0,4 km² (Peña *et al.*, 1984).

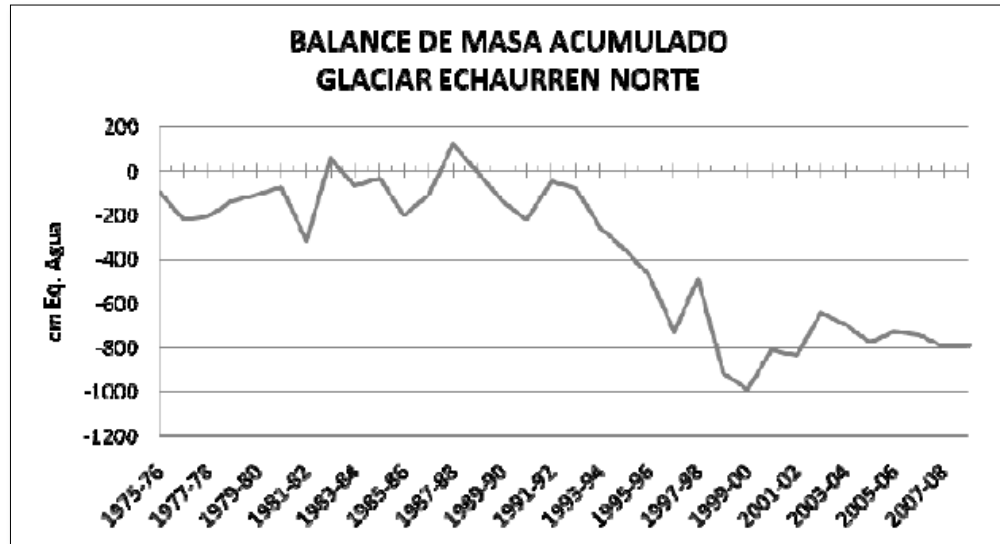


Figura 4.18. Balance de masa acumulado del glaciar Echaurren Norte. Tomado de Escobar *et al.* (2010).

El deslizamiento del hielo se realiza en dirección hacia el este en los sectores sur y central, zonas donde se han generado dos lenguas de caída cuyos ejes longitudinales son transversales al eje mayor del glaciar. En el circo norte el deslizamiento tiene un rumbo sur-sureste. En el cuerpo central es posible observar un sistema de fracturas de orientación fundamentalmente N40°E y algunas grietas de desgarramiento, producto de la relación de pendiente entre el hielo y la roca caja. Se observa la presencia de penitentes de mediana y pequeña dimensión, ubicándose los de mayor desarrollo en el sector superior del circo norte (Peña & Narvona, 1978).

Es interesante mencionar que Lliboutry (1956) indica una cota media de la línea de equilibrio para los glaciares del nudo de Juncal (50 km al norte del glaciar Echaurren Norte) de 4.350 m s.n.m, mientras que la línea de equilibrio medio del glaciar Echaurren Norte está a solo 3.800 m s.n.m. Según Escobar *et al.* (1995), esta diferencia se debería a la morfología particular del glaciar Echaurren Norte, el cual por ser de pequeñas dimensiones y con orientación SO, queda relativamente protegido de la radiación solar, a sotavento de la circulación atmosférica local y con un consiguiente aumento de acumulación de nieve por el viento.

Sobre el glaciar Echaurren Norte se ha mantenido un programa de monitoreo de balance de masa desde 1975, siendo el registro más amplio de América Latina (Escobar & Cox O'ttinger, 2010). Los datos presentados en la figura 4.18 muestran que en el periodo comprendido entre los años 1975-1988, el balance acumulado de masa se mantuvo relativamente estable, aunque con fuertes variaciones interanuales, las cuales se asocian al fenómeno ENSO (El Niño-Southern Oscillation) (Escobar *et al.*, 1995; Casassa *et al.*, 2007). Después del año 1988, el balance de masa acumulado ha mostrado una fuerte tendencia negativa, la cual es consistente con la tendencia regional, y podría estar relacionada al fenómeno del calentamiento global (Casassa *et al.*, 2007).

Uso

La dirección General de Aguas (DGA), Gobierno de Chile, mantiene un programa de monitoreo de balance de masa sobre el glaciar.

Acceso y Seguridad

El glaciar Echaurren Norte es accesible sólo a través de helicóptero o expediciones de gran logística.

Propuesta de Intervención

Producto de su difícil acceso, el uso *in situ* del glaciar Echaurren Norte para fines que no sean científicos, no es factible. Sin embargo, la información científica referente a las consecuencias de los cambios climáticos que pueden extraerse a partir de las estadísticas de su balance de masa, podrían ser material de gran interés en un futuro centro interpretativo de la geología de la Comuna.

Nº 16

EMBALSE EL YESO			
-----------------	--	--	--

Área Temática	Coordenadas		
---------------	-------------	--	--

VIII

33°38'56.36"S

70°4'31.25"O

2.570 m s.n.m

Descripción

El embalse El Yeso es una represa artificial inaugurada en 1964 (Espinosa *et al.*, 2011), emplazada sobre un antiguo lago natural, en un sector que era conocido como Boca del Valle, aproximadamente 23 km aguas arriba de la localidad de El Romeral, sobre el valle del río Yeso (Toloza, 1960 en Vila & Montecino, 1987). Junto a la laguna Negra, constituye la mayor reserva de agua líquida superficial potable en la Región Metropolitana.

El valle del río Yeso presenta una área cubierta por una barrera de rocas de una extensión de ~15 km de largo y una superficie de ~22 km² (Abele, 1984), la cual sería la causa del represamiento de las aguas del antiguo lago sobre el que se construyó el embalse. Marangunic & Thiele (1971) interpretaron esta barrera como una morrena terminal de un antiguo glaciar del valle de la laguna Negra, mientras que Abele (1984) explicó estas rocas como los escombros dejados por un megaderrumbe en el cerro Mesón Alto (~5.257 m s.n.m), localizado al sureste del actual embalse.

El embalse se alimenta de una subcuenca del río Yeso y su régimen hidrológico es de origen mixto nival — glacial. La influencia glacial está controlada por ~20,4 km² de glaciares, entre los cuales destacan El Yeso, Bello, Del Pirámide y parte del Marmolejo. El caudal medio anual de recarga en el embalse es de 8,4 m³/s, con aumentos durante las estaciones de primavera — verano y disminuciones durante otoño — invierno (Arcadis, 2008). La temperatura del agua

alcanza máximas de hasta $\sim 14^{\circ}\text{C}$ en verano y mínimas cercanas a 0°C durante el invierno, existiendo registros de años en que el lago se congeló (Vila & Montecino, 1987).



Figura 4.19. Panorámica del embalse El Yeso.

El espejo de agua del embalse se encuentra a ~ 2.500 m s.n.m, presenta una forma ovalada con un largo máximo de 7,5 km, un ancho máximo de 1,2 km y una profundidad máxima de 55 m. La obra principal consta de un muro 60 m de altura, con un ancho de coronamiento de 6 m (Vila & Montecino, 1987). Su volumen promedio actual embalsado es de $\sim 250 \times 10^6$ m³ de agua, el cual es regulado periódicamente por la empresa Aguas Andinas, según las necesidades del sistema de agua potable de la Región Metropolitana (Arcadis, 2008). De acuerdo a su tiempo de llenado y la deposición promedio de materiales sólidos, Díaz (1969) estimó la vida útil del embalse en 2.000 años.

Uso

El embalse El Yeso es usado como reserva de agua potable para la población de la Región Metropolitana. Además, en las estaciones de primavera y verano se practica la pesca y en algunas zonas es factible acampar. Los deportes acuáticos están prohibidos.

Acceso y Seguridad

Es posible acceder al embalse directamente en vehículo por la ruta G-455, y en su límite este es posible estacionar. El camino es angosto y presenta laderas abruptas, por tanto se recomienda conducir con máxima precaución.

Propuesta de Intervención

Se sugiere la creación de material escrito que explique la causa de la formación de la laguna natural (la cual es la base del embalse) y la importancia del embalse como reserva de agua potable para la Región Metropolitana.

Nº 17

TERMAS DEL PLOMO

Área Temática	Coordenadas		
IX	33°37'3.33"S	69°54'37.20"O	2.977 m s.n.m

Descripción

Las Termas del Plomo se ubican ~100 km al sureste de la ciudad de Santiago, en un terreno de propiedad privada ubicado a ~16 km del embalse El Yeso, aguas arriba del río homónimo. Son accesibles en auto solo en las estaciones de primavera — verano y cuando el camino se encuentra en buen estado.



Figura 4.20. Termas del Plomo.

Las manifestaciones termales consisten principalmente en 3 pozas y un chorro. Los pozos son aparentemente construcciones artificiales, poseen una forma ovalada de ~8 m de diámetro cada una, y en ellas se reconocen varios puntos de surgencia de burbujas. Sus aguas se caracterizan por ser saladas y de color verdoso, probablemente debido a musgos y/o microorganismos. El chorro o vertiente aflora en una pared de roca a aproximadamente 4 m sobre el nivel del suelo, desde una secuencia de estratos fuertemente inclinados, correspondientes a calizas fosilíferas pertenecientes a la Formación Lo Valdés. El caudal aproximado se estima en 3 l/s (Bustamante *et al.*, 2010). Se observa, tanto en las rocas que bordean la poza como en el chorro, un fuerte color anaranjado asociado, probablemente a la presencia de hidróxidos de hierro y microorganismos.

Las aguas termales del Plomo se clasifican como mesotermal debido a su temperatura característica por sobre los 40° C, del tipo dura de acuerdo a su dureza carbonatosa, casi neutra por su ph en torno a 7 y altamente conductiva (tabla 3.4). Su composición química es del tipo clorurada sódica (figura 3.7) (Bustamante *et al.*, 2010).

Uso

Las Termas del Plomo son usadas con fines turísticos y medicinales. Durante los fines de semana, en las estaciones de primavera y verano, suelen ser muy concurridas.

Acceso y Seguridad

Las termas se encuentran en un terreno privado que cobra por el ingreso. Durante las estaciones de primavera y verano suelen ser accesibles directamente en vehículo, pero el camino se encuentra en muy malas condiciones y es necesario vadear el estero Yeguas Muertas, por tanto se recomienda vehículos altos y de doble tracción.

Propuesta de Intervención

- Se sugiere realizar un análisis de la capacidad de carga de las termas, realizar una limpieza periódica del área y mantención de las instalaciones.
- En el entorno de las termas hay presencia de fósiles, registros glaciales, volcánicos y evidencias de actividad tectónicas, las cuales se sugiere, debiesen ser investigadas.
- Considerando los abundantes elementos geológicos de interés y la gran cantidad de visitantes que reciben las termas durante la época estival, se sugiere la creación de un folleto explicativo de la geología del sector.

4.3.4 Zona San Gabriel — volcán San José (geositios del 18-33)

En esta zona están incluidos los geositios ubicados en los valles de los ríos Volcán, Colina y en las cercanías del río La Engorda (figura 4.2). Desde la localidad de San Gabriel hasta Puente Colina, son ~25,5 km de camino de ripio en relativo buen estado. Ya en el sector de Puente Colina, el valle del río Volcán se abre hacia el norte al valle Las Arenas y hacia el sur en dirección al valle del río Colina. En estas dos últimas rutas los caminos son de ripio o tierra y generalmente están mal estado.

Es importante mencionar que durante el invierno los caminos de esta zona son de muy difícil tránsito, y es muy probable que se encuentren cerrados. Una sugerencia común para todos los geositios localizados al este del sector de Puente Colina (figura 4.2), es la necesidad de mejorar las condiciones del camino.

Nº 18			
CONTACTO PLUTÓN SAN GABRIEL – FORMACIÓN ABANICO			
Área Temática	Coordenadas		
III	33°48'30.20"S	70°11'41.63"O	1.460 m s.n.m
Descripción			
Desde la confluencia de los ríos Volcán y Maipo, ~2,5 km aguas arriba por el río Volcán, en su ladera norte, queda claramente expuesto un contacto entre el Plutón San Gabriel y la Formación Abanico.			

El Plutón San Gabriel corresponde litológicamente a granodiorita, monzogranito y monzonita cuarcífera (Thiele, 1980), y tiene una edad de ~11 Ma (Baeza, 1999; Kurtz *et al.*, 1997). La Formación Abanico está compuesta de lavas andesíticas a riolíticas, depósitos volcanoclásticos y depósitos sedimentarios fluviales, aluviales y lacustres (Charrier *et al.*, 2002), y por medio de dataciones $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ se han estimado edades entre el Eoceno superior — Mioceno inferior (Charrier *et al.*, 1996).



Figura 4.21. Contacto litológico Plutón San Gabriel (color gris de la izquierda) – Formación Abanico (colores rojizos de la derecha). Fotografía panorámica tomada en el valle del río Volcán mirando hacia el norte.

En el sector del contacto los estratos de la Formación Abanico muestran una anómala coloración rojiza que evidencia un fuerte metamorfismo de contacto. Además, es interesante notar en el mismo sector del contacto, una pequeña falla inversa que produce arrastre y hace descender las capas de la Formación Abanico.

Por la envergadura y condiciones de observación del afloramiento, este geosítio es a juicio del autor el más representativo de un contacto litológico en el área de estudio, además de tener una gran belleza escénica y potencial educativo.

Uso

El lugar es usado habitualmente en excursiones universitarias de geología y no presenta limitaciones para su uso como geosítio.

Acceso y Seguridad

Para tocar el contacto es necesario tomar un desvío de la ruta G-25, hacia la ladera norte del río Volcán, aproximadamente 700 m al este de la confluencia de los ríos Maipo y Volcán, inmediatamente antes de un pequeño puente. El lugar no presenta peligros asociados.

Propuesta de Intervención

Se sugiere la instalación de un panel que describa las características del geosítio y explique los procesos geológicos relacionados.

Nº 19

ANTICLINAL VOLCADO

Área Temática	Coordenadas		
III	33°48'51.56"S	70° 9'4.86"O	1.530 m s.n.m

Descripción

Desde el contacto entre el Plutón San Gabriel y la Formación Abanico, en la rivera norte del río El Volcán, es posible seguir hacia el este los estratos de la Formación Abanico en posición horizontal por ~2,5 km. Después de este tramo, súbitamente, en ~500 m, las capas se pliegan progresivamente hacia una posición vertical hasta incluso volcarse en la parte superior de la cresta, formando de esta forma un anticlinal volcado con vergencia hacia el oeste.

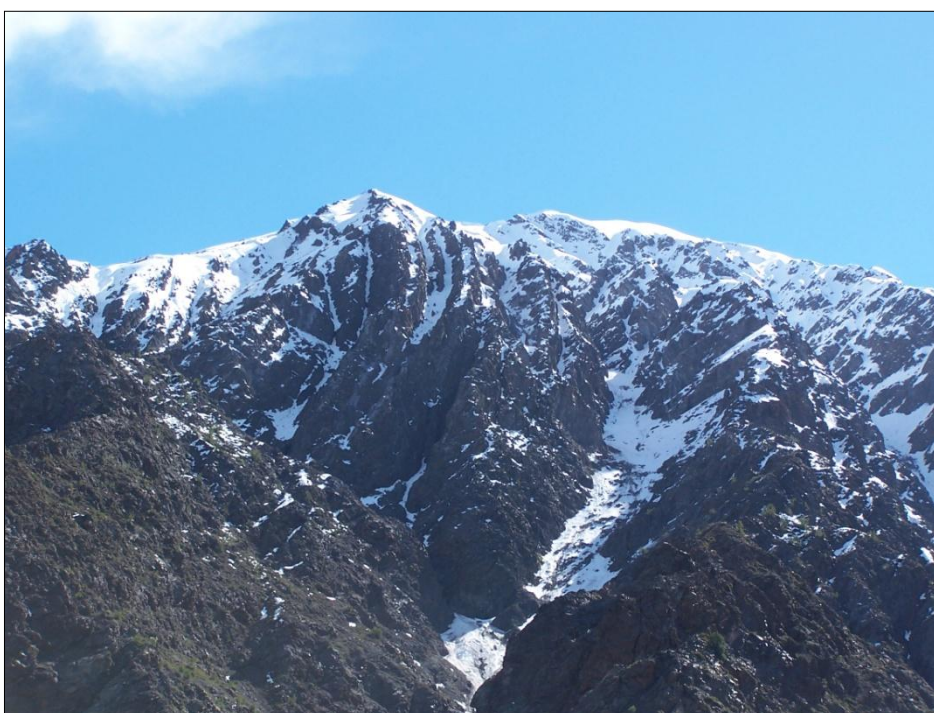


Figura 4.22. Anticlinal volcado en la rivera norte del valle del río El Volcán. Fotografía mirando hacia el norte, gentileza del Profesor Reynaldo Charrier, Universidad de Chile.

El eje del anticlinal tiene una dirección aproximada de 14° al oeste, presenta un buzamiento de aproximadamente 14° hacia el sur y su charnela está progresivamente más apretada hacia los niveles superiores. El limbo occidental es vertical en el núcleo y está volcado en los niveles superiores, mientras que el limbo oriental es horizontal. Más hacia el este, las capas horizontales del limbo oriental del anticlinal forman un sinclinal que progresivamente vuelve a plegarse hasta quedar en posición subvertical y alcanzar una altura de ~3.500 m s.n.m (Baeza, 1999; Fock, 2005 y Charrier *et al.*, 2005).

En base a modelos computacional, Baeza (1999) sugiere que el anticlinal volcado fue generado por la propagación de una falla inversa ciega de manteo 45°E y un despegue subhorizontal. Fock (2005) plantea que el anticlinal Volcado estaría asociado a la continuación hacia el sur de una falla conocida como Laguna Negra, la cual corresponde a una falla inversa de vergencia oeste y que en el sector del río Olivares corta a la Formación Abanico y filones manto asociados al Plutón La Gloria.

Uso

El geosítio es usado ocasionalmente en excursiones científicas universitarias de geología y no presenta limitaciones para ser usado como geosítio.

Acceso y Seguridad

El geosítio se localiza en la ladera norte del río Volcán, ~6,5 km al este de la confluencia de los ríos Maipo y Volcán, ~6 km al oeste del pueblo El Volcán. Es posible llegar en vehículo solamente a la ladera sur del río.

Propuesta de Intervención

Se sugiere la instalación de un panel que describa las características del geosítio y explique el proceso geológico que lo causó.

Nº 20

PLUTÓN LOS LUNES

Área Temática	Coordenadas		
I	33°48'46.15"S	70° 6'35.19"O	2.500 m s.n.m

Descripción

Aproximadamente 2 km al este del geosítio Anticlinal Volcado, los estratos de la Formación Abanico se presentan nuevamente en posición subvertical, pero en escasos metros, a ~2.300 m s.n.m, toman repentinamente una orientación horizontal, formando de esta forma un bello pliegue en forma de rodilla. Siguiendo por ~150 m hacia el este los estratos horizontales de la "rodilla", aflora un pequeño intrusivo conocido como Los Lunes, el cual se caracteriza por ser el plutón más joven presente en la Comuna de San José de Maipo.

Según Baeza (1999), en esta zona el Plutón Los Lunes se encuentra instruyendo una sección de la Formación Abanico constituida fundamentalmente por depósitos volcano-sedimentarios y volcánicos bien estratificados. Estos últimos corresponden a brechas tobáceas finas pardo-rojizas, tobas de lapilli feldespáticas, volcarenitas lítico-cristalinas, areniscas líticas y lítico-feldespáticas y lavas andesíticas porfíricas. El mismo autor, destaca que en varios estratos de brechas finas se han encontrado restos fósiles de mamíferos.

El Plutón Los Lunes presenta estructuras columnares y litológicamente es un pórfido diorítico. Los fenocristales (20%) corresponden a: i) plagioclasas euhedrales a subhedrales, con tamaños entre 1-4 mm; ii) biotita y hornblenda euhedrales a subhedrales, levemente oxidadas, con tamaños entre 0,5-7 mm. La masa fundamental (80%) es hipocristalina formada principalmente por plagioclase (Baeza, 1999).

Dataciones radioisotópicas mediante $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ entregaron una edad de $1,05 \pm 0,02$ Ma en

cristales de biotita y de $1,20 \pm 0,19$ Ma en cristales de hornblenda (Baeza, 1999). Estas dataciones coinciden con la edades de ~ 1 Ma obtenidas por Godoy y Lara (1994a).



Figura 4.23. Geosito Plutón Los Lunes. La fotografía de la izquierda muestra el pliegue en forma de “rodilla” ~ 150 m al oeste del intrusivo Los Lunes. La fotografía de la derecha muestra el intrusivo Los Lunes aflorando entre los estratos de la Formación Abanico. La fotografía de la derecha es gentileza del Profesor Reynaldo Charrier, Universidad de Chile.

Uso

El lugar no cuenta con uso actual y aparentemente no presenta limitaciones para su uso como geosito.

Acceso y Seguridad

El geosito se encuentra $\sim 2,5$ km al oeste del pueblo El Volcán, en la ladera norte del valle del río homónimo. Es posible acceder en vehículo solamente a la ladera sur del río.

Propuesta de Intervención

Probablemente un usuario sin conocimientos previos en geología tendría problemas para identificar el intrusivo y el pliegue en “rodilla”, por tanto se sugiere la creación de señalética que indique los lugares de interés de este sitio.

Nº 21

PUEBLO EL VOLCÁN

Área Temática

XI

Coordenadas

$33^{\circ}49'38.01''S$

$70^{\circ}5'28.02''O$

1.718 m s.n.m

Descripción

La aldea El Volcán es un ex pueblo minero en la rivera sur del río Volcán, aproximadamente 3 km al oeste de la localidad de Baños Morales. Los orígenes del poblado se remontan hacia

1874, a partir de la explotación artesanal de cobre existente en esta área. En 1914, el término de la construcción del ferrocarril desde Puente Alto, con la estación “Punta de Rieles” en este sector, significó un nuevo impulso para la minería del pueblo, el cual pasó de 354 habitantes en 1907, a contar con más de 1.500 habitantes en su apogeo (Espinosa *et al.*, 2011).

La explotación de mayor relevancia emplazada en el sector fue la mina Merceditas. Esta consiste en dos vetas prácticamente paralelas (Volcán y Poderosa), distantes ~500 m entre sí, de rumbo medio N50°E y aproximadamente verticales. La mineralización se hospeda como relleno y reemplazo, está controlada estructuralmente por una falla de tipo regional y litológicamente por sedimentos y rocas volcánicas de la Formación Abanico. Su corrida reconocida alcanza ~2 km, su profundidad llega a los 500 m y su espesor varía desde los 0,7 m hasta los 5 m. Las reservas probadas se estiman en 381.874 t, con una ley media de 1,65 % Cu, mientras que las reservas posibles se estiman en 180.000 t (Llaumett, 1975).

En la antigua mina Merceditas, los mineros trabajaban extrayendo cobre en dos turnos de lunes a sábado, de 7:00 a 23:00 horas, mientras que en la planta de concentración, donde se faenaba el material, de lunes a domingo, las 24 horas del día, todos los días del año (Espinosa *et al.*, 2011). El fin de la actividad minera industrial en El Volcán, y su consecuente progresivo abandono, fue secuela de un terremoto ocurrido el 4-11-1958, conocido como terremoto de Las Melosas.



Figura 4.24. Pueblo El Volcán. A la izquierda se muestra el antiguo silo de minerales. A la derecha la plaza central del pueblo, con un carrito de transporte de material minero.

Lamentablemente, casi la totalidad de la infraestructura minera, ferroviaria y civil (pulpería, escuelas, viviendas, etc.) fueron destruidas producto de este terremoto, aunque todavía quedan vestigios del pasado minero de esta localidad, como son la explanta procesadora, un silo y un antiguo cine, entre otros, los cuales forman parte del patrimonio minero de la Comuna.

Uso

Tanto la antigua mina Merceditas, como los vestigios asociados a su explotación, se encuentran en estado de abandono y muy deteriorados. El pueblo El Volcán cuenta con una pequeña escuela y un centro de salud.

Acceso y Seguridad

El pueblo El Volcán es accesible directamente en vehículo. La mayor cantidad de vestigios, entre ellos el antiguo silo, se encuentran a la entrada del pueblo. La veta es aparentemente accesible, pero el autor de este trabajo no consiguió visitarla.

Propuesta de Intervención

- Se sugiere efectuar una evaluación del patrimonio minero existente en el pueblo El Volcán y la factibilidad de ocupar con fines turísticos y/o educativos la antigua mina.
- Dado que la historia del pueblo El Volcán ha estado determinada por la producción minera, la gran cantidad de vestigios de antiguas explotaciones que existen en el área y la buena accesibilidad del sector, el autor de este trabajo piensa que esta localidad sería un lugar ideal para crear un museo *in situ* sobre la minería.

Nº 22

REMOCIÓN EN MASA LAS AMARILLAS

Área Temática	Coordenadas		
VI	33°49'44.50"S	70° 4'35.88"O	1.785 m s.n.m

Descripción

Las Amarillas es una remoción en masa tipo flujo de detritos, ubicada en la quebrada homónima, sector de Baños Morales, con más de 3 km de sección lineal. Se caracteriza por estar en constante regeneración y ser un área de fuerte alteración hidrotermal con minerales de arcilla, lo cual causa una coloración amarilla en las rocas que destacan fuertemente del entorno.

La circulación de fluidos en esta zona es facilitada por la presencia de la falla El Diablo, la cual corresponde a un gran corrimiento inverso de orientación NNE-SSW de vergencia al este y de carácter regional (Fock, 2005), que en este punto atraviesa areniscas, calizas fosilíferas, volcarenitas y tobas de ceniza, y lavas andesíticas correspondientes a la Formación Colimapu (Bustamante, 2001). Sobre la falla El Diablo se desarrolla una intensa actividad sísmica superficial (15-20 km de profundidad), es decir, se trata de una actividad sísmica localizada dentro de la placa continental, la cual no está ubicada en el plano de subducción (Charrier, 2005; Giambiagi *et al.*, 2010).

Algunas de las causas que explican el flujo de detritos en esta zona son: i) la existencia de una zona de alteración hidrotermal en la cabecera de la hoya de la quebrada (~3300 m s.n.m), que proporciona material rocoso fragmentario; ii) la Formación Colimapu está intruida por cuerpos porfídicos y/o andesíticos que configuran estructuras tipo "stocks", los cuales a nivel superficial demuestran un intenso fracturamiento; iii) la pronunciada pendiente local y la ausencia de cobertura vegetal y/o suelos (Hauser, 2000).

Un ejemplo de la intensidad de los procesos de remoción en masa en esta área se vivió los días 23 y 24 de abril de 1997, cuando intensas precipitaciones indujeron un voluminoso flujo detrítico a lo largo del cauce de descarga de la quebrada Las Amarillas. Los materiales, tras

acceder al río Volcán, colmataron temporalmente el complejo de la planta de tratamiento de agua potable ubicada en el sector de Las Vizcachas, generando un déficit de agua para un extenso sector de la ciudad de Santiago. En el año 2000, estimaciones preliminares calculaban en $3 \times 10^6 \text{ m}^3$ el volumen total de depósitos detríticos acumulados en el sector (Hauser, 2000).



Figura 4.25. Remoción en masa Las Amarillas. Fotografía tomada desde el Monumento Natural El Morado, mirando hacia el sur.

Uso

El lugar es usado ocasionalmente en excursiones de cursos universitarios de geología.

Acceso y Seguridad

Las Amarillas se encuentra $\sim 1,5$ km al este de la localidad de Baños Morales y es accesible directamente en vehículo. La observación del geosítio desde la ruta es totalmente segura, aunque se recomienda estar atento a potenciales caídas de material detrítico.

Propuesta de Intervención

Las Amarillas es un área ampliamente conocida e ícono de la belleza del Cajón del Maipo, sin embargo, muy pocos la asocian a un proceso de remoción en masa y menos aún se explican el por qué de su coloración tan particular. Se sugiere, por ende, la instalación de un panel que describa las características del geosítio y explique el proceso geológico que lo causa.

MONUMENTO NATURAL EL MORADO

Área Temática	Coordenadas		
VII	33°48'56.14"S	70° 3'51.05"O	2025 m s.n.m

Descripción

Según CONAF (1997), El Monumento Natural El Morado fue erigido originalmente en 1974 como Parque Nacional de Turismo y reclasificado a su actual categoría en 1995. Se localiza inmediatamente al norte del sector de Baños Morales, abarca ~3.009 ha y su altura varía desde los 1.750 m s.n.m en su acceso principal, hasta los 5.060 m s.n.m en su deslinde suroriente.



Figura 4.26. Monumento Natural El Morado. En la fotografía se observa la laguna Morales, el horn del glaciar San Francisco y un circo glaciar entre otros elementos. Fotografía tomada mirando al norte.

La fuente citada anteriormente menciona: "...el Monumento Natural El Morado fue creado con el propósito de dar una mayor protección a la totalidad de la cuenca del estero Morales, ya que es uno de los escasos exponentes del proceso de glaciación originado en ese sector andino central...". Dado este antecedente, el Monumento Natural El Morado es de las pocas áreas protegidas en Chile, cuya clasificación responde explícitamente a criterios geológicos.

En forma general, es posible describir el territorio que abarca el Monumento Natural como un valle glacial colgado o suspenso, causado por la antigua acción del glaciar San Francisco y donde se reconocen al menos 5 unidades lito-estratigráficas, correspondientes a las formaciones Abanico, Colimapu y Lo Valdés, además de depósitos morrénicos y fluvio-glaciales. También, aflora intruyendo a las rocas de la Formación Abanico, en el sector suroeste del Monumento Natural, el intrusivo Chacayes (Infante, 2009).

El glaciar San Francisco posee un área aproximada de 1,9 km², su zona de ablación se

encuentra por sobre la cota de los 2.500 m s.n.m, se considera de tipo rocoso en su base y se han estimado espesores de la masa glacial entre los 56 y 120 m de profundidad (Universidad de Magallanes, 2009). En el área del Monumento Natural El Morado son fácilmente identificables variadas morfologías glaciales, entre las cuales destacan, además del valle glacial en “U”, un circo glacial de ~9 m de diámetro, el gran horn y sus respectivos aretes del cerro El Morado y una laguna probablemente de origen glacial conocida como laguna Morales.

Desde la base del glaciar San Francisco nace el estero Morales, el cual presenta un comportamiento altamente sinuoso y recorre ~10 km (Infante, 2009) en sentido N-S hasta desembocar en el río Volcán. Alineados con el estero Morales se encuentran afloramientos de aguas minerales ricas en hierro conocidas como aguas Panimávidas y se reconocen algunas zonas de alteración hidrotermal. La condición antes descrita, sumada a la presencia de las aguas termales Baños Morales ubicadas inmediatamente al sur del Monumento Natural, podría indicar un lineamiento relacionado a la presencia de fallas.

A lo largo de todo el valle, y en particular en los sectores de la laguna Morales y las Aguas Panimávidas, es posible observar procesos activos de remoción en masa. A la entrada del valle, a ~1.900 m s.n.m, existe un fuerte desnivel antecedido por una notoria acumulación de rocas, las cuales han sido interpretadas como un depósito de till (Infante, 2009) o asociadas a un alud (Padilla, 2004).

Uso

El geosítio posee la categoría de Monumento Natural y es usado con fines recreativos asociados al ecoturismo.

Acceso y Seguridad

Es posible acceder en vehículo hasta el sector de Baños Morales, el cual queda a ~500 m del Monumento Natural. El sendero hasta la base del glaciar San Francisco es seguro y apto para toda edad.

Propuesta de Intervención

Excepto por unas pequeñas banderas que marcan los kilómetros recorridos, el Monumento Natural no cuenta con medidas de valorización. Se sugiere, por tanto, la creación de senderos interpretativos y la instalación de paneles que describan las características geológicas de mayor interés en el área.

Nº 24

FÓSILES LO VALDÉS

Área Temática	Coordenadas		
V	~33°49'54"S	~70° 3'22"O	~1.975 m s.n.m

Descripción

El contenido fosilífero de la Formación Lo Valdés es el más abundante y de mayor importancia científica presente en la Comuna. Esta Formación se extiende en franjas de dirección N-S que abarcan todo el centro este del área de estudio, siendo posible observar registros de importancia paleontológica en prácticamente todos los sectores donde la formación aflora.



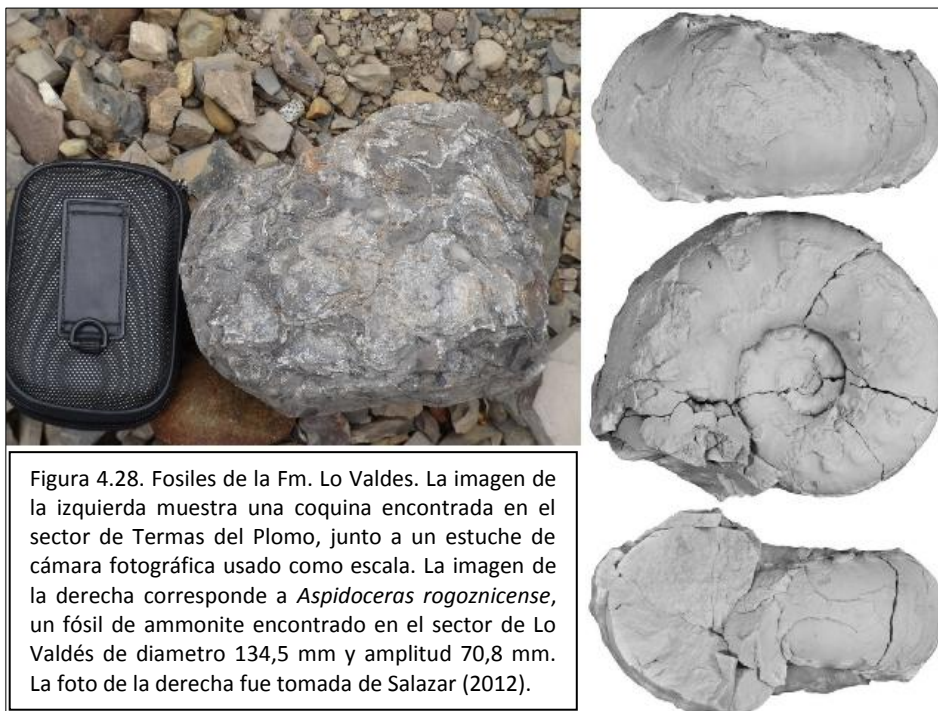
Figura 4.27. Localidad de Lo Valdés. Sector conocido por la abundancia de registro fósil.

En particular, las áreas cercanas al sector homónimo son ampliamente conocidas por la abundante presencia de fósiles, y son habitualmente visitadas por estudiantes de geología, aficionados al ecoturismo, agencias de turismo y/o coleccionistas de fósiles. La legislación chilena (Ley Nº 17.288 sobre Monumentos Nacionales y el decreto Nº 484 sobre prospecciones arqueológicas, entre otros) prohíbe la colecta o extracción de fósiles sin autorización previa y para fines no científicos. Lamentablemente, ya sea por desconocimiento de la legislación o para usufructo personal, en el sector de Lo Valdés muchas veces la normativa no se ha respetado, lo que ha provocado una progresiva merma del valor paleontológico del área.

González (1963) describió la Formación Lo Valdés como un conjunto marino fosilífero, constituido por tres miembros, de los cuales el inferior y superior son principalmente calcáreos fosilíferos. En términos generales, los principales registros fósiles encontrados en estos miembros corresponden a conchillas, caparazones o piezas esqueléticas de microorganismos (foraminíferos, radiolarios, tintínidos, entre otros), poríferos, anélidos, moluscos (gastropodos, bivalvos, cefalópodos, entre otros), ostrácodos, equinodermos (crinoídeos, equinoídeos, entre otros) y vertebrados, destacando la diversidad de los bivalvos y en especial de ammonites (Biró-Bagóczy, 1964, 1980; Hallam *et al.*, 1986). En particular, es importante destacar que Salazar (2012) diferenció en la Formación Lo Valdés 39 especies de ammonoideos, referidos a 22 géneros diferentes.

Además del valor científico del registro fósil antes mencionado, podemos encontrar en Padilla (2005) varias razones sobre la necesidad de conservar este patrimonio: i) los restos fósiles presentes en los estratos de la Formación Lo Valdés han sido mencionados desde el inicio de las exploraciones geológicas efectuadas en la región (Darwin, 1846; Bruggen, 1950; Muñoz-Cristi, 1950; Corvalán, 1957; González, 1963) y forman, por tanto, parte fundamental de la tradición de estudios geológicos en la Comuna; ii) la mayor parte de los invertebrados y vertebrados reconocidos en la Formación Lo Valdés están contenidos en listados de fauna

asociada (Biró-Bagóczy, 1964, 1980; Hallam *et al.*, 1986) en su mayor parte sin ilustraciones ni descripciones detalladas, e incluso, en algunos casos, sin una procedencia estratigráfica precisa, por tanto se requiere de estudios sistemáticos más detallados que mejoren y amplíen el registro hasta ahora conocido; iii) por la abundancia del registro paleontológico, por el fácil acceso al valle El Volcán y porque los fósiles ejemplifican la antigua presencia del mar en la actual Cordillera de Los Andes, esta área tiene un gran potencial educativo.



Uso

Los fósiles de la Formación Lo Valdés son muchas veces recolectados por coleccionistas y es habitual su oferta para la venta en puestos artesanales. En particular, la localidad de Lo Valdés es usada habitualmente en excursiones de cursos universitarios de geología, es visitada por empresas de turismo de la zona y por cultores de escalada en roca.

Acceso y Seguridad

La Formación Lo Valdés es abundante en registros paleontológicos, siendo factible encontrar fósiles prácticamente en cualquiera de sus afloramientos, aunque el yacimiento más conocido se ubica en las cercanías a la localidad homónima, ~3 km al este del pueblo El Volcán. Las coordenadas entregadas en este documento son solo aproximadas, en parte para proteger los fósiles del sector, pero también porque aún no está definido el lugar más adecuado para ser geosito.

Propuesta de Intervención

- Se sugiere la instalación de señalética informando que la colecta de fósiles es ilegal y penada por la ley.

- Se sugiere definir, delimitar y habilitar un área específica destinada a apreciar *in situ* el registro fósil de la Formación Lo Valdés, la cual podría ser en las cercanías de la localidad homónima.

Nº 25

LOCALIDAD TIPO FORMACIÓN LO VALDÉS

Área Temática	Coordenadas		
II	33°49'58.39"S	70°3'4.12"O	2.170 m s.n.m

Descripción

La Localidad Tipo de la Formación Lo Valdés fue definida por Oscar González en 1963, en la quebrada de Lo Valdés, situado inmediatamente aguas arriba de un pequeño caserío homónimo, en la rivera sur del río Volcán.



Figura 4.29. Localidad Tipo Formación Lo Valdés. Fotografía gentileza del Profesor Reynaldo Charrier, Universidad de Chile.

González (1963) estimó el espesor de la Localidad Tipo en ~1.350 m y la describió como “un conjunto marino fosilífero, constituido por tres miembros, de los cuales el inferior y superior son principalmente calcáreos fosilíferos y el miembro medio se compone de sedimentos clásticos de facies rítmicas regresivas”. Posteriormente, Biro-Bagóczy (1964) realizó un estudio paleoecológico en la misma localidad, reestimando su espesor en ~1.456 m y describiendo la unidad, desde la base a la cima, como: i) ~762 m, constituidos principalmente por espilitas y brechas volcánicas, además de algunas capas de conglomerados finos y arenisca calcárea; ii) ~72 m, compuestos principalmente por areniscas y en menor medida por conglomerados y brechas; iii) 622 m, integrados por calizas, calizas arcillosas, lutitas, areniscas

calcáreas y brechas calcáreas.

La Formación Lo Valdés se encuentra en contacto concordante con la suprayacente Formación Colimapu y con la subyacente Formación Río Damas (Thiele, 1980), siendo posible observar este último contacto con claridad, tanto en la Localidad Tipo de la Formación Lo Valdés, como inmediatamente al frente, en la ladera norte del río Volcán. Se le asigna una edad mediante fósiles Tithoniano — Hauteriviano (Hallam *et al.*, 1986, en Fock, 2005).

En su Localidad Tipo, la Formación Lo Valdés aflora en forma de una potente franja de estratos casi verticales, con un rumbo medio N10°E y manteo 80°E, que corta en forma casi perpendicular al río Volcán (González, 1963). Asociado a la diferente dureza de sus estratos, la erosión ha creado varios surcos en contraposición con paredes abruptas o placas, haciendo de esta Localidad Tipo un mirador famoso por su belleza e ícono turístico de la Comuna de San José de Maipo.

Es interesante mencionar que inmediatamente al sur de la Localidad Tipo, cerro arriba, es posible observar grandes depresiones circulares de ~15 m de diámetro, creadas por subsidencia de los terrenos abundantes en caliza.

Uso

En general, el área es usada como punto de atracción turística por su belleza escénica y, en particular, la Localidad Tipo es usada para la práctica de escalada en roca.

Acceso y Seguridad

La Localidad Tipo de la Formación Lo Valdés es accesible en vehículo por la carretera G-25. El área es transitada por grandes camiones que utilizan el sector como lugar de acopio de yeso, lo cual representa algún grado de peligro.

Propuesta de Intervención

Dada la popularidad del sector, se sugiere la creación de paneles que expliquen las características que se observan a simple vista en la Localidad Tipo, como por ejemplo por qué los estratos están inclinados y por qué se observan capas de distinto color y tan diferenciadas.

Nº 26

PUENTE COLINA

Área Temática	Coordenadas		
VI	33°48'59.26"S	70° 0'32.03"O	2.350 m s.n.m
Descripción			
El sector de Puente Colina se ubica ~4,5 km aguas arriba de Baños Morales y, desde el camino			

G-25 que lleva a las Termas Colina, es la entrada a los valles Las Arenas y La Engorda. Este punto fue seleccionado por estar a escasos metros de dos lugares de interés, una remoción en masa conocida como “Silla del Diablo” y un bloque con grandes grietas de desecación.

En el sector se observan estratos formados por conglomerados, brechas y rocas volcánicas pertenecientes a la Formación Río Damas en disposición estructural prácticamente vertical, siendo cortadas oblicuamente por grandes planos de fractura entre 30° y 50° en dirección a la ladera. Según Hauser (2000), estos antecedentes estructurales, sumados a las constantes solicitaciones sísmicas en los Andes Centrales, las fuertes precipitaciones que ocurren en el área y procesos de congelamiento-deshielo, entre otros factores, provocan una disminución considerable del confinamiento natural y los consecuentes procesos de remoción en masa en el sector.



Figura 4.30. Sector de Puente Colina. A la izquierda un bloque caído que muestra grandes grietas de desecación. A la derecha uno de los abanicos coluviales del sector.

Una de estas remociones es la “Silla del Diablo”, la cual consiste en una morfología escalonada o en gradas, consecuencia de una remoción del tipo deslizamiento de bloques, que deja expuesto en la ladera sur del río Volcán varias estructuras decamétricas lisas, con ángulos cercanos a la inclinación del cerro. Entre estos escalones destacan al menos 3 grandes abanicos coluviales continuos (y otros más pequeños) de material detrítico no consolidado. Sus rocas son angulosas, granocreciente desde la cima hasta la base y de tamaños centimétricos a decamétricos.

Escasos metros al norte de estas remociones, es posible observar un gran bloque caído que presenta grietas de desecación de gran tamaño en una de sus caras, junto con el bloque negativo de las mismas. La cara donde afloran las grietas es de $\sim 20 \text{ m}^2$ con forma rectangular, mientras que las grietas forman polígonos irregulares, de lados con dimensiones variables, pero de $\sim 25 \text{ cm}$ en promedio. Por su cercanía y similitud litológica con el cerro inmediatamente al sur de donde se encuentra la “Silla del Diablo”, es muy probable que el bloque haya caído como consecuencia de una antigua remoción en el sector.

Uso

El área es ocasionalmente visitada por cursos universitarios de geología. No presenta limitación aparente para ser usada como geositio.

Acceso y Seguridad

Es posible acceder a la zona directamente en vehículo y hay una explanada donde es posible estacionar. El lugar es seguro, pero se recomienda tener precaución por la circulación de grandes camiones con productos mineros.

Propuesta de Intervención

Se sugiere la instalación de paneles explicativos de los procesos y elementos de interés geológico del área y, en particular, la implementación de un sendero para acceder al bloque con grietas de desecación.

Nº 27

ICNITAS DEL VALLE LAS ARENAS

Área Temática	Coordenadas		
V	~33°47'16"S	~70°1'19"O	~2.535 m s.n.m

Descripción

Entre las quebradas del Morado y La Engorda, en el valle Las Arenas, específicamente en una vega localizada a los pies del cerro Arenas, se observan varios bloques caídos pertenecientes a la Formación Río Damas que muestran diversas estructuras sedimentarias tales como ondulitas, marcas de gotas de lluvia, grietas de desecación y, en particular, dos bloques con icnitas de vertebrados. Uno de estos bloques presentaría huellas de dinosaurios, probablemente del Orden Sauropoda (figura 4.31), mientras que el otro muestra impresiones de un reptil pequeño (*Lacerta incertae sedis*) (Moreno, 2007).

Según Moreno (2007), las capas sedimentarias del bloque de roca portador de las probables icnitas de Sauropoda están compuestas por una secuencia alternada de limo, arena fina, arena gruesa, y grava de clastos imbrincados contenidos en una matriz de grano fino y arena, lo cual denota cambios en la energía del ambiente de depositación. La superficie del bloque está cubierta por ondulas de corriente que corren en forma perpendicular a la dirección preferencial de las improntas y presentan marcas de gotas de lluvia y pequeñas grietas de desecación. Las huellas miden entre 15-25 cm de ancho y se disponen de forma desordenada, por lo que en principio no correspondería a una pista estructurada, y es posible que hayan sido realizadas por más de un animal.

La misma fuente describe que las icnitas del probable pequeño reptil son improntas de manos y pies de 2-3 cm cada una, que conforman una pista de ~50 cm de extensión. La estratigrafía del bloque presenta un orden diferente de las secuencias sedimentarias observadas en el bloque portador de las probables icnitas de Sauropoda, por lo tanto se deduce que ambos pertenecen a diferentes niveles sedimentarios.

Es importante destacar que en uno de los bordes del bloque con las probables icnitas del Orden Sauropoda, se observan grietas de barro, impresiones de gotas de lluvia y pequeños

paleocanales, los cuales revelan que el bloque se encuentra invertido (Charrier, 2013, comunicación personal).



Figura 4.31. Bloque con las probables icnitas de dinosaurio. Fotografía gentileza del Profesor Reynaldo Charrier, Universidad de Chile.

Uso

El lugar donde se encuentra el bloque con las probables icnitas es, aparentemente, una zona de propiedad privada. Las áreas relativamente cercanas son ocasionalmente usadas para la práctica de escalada en roca. Es importante mencionar que algunas de las instalaciones del proyecto hidroeléctrico Alto Maipo serán construidas en esta área, lo cual podría representar una potencial amenaza y limitación al uso del lugar como geosito.

Acceso y Seguridad

Al valle Las Arenas es posible acceder directamente en auto, pero el camino se encuentra generalmente en malas condiciones y se recomienda utilizar vehículos altos. El bloque con las probables icnitas de dinosaurio se encuentra a la entrada del valle, pero para proteger este registro fósil que aun no cuenta con medidas de conservación, las coordenadas entregadas en este documento son solo aproximadas.

Propuesta de Intervención

El documento de Moreno (2007), el cual describe las supuestas icnitas del Orden Sauropoda, fue basado en un solo día de trabajo, por tanto se sugiere realizar una investigación paleontológica de todo el valle Las Arenas, y en particular, del bloque con las icnitas. Si se confirma que las estructuras sedimentarias son efectivamente huellas de dinosaurio, se

sugiere tomar medidas de conservación, ya que actualmente es el único registro paleontológico de este tipo en la Comuna.

Nº 28

GLACIAR EL MORADO

Área Temática	Coordenadas		
VII	33°44'49.30"S	70° 3'29.00"O	3.875 m s.n.m

Descripción

Herrera (2013, comunicación personal) describe: “El glaciar El Morado se localiza en el valle Las Arenas, al este del valle El Morado, y se extiende por más de 2,5 km, desde su cabecera a ~4.450 m s.m.n, hasta su base a ~3.300 m s.n.m.

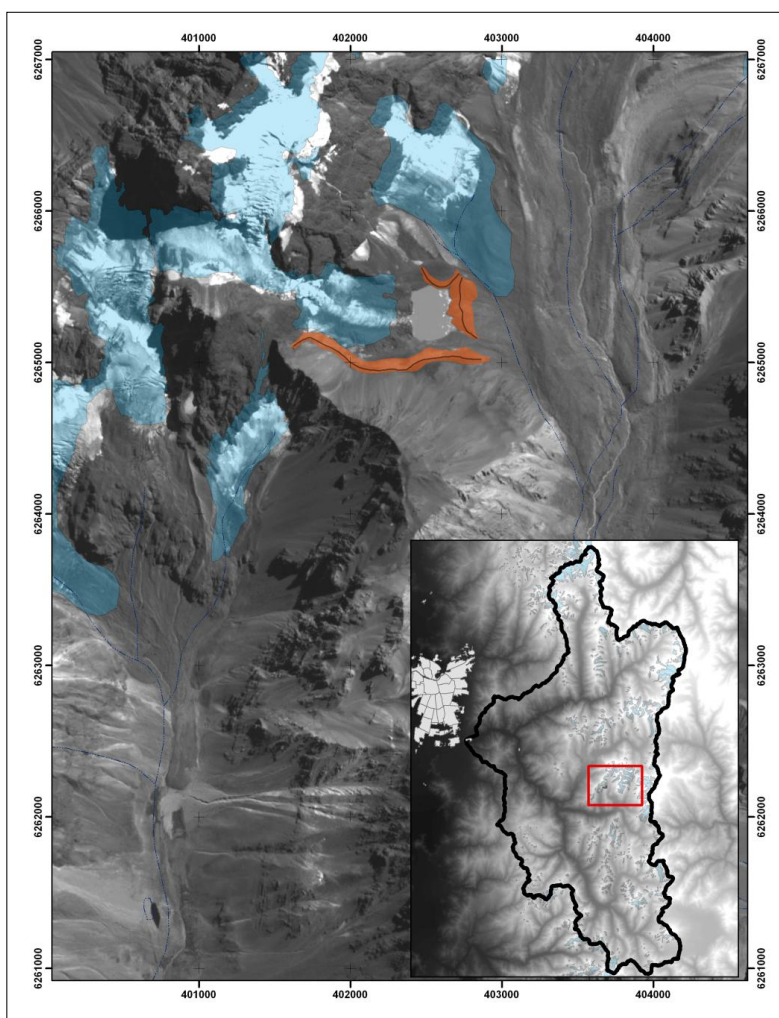


Figura 4.32. Glaciar El Morado y sistema morrénico terminal (color café). Imagen gentileza de María José Herrera, Universidad de Chile.

El glaciar El Morado se clasifica como un glaciar de valle con características típicas de glaciar de frente desprendente o *claving front*. Su morfología comprende un cuerpo glaciar con zonas de

acumulación y ablación (fusión) bien determinadas, separadas por una línea de equilibrio localizada aproximadamente 4.050 m s.n.m.

En su zona distal, la configuración morfológica se caracteriza por la existencia de un lago proglacial, el cual se originó por el efecto de erosión generado por el paso del glaciar y el posterior relleno con agua debido al retroceso del cuerpo de hielo. La formación de la laguna es propiciada por la existencia de tres cordones morrénicos terminales, los cuales actúan como barrera de contención del agua de fusión o *meltwater*, represando y favoreciendo la acumulación de agua en la laguna (figuras 4.32 y 4.33).



Figura 4.33. Glaciar y lago proglacial El Morado. Fotografía gentileza del Profesor Roberto Román, Universidad de Chile.

En la zona de ablación glaciar es posible observar una cobertura detrítica importante, posiblemente ligada a la existencia de taludes o conos de coluvio en las laderas adyacentes. Esta cobertura detrítica podría estar inhibiendo los procesos de fusión del glaciar, debido a la generación de un fenómeno aislante del hielo subyacente.”

Uso

El glaciar es usado ocasionalmente con fines ecoturísticos.

Acceso y Seguridad

El glaciar se encuentra en el límite norte del valle las Arenas, al cual se accede por la ruta G-25 hasta el Puente Colina y posteriormente tomando el desvío hacia el valle La Engorda. A partir del valle La Engorda el camino se encuentra en muy malas condiciones, pero si se cuenta con un vehículo alto y de doble tracción, es posible acceder a tan solo unos pocos kilómetros del glaciar. Desde donde termina el límite del posible camino, se debe realizar una caminata de baja dificultad por ~3 horas hasta la base del glaciar.

Propuesta de Intervención

Además de mejorar el camino de acceso, se sugiere la instalación de señalética que indique la ruta hacia el glaciar.

Nº 29

DIAPIRO LA YESERA

Área Temática	Coordenadas		
X	33°49'6.25"S	69°58'54.03"O	3.063 m s.n.m

Descripción

La Yesera es un diapiro y mina de yeso que se ubica entre el puente Colina y las Termas Baños Colina. El diapiro es de grandes dimensiones, macizo, estratiforme e irregular, de colores blanco a blanco grisáceo y pertenece a la Formación Río Colina, cuyas rocas de edad Jurásico Media — Superior (159-152 Ma) son las más antiguas de la Comuna de San José de Maipo.



Figura 4.34. Diapiro La Yesera. Fotografía gentileza del Profesor Reynaldo Charrier, Universidad de Chile.

El diapiro contiene entre 90-96% de CaSO_4 y por sus propiedades físicas como el color, resistencia mecánica y capacidad de fraguado, permiten su utilización tanto en la fabricación de paneles, como para cemento y/o en la producción de yeso agrícola, quirúrgico y cerámico (Carrasco *et al.*, 2004).

En la actualidad el diapiro La Yesera es explotado a tajo abierto por la empresa El Volcán S.A, la

cual acumula gran parte del material extraído en el sector de Lo Valdés, inmediatamente al frente de la Localidad Tipo de la formación homónima.
Uso El diapiro es actualmente explotado por la minera El Volcán S.A, y es habitualmente un punto de interés para cursos universitarios de geología.
Acceso y Seguridad El yacimiento se encuentra a ~6 km al este de la localidad de El Volcán y ~2 km al este del Puente Colina. Por su condición de ser una explotación activa, la posibilidad de aproximarse al diapiro está limitada.
Propuesta de Intervención Para su futuro uso como geosítio, se sugiere intentar establecer un convenio con la empresa El Volcán S.A. que permita realizar visitas a la mina, y ver los procesos relacionados a la extracción del yeso.

Nº 30 TERMAS BAÑOS COLINA			
Área Temática	Coordenadas		
IX	33°51'10.12"S	69°58'52.32"O	2.525 m s.n.m
Descripción Las Termas Baños Colina se encuentran en un predio privado localizado en el límite este del camino G-25, en la entrada del valle del río Colina, a ~12 km al este del sector de Lo Valdés. Consisten en 7 y a veces 8 pozas ovaladas, aparentemente artificiales, de distintas temperaturas y tamaños, y de una mezcla de agua termal con agua de río. El agua termal aflora desde los estratos de la Formación Río Colina, algunos metros cerro arriba, siendo encausada hasta el sector de las pozas. Como muestra la tabla 3.4 y la figura 3.7, capítulo 3, las aguas de las Termas Colina pueden clasificarse como tipo cloruradas sódicas, relativamente neutras por su ph en torno a 7 y no apropiada como agua potable o para regadío por su alto contenido en sales. Son además las aguas que presentan mayor temperatura y concentración de boro en la Comuna, con 52° C y 31,6 mg/l, respectivamente. Según Bustamante <i>et al.</i> (2010), estos dos últimos antecedentes indicarían que el punto surgente de los Baños Colina sería, entre todas las termas de la Comuna, el más cercano a una posible fuente de calor cogenética (probablemente el volcán San José) con las termas Puente de Tierra, Baños Morales, El Plomo y Salinillas.			



Figura 4.35. Termas Baños Colina.

Uso

Las termas están en un terreno de propiedad privada cuyos administradores cobran por ingresar. Son usadas con fines turísticos y medicinales, siendo especialmente concurridas durante los fines de semana en los meses de verano, mientras que en primavera y durante la semana, prácticamente no reciben visitantes.

Acceso y Seguridad

En los meses de verano es posible acceder directamente en vehículo hasta las termas. El camino es seguro, pero ocasionalmente hay deslizamientos de tierras y se sugiere manejar con precaución.

Propuesta de Intervención

Se sugiere realizar un análisis de carga de las termas, mejorar las instalaciones (baños, camarines, sectores para acampar, etc.) y el mantenimiento de las mismas.

Nº 30

LOCALIDAD TIPO FORMACIÓN RÍO COLINA

Área Temática	Coordenadas		
II	33°51'20.06"S	69°58'34.53"O	2.620 m s.n.m

Descripción

La Localidad Tipo de la Formación Río Colina fue definida por González (1963), en el cordón que divide al río Colina con el estero La Engorda, sector oriental del área de estudio. Sus rocas son las más antiguas de la Comuna.

No hay claridad del lugar exacto donde fue definida la Localidad Tipo, pero Thiele (1980) menciona que es en el valle del río Colina, mientras que González (1963) destaca que la formación presenta su más amplio desarrollo en el curso inferior a medio del río Colina. En base a estos antecedentes, se escogió como Localidad Tipo para este Inventario un sector ubicado a ~600 m al este de las Termas Baños Colina, en la ladera norte del valle del río homónimo. Este sector fue seleccionado porque cumple todas las características antes expuestas, el afloramiento se presenta con normalidad (aparentemente no intruido o deformado) y porque inmediatamente al frente, en la ladera sur del valle, es posible observar un atractivo y muy representativo pliegue sinclinal.

González (1963) describió la Formación Río Colina como "...un conjunto de sedimentitas clásticas marinas fosilíferas, con intercalaciones de potentes lentes de evaporita...". Las sedimentitas están compuestas principalmente por calizas y lutitas calcáreas oscuras, lutitas fisibles finamente estratificadas, areniscas, conglomerados finos y con algunas intercalaciones de rocas volcánicas andesíticas. Además, presenta yeso interestratificado y domos diapíricos del mismo material, los cuales la intruyen (Thiele, 1980). El espesor de la formación se estima en ~700 m (González, 1963).



Figura 4.36. Sector de la Localidad Tipo Formación Río Colina. La imagen de la izquierda muestra el área definida como Localidad Tipo para efectos de este trabajo. La imagen de la derecha muestra un pliegue sinclinal, inmediatamente en frente de la Localidad Tipo.

Los fósiles estudiados indican una edad caloviana para los niveles inferiores, y oxfordiana para los niveles superiores (Thiele, 1980). El contacto basal es desconocido, y su techo es concordante con las arenisca y conglomerados de la Formación Río Damas (González, 1963).

Uso

La Localidad Tipo se encuentra en el terreno de propiedad privada de las Termas Baños Colina, en un área que no cuenta con uso actual.

Acceso y Seguridad

Se ubican en el límite este de la ruta G-25, ~600 m al este de las Termas Baños Colina. El camino en este sector es totalmente seguro.

Propuesta de Intervención

- Se sugiere esclarecer el lugar exacto donde fue definida la formación y/o establecer un consenso que valide la elección realizada en este trabajo.
- Se sugiere recabar antecedentes geológicos sobre el pliegue sinclinal ubicado en frente del lugar definido como Localidad Tipo.

Nº 31

GLACIAR NIEVES NEGRAS

Área Temática	Coordenadas		
VII	33°51'6.10"S	69°55'17.72"O	4.100 m s.n.m

Descripción

Según Herrera (2013, comunicación personal): "El glaciar Nieves Negras se localiza aguas arriba de las Termas Baños Colina, en el valle del río homónimo. Su zona de acumulación se encuentra en las laderas del volcán San José, y se extiende por aproximadamente 6,5 km, desde su cabecera a ~5.300 m s.n.m, hasta su base a ~2.900 m s.n.m. Su gran extensión es propiciada por su orientación sur.



Figura 4.37. Fotografía del glaciar Nieves Negras.

El glaciar Nieves Negras se clasifica en su cabecera como glaciar de montaña, y como glaciar de valle en su zona baja. Su morfología comprende dos morrenas laterales bien definidas, las cuales descienden por el valle siguiendo la topografía local y dejando claras evidencia de su poder erosivo y de depositación (figuras 4.37 y 4.38). Su línea de equilibrio se localiza aproximadamente a los 4.350 m s.n.m.

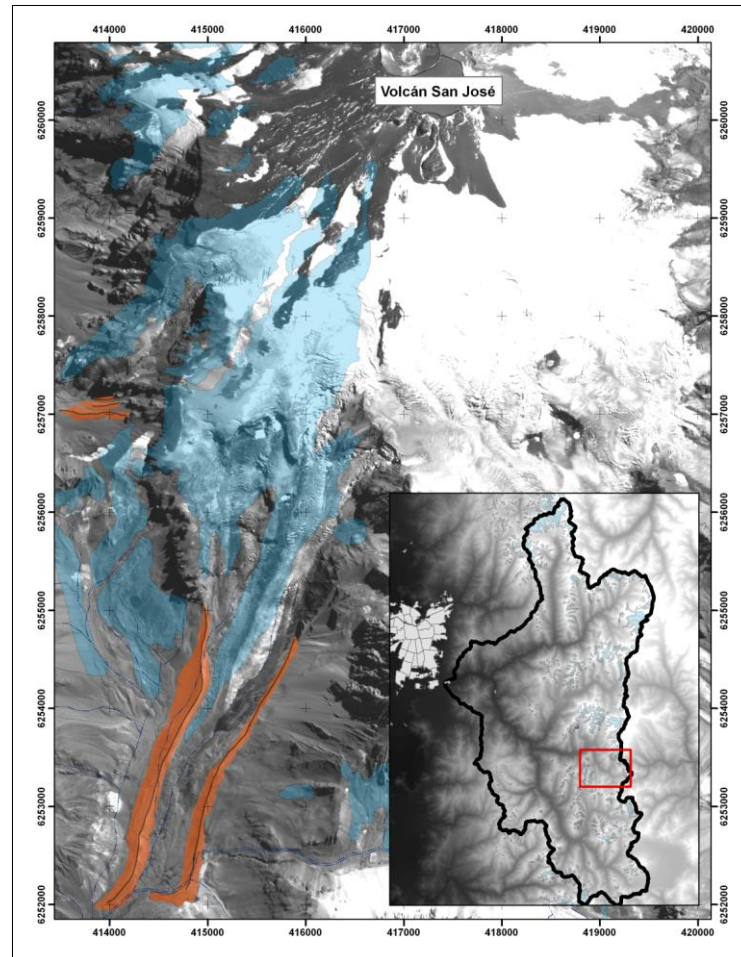


Figura 4.38. Imagen satelital del glaciar Nieves Negras y del sistema morrénico lateral (color café). Imagen gentileza de María José Herrera, Universidad de Chile.

Al igual que en el caso del glaciar El Morado, una importante cobertura detrítica superficial, derivada de procesos típicos de ambientes periglaciales, podría estar generando aislación térmica del hielo existente bajo la cobertura detrítica. Este hecho propiciaría la mantención del hielo a través de la minimización de los procesos de fusión natural del glaciar.”

Uso

El glaciar es usado muy ocasionalmente con fines recreativos.

Acceso y Seguridad

El glaciar Nieves Negras es accesible sólo a pie. Desde el sector de las Termas Baños Colina hay que realizar una caminata de ~6 horas de mediana dificultad, la cual incluye vadear el río

Azufre. Se recomienda acampar en las termas y partir temprano en la mañana hacia el glaciar.

Propuesta de Intervención

- Se sugiere crear un sendero de acceso y, en particular, hacer un puente para cruzar el río Azufre.
- Se sugiere la instalación de un panel que explique las características geológicas que se ven a simple vista durante el trayecto al glaciar (valle en "U", morrenas frontales y laterales, etc.).

Nº 33

VOLCÁN SAN JOSÉ

Área Temática	Coordenadas		
IV	33°47'8"S	69°53'35"O	5.856 m s.n.m

Descripción

El complejo volcánico San José está ubicado ~45 km al este en línea recta de la localidad de San José de Maipo, y desde sus laderas surgen las nacientes del río Volcán. Según la ficha descriptiva del Servicio Nacional de Geología y Minería (SERNAGEOMIN, sin año), el volcán San José posee un radio basal de 11 km, un área basal de 82 km² y un volumen estimado de 69 km³.

La misma fuente menciona: "Este complejo volcánico posee varios centros de emisión alineados en dirección N-NE, formando dos edificios volcánicos principales superpuestos. El volcán sur, de cima achatada, es el cono principal, con cuatro cráteres centrales traslapados formando una depresión, en cuya mitad norte se emplaza el cráter activo, con un pequeño domo en su interior y actividad fumarólica casi permanente. El volcán septentrional posee un ancho cráter abierto al suroeste y dos pequeños conos en sus flancos sureste y norte. Este complejo está cubierto por extensos glaciares en su flanco oriental y varios de menor volumen en el sector occidental siendo el ventisquero La Engorda y el ventisquero de las Nieves Negras los más importantes.

Los productos de este volcán, de composición esencialmente andesítica, son principalmente lavas y en menor medida domos, además de depósitos piroclásticos de caída acumulados en torno a los cráteres que podrían corresponder a productos de erupciones vulcanianas o freatomagmáticas. Además, Moreno *et al.* (1991) mencionan la presencia local de posibles flujos escoriáceos que habrían descendido sobre los glaciares. No se han encontrado depósitos laháricos en las cercanías del volcán ni en el valle del río Volcán.

Existen numerosos reportes de actividad eruptiva reciente, los cuales alcanzarían hasta 21 eventos posiblemente ocurridos entre 1822 y 1960. A pesar de ser éste un volcán históricamente activo, una revisión actualizada del registro histórico (Petit-Breuilh, 2011) indica que no existen evidencias claras de erupciones importantes y, más aún, ningún dato que confirme los reportes como actividad eruptiva propiamente tal (con participación de magma juvenil)."



Figura 4.39. Volcán San José. Fotografía tomada entre los sectores de Baños Morales y Puente Colina, mirando hacia el este.

Es importante destacar que en la ladera sur del volcán San José se encuentra el yacimiento de azufre Nieves Negras, el cual es el único yacimiento de azufre que se ha encontrado en la Región Metropolitana. Carrasco *et al.* (2004) describen este depósito como un cuerpo estratiforme y/o irregular, que contiene unas 10.000 t de azufre y 50% S. Según los mismos autores, debido a una relación de factores como su dimensión, ubicación y acceso entre otros, es considerado un yacimiento de escaso interés económico.

Uso

SERNAGEOMIN desarrolla un plan de monitoreo y vigilancia sobre el volcán San José, realizando un reporte mensual sobre el estado de sus actividades volcánicas.

Acceso y Seguridad

El ascenso más común es partiendo desde el Refugio Planat, en el valle de La Engorda. El trekking para ir hasta la cima y volver dura entre 6-8 días. En un contexto de alta montaña, se considera de dificultad moderada. Es imperativo poseer experiencia previa en andinismo para intentar su ascenso.

Propuesta de Intervención

Se sugiere investigar cuál es el mejor punto de observación del volcán San José y habilitar un mirador.

4.3.1 Zona San Gabriel — volcán Maipo (geositios del 34-38)

El acceso a esta zona es a través de la ruta G-465, y posteriormente por el camino construido para transportar y comercializar gas desde Argentina hacia Chile. Desde la localidad de San Gabriel hasta el Fundo Cruz de Piedra, hay ~14 km de camino de ripio o tierra en relativo buen estado. Desde el Fundo Cruz de Piedra hasta el volcán Maipo, son ~73 km de camino de ripio o tierra en regular a mal estado, siendo recomendable utilizar un vehículo alto y de doble tracción (figura 4.2).

Ambas rutas son accesibles, especialmente durante las estaciones de primavera y verano. En particular, para atravesar el Fundo Cruz de Piedra es necesario pedir autorización previa a la empresa Gasco S.A con al menos dos semanas de anticipación. Este es un proceso engorroso y burocrático (que comienza enviando un e-mail a kalvarez@gasco.cl) en el cual debe señalarse el propósito de la visita, su fecha, duración, medio de transporte, patente del vehículo y nombre y Rut de los pasajeros.

La situación antes mencionada difiere mucho del acceso al volcán Maipo por el lado Argentino, donde la ruta es de libre tránsito y el sector está declarado como Reserva Natural. Como propuesta de intervención común para todos los geositios ubicados al sur del Fundo Cruz de Piedra (geositios 34-38), se sugiere intentar aminorar la burocracia necesaria para obtener el permiso de acceso y mejorar las condiciones del camino.

Nº 34			
PUENTE EL CRISTO			
Área Temática	Coordenadas		
VIII	33°49'20.47"S	70°13'25.32"O	1.390 m s.n.m
Descripción			
El puente El Cristo se ubica aproximadamente a 2km de la localidad de El Romeral, aguas arriba por el río Maipo. Es muy probable que su nombre esté asociado a una antigua mina de cobre homónima ubicada ~5 km aguas arriba, cercana a la localidad de Las Melosas. Esta mina fue explotada por una empresa alemana que la abandonó al estallar la Segunda Guerra Mundial (Espinosa <i>et al.</i>, 2011), pero aún es posible observar parte de sus antiguas infraestructuras.			
En el área donde fue construido el puente, el río Maipo corta los granitoides del Plutón San Gabriel, formando una estrechísima y abrupta garganta de ~15 m de alto donde es posible observar abundantes morfologías fluviales como cárcavas, superficies pulidas y marmitas de gigantes, además de algunas secciones del intrusivo diaclasadas. Desde el mismo puente, mirando hacia el oeste, es posible observar claramente el contacto entre los estratos de la Formación Abanico y el Plutón San Gabriel.			
Ormeño (2007) describe que esta zona presenta un importante <i>knick point</i>, ya que aguas arriba y abajo la pendiente del río Maipo no supera los 0,017 [m/m], mientras que cuando atraviesa la garganta rocosa presenta una pendiente de 0,023 [m/m]. El mismo autor describe que entre las localidades de los Queltehues y Las Melosas (unos kilómetros agua abajo y arriba del puente El Cristo) se observan 4 niveles de terrazas de roca. Entre ellas, la más alta y antigua			

presenta superficies pulidas y estrías en la dirección actual del valle que evidencian una antigua acción glacial. Dados estos antecedentes, es posible que la abrupta garganta que se observa en el puente El Cristo haya sido provocada por una fuerte incisión de las aguas al retroceder un antiguo glaciar, y/o facilitado por la acción de una falla, sin embargo su origen aún es incierto y materia de discusión.

Es importante mencionar que en este mismo sector, cuando la central hidroeléctrica Queltehues libera parte de su caudal, es posible observar en la ribera noreste del río un espectacular salto de agua artificial conocido como el Velo de La Novia, por la apariencia que toma el agua al caer.



Figura 4.40. Sector puente El Cristo. La fotografía muestra la estrecha garganta creada por la acción del río Maipo sobre el Plutón San Gabriel

Uso

El puente es usado habitualmente por camiones que transportan material minero.

Acceso y Seguridad

El lugar es accesible directamente en vehículo por el camino a Los Queltehues, ruta G-465. El puente se encuentra en regulares condiciones y puede representar algún peligro para un uso masivo, específicamente con niños.

Propuesta de Intervención

Se sugiere implementar un mirador seguro para observar el geositio, y la instalación de un panel que explique cómo se formaron las distintas morfologías fluviales que se observan en el lugar.

Nº 35

CONTACTO CAMINO AL VOLCÁN

Área Temática	Coordenadas		
XI	33°57'5.42"S	70°10'31.20"O	1.640 m s.n.m

Descripción

Siguiendo el camino del gaseoducto que lleva hasta el volcán Maipo, ~16 km aguas arriba del puente El Cristo, es posible observar en la rivera suroeste un pequeño cuerpo intrusivo innominado, en contacto con los estratos de la Formación Abanico. El afloramiento tiene ~15 m de alto, 30 m de largo y varias de sus secciones presentan alteración esferoidal o bandeada. El contacto muestra bordes de enfriamiento e inmediatamente aguas abajo del contacto se observa un dique, muy probablemente de la misma composición que el Intrusivo.



Figura 4.41. Contacto litológico camino al volcán Maipo.

Se ha seleccionado este sitio porque se reconoce la importancia geológica de los contactos litológicos, sin embargo este LIG fue encontrado en el contexto del desarrollo de esta tesis, durante un día de trabajo en terreno realizado en un sector de acceso restringido, donde

lamentablemente no fue posible regresar, por tanto los estudios sobre la litología del intrusivo, tipo de contacto y edad están pendientes.
Uso El lugar no cuenta con uso actual.
Acceso y Seguridad El geositio se encuentra ~4 km aguas arriba del Fundo Cruz de Piedra y es accesible directamente en vehículo por el camino del gasoducto a Argentina. El sector no presenta riesgos para observar el contacto.
Propuesta de Intervención Se sugiere realizar análisis geológicos del lugar, como por ejemplo determinar la litología del intrusivo y la roca huésped, sus edades y tipo de contacto.

Nº 36			
PUENTE DE TIERRA			
Área Temática	Coordenadas		
II	34°5'50.87"S	70°2'3.09"O	2.163 m s.n.m
Descripción Puente de Tierra es un sector que incluye un depósito de travertinos y un afloramiento de aguas termales, distantes ~15 m entre sí y localizados en la ladera sur del río Maipo, ~2 km aguas arriba de la confluencia de los ríos Maipo y Barroso. Las rocas que afloran en el área presentan gran diversidad litológica, siendo posible observar capas de yeso, estratos de areniscas continentales rojas y depósitos volcánicos pertenecientes a la Formación Colimapu, en contacto con lutitas marinas. El depósito de travertinos forma un puente natural de ~5 m de longitud, a ~8 m sobre el nivel del río Maipo. Es tal vez el único punto que permite cruzar el río Maipo después de su confluencia con el río Barroso, y décadas atrás era habitualmente usado por los arrieros que llevaban sus ganados a pastorear. Las termas Puente de Tierra consisten en 3 pozas ovaladas de ~2 m de diámetro cada una, cuyas aguas pueden clasificarse como mesotermal debido a su temperatura promedio de 41° C y relativamente acidas por su ph ~6. Su composición química es del tipo clorurada sódica (Bustamante <i>et al.</i>, 2010). Estas aguas presentan gran cantidad de sólidos disueltos, lo cual podría explicar el desarrollo de los depósitos de travertinos en sus cercanías (Hauser, 1997).			

Es importante mencionar que en el sector Puente de Tierra se han encontrado varias evidencias (estructuras, grabados, piezas cerámicas y un monolito, entre otros) de un antiguo asentamiento Inca. Según Cornejo (2008), este asentamiento correspondería al límite sur de la expansión del Tawantinsuyu y su ubicación no sería casual, por el contrario, sería un lugar estratégico que respondería a su cercanía con la caldera Diamante y la presencia del puente natural de travertinos sobre el caudaloso río Maipo.



Figura 4.42. Sector Puente de Tierra. A la izquierda se muestra el puente de travertinos que originó el nombre de la localidad. A la derecha se muestran las termas homónimas. Los dos sitios están separados por ~15 m.

Uso

El lugar no cuenta con uso actual, pero podría tener alguna limitación al futuro uso como geosítio por encontrarse en un área que presenta vestigios arqueológico en sus cercanías.

Acceso y Seguridad

Es posible llegar hasta el geosítio directamente en vehículo. Las termas cuentan con un sendero con barandas que permiten acceder a ellas sin peligro de resbalar.

Propuesta de Intervención

Se sugiere hacer un análisis de la capacidad de carga del puente y de las termas.

Nº 37

LOCALIDAD TIPO FORMACIÓN COLIMAPU

Área Temática	Coordenadas		
II	34°7'48.36"S	70°4'25.31"O	3.041 m s.n.m

Descripción

La Localidad Tipo de la Formación Colimapu fue definida por Klohn (1960) y redefinida por González (1963), en la quebrada La Mona, entre los ríos Blanco y Barroso, tributarios del río Maipo, relativamente próximo al sector conocido como Puente de Tierra. Ambos autores definieron la Formación Colimapu como un conjunto sedimentario de origen continental, pero difirieron tanto en la litología, como en el espesor y las relaciones de contacto observadas en la quebrada La Mona.

Según la definición actualmente aceptada de González (1963), la litología de la Formación Colimapu en su Localidad Tipo está compuesta “casi exclusivamente por sedimentos de facies litorales costaneros con abundantes depósitos del tipo deltaico y lagunares; es decir, predominan las areniscas y lutitas rojas, las tufitas rojas, con intercalaciones lenticulares de carácter fluvial y lentes brechosos. El conjunto siempre se presenta intruido por verdaderos reticulados de filones verdes diabásicos, afaníticos y porfíricos”. El mismo autor estimó un espesor ~ 1.700 m para el perfil de la quebrada La Mona.

La Formación Colimapu, en su Localidad Tipo, se dispone en forma concordante sobre la Formación Lo Valdés (González, 1963; Klohn, 1960) y su contacto con la suprayacente Formación Abanico ha sido descrito como una discordancia orogénica (Klohn, 1960), concordante (González, 1963) y como una falla inversa (Godoy *et al.*, 1999, en Fock, 2005), siendo el asunto aún materia de discusión.



Figura 4.43. Localidad Tipo Formación Colimapu. La fotografía muestra la entrada a la quebrada La Mona, lugar donde fue definida la formación.

En una capa de limos morados de ~ 20 m de espesor, situada ~ 625 m sobre la base de la Localidad Tipo, González (1963) observó la presencia de carófitas fósiles, los cuales corresponden a los primeros fósiles encontrados en la Formación Colimapu y las primeras carófitas fósiles encontradas en rocas del Mesozoico en Chile. Martínez & Osorio (1963) estudiaron estas muestras, lo cual permitió por primera vez restringir de forma directa la edad

de la Formación Colimapu, asignándole una edad mínima tentativa Albiana. Su edad máxima sería Hauteriviano (Thiele, 1980), de acuerdo a la edad asignada a la Formación Lo Valdés que la subyace de forma concordante.

Es importante mencionar que “colimapu” significa “tierra roja” (coli= pardo, rojizo; mapu= tierra, país) en lengua mapudungun, tonalidad que caracteriza a prácticamente toda la formación. Esta coloración sugiere que sus miembros se depositaron en un ambiente de escaso contenido en materia orgánica y altamente oxidante, por tanto las carófitas, propias de facies lacustres y transicionales normales, pertenecerían a depósitos marginales que se habrían engranado lateralmente a la base de la Localidad Tipo (Martínez & Osorio, 1963).

Uso

Aparentemente la Localidad Tipo no cuenta con uso actual, sin embargo, es importante consignar que a la entrada de la quebrada La Mona hay una mina activa de yeso.

Acceso y Seguridad

El límite norte de la quebrada es accesible directamente en vehículo, a través del camino del gasoducto. Una vez allí, es necesario continuar a pie o a caballo hasta la Localidad Tipo.

Propuesta de Intervención

La quebrada La Mona presenta una gran belleza escénica, por tanto se sugiere evaluar su potencial turístico como sendero de trekking.

Nº 38

VOLCÁN MAIPO — CALDERA DIAMANTE

Área Temática

IV

Coordenadas

34°9'47''S

69°49'57''O

5.323 m s.n.m

Descripción

El volcán Maipo es un gran estratovolcán de ~18 km de diámetro que forma parte del centro eruptivo Volcán Maipo — Caldera Diamante, ubicado en el extremo sureste de la Comuna, en la frontera con Argentina. Su edificio volcánico incluye lavas y depósitos piroclásticos producto de su actividad central y un cono de tefra y lava en sus flancos. Estos últimos forman una suite andesítico-basáltica a dacítica con una tendencia hacia productos más evolucionados y potencialmente más explosivos (Bustamante *et al.*, 2010). Constituye el centro eruptivo más oriental de la Zona Volcánica Sur de los Andes (Sruoga *et al.*, 2012).

Su historia se remonta a ~0,45 Ma atrás, cuando ~450 km³ de material rico en pómez fue evacuado de una cámara magmática poco profunda, provocando el colapso del techo de la cámara y la subsecuente formación de una caldera de colapso (Stern *et al.*, 1984; Sruoga *et al.*,

2012), conocida como caldera Diamante. La caldera Diamante constituye una depresión de ~20x16 km de diámetro, alongada en sentido este-oeste y excavada en sedimentitas mesozoicas, volcanitas y cuerpos subvolcánicos neógenos. El o los eventos eruptivos que provocaron su formación han sido clasificados con un índice de explosividad volcánica 7, siendo de las mayores explosiones conocidas en el último millón de años (Sruoga *et al.*, 2012).



Figura 4.44. Volcán Maipo y laguna del Diamante. Fotografía gentileza de Patricia Sruoga, Servicio Geológico Minero Argentino.

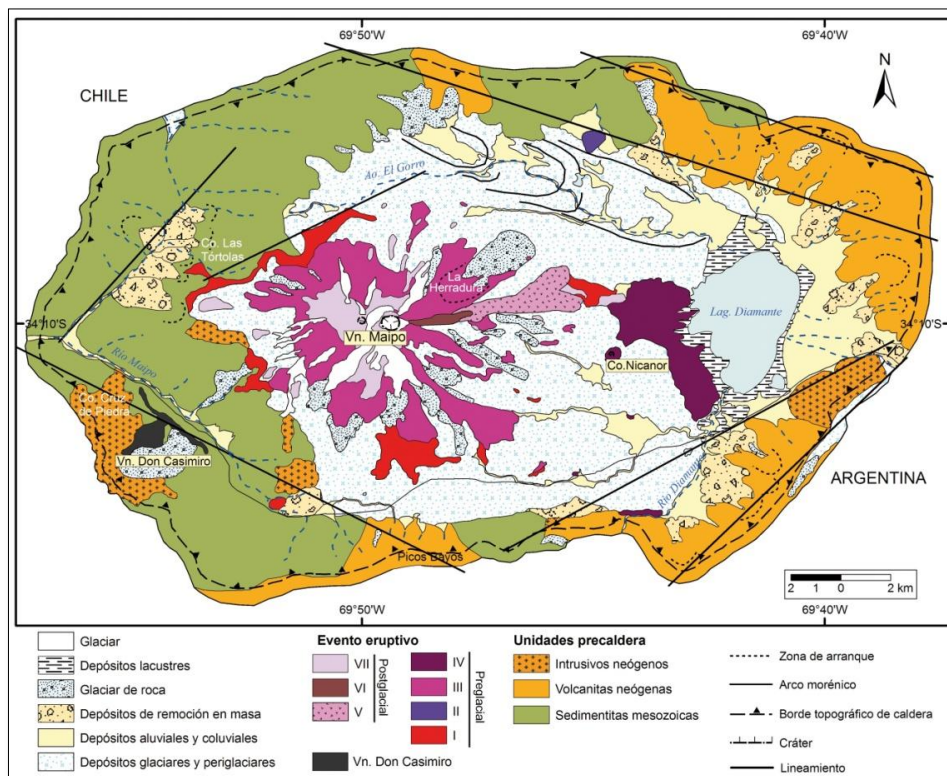


Figura 4.45. Mapa geológico — geomorfológico del Complejo Eruptivo volcán Maipo — caldera Diamante. Imagen tomada de Sruoga *et al.* (2012).

Desde hace ~100.000 años, el centro eruptivo comenzó a tener sucesivas reactivaciones, lo cual ha causado una progresiva acumulación de coladas de lava y escoria que han dado la forma y altura del volcán que vemos hoy (SEGEMAR, 2008). Según Sruoga *et al.* (2012), es posible distinguir al menos 7 eventos eruptivos en los últimos 100.000 años, entre los cuales 3 son preglaciales y 4 postglaciales (figura 4.45). Además, según la misma fuente, se han reconocido depósitos de flujo de escoria y de caída de tefra como registro de actividad explosiva discreta ocurrida en tiempos recientes, siendo, tentativamente, 1912 la fecha de su última erupción.

En el interior de la caldera, aproximadamente 10 km al este del volcán Maipo, en territorio Argentino, se encuentra un lago de ~14 km² y de profundidad máxima ~70 m, conocido como laguna del Diamante. Según González-Ferrán (1995), coladas de lavas asociadas a una erupción ocurrida en 1826 habrían bloqueado la vía este del desagüe del volcán, lo cual causó el represamiento del flujo de las aguas y la consecuente creación del lago. Para SEGEMAR (2008), la identificación de antiguos depósitos lacustres en las márgenes de la laguna y evidencias costeras de variaciones en el nivel del espejo de agua, indicarían un origen anterior de la laguna, el cual estaría asociado al retiro de la última glaciación.

No existen antecedentes fehacientes que avalen o descarten la posible repetición de un gran evento eruptivo como el ocurrido ~0,45 Ma atrás, aunque sí existe consenso que tal escenario sería catastrófico para la ciudad de Santiago y gran parte de la provincia de Mendoza (Stern *et al.*, 1984; Sruoga *et al.*, 2012).

Uso

En el lado chileno el complejo eruptivo volcán Maipo – caldera Diamante no cuenta con uso actual, situación que contrasta con el sector argentino, donde el complejo eruptivo pertenece a la Reserva Natural Laguna del Diamante y forma parte de los Sitios de Interés Geológicos de dicho país (SEGEMAR, 2008).

Acceso y Seguridad

A través del camino del gasoducto es posible llegar a tan solo algunos kilómetros del volcán, pero la ruta está en malas condiciones y es necesario cruzar esteros caudalosos, por tanto es imperativo vehículos altos y de doble tracción. Según los entendidos, intentar el ascenso a la cima no es peligroso, pero es físicamente extenuante y no se recomienda para personas sin preparación previa.

Propuesta de Intervención

El complejo eruptivo volcán Maipo – caldera Diamante es muy probablemente el sector de mayor interés científico y de belleza escénica de la Comuna, pero lamentablemente, producto de los regímenes de acceso, es también de los menos conocidos. Para su futuro uso como geosítio se sugiere, además de aminorar las restricciones y burocracia para acceder a la zona, intentar establecer un plan de conservación conjunto con Argentina.

Capítulo 5.

Cuantificación

Capítulo 5. Cuantificación

5.1 Antecedentes

Como se explica en el ítem 1.4 Metodología, con el fin de facilitar futuros planes de conservación para los 38 geositos seleccionados, estos fueron evaluados cuantitativamente usando una metodología adaptada de García-Cortés & Carcavilla (2009). Estos autores evalúan el patrimonio geológico respecto a 4 tópicos: i) Valor Científico; ii) Valor Didáctico; iii) Valor Turístico; iv) Vulnerabilidad.

Se consideró esta metodología como la más adecuada para el área de estudio, ya que los valores antes mencionados son también los potenciales usos de los geositos en un eventual geoparque y, por su parte, la evaluación de la vulnerabilidad permite establecer prioridades de protección entre los geositos y restringir sus posibles usos.

El ranking de los 4 tópicos mencionados anteriormente se basó en la evaluación de 19 parámetros, los cuales se nombran y describen en la tabla 5.1.

Nº	Parámetro	Descripción
1	Representatividad	Refleja la cualidad del geosito para mostrar adecuadamente las características de un elemento, rasgo o proceso geológico particular, del área temática o zona de estudio analizada.
2	Rareza	Refleja la importancia del geosito, en términos de la escasez de elementos, rasgos o procesos geológicos similares, en el área temática evaluada o la zona de estudio analizada.
3	Referencias Bibliográficas	Informa el grado de interés geológico que hace del geosito objeto de publicaciones científicas, y/o estima su potencial para futuras investigaciones.
4	Localidad Tipo	Son lugares donde se definieron por primera vez formaciones, se extrajeron muestras que dieron lugar a la primera descripción de un mineral, etc. Refleja la importancia del geosito, por ser una referencia en alguna especialidad de la geología a nivel internacional o nacional.
5	Integridad	Refleja el grado de preservación de las características de interés geológico del geosito.
6	Diversidad Geológica	Refleja la cantidad de áreas de interés geológico (tectónico, paleontológico, mineralógico, etc.) presentes en el geosito.
7	Contenido Didáctico	Refleja el potencial del geosito para ser usado en la enseñanza de las Ciencias de la Tierra y/o mostrar la importancia y utilidad de la geodiversidad.
8	Condiciones de Observación	Refleja el grado de facilidad que presenta el entorno para la adecuada observación del geosito.
9	Accesibilidad	Informa el grado de dificultad para acceder al geosito.
10	Diversidad de Intereses	Refleja los intereses asociados no geológicos que presenta el geosito (ecológico, arqueológico, cultural, etc.)

11	Valoración Estética	Estima la opinión de la comunidad, sobre la belleza estética del geosito.
12	Régimen de Acceso	Indica las restricciones al uso del geosito, en relación al régimen de propiedad en que se localiza.
13	Infraestructura de Servicios	Informa la cantidad y grado de infraestructura de servicios que puedan servir de apoyo para organizar visitas al geosito.
14	Seguridad	Refleja el grado de riesgo o peligro que presenta el uso del lugar como geosito.
15	Contexto Recreativo	Refleja el potencial turístico del geosito, asociado a la cercanía de zonas de interés ecoturísticos.
16	Fragilidad frente al uso antrópico	Refleja la vulnerabilidad del geosito frente a un potencial uso humano no industrial.
17	Fragilidad Intrínseca	Refleja la fragilidad del geosito frente a los procesos naturales no antrópicos (meteorización, inundaciones, etc.) presentes en el área de estudio.
18	Régimen de Protección	Informa el grado de protección del geosito, en función de su ubicación dentro de un área protegida por sus valores naturales.
19	Interés para la Industria	Refleja el actual o potencial interés económico industrial del geosito.

Tabla 5.1. Descripción de los parámetros cuantitativos de evaluación.

Para cada uno de los 19 parámetros de la tabla 5.1 se definieron 3 alternativas. Estas alternativas reflejan diferentes realidades respecto a los temas abordados por cada parámetro, y están asociadas a puntajes numéricos de valor 1, 2 y 4. En los casos en que un geosito no cumplió los estándares mínimos o, por sus características particulares en un ítem específico no era evaluable, se le asignó el valor 0 en ese parámetro.

Conjuntamente, para cada parámetro se determinó un peso específico o ponderación dependiendo de qué tópico es evaluado (Valor Científico, Valor Didáctico, Valor Turístico o Vulnerabilidad). De esta forma, el puntaje final de un geosito, en un tópico específico, es la suma ponderada de los 19 parámetros, siendo el puntaje máximo 400 puntos. La tabla 5.2 muestra los 19 parámetros con sus respectivas alternativas, puntajes y ponderaciones (X = Ponderación Valor Científico, X = Ponderación Valor Didáctico, X = Ponderación Valor Turístico y X = Ponderación Vulnerabilidad).

Si un geosito, por ejemplo, presenta un alto Valor Turístico y un alto nivel de Vulnerabilidad, será imperativo, antes de fomentar su uso para la sociedad, realizar acciones para protegerlo. Consecuentemente con esta idea, una forma de establecer prioridades de conservación entre los geositos es ponderando su Vulnerabilidad, con alguno de los puntajes de Valor Científico, Didáctico o Turístico. A modo ilustrativo, la ponderación elegida en este trabajo fue el promedio simple $[(\text{Valor } X + \text{Vulnerabilidad})/2]$, por tanto el puntaje máximo en este ítem también será de 400 puntos. Cabe destacar que esta fórmula es solamente una aproximación referencial, ya que evaluar la necesidad de conservación de un geosito es, a juicio del autor, un problema más complejo.

Tabla 5.2. Parámetros cuantitativos de evaluación, con sus respectivas ponderaciones y alternativas.

1- Representatividad (30x; 15x; 0x; 0x)	
Alternativas	Puntaje
Útil como modelo para representar parcialmente un elemento, rasgo o proceso geológico particular.	1
Útil como modelo para representar, en su globalidad, un elemento, rasgo o proceso geológico particular.	2
Mejor ejemplo conocido, a nivel del área de estudio y/o de la área temática considerada, para representar en su globalidad un elemento, rasgo o proceso geológico particular.	4
2- Rareza (25x; 0x; 0x; 0x)	
Alternativas	Puntaje
El geosítio es un elemento, rasgo o proceso geológico común en la zona de estudio o área temática analizada.	1
El geosítio es un elemento, rasgo o proceso geológico muy escaso en la zona de estudio o área temática analizada.	2
No existe otro elemento, rasgo o proceso geológico de similares características en la zona de estudio o área temática analizada.	4
3- Referencias Bibliográficas (20x; 0x; 0x; 0x)	
Alternativas	Puntaje
El geosítio es analizado en 1 tesis o publicación científica nacional.	1
El geosítio es analizado en 2 o más tesis o publicaciones científicas nacionales.	2
El geosítio es analizado en 2 o más tesis o publicaciones científicas nacionales, en al menos 1 publicación científica internacional, o aún no ha sido objeto de estudios, pero especialistas reconocen en él un gran potencial de uso científico.	4
4- Integridad (15x; 5x; 5x; 20x)	
*Para el tópico vulnerabilidad, en este parámetro el puntaje asignado a las alternativas es en el orden contrario.	
Alternativas	Puntaje
El geosítio se encuentra gravemente deteriorado, pero todavía conserva algunas de sus características de interés. No es factible mejorar esta condición.	1
El geosítio se encuentra con algún grado de deterioro, siendo factible mejorar esta condición.	2
El geosítio se encuentra prácticamente integro, no siendo necesario mejorar su estado de conservación.	4
5- Localidad Tipo (5x; 0x; 0x; 0x)	
Alternativas	Puntaje
El geosítio es una localidad tipo para alguna área de la geología a nivel nacional.	1
El geosítio es una localidad de referencia utilizada internacionalmente, o localidad tipo de fósiles, o biozonas de amplio uso científico nacional.	2
El geosítio es un estratotipo aceptado por la IUGS o localidad tipo de la IMA.	4
6- Diversidad Geológica (5x; 10x; 0x; 0x)	
Alternativas	Puntaje
Además del interés geológico principal, el geosítio presenta otro interés geológico secundario.	1

Además del interés geológico principal, el geosito presenta 2 intereses geológicos secundarios.	2
Además del interés geológico principal, el geosito presenta 3 o más intereses geológicos secundarios.	4
7- Contenido didáctico (0x; 20x; 0x; 0x)	
Alternativas	Puntaje
El geosito posee potencial para ser utilizado con fines didácticos, pero solo en un perfil de usuarios con conocimientos específicos en Ciencias de la Tierra (ejemplo: estudiantes de geología).	1
El geosito posee potencial para ser utilizado con fines didácticos en cualquier perfil de usuario, desde legos a especialistas.	2
El geosito es habitualmente utilizado con fines didácticos, y es potencialmente utilizable en cualquier perfil de usuario, desde legos a especialistas.	4
8- Condiciones de Observación (0x; 10x; 10x; 0x)	
Alternativas	Puntaje
El geosito presenta elementos externos que lo enmascaran, sin embargo todavía es posible apreciar algunas de sus características de interés. No es factible mejorar esta condición.	1
El geosito presenta algunos elementos externos que lo enmascaran, sin embargo todavía es posible apreciar algunas de sus características de interés. Es factible mejorar esta condición.	2
Todos los elementos de interés del geosito son fácilmente observables, no siendo necesario implementar medidas para mejorar su visibilidad.	4
9- Accesibilidad (0x; 10x; 5x; 5x)	
Alternativas	Puntaje
El geosito es solamente accesible a pie, después de un recorrido de mediana o baja dificultad de 15-5 km de distancia.	1
El geosito es solamente accesible a pie, después de un recorrido de mediana o baja dificultad de 5-1 km de distancia.	2
El geosito es accesible directamente en auto, o después de menos de 1 km de recorrido de mediana o baja dificultad.	4
10- Diversidad de Intereses (0x; 10x; 5x; 0x) * no se contabiliza el interés recreativo o turístico.	
Alternativas	Puntaje
El geosito presenta al menos 1 interés no geológico (ecológico, religioso, arqueológico, folclórico, etc.) asociado.	1
El geosito presenta 2 intereses no geológicos (ecológico, religioso, arqueológico, folclórico, etc.) asociados.	2
El geosito presenta 3 o más intereses no geológicos (ecológico, religioso, arqueológico, folclórico, etc.) asociados.	4
11- Valoración Estética (0x; 5x; 30x; 0x)	
Alternativas	Puntaje
El evaluador considera que el geosito presenta una belleza estética sobresaliente.	1
El geosito es utilizado en la iconografía turística del área de estudio, siendo reconocido por su valor estético.	2
El geosito es utilizado habitualmente en la iconografía turística de Chile, como un ejemplo de la belleza del país.	4

12- Régimen de Acceso (0x; 5x; 15x; 5x)

Alternativas	Puntaje
El geosítio se localiza en un terreno factible de visitar, pero solo mediante autorización previa y pago de entrada.	1
El geosítio se localiza en un terreno factible de visitar, pero solo mediante autorización previa o pago de entrada.	2
El geosítio se localiza en un terreno de libre acceso.	4

13- Infraestructuras de Servicios (0x; 5x; 5x; 0x)

Alternativas	Puntaje
Existen al menos 1 lugar para pernoctar (camping, hotel, etc.) y para abastecimiento de comida (supermercado, cafetería, restaurante, etc.) con capacidad para 20 personas, entre 50-30 km del geosítio.	1
Existen al menos 1 lugar para pernoctar (camping, hotel, etc.), y para abastecimiento de comida (supermercado, cafetería, restaurante, etc.), con capacidad para 20 personas, entre 30-10 km del geosítio.	2
Existen 1 ó más lugares para pernoctar (camping, hotel, etc.) y de abastecimiento de comida (supermercado, cafetería, restaurante, etc.), con capacidad para 20 personas, a menos de 10 km del geosítio.	4

14- Seguridad (0x; 5x; 10x; 0x)

Alternativas	Puntaje
El geosítio presenta un grado elevado de potenciales peligros (movimiento de tierras, acantilados, cursos de agua de muy rápido flujo, etc.) para los visitantes. Es necesario implementar medidas de mitigación antes de permitir su uso turístico y/o educativo.	1
El geosítio presenta un grado moderado de potenciales peligros (terreno irregular, muy inclinado, resbaladizo, etc.) para los visitantes. Es necesario tener precaución cuando es usado con fines turísticos y/o educativos.	2
El geosítio presenta un peligro potencial para los visitantes muy escaso o nulo.	4

15- Entorno Recreativo (0x; 0x; 15x; 5x)

Alternativas	Puntaje
El geosítio se encuentra entre 30-10 km de un área donde se realiza habitualmente alguna una actividad recreativa asociada a la naturaleza (rafting, esquí, tomar baños termales, etc.).	1
El geosítio se encuentra a menos de 10 km de un área donde se realiza habitualmente alguna una actividad recreativa (rafting, esquí, tomar baños termales, etc.).	2
El geosítio es usado habitualmente para hacer alguna actividad recreativa (rafting, esquí, tomar baños termales, etc.).	4

16- Fragilidad frente al uso antrópico (0x; 0x; 0x; 15x)

Alternativas	Puntaje
El geosítio presenta rasgos vulnerables frente al uso antrópico, pero podrá ser utilizado con fines turísticos o educativos si se implementan medidas para mitigar los posibles impactos.	1
El geosítio presenta yacimientos paleontológicos o mineralógicos susceptibles de expolio, y/o rasgos determinantes para su interés geológico vulnerables frente al uso antrópico.	2

El geosítio es habitualmente usado por el hombre (actividades recreativas o comerciales) y presenta yacimientos paleontológicos o mineralógicos susceptibles de expolio, y/o rasgos determinantes para su interés geológico vulnerables frente al uso antrópico.	4
--	---

17- Fragilidad Intrínseca (0x; 0x; 0x; 15x)	
Alternativas	Puntaje
El geosítio presenta una vulnerabilidad baja frente a los procesos naturales no antrópicos (inundaciones, remociones en masa, erosión, etc.), no siendo necesario implementar medidas de mitigación.	1
El geosítio presenta una moderada vulnerabilidad frente a los procesos naturales no antrópicos (erosión, inundaciones, etc.), pero en una escala que no compromete su integridad a corto plazo. Las posibles transformaciones pueden ser mitigadas con medidas simples.	2
El geosítio presenta una vulnerabilidad frente a los procesos naturales no antrópicos (erosión, inundaciones, etc.), en una escala que compromete su integridad a corto plazo.	4

18- Régimen de Protección (0x; 0x; 0x; 20x)	
Alternativas	Puntaje
El geosítio se localiza en un área protegida por sus valores naturales, que cuenta con un control sistemático y eficiente de los visitantes.	1
El geosítio se localiza en un área protegida por sus valores naturales.	2
El geosítio se encuentra en un área sin ningún estatus de protección.	4

19- Interés para la Industria (0x; 0x; 0x; 15x)	
Alternativas	Puntaje
El geosítio posee elementos o sustancias de moderado o escaso interés económico, de los cuales ya hay explotaciones en el área de estudio.	1
El geosítio posee elementos o sustancias de gran interés económico, de las cuales ya hay explotaciones en el área de estudio.	2
El geosítio posee elementos o sustancias de gran interés económico, de los cuales no hay explotaciones en el área de estudio.	4

5.2 Resultados de la Cuantificación

A continuación se presentan una serie de tablas que resumen el resultado del proceso de cuantificación. La tabla 5.3 muestra los puntajes parciales de los 19 parámetros, para cada geosítio. La tabla 5.4 muestra los resultados finales de los tópicos de valor Científico, Didáctico, Turístico y de Vulnerabilidad, mientras que la tabla 5.5 muestra la necesidad de conservación frente a los principales potenciales usos de los geosítios en un geoparque (uso científico, didáctico y turístico).

Es importante mencionar que la información referente a la cuantificación se encuentra en forma detallada en la base de datos, la cual está disponible en el Anexo fuera del texto.

Tabla 5.3. Puntajes parciales de cuantificación para cada geosito.	INTERÉS PARA LA INDUSTRIA	RÉGIMEN DE PROTECCIÓN	FRAGILIDAD INTRÍNSECA	FRAGILIDAD FRENTE AL USO ANTROPICO	CONTEXTO RECREATIVO	SEGURIDAD	INFRAESTRUCTURA DE SERVICIOS	RÉGIMEN DE ACCESO	VALORACIÓN ESTÉTICA	DIVERSIDAD DE INTERESES	ACCESIBILIDAD	CONDICIONES DE OBSERVACIÓN	CONTENIDO DIDÁCTICO	DIVERSIDAD GEOLOGICA	INTEGRIDAD	LOCALIDAD TIPO	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	RAREZA	REPRESENTATIVIDAD
MIRADOR TERRAZAS DEL RÍO MAIPO	4	0	4	0	1	4	4	4	0	1	4	4	2	2	0	4	1	1	4
CANtera LA OBRA	2	4	0	0	2	2	4	2	0	1	4	4	4	1	0	2	2	4	1
FALLA CUATERNARIA LA CANtera	2	4	2	1	1	2	4	2	0	0	4	4	2	1	0	2	1	2	2
SUELO LOS ÁLAMOS	1	4	1	4	2	4	4	4	0	0	4	4	1	0	0	4	0	2	1
R.M. CERRO DIVISADERO	2	4	0	0	2	2	4	2	0	0	4	4	2	1	0	4	2	1	2
ESTRATOS SECTOR EL TOYO	1	4	0	0	4	4	4	2	0	0	4	4	1	0	0	4	4	1	1
ANTICLINAL DEL MAIPO	1	4	0	0	2	2	4	2	0	0	4	4	2	0	0	4	1	1	1
VUELTA DEL PADRE	2	4	0	0	1	4	4	1	0	1	4	4	2	0	0	4	2	1	2
PLUTÓN SAN GABRIEL	2	4	0	0	2	4	4	4	0	0	4	4	4	0	0	4	2	1	2
CERRO EL PLOMO	0	4	0	0	1	4	0	1	0	2	4	0	2	1	0	4	0	0	0
PLUTÓN LA GLORIA	4	4	0	0	4	4	0	1	2	1	4	4	4	0	0	4	1	4	4
R.M ESTERO PARRAGUIRRE	1	4	0	0	2	4	1	0	2	1	4	4	4	1	0	4	1	1	2
VOLCÁN TUPUNGATITO	2	4	0	0	1	4	0	1	2	0	4	4	1	2	0	4	2	2	2
IGNIMBRITA PUDAHUEL	1	4	1	1	2	4	4	4	0	0	4	4	1	1	0	4	2	2	2
GLACIAR ECHAURREN NORTE	2	4	0	0	0	4	0	0	0	0	4	0	2	1	0	4	1	1	2
EMBALSE EL YESO	1	4	0	0	2	4	2	4	2	2	4	4	4	1	0	4	1	1	2
TERMAS DEL PLOMO	2	4	1	4	4	4	2	2	2	2	4	4	4	1	0	4	2	2	2
CONTACTO PLUTÓN SAN GABRIEL - FORMACIÓN ABANICO	4	4	0	0	2	4	4	4	1	0	4	4	4	1	0	4	2	2	2
ANTICLINAL VOLCADO	4	4	0	0	2	4	4	4	1	1	4	4	4	1	0	4	2	2	2
PLUTÓN LOS LUNES	2	4	0	0	4	4	4	4	0	0	4	4	4	2	0	4	1	1	2
PUEBLO EL VOLCÁN	1	4	2	2	4	4	4	4	1	0	4	4	4	2	1	4	2	2	2
R.M LAS AMARILLAS	4	4	0	0	2	4	4	4	1	2	4	4	4	2	0	4	2	2	2
MONUMENTO NATURAL EL MORADO	2	4	0	0	4	4	4	4	1	2	4	4	4	4	0	4	1	1	2
FÓSILES LO VALDÉS	4	4	1	4	2	4	4	4	1	2	4	4	4	4	1	4	1	1	2
LOCALIDAD TIPO FM. LO VALDÉS	4	4	2	2	4	4	4	4	1	2	4	4	4	2	0	4	1	1	2
PUENTE COLINA	2	4	0	0	4	4	4	4	1	1	4	4	4	2	0	4	1	1	2
ICNITAS DEL VALLE LAS ARENAS	1	4	0	0	2	4	4	4	1	1	4	4	4	2	2	4	1	1	2
GLACIAR EL MORADO	2	4	0	0	2	4	1	1	2	4	2	2	4	0	0	4	1	1	2
DIAPIRO LA YESERA	4	4	1	4	1	4	4	4	0	0	2	4	1	2	0	4	1	1	2
TERMAS BAÑOS COLINA	4	4	1	4	4	4	4	2	2	2	2	4	4	1	1	4	1	1	2
LOCALIDAD TIPO FM. RÍO COLINA	4	4	1	4	2	4	1	1	0	0	2	2	4	2	0	4	1	1	2
GLACIAR NIEVES NEGRAS	4	4	0	0	2	4	1	1	1	2	2	2	4	0	0	4	1	1	2
VOLCÁN SAN JOSÉ	2	4	0	0	4	2	0	1	2	4	0	1	0	0	0	4	1	1	2
PUENTE EL CRISTO	2	4	0	0	2	4	4	1	1	4	4	2	2	0	0	4	1	1	2
CONTACTO CAMINO AL VOLCÁN	2	4	0	0	2	4	4	0	0	2	2	4	1	0	0	4	1	1	2
PUENTE DE TIERRA	2	4	1	4	0	1	1	4	2	1	2	0	4	0	1	4	1	1	2
LOCALIDAD TIPO FM. COLIMAPU	4	4	2	4	1	1	1	4	2	1	1	2	0	0	0	4	1	1	2
VOLCÁN MAIPO - CALDERA DIAMANTE	4	4	4	4	0	4	2	4	1	1	2	2	0	0	0	4	1	1	2

Geosítio	Valor Científico		Valor didáctico		Valor Turístico		Vulnerabilidad	
	P	R	P	R	P	R	P	R
MIRADOR TERRAZAS DEL RÍO MAIPO	235	13	290	5	220	21	145	24
CANTERA LA OBRA	205	18	245	13	175	30	190	7
FALLA CUATERNARIA LA CANTERA	165	31	170	35	135	36	200	4
SUELO LOS ÁLAMOS	140	35	195	29	230	15	165	10
R.M. CERRO DIVISADERO	190	25	220	19	180	29	140	26
ESTRATOS SECTOR EL TOYO	195	22	185	33	230	15	150	16
ANTICLINAL DEL MAIPO	135	36	185	33	190	25	150	16
VUELTA DEL PADRE	190	25	230	16	230	15	150	16
PLUTÓN SAN GABRIEL	185	27	200	27	240	14	80	35
CERRO EL PLOMO	65	38	155	37	140	35	120	30
PLUTÓN LA GLORIA	285	6	220	19	245	13	150	16
R.M. ESTERO PARRAGUIRRE	160	32	190	32	190	25	60	37
VOLCÁN TUPUNGATITO	255	9	130	38	100	38	30	38
IGNIMBRITA DE PUDAHUEL	185	27	205	25	230	15	195	5
GLACIAR ECHAURREN NORTE	230	14	160	36	120	37	120	30
EMBALSE EL YESO	160	32	195	29	290	3	160	12
TERMAS DEL PLOMO	215	16	240	14	280	6	225	3
CONTACTO PLUTÓN SAN GABRIEL - FORMACIÓN ABANICO	315	3	315	3	260	12	150	16
ANTICLINAL VOLCADO	310	4	275	10	265	9	150	16
PLUTÓN LOS LUNES	195	22	230	16	230	15	150	16
PUEBLO EL VOLCÁN	130	37	205	25	205	22	230	2
R.M. LAS AMARILLAS	340	2	350	1	275	8	180	8
MONUMENTO NATURAL EL MORADO	205	18	280	8	295	2	90	34
FÓSILES LO VALDÉS	260	8	320	2	285	5	245	1
LOCALIDAD TIPO FORMACIÓN LO VALDÉS	305	5	290	5	305	1	160	12
PUENTE COLINA	170	30	295	4	265	9	165	10
ICNITAS DEL VALLE LAS ARENAS	215	16	240	14	265	9	195	5
GLACIAR EL MORADO	145	34	200	27	280	6	145	24
DIAPIRO LA YESERA	230	14	285	7	170	34	155	15
TERMAS BAÑOS COLINA	255	9	280	8	290	3	180	8
LOCALIDAD TIPO FORMACIÓN RÍO COLINA	255	9	230	16	190	25	140	26
GLACIAR NIEVES NEGRAS	205	18	215	22	220	21	135	28
VOLCÁN SAN JOSÉ	270	7	195	29	175	30	70	36
PUENTE EL CRISTO	200	21	255	12	245	13	150	16
CONTACTO CAMINO AL VOLCÁN	175	29	220	19	175	30	135	28
PUENTE DE TIERRA	195	22	215	22	190	25	160	12
LOCALIDAD TIPO FORMACIÓN COLIMAPU	255	9	215	22	175	30	120	30
VOLCÁN MAIPO - CALDERA DIAMANTE	380	1	260	11	200	24	115	33

Tabla 5.4. Puntajes finales y ranking relativo de los valores Científico, Didáctico, Turístico y de Vulnerabilidad, para cada geosítio. En colores se resaltan los 4 primeros puntajes de cada tópico. P= Puntaje; R= Ranking relativo.

Geosítio	N.C.U. Científico		N.C.U. didáctico		N.C.U. Turístico	
	P	R	P	R	P	R
MIRADOR TERRAZAS DEL RÍO MAIPO	190	14	217,5	9	182,5	21
CANTERA LA OBRA	197,5	11	217,5	9	182,5	21
FALLA CUATERNARIA LA CANTERA	182,5	17	185	20	167,5	26
SUELO LOS ÁLAMOS	152,5	31	180	20	197,5	14
R.M. CERRO DIVISADERO	165	28	180	20	160	29
ESTRATOS SECTOR EL TOYO	172,5	22	167,5	30	190	18
ANTICLINAL DEL MAIPO	142,5	34	167,5	30	170	25
VUELTA DEL PADRE	170	24	190	16	190	18
PLUTÓN SAN GABRIEL	132,5	36	140	33	160	29
CERRO EL PLOMO	92,5	38	137,5	35	130	34
PLUTÓN LA GLORIA	217,5	8	185	20	197,5	14
R.M. ESTERO PARRAGUIRRE	110	37	125	37	125	35
VOLCÁN TUPUNGATITO	142,5	34	80	38	65	38
IGNIMBRITA DE PUDAHUEL	190	14	200	15	212,5	10
GLACIAR ECHAURREN NORTE	175	20	140	33	120	37
EMBALSE EL YESO	160	29	177,5	26	225	7
TERMAS DEL PLOMO	220	7	232,5	3	252,5	2
CONTACTO PLUTÓN SAN GABRIEL - FORMACIÓN ABANICO	232,5	4	232,5	3	205	13
ANTICLINAL VOLCADO	230	6	212,5	13	207,5	12
PLUTÓN LOS LUNES	172,5	23	190	16	190	18
PUEBLO EL VOLCÁN	180	18	217,5	9	217,5	8
R.M. LAS AMARILLAS	260	1	265	2	227,5	6
MONUMENTO NATURAL EL MORADO	147,5	32	185	20	192,5	17
FÓSILES LO VALDÉS	252,5	2	282,5	1	265	1
LOCALIDAD TIPO FORMACIÓN LO VALDÉS	232,5	4	225	7	232,5	4
PUENTE COLINA	167,5	27	230	5	215	9
ICNITAS DEL VALLE LAS ARENAS	205	10	217,5	9	230	5
GLACIAR EL MORADO	145	33	172,5	29	212,5	10
DIAPIRO LA YESERA	192,5	13	220	8	162,5	28
TERMAS BAÑOS COLINA	217,5	8	230	5	235	3
LOCALIDAD TIPO FORMACIÓN RÍO COLINA	197,5	11	185	20	165	27
GLACIAR NIEVES NEGRAS	170	24	175	28	177,5	23
VOLCÁN SAN JOSÉ	170	24	132,5	36	122,5	36
PUENTE EL CRISTO	175	20	202,5	14	197,5	14
CONTACTO CAMINO AL VOLCÁN	155	30	177,5	26	155	32
PUENTE DE TIERRA	177,5	19	187,5	18	175	24
LOCALIDAD TIPO FORMACIÓN COLIMAPU	187,5	16	167,5	30	147,5	33
VOLCÁN MAIPO - CALDERA DIAMANTE	247,5	3	187,5	18	157,5	31

Tabla 5.5. Puntajes y ranking relativo de la necesidad de conservación frente a un potencial uso Científico, Didáctico y Turístico de cada geosítio. * N.C.U.= Necesidad de Conservación frente al Uso; P= Puntaje; R= Ranking relativo. En colores se resaltan los 3 primeros puntajes-ranking.

Capítulo 6.

Discusiones

Capítulo 6. Discusiones

6.1 Resultados

En la Comuna de San José de Maipo se definieron XI áreas temáticas de interés geológico, las cuales sintetizan los elementos y procesos de la geodiversidad de mayor relevancia presentes en su territorio. Distribuidos entre estas áreas temáticas, se identificaron 38 geositos de valor científico (figura 6.1), los cuales, según el objetivo y metodología empleada en este trabajo, son el patrimonio geológico de mayor valor científico en la Comuna. Los 38 geositos fueron detalladamente caracterizados en sus aspectos geológicos y patrimoniales.

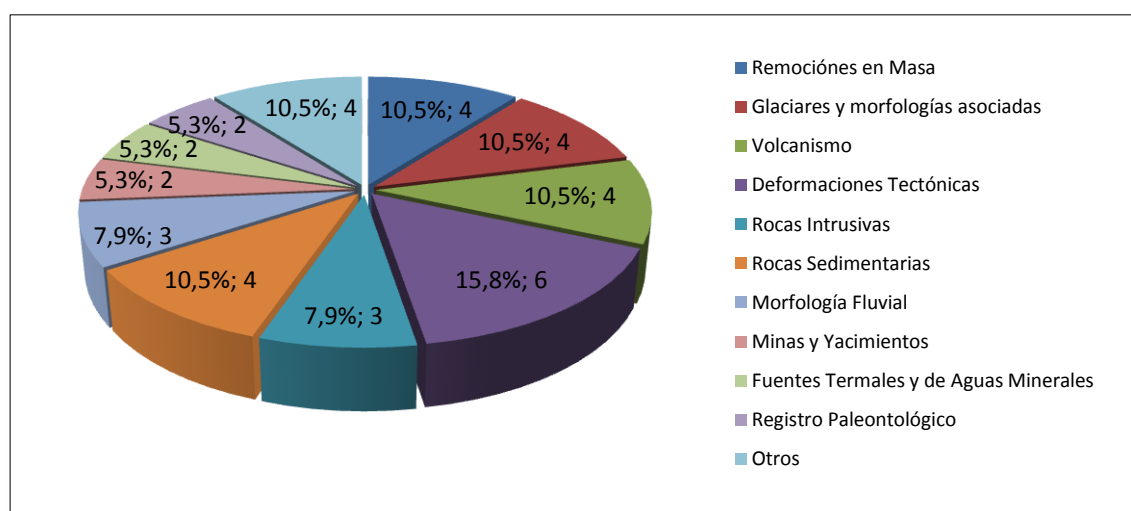


Figura 6.1. Distribución de los geositos seleccionados por área temática.

En orden de establecer planes de manejo en un eventual geoparque reconocido por la Unesco, los 38 geositos seleccionados fueron evaluados cuantitativamente por sus valores científico, didáctico, turístico y vulnerabilidad. Un resumen de los 4 mayores puntajes, para cada uno de los tópicos antes mencionados, se muestra en la tabla 6.1.

R	Valor Científico	Valor Didáctico	Valor Turístico	Vulnerabilidad
1º	Volcán Maipo – Caldera Diamante	Remoción en masa Las Amarillas	Localidad Tipo Fm. Lo Valdés	Fósiles Lo Valdés
2º	Remoción en masa Las Amarillas	Fósiles Lo Valdés	Monumento Natural El Morado	Pueblo El Volcán
3º	Contacto Plutón San Gabriel – Fm. Abanico	Contacto Plutón San Gabriel – Fm. Abanico	Termas Baños Colina	Termas del Plomo
4º	Anticlinal Volcado	Puente Colina	Embalse del Yeso	Falla cuaternaria La Cantera

Tabla 6.1. Resumen de los 4 geositos con mayor puntaje, para los valores científico, didáctico y turístico, y de vulnerabilidad. R: Ranking relativo.

A modo ilustrativo, asociado a los valores cuantificados se realizó un ranking de necesidad de conservación de los geositos frente a un potencial uso científico, didáctico y turístico. Un resumen de los 3 mayores puntajes, para cada uno de los tópicos antes mencionados, se muestra en la tabla 6.2.

Conjuntamente con el inventario y cuantificación de los geositos, un producto importante de este trabajo es la creación de una base de datos usando el software FileMaker 12 Pro Advance®. En esta base de datos se encuentra una descripción detallada de los aspectos geológicos y patrimoniales de los 38 geositos seleccionados, es posible revisar y modificar el proceso de cuantificación, y se tiene acceso a fotos, ubicación en imágenes satelitales y distintos tipos de mapas relacionados a los geositos seleccionados. Además, el software permite exportar la información en un formato utilizable por los sistemas de información geográfica, por tanto, la base de datos creada puede servir tanto para el apoyo en la gestión del eventual futuro geoparque, como para futuros planes de manejo territorial en la Comuna.

R	N.C.U Científico	N.C.U Didáctico	N.C.U Turístico
1º	Remoción en masa Las Amarillas	Fósiles Lo Valdés	Fósiles Lo Valdés
2º	Fósiles Lo Valdés	Remoción en masa Las Amarillas	Termas del Plomo
3º	Volcán Maipo - Caldera Diamante	Termas del Plomo / Contacto Plutón San Gabriel - Formación Abanico	Termas Baños Colina

Tabla 6.2. Resumen de los 3 geositos con mayor puntaje de necesidad de conservación frente a un potencial uso Científico, Didáctico y Turístico de cada geosito. N.C.U.= Necesidad de Conservación frente al Uso; R= Ranking relativo.

6.2 Análisis

6.2.1 Análisis del Inventario

El hecho de haber escogido geositos asociados a áreas temáticas, permite que todos los elementos o procesos relevantes de la geodiversidad del área de estudio estén incorporados en el Inventario del patrimonio geológico. Además, como muestra la figura 6.1, los 38 geositos seleccionados se reparten de manera relativamente homogénea entre las distintas áreas temáticas, lo cual asegura que la geodiversidad presente en la Comuna está homogéneamente representada.

Geográficamente, los geositos se distribuyen por toda el área de estudio, en su gran mayoría en las cercanías de los principales ríos, que, a su vez, son remontados por las pocas rutas transitables en vehículo en la Comuna. En particular, se observa una gran concentración de geositos en el valle del río Volcán (figura 4.2), lo cual podría explicarse porque en una longitud relativamente pequeña, el valle está constituido por las formaciones Abanico, Colimapu y la fosilífera Lo Valdés, hay gran presencia de fallas, pliegues (figura 3.4), cuerpos intrusivos, y porque es una zona de transición, con presencia glacial, pero aún fácilmente accesible.

Entre los 38 geositos, en estricto rigor solo 34 fueron escogidos por su valor científico. Entre los restantes 4, los LIGs Cerro El Plomo y Pueblo El Volcán son de importancia geocultural, el Suelo Los Álamos fue seleccionado para que el interés pedológico también estuviese representado en el Inventario, mientras que el Contacto Camino El Volcán es un lugar que no cuenta con estudios previos, fue descubierto en el contexto de este trabajo, y fue seleccionado porque se reconoce la importancia relativa de los contactos litológicos. Tanto el geosito Suelo Los Álamos, como el Contacto Camino El Volcán, necesitan ser mejor estudiados y caracterizados respecto a su geología.

A excepción de las termas El Plomo y Baños Colina, las cuales cuentan con camarines y baños (aunque en bastante mal estado), los geositios seleccionados no cuentan con ningún tipo de medidas de valorización. A modo general, un problema común para que varios de los geositios inventariados puedan ser ofrecidos para el estudio y disfrute por parte de la sociedad, es el difícil acceso producto del mal estado de los caminos, el poco mantenimiento de los mismo y, en particular, por las restricciones de acceso a varias zonas de la Comuna. Un ejemplo paradigmático de esta situación es el geositorio complejo eruptivo volcán Maipo — caldera Diamante, el cual cuenta con un camino hasta las faldas del volcán, pero su acceso está prácticamente vedado por las restricciones impuestas por la empresa Gasco S.A., dueña del terreno donde se encuentra el volcán y administradora del camino de acceso. Es importante destacar que esta situación es diametralmente opuesta en Argentina, donde el complejo volcánico cuenta con un camino de libre acceso, pertenece al área protegida Reserva Natural Laguna del Diamante, y forma parte de los Sitios de Interés Geológicos de dicho país (SEGEMAR, 2008).

A excepción del geositorio Monumento Natural El Morado, el cual es un área protegida, y los geositios Fósiles Lo Valdés e Icnitas del valle Las Arenas, que están protegidos por la Ley 17.288 (2010) por ser registros paleontológicos, los sitios inventariados no cuentan con ningún tipo de medida de protección, ya sea esta legal o concreta *in situ*. Esta situación puede considerarse como preocupante, ya que debido a la constante actividad sísmica y procesos de remoción en masa en la Comuna, muchos lugares de interés geológico han desaparecido o han perdido sus características relevantes (por ejemplo las Termas Salinillas y las Aguas Minerales Millahue). En este sentido, frente a una futura intención de proteger los geositios seleccionados, se sugiere priorizar aquellos con rasgos métricos a decamétricos de interés, como son los sitios paleontológicos antes nombrados o los geositios Puente Colina y Falla cuaternaria La Cantera.

En el contexto de este trabajo, se definió como área del geositorio Fósiles Lo Valdés la quebrada situada unos metros hacia el oeste de la Localidad Tipo Lo Valdés, ambos lugares localizados en la zona homónima. Sin embargo, es posible encontrar fósiles de esta formación en muchos lugares donde ella aflora, por tanto es necesario investigar mejor cuál es el lugar más indicado para definir el geositorio. En particular, si existe un consenso entre los especialistas que la zona escogida es la más adecuada, se sugiere evaluar la posibilidad de juntar en un solo geositorio la Localidad Tipo Lo Valdés y la localidad fosilífera. Juntos, muy probablemente serían el sitio geológico de mayor importancia científica, educativa y turística de la Comuna, además de un gran candidato a geositorio de interés nacional.

6.2.2 Análisis de la Cuantificación

A modo general, a juicio del autor de este trabajo, los resultados del proceso de cuantificación de valores parecen muy verosímiles, particularmente para los tópicos de valor científico y vulnerabilidad.

Los tópicos de valor didáctico y turístico pueden, aparentemente, presentar geositios en posiciones no esperadas, sin embargo, el ranking en estos tópicos debe entenderse bajo el contexto de los distintos parámetros que influyen en la puntuación de un geositorio, como son la accesibilidad, seguridad, cercanía a zonas de interés ecoturísticos y de servicios entre otros factores. Un buen ejemplo de esto punto es el primer lugar, en el ranking de valor turístico, de la Localidad Tipo Formación Lo Valdés. Su posición podría ser sorprendente, sin embargo se explica porque la Localidad Tipo Formación Lo Valdés se encuentra en una zona de libre acceso, segura, cercana a lugares de interés ecoturísticos y de servicios, se practica escalada en

roca en sus laderas y forma parte del sector de Lo Valdés, el cual por sus estratos verticales de diferentes colores es un icono de belleza en la Comuna.

Tópico	400≥P>300	300≥P>200	200≥P>100	100≥P
Valor Científico	5	15	17	1
Valor Didáctico	3	23	12	0
Valor Turístico	1	22	14	1
Vulnerabilidad	0	3	30	5

Tabla 6.3. Distribución de los puntajes en cada uno de los 4 tópicos cuantificados. P= Puntaje.

En la tabla 6.3 se observa que más del 50% de los geositos, para los 3 tópicos cuantificados, presentan puntajes altos (mayores a 200), situación que nos habla de un patrimonio geológico de calidad respecto a sus valores científico, didáctico y turístico. Además, la distribución de puntajes se concentra en su gran mayoría en calificaciones medias (entre los 300 y 200 puntos), con algunos geositos que presentan puntajes superiores a 300 y solo dos geositos con menos de 100, lo cual es una distribución favorable para establecer planes de conservación. En particular, se observa que el tópico de valor científico presenta la mayor cantidad de puntajes elevados (mayores de 300) y también los puntajes más altos, lo cual es un escenario razonable, ya que el Inventario procuró geositos de valor científico sobresaliente.

Respecto a la vulnerabilidad, se observa que 35 de los 38 geositos (~92%) muestran una vulnerabilidad media a baja, mientras que ninguno de ellos presenta una vulnerabilidad alta (tabla 6.3). El primero de estos hechos, puede explicarse porque la gran mayoría de los geositos ostentan una gran dimensión y no cuentan con rasgos que puedan ser afectados a gran escala por la acción antrópica, por tanto, a juicio del autor, es una distribución razonablemente verosímil. El segundo de estos hechos, la ausencia de puntajes altos de vulnerabilidad, muy probablemente se debe a que los geositos con presencia de registro fósil están protegidos por Ley. Sin embargo, como se discute en el Capítulo 4, ya sea por desconocimiento o por intereses personales, muchos de los yacimientos fósiles en la Comuna han sido saqueados, y por tanto la legislación vigente no ha sido un elemento de protección real. Consecuentemente, y tomando en cuenta estos antecedentes, se sugiere que en futuros trabajos algunos de los parámetros referentes a la cuantificación de la vulnerabilidad debiesen ser corregidos.

Respecto a la cuantificación de la necesidad de conservación, el autor considera que los resultados obtenidos son notablemente verosímiles, especialmente frente al uso Turístico, y por tanto es un herramienta sumamente válida para direccionar los esfuerzos referentes a proteger los geositos. En los casos de necesidad de conservación frente a los usos científico y didáctico, cabe cuestionar el alto ranking del geosito Remoción en masa Las Amarillas, pero este se debe entender como consecuencia de los altos puntajes en los valores científico y didáctico, y porque entre sus rocas se registra presencia fósil (Bustamante, 2001).

6.2.3 Análisis del patrimonio geológico

Uno de los objetivos específicos del presente trabajo, es estimar si el patrimonio geológico de la Comuna cumple con los estándares para ser la base geológica de un eventual geoparque reconocido por la Unesco. Evaluar esta condición a cabalidad es complejo, pero, en forma general, podemos afirmar que una de las condiciones mínimas que debe tener un territorio que aspira a ser geoparque, es poseer un patrimonio geológico de relevancia internacional (Zouros, 2009).

Cómo determinar cuando el patrimonio de un área es de relevancia internacional puede ser subjetivo, aunque, obviamente, la relevancia internacional está supeditada por la importancia nacional. Probablemente, por ser la iniciativa de detección de geositos de importancia nacional un programa incipiente en Chile, actualmente la Comuna de San José de Maipo no cuenta con representantes en el Inventario de interés nacional, sin embargo, a juicio del autor de este trabajo, existen varios lugares que presentan meritos para ser considerados. En particular, los 4 sitios que obtuvieron mayor puntaje en la cuantificación de valor científico, serán presentados a la Sociedad Geológica de Chile con el fin de obtener el reconocimiento de geosito de relevancia nacional, e intentar desenvolver medidas referentes a su conservación.

Otra forma de evaluar la relevancia internacional del patrimonio geológico de un territorio, puede ser estimando cuán diferente es, o qué elementos distintos aporta, en relación a otras áreas. En este contexto, el patrimonio geológico de la Comuna es muy relevante, toda vez que no existe ningún geoparque de la Red Global de Geoparques en la Cordillera de Los Andes y, muy probablemente, tampoco con fallas con sismicidad activa como presenta la Comuna (Charrier, 2005; Giambiagi *et al.*, 2010). En particular, al comparar la geología del Proyecto Kütralkura, el cual busca crear el primer geoparque reconocido por la Unesco en Chile en torno al Volcán Llaima y el Parque Nacional Conguillío (Schilling *et al.*, 2012), con la geología de la Comuna, también vemos grandes diferencias. Mientras el patrimonio del proyecto Kütralkura es mayoritariamente de interés volcanológico, en la Comuna de San José de Maipo encontramos geositos de intereses diversos, como son los glaciológicos, tectónicos, geomorfológicos y estratigráficos, solo por nombrar algunos.

Además, la Red Global de Geoparques valora que los territorios candidatos a geoparques cuenten con una lista amplia de geositos, otorgando el puntaje máximo cuando esta es igual a 40 o más locales (EGN, 2012). En el presente trabajo se inventariaron 38 geositos, pero estos fueron seleccionados solamente por su valor científico, por tanto la lista puede fácilmente incrementarse con LIGs de otros valores.



Figura 6.2. Ejemplos de posibles LIGs de valor no estrictamente científico. La fotografía de la izquierda muestra la cascada de Las Ánimas, un popular destino turístico en la Comuna. La imagen de la derecha muestra un afloramiento en el valle del río Maipo con secuencias de origen lacustre, fluvial y coluvial bien diferenciadas, que presenta gran potencial educativo. La imagen de la izquierda fue tomada de Santiago Andino (2010).

Este escenario podría parecer auspicioso, sin embargo, para que el patrimonio geológico de un territorio cumpla con las condiciones para ser la base de un geoparque de la Red Mundial de Geoparques, es igual o más importante que la calidad y cantidad de geositos inventariados, que éstos cuenten con medidas de valorización (paneles, senderos, etc.), medidas de protección frente al vandalismo y riesgos naturales, y planes de conservación (EGN, 2012). Ninguno de los geositos seleccionados cuenta con las medidas antes mencionadas, por tanto, es posible concluir que existe un patrimonio geológico de calidad y con gran potencial, sin embargo, actualmente, éste no cumple con las condiciones mínimas para establecer un geoparque reconocido por la Unesco en la Comuna de San José de Maipo.

Capítulo 7.

Bibliografía

Capítulo 7. Bibliografía

7.1 Referencias

- Abele, G. 1984. Derrumbes de montaña y morrenas en los Andes chilenos. *Revista de Geografía Norte Grande*. 11: 17-30.
- Aguirre, L. 1960. Geología de los Andes de Chile Central, provincia de Aconcagua. Instituto de Investigaciones Geológicas, Santiago, Chile, Boletín Nº 9. 70 p.
- Aguirre, R. 1999. Depositación y deformación de la secuencia volcánica terciaria en el sector cordillerano de Pata del Diablo, Cajón del Maipo. Memoria para optar al Título de Geólogo, Departamento de Geología, Universidad de Chile. Santiago. 60 p.
- Aguirre-Urreta, M. & Charrier, R. 1990. Estratigrafía y amonites del Titoniano-Berriasiano en las nacientes del río Maipo, Cordillera Principal de Chile Central. *Ameghiniana*, Vol. 27, No. 3-4. Pp 263-271.
- Arcadis. 2008. Capítulo 5: Línea Base del Proyecto Hidroeléctrico Alto Maipo (PHAM). 513 p.
- Baeza, O. 1999. Análisis de litofacies, evolución depositacional y análisis estructural de la Formación Abanico en el área comprendida entre los ríos Yeso y Volcán, Región Metropolitana. Memoria para optar al Título de Geólogo. Departamento de Geología, Universidad de Chile. Santiago. 119 p.
- Beccar, I.; Vergara, M. & Munizaga, F. 1986. Edades K-Ar de la Formación Farellones, en el Cordón del Cerro La Parva, Cordillera de los Andes de Santiago, Chile. *Revista Geológica de Chile*, Nº 28-29, p 109-113.
- Biró-Bagóczy, L. 1964. Estudio sobre el límite entre el Titoniano y el Neocomiano en la Formación Lo Valdés, Provincia de Santiago, principalmente en base a ammonoideos. Memoria de Título de Geólogo. Departamento de Geología, Universidad de Chile. 118 p.
- Biró-Bagóczy, L. 1980. Estudio sobre el límite entre el Titoniano y el Neocomiano en la Formación Lo Valdés, Provincia de Santiago (33°50' lat. Sur), Chile, principalmente sobre la base de ammonoideos. Congreso Argentino de Paleontología y Bioestratigrafía No. 2 y Congreso Latinoamericano de Paleontología No. 1, Actas, Vol. 5, Buenos Aires, pp 137 – 152.
- Brilha, 2005. "Património Geológico e Geoconservação: A conservação da Natureza na sua Vertiente Geológica". Palimage Editores. Braga, Portugal. 190 p.
- Bruggen, J. 1950. Fundamentos de la Geología de Chile. Instituto Geográfico Militar, Vol. 1. Santiago. 374 p.
- Bustamante, M. 2001. Análisis del contacto Meso- cenozoico en el valle del Río Volcán, Cordillera de Los Andes de la Región Metropolitana. Memoria para optar al Título de Geólogo. Departamento de Geología, Universidad de Chile. Santiago. 47 p.
- Bustamante, M.; Silva, C.; Vivallos J.; Cortés, R.; Pincheira, W.; Ortiz, M.; Cáceres D. & Wall, R. 2010. Exploración geológica para el fomento de la energía geotérmica: Área Termas del Plomo. Región Metropolitana de Santiago. SERNAGEOMIN. Santiago [Inédito].
- Carrasco, R.; López, M. & Gajardo, A. 2004. Yacimientos de Rocas Minerales Industriales de la Región Metropolitana de Santiago. Servicio Nacional de Geología y Minería, carta Geológica de Chile. Serie Recursos Minerales y Energéticos, No. 13, 15 p., 1 mapa escala 1:500.000.

- Casassa, G.; Rivera, A; Schwikowski, M. 2007. Glacier Mass-Balance Data For Southern South America (30°S-56°S), in Glacier Science and Environmental Change (ed P. G. Knight), Blackwell Publishing, Malden, MA, USA. doi: 10.1002/9780470750636.ch47
- Casertano, L. 1963. General characteristics of active Andean volcanoes and a summary of their activities during recent centuries. Bulletin of the Seismological Society of America, Vol. 53, Nº6, pp. 1415-1433.
- Centro de Estudios Científicos. 2012. Estimación de Volúmenes de hielo mediante Radio Eco Sondaje en Chile central: Informe Final. Ministerio de Obras Públicas, Dirección General de Aguas, Unidad de Glaciología y Nieves. Santiago. 173 p.
- Charrier, R. & Munizaga, F. 1979. Edades K-Ar de volcánicas Cenozoicas del sector Cordillerano del Río Cachapoal (34° 15' Lat. Sur). Instituto de Investigaciones Geológicas, Revista Geológica de Chile, Nº 7, páginas 41-51.
- Charrier, R. & Muñoz, N. 1994. Jurassic-Cretaceous paleogeographic evolution of the Chilean Andes at 23°-24°S Latitude and 34°-35°S Latitude: a comparative analysis. En: Tectonics of the Southern Central Andes, Springer-Verlag, páginas 233-242.
- Charrier, R. 2005. Excursión a terreno al Cajón del Maipo: "Evolución cenozoica en la Cordillera Principal de Chile central". II Encuentro de estudiantes de Geología. Departamento de Geología, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, Universidad de Chile. 19 p.
- Charrier, R. 2013. Observaciones del bloque con icnitas de dinosaurio, valle las Arenas. Comunicación personal.
- Charrier, R.; Baeza, O.; Elgueta, S.; Flynn, J.J.; Gana, P.; Kay, S.M.; Muñoz, N.; Wyss, A.R. & Zurita, E. 2002. Evidence for Cenozoic extensional basin development and tectonic inversion south of the flat-slab segment, southern Central Andes, Chile (33°-36°S.L.). *Journal of South American Earth Sciences* (15): 117-139.
- Charrier, R.; Bustamante, M.; Comte, D.; Elgueta, S.; Flynn, J.; Iturra, N.; Muñoz, N.; Pardo, M.; Thiele, R. & Wyss, A. R. 2005. The Abanico extensional basin: Regional extension, chronology of tectonic inversion and relation to shallow seismic activity and Andean uplift. *N. Jb. Geol. Palaont., Abh.*, 236: 43-77; Stuttgart.
- Charrier, R.; Wyss, J.; Flynn, C.; Swisher III., Norell, F.; Zapatta; McKenna & Novacek. 1996. New evidence for Late Mesozoic-Early Cenozoic evolution of the Chilean Andes in the Upper Tinguiririca Valley (35°s), central Chile, *Journal of South American Earth Science*, 9(5-6), p. 393-422.
- CMN. 2004. Lista Tentativa de Bienes Culturales de Chile a ser postulados como Sitios del Patrimonio Mundial UNESCO. Consejos de Monumentos Naturales, Ministerio de Educación, Gobierno de Chile. Santiago. 109 p. Disponible en www.monumentos.cl
- CONAF. 1997. Documento de trabajo nº 256: Plan de Manejo Monumento Natural El Morado. Ministerio de Agricultura, Corporación Nacional Forestal, República de Chile. 95 p.
- Cornejo, L. 2008. El sitio Inca Puente de Tierra (Alto Río Maipo, Chile) y la frontera Sur del Tawantinsuyu. *Revista Clava* nº7. p 73-84.
- Cornejo, P. & Mahood, A. 1997. Seeing past the effects of re-equilibration to reconstruct magmatic gradients in plutons: La Gloria Pluton, central Chilean Andes. *Contributions to Mineralogy and Petrology* 127: 159-175.
- Corvalán, J. 1957. Ueber marine Sedimente des Tithon und Neocom der Gegend von Santiago. *Geol. Rundschau*, Vol. 45, No. 3. Pp 919-926.
- Darwin, C. 1845. "Journal of researches into the natural history and geology of the countries visited during the voyage of H.M.S Beagle round the world". The Complete Work of Charles Darwin Online. Ed. 2002. Página 316. Jhon Van Wyhe. Disponible en <http://darwin-online.org.uk/>

- Darwin, C. 1846. Geological observations on South America. Smith Elder and Company. Londres. 279 p.
- Deckart, K.; Godoy, E.; Bertens., A.; Jeréz, D. & Saeed, A. 2010. Barren Miocene Granitoids in the Central Andean Metallogenic Belt, Chile: Geochemistry and Nd-Hf and U-Pb Isotope Systematic. *Andean Geology*, 37(1), 1-31.
- Díaz, F. 1969. Sedimentos en la cuenca superior del Río Maipo. Memoria para optar al Título de Ingeniero Civil. Universidad Católica de Chile. 258 p.
- Dirección General de Aguas, Ministerio de Obras Públicas, Gobierno de Chile. 2004. Diagnostico y Clasificación de los Cursos y Cuerpos de Agua según objetivos de calidad: Cuenca del Río Maipo. Santiago. 195 p.
- EGN. 2012. EGN Evaluation Document A-2012. European Geopark Network. Disponible en http://www.europeangeoparks.org/?page_id=1494.
- EMG Ambiental S.A. Sin año. Proyecto “Líneas de transmisión eléctrica S/E Maitenes – S/E Alfalfal y central Alfalfal II- S/E Alfalfal”: Informe 9, Usos y Calidad de Suelo. 13 p.
- Escobar, F. & Cox O’ttinger, C. 2010. Balance de masa en el glaciar Echaurren Norte temporadas 1997-1998 a 2008-2009. Ministerio de Obras Públicas, Dirección General de Aguas, Unidad de Glaciología y Nieves. Santiago. 32 p.
- Escobar, F.; Pozo, V., Salazar, A; Oyarzo, M., 1995. Balance de masa en el glaciar Echaurren Norte, 1975 a 1992. Resultados preliminares. Dirección General de Aguas. (Publicación DGA, H.A. y G. 95/1), 106 p.
- Escribano, J. 2008. Superficies de bajo relieve en la Cordillera de Chile Central entre los 32°30’s y los 33°30’s, y su relación con el alzamiento andino. Memoria de Titulo. Departamento de Geología, Universidad de Chile, Santiago. 89 p.
- Espinosa, H.; Cabeza, Á. & Gutiérrez, A. 2011. El Patrimonio del Cajón del Maipo: Huellas de la Naturaleza, Historia e Identidad. 195 p.
- Eyquem, M. 2009. Volcanismo Cuaternario de Sierras de Bellavista: comparación geoquímica con el magmatismo contemporáneo del arco comprendido entre los 34°30' y los 35°30's. Memoria de título. Departamento de Geología, Universidad de Chile, Santiago. 107 p.
- Farías, M. 2007. Tectónica de la erosión en la evolución del relieve de los Andes de Chile Central durante el Neógeno. Tesis de Ph.D., Departamento de Geología, Universidad de Chile. Santiago. 194 p.
- Farías, M.; Charrier, R.; Carretier, S.; Martinod, J.; Fock, A.; Campbell, D.; Cáceres, J. & Comte, D. 2008. Late Miocene high and rapid surface uplift and its erosional response in the Andes of central Chile (33°-35°S). *Tectonics* (27): TC1005.
- Farías, M.; Comte, D.; Charrier, R.; Martinod, J.; Tassaara, A. & Fock, A. 2010. Crustalscale structural architecture of the central Chile Andes based on 3D seismic tomography, seismicity, and surface geology: implications for mountain building in subduction zones. *Tectonics* (29): TC3006.
- Fernández, J. 2007. Identificación y evaluación de Geositios en el Parque Nacional Torres del Paine. Memoria para optar al Título de Geólogo (inédito), Universidad de Chile, Departamento de Geología. 72 p.
- Flynn, J.; Wyss, A.; Croft, D. & Charrier, R. 2003. The Tinguiririca Fauna, Chile: Biochronology, biogeography, paleoecology, and a new South American Land Mammal Age. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, Vol. 195. pp 229-259.
- Fock, A. 2005. Cronología y tectónica de la exhumación en el Neógeno de los Andes de Chile Central entre los 33° y los 34°S. Memoria de Magíster en Ciencias, Mención Geología. Departamento de Geología, Universidad de Chile. Santiago. 179 p.
- Fock, A.; Charrier, R.; Farías, M. & Muñoz, M. 2006. Fallas de vergencia oeste en la Cordillera Principal de Chile central: inversión de la cuenca de Abanico (33°-34°S).

Revista de la Asociación Geológica Argentina, Serie D, publicación especial No. 10: 48-55.

- Fredericksen, N.; Perez, J. & Contreras, X. 2011. Manual de buenas prácticas para uso sustentable de ecosistemas de montaña. Plan de acción Santiago Andino. Chile. 210 p.
- Fuentes, F. 2004. Petrología y metamorfismo de muy bajo grado de unidades volcánicas oligo-miocenas en la ladera occidental de los Andes de Chile Central (33°S). Tesis de Ph.D. Departamento de Geología. Universidad de Chile. Santiago. 398 p.
- García-Cortés, A. & Carcavilla, L. 2009. Documento metodológico para la elaboración del Inventario español de lugares de interés geológico (IELIG). Madrid: Instituto Geológico y Minero de España. 61 p.
- Geoestudios Ltda. 2011. Catastro, Exploración y Estudio de Glaciares en Chile Central. Dirección General de Aguas, Ministerio de Obras Públicas, Gobierno de Chile. Santiago. 178 p.
- Giambiagi, L.; Álvarez, P.; Godoy, E. & Ramos, V. 2003^a. The Control of pre-existing extensional structures on the evolution of the southern sector of the Aconcagua Fold and thrust belt, southern Andes. *Tectonophysics*, Vol. 369. p. 1-19.
- Giambiagi, L.; Charrier, R & Arriagada, C. 2010. Andean transect between 32° and 34°S: From the Andean foreland in Argentina to the Pacific coast in Chile. In: del Papa, C & Astini, R (Eds.), *Field Excursion Guidebook*, 18th International Sedimentological Congress, Mendoza, Argentina, FE-C10. pp. 1-48.
- Giambiagi, L.; Ramos, V.; Godoy, E.; Álvares, P. & Orts, S. 2003. Cenozoic deformation and tectonic style of the Andes, between 33° and 34°S. *Tectonics* (22): 1041-1059. doi: 10.1029/2001TC001354.
- Giambiagi, L.; Tunik, M. & Ghiglione, M. 2001. Cenozoic tectonic evolution of the Alto Tunuyán foreland basin above the transition zone between the flat and normal subduction segment (33° 30' S -34° S), western Argentina. *Journal of South American Earth Sciences*, Vol. 14, p. 707-724.
- Giambiagi, L.B. & Ramos, V. 2002. Structural evolution of the Andes between 33°30' and 33°45'S, above the transition zone between the flat and normal subduction segment, Argentina and Chile. *Journal of South American Earth Sciences* (15): 99-114.
- Godoy, E. & Lara, L. 1994. Segmentación estructural andina a los 33°-34°: nuevos datos en la Cordillera Principal. *Actas VII Congreso Geológico Chileno*, Concepción, Vol. 2. pp 1344-1348.
- Godoy, E. & Lara, L. 1994a. El Teniente 2da Fase. Codelco-Chile, unpublished report. 40 p.
- Godoy, E. & Palma, W. 1990. Facies sedimentarias rojas en el margen occidental de la cuenca neuquina, Andes Centrales, Chile. *Actas XI Congreso Geológico Argentino*, Vol. II. pp 169-172.
- Godoy, E. 1991. El Corrimiento El Fierro reemplaza a la discordancia intrasenoniana en el río Cachapoal, Chile Central. *Actas VI Congreso Geológico Chileno*, p. 635-639.
- Godoy, E.; Castelli, J.C.; López, M.C. & Rivera, O. 1988. Y Klohn tenía razón: La Formación Colimapu recupera sus miembros basales. *Actas V Congreso Geológico Chileno*, Tomo III, pp H101-H120.
- Godoy, E.; Yáñez, G.; Vera, E. 1999. Inversion of an Oligocene volcano-tectonic basin and uplifting of its superimposed Miocene magmatic arc in the Central Chilean Andes: first seismic and gravity evidences. *Tectonophysics*, Vol. 306, Nº 2, pp 217-236.
- González, O. 1963. Observaciones geológicas en el valle del río Volcán. *Revista Minerales*, Nº. 80. Santiago. Páginas 20-61.
- González-Ferrán, O. 1995. Volcanes de Chile. Instituto Geográfico Militar. Santiago. 624 p.

- Gudnason, J.; Holm, M.; Soager, N. & Llambías, J. 2012. Geochronology of the late Pliocene to Recent volcanic activity in the Payenia back-arc volcanic province, Mendoza Argentina. *Journal of South American Earth Sciences* 37: 191-201.
- Guerstein, G. 1993. Origen y significado geológico de la Asociación Piroclástica Pumícea. Pleistoceno de la provincia de Mendoza entre los 33° 30' y 34° 40' L.S. Universidad Nacional de La Plata, Facultad de Ciencias Naturales, Tesis doctoral (inédito). La Plata. 270 p.
- Hallam, A.; Biró, Bagóczy, L. & Pérez, E. 1986. Facies analysis of the Lo Valdés Formation (Tithonian – Hauterivian) of the High Cordillera of central Chile, and the palaeogeographic evolution of the Andean Basin. *Geological Magazine*, Vol. 123, No. 4, p. 425-435.
- Hauser, A. 1997. Catastro y caracterización de fuentes termales y minerales en Chile. Servicio Nacional de Geología y Minería; Boletín 50. Santiago. 77 p.
- Hauser, A. 2000. Remociones en Masa en Chile. Servicio Nacional de Geología y Minería, Boletín Nº 59, Versión Actualizada 2000. Santiago. 89 p.
- Herrera, M. 2013. Descripción de los glaciares Nieves Negras y El Morado. Comunicación personal.
- Hervé, F.; Schilling, M.; Calderon, M.; Solari, M. & 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.
- Ilustre Municipalidad de San José de Maipo. 2010. Actualización Plan de Desarrollo Comunal: Tomo I. Región Metropolitana. 248 p.
- Infante, N. 2009. El Monumento Natural El Morado: Andes centrales chilenos. Análisis del medio Biofísico, Paisaje y propuesta para su gestión. Tesis para optar al grado de Doctora en Geografía. Departamento de Geografía, Universidad de Barcelona. Barcelona. 310 p.
- ING, 2008. División Político Administrativo y Censal 2007. Instituto Nacional de Estadísticas. Gobierno de Chile. 357 p.
- Kay, S.M. & Mpodozis, C., 2001. Central Andes ore deposits linked to evolving shallow subduction systems and thickening crust. *GSA Today* (11): 4-9.
- Kay, S.M.; Godoy, E. & Kurtz, A. 2005. Episodic arc migration, crustal thickening, subduction erosion, and magmatism in the south-central Andes. *Geological Society of America Bulletin* (117): 67-88.
- Kay, S.M.; Mpodozis, C.; Ramos, V.A. & Munizaga, F. 1991. Magma source variation for mid-late Tertiary magmatic rocks associated with a shallowing subduction zone and thickening crust in central Andes. *Geological Society of America, Special Paper* (265): 113-137.
- Klohn, C. 1960. Geología de la Cordillera de los Andes de Chile Central, Provincia de Santiago, Colchagua y Curicó. Instituto de Investigaciones Geológicas. Santiago. Boletín Nº 8, 95 p.
- Kurtz, A.; Kay, S.M.; Charrier, R. & Farrar, E. 1997. Geochronology of Miocene plutons and exhumation history of the El Teniente region, Central Chile (34°-35°S). *Revista Geológica de Chile* (24): 75-90.
- Lavenu, A. & Cembrano, J. 2008. Deformación compresiva cuaternaria en la Cordillera Principal de Chile central (Cajón del Maipo, este de Santiago). *Revista Geológica de Chile* 35 (2): 233-252.
- Lima F.F.; Brilha J.B.; Salamuni E. 2010. Inventorying geological heritage in large territories: a methodological proposal applied to Brazil. *Geoheritage*, Vol. 2, No 3-4, 91-99.
- Llaumett, C. 1975. Evaluación geológica de la mina Merceditas del Volcán, Provincia de Santiago. ENAMI: 9 h., 2 figs pleg. en texto, Santiago. 12 p.

- Lliboutry, L. 1956. Nieves y Glaciares de Chile. Universidad de Chile. Santiago. 471 p.
- López, L. 2004. Modelo estructural a lo largo de los 33°45'S restringido por Métodos Geofísicos. Memoria para optar al Título de Geólogo. Universidad de Chile. Santiago. 86 p.
- Maksaev, V.; Munizaga, F.; Zentilli, M. & Charrier, R. 2009. Fission track thermochronology of Neogene plutons in the Principal Andean Cordillera of central Chile (33-35°S): implications for tectonic evolution and porphyry Cu-Mo mineralization. *Revista Geológica de Chile* (36): 153-171.
- Marangunic, C. & Thiele, R. 1971. Procedencia y determinaciones gravimétricas de espesor de la morrena de la Laguna Negra, provincia de Santiago. Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas. Departamento de Geología. Publicación N°38. Santiago. 25 p.
- Mardones, R. 2012. Valoración de Potenciales Geositios en el Campo Volcánico Pali Aike, XII Región de Magallanes y de la Antártica Chilena, Chile. Memoria para optar al Título de Geólogo (inédito), Departamento de Geología. Universidad de Chile.
- Martínez, P. 2010. Identificación, caracterización y cuantificación de Geositios, para la creación del I Geoparque en Chile, en torno al Parque Nacional Conguillío. Memoria para optar al Título de Geólogo (inédito), Departamento de Geología, Universidad de Chile. 173 p.
- Martínez, R & Osorio, R. 1963. Consideraciones preliminares sobre la presencia de Carófitas fósiles en la Formación Colimapu. *Revista Minerale*, N° 82. Santiago. Pp 28-43.
- Marungunic, C. 1979. Inventario de Glaciares: Hoya del Río Maipo. Dirección General de Aguas, Ministerio de Obras Públicas, Gobierno de Chile. Santiago. 64 p.
- McInnes, B.I.A.; Evans, N.J.; Fu, F.Q.; Garwin, S.; Belousova, E.; Griffin, W. L.; Bertens, A.; Sukarma, D.; Permanadewi, S.; Andrew, R.L.; Deckart, K. 2005. Thermal history analysis of selected Chilean, Indonesian and Iranian porphyry Cu-Mo-Au deposits. En: Porter, T.M. (ed.), *Super Porphyry Copper & Gold Deposits: A Global Perspective*, PGC Publishing, Adelaide, v. 1, pp 27-42.
- MINEDUC. 1991. "Declaro Monumento Histórico las construcciones existentes a lo largo del trazado del ex-ferrocarril de Puente Alto al Volcán, Cajón del Maipo, Región Metropolitana". Departamento jurídico, Ministerio de Educación, Gobierno de Chile. 3 p. Documento disponible en: www.monumentos.cl
- Moreno, H.; Thiele, R. & Varela, J. 1991. Estudio geológico y de riesgo volcánico y de remoción en masa del proyecto hidroeléctrico Alfalfal II – Las Lajas. CHILGENER, ejecutado por Departamento de Geología y Geofísica, Universidad de Chile. 85 p.
- Moreno, H; Thiele, R. & Varela, J. 1988. Estudio preliminar del riesgo geológico en la Alta Cordillera, proyecto Alfalfal. Chilectra Generación S.A., ejecutado por Departamento de Geología y Geofísica, Universidad de Chile.
- Moreno, K. 2007. Informe Preliminar: Material de interés paleontológico en Sector Alto Río Volcán. Presentado a: Consejo de Monumentos Nacionales / Gobernación de la Provincia Cordillera (Inédito). 7 p.
- Moreno, T. & Gibbons, W. (eds). 2007. *The Geology of Chile*. The Geological Society, London.
- Mourgues, F. & Schilling, M. 2012. Propuesta de definición de los Contextos Geológicos Chilenos para la caracterización del patrimonio geológico nacional. *Actas del XIII Congreso Geológico de Chile, T-10: Geopatrimonio*. Pp 887-889.
- Mpodozis, C.; Ramos, V.A. 1989. The Andes of Chile and Argentina. En: Ericksen, G.E., Cañas, M.T., Reinemund, J.A. (eds.), "Geology of the Andes and its relation to Hydrocarbon and Mineral Resources", *Earth Science Series, Circum-Pacific Council for Energy and Mineral Resources*, Huston, Texas, v. 11, p. 59-90.

- Munizaga, F. & Vicente, J.C. 1982. Acerca de la zonación plutónica y del volcanismo mioceno en los Andes del Aconcagua (La. 32-33° S): Datos radiométricos K-Ar. *Revista Geológica de Chile*. Nº 16, p. 3-21.
- Muñoz, M. 2011. Petrogénesis de rocas intrusivas del yacimiento el Teniente y Evolución del magmatismo Cenozoico de Chile Central (33°00'-34°30's). Tesis para optar al grado de Doctora en Ciencias, Mención Geología. Departamento de Geología, Universidad de Chile. Santiago. 168 p.
- Muñoz-Cristi, J. 1950. Geología de Chile. *In: Geografía Económica de Chile*, Corporación de Fomento de la Producción, Vol. 1, pp 55-187.
- Ormeño, A. 2007. "Geomorfología dinámica del Río Maipo en la zona cordillerana de Chile central e implicancias neotectónicas". Tesis para optar al grado de Magister en Ciencias, Mención Geología. Departamento de Geología, Universidad de Chile. Santiago. 142 p.
- PAC Consultores. 2010. Estudio: Actualización Plan de Desarrollo Comunal-I. Municipalidad de San José de Maipo. Tomo I: Caracterización, Diagnóstico Técnico Comunal. 248 p.
- Padilla, M. 2005. Protección, Conservación y Difusión del Patrimonio Paleontológico de Lo Valdés, sureste de Santiago. Seminario de Licenciatura en Ciencias y Artes Ambientales. Universidad Central de Chile, Facultad de Arquitectura, Urbanismo y Paisaje, Escuela de Ecología y Paisaje. Santiago. 79 p.
- Padilla, R. 2004. Inventario Temático Ambiental: Monumento Natural El Morado. Unidad de Gestión de Recursos Naturales, CONAF, Gobierno de Chile. 54 p.
- Partarrieu, D. 2013. Inventario de Geosítios en la Comuna de Lonquimay, para la creación del Geoparque Kutralkura, IX Región de la Araucanía. Memoria para optar al Título de Geólogo. Departamento de Geología, Universidad de Chile. 140 p.
- Peña, H. & Narvona, J. 1978. Proyecto Glaciar Hechaurren Norte: Informe preliminar. Dirección General de Aguas, Ministerio de Obras Públicas, Gobierno de Chile. Santiago. 75 p.
- Peña, H; Vidal, F & Escobar, F. 1984. Caracterización del manto nival y mediciones de ablación y balance de masas en el Glaciar Echaurren Norte. Unesco, Chile. 14 p.
- Pereira, F. 2010. "Geoconservação e desenvolvimento sustentável na Chapada Diamantina (Bahia - Brasil)". Memoria de título para la obtención del Grado en Doctor en Ciencias, Mención Geología. Universidad de Minho, Braga, Portugal. 295 p.
- Petit-Breuilh, E. 2004. La historia eruptiva de los volcanes hispanoamericanos (siglos XVI al XX). Serie Casa de los Volcanes Nº8, Exmo. Cabildo Insular de Lanzarote. España. 431 p.
- Petit-Breuilh, E. 2011. Informe crítico de la cronología eruptiva del Volcán San José (33°45'S), Chile. Departamento de Historia de América, Universidad de Sevilla. 3 p.
- Pfeiffer, M. 2013. Clasificación preliminar del perfil de suelo Los Álamos. Comunicación personal.
- Ramírez, G. 2012. Contexto geológico del parque biológico Punta Totoralillo y morfología de cavidades en el Zoológico de Piedra, III Región de Atacama, Chile. Memoria para optar al Título de Geólogo (inédito), Departamento de Geología, Universidad de Chile. 121 p.
- Rauld, R. 2002. Análisis morfoestructural del frente cordillerano de Santiago Oriente, entre el Río Mapocho y la Quebrada Macul. Memoria de Título. Departamento de Geología, Universidad de Chile, Santiago. 57 p.
- Rivano, S. & Tapia, I. 2004. Mapa Metalogénico Compilado de la Región Metropolitana, escala 1:250.000, Volumen I. Servicio Nacional de Geología y Minería. Santiago. 20 p.

- Rivano, S.; Godoy, E.; Vergara, M. & Villarroel, R. 1990. Redefinición de la Formación Farellones en la Cordillera de los Andes de Chile Central (32°-34° S). *Revista Geológica de Chile*, N° 17: pp 205-214.
- Rodríguez, C. 2013. Patrimonio Geológico en la ciudad de Santiago: Caracterización y Valorización de geositos en torno a un núcleo urbano. Memoria para optar al Título de Geólogo. Departamento de Geología, Universidad de Chile. 116 p.
- Rodríguez, M. 2008. Evolución de la erosión y del relieve del antearco de Chile Central (33-34°S) durante el Neógeno mediante el análisis de minerales pesados detríticos y la geomorfología. Tesis para optar al grado de Magister en Ciencias, mención Geología. Santiago. 146 p.
- Salazar, C. 2012. The Jurassic-Cretaceous Boundary (Tithonian-Hauterivian) in the Andean Basin, Central Chile: Ammonite fauna, Bio- and Sequence Stratigraphy and Palaeobiogeography. Tesis Doctoral. Universität Heidelberg. Germany. (Aprobado con Honores). 388 p.
- Santiago Andino. 2010. La mayor reserva natural de agua de la Región Metropolitana. Sistemas de Producción Sustentable para Ecosistemas de Montaña. 68 p. Disponible en <http://www.santiagoandino.uchile.cl>
- Schilling, M.; Toro, K.; Contreras, P.; Levy, C. & Moreno, H. 2012. Geoparque Kütralcura: Patrimonio geológico para el desarrollo sustentable de la Región de la Araucanía. Actas del XIII Congreso Geológico de Chile, T-10: Geopatrimonio. Pp 893-895.
- SEGEMAR. 2008. Instituto de Geología y Recursos Minerales, CSIGA ed. Sitios de interés geológico de la República Argentina. *SEGEMAR, Anales (n.46)*: 2 v., il; fot.col, Buenos Aires.
- Sellés, D. & Gana, P. 2001. Geología del área Talagante-San Francisco de Mostazal: Regiones Metropolitana y del Libertador General Bernardo O'Higgins, Escala 1:100.000. SERNAGEOMIN, Carta Geológica de Chile, Serie Geología Básica, N° 74.
- Sepúlveda, S.A.; Rebolledo, S.; Petley, D.N.; Álvarez, M.; Schachter, P. 2009. El Deslizamiento de San José de Maipo: Nuevos Antecedentes e Implicancias en el Peligro Geológico. En Congreso Geológico Chileno, No. 12, Actas, paper S3_023. Santiago.
- Sepúlveda, S.A.; Rebolledo, S.; Alfaro, A.; Lara, M.; Moffat, R.; Petley, D. Sin año. Evaluación del Peligro de Remoción en Masa en el Deslizamiento de San José de Maipo, Chile Central. Estudio desarrollado por la Secretaría Regional Ministerial Metropolitana de Vivienda y Urbanismo, Gobierno de Chile. 3 p.
- SEREMI. 2011. Masas de Vegetación en la cuenca de Santiago; Protección por normativa legal y Estrategia para la Conservación de la Biodiversidad; Carta N° MVCS-250M-2011-2v. Secretaría Ministerial de Medio Ambiente. Región Metropolitana de Santiago. 1 p.
- SERNAGEOMIN. 2004. Mapa Geológico de Chile 1:1000000. Versión digital. Servicio Nacional de Geología y Minería, Publicación Geológica Digital, No. 7 (CD-ROM, versión 1.0, 2004). Santiago.
- SERNAGEOMIN. 2012. Red Nacional de Vigilancia Volcánica (OVDAS). Reportes de actividad volcánica Región Metropolitana N°4, 5 y 6.
- SERNAGEOMIN. Sin año. Ficha completa Volcán San José. Red de Vigilancia Volcánica. 1 p. Disponible en <http://www.sernageomin.cl/volcan.php?pagina=2&ild=48>
- SERNAGEOMIN. Sin año-A. Ficha completa Volcán Tupungatito. Red de Vigilancia Volcánica. 1 p. Disponible en <http://www.sernageomin.cl/volcan.php?ild=55>
- SERNATUR. 2009. Zonas y Centros de Interés Turístico Nacional Declarados bajo el Decreto 1.224 de 1975. Ministerio de Economía, Fomento y Turismo. Gobierno de Chile. 11 p.

- SERPLAC. 2003. Plan Estratégico Provincial: Provincia Cordillera. Seremi de Planificación y Coordinación. Región de Santiago. 37 p.
- Skewes, A. & Holmgren, C. 1993. Solevantamiento andino, erosión y emplazamiento de brechas mineralizadas en el depósito de cobre porfídico Los Bronces, Chile central (33°S): aplicación de geotermometría de inclusiones fluidas. *Revista Geológica de Chile* (20): 71-84.
- Sruoga, P; Etcheverría, M; Feineman, M; Rosas, M; Bukert, C & Ibañez, O. 2012. Complejo Caldera Diamante-volcán Maipo (34°10'S, 69°50'O): Evolución volcanológica y geoquímica e implicancias en su peligrosidad. *Rev. Asoc. Geol. Argent.* [online]. 2012, vol.69, n.4 [citado 2013-05-31], pp 508-530.
- Stern, C.; Hassan, A.; Charrier, R.; Godoy, E.; Hervé, F.; Varela, J. 1984. Petrochemistry and Age of Rhyolitic Pyroclastic Flows Which Occur Along The Drainage Valleys of The Rio Maipo and Rio Cachapoal (Chile) and the Rio Yaucha and Rio Papagayos (Argentina). *Revista Geológica de Chile*. Vol 23. Pp 39 – 52.
- Stern, C.R. 2004. Active Andean volcanism: its geologic and tectonic setting. *Revista Geológica de Chile* [online], vol. 31, no. 2 [citado 18-10-2012]. pp 161-206.
- Tassara, A. & Yáñez, G. 2003 Relación entre el espesor elástico de la litosfera y la segmentación tectónica del margen andino (15-47°S). *Revista Geológica de Chile*, vol.30, no.2, p.159-186.
- Tassara, A.; Götze, H.; Schmidt, S.T. & Hackney, R., 2006. Three-dimensional density model of the Nazca plate and the Andean continental margin. *Journal of Geophysical Research* (111): B09404, doi:10.1029/2005JB003976.
- Tavera, J. 1968. Informe-estudio sobre material paleontológico proveniente del río Colina y Colorado en la Alta Cordillera de la Provincia de Santiago. Universidad de Chile, Departamento de Geología (inédito). Santiago. 9 p.
- Thiele, R. & Gutstein, C. 2008. Anexo 14: Patrimonio Geológico y Paleontológico sector Alto Volcán. Complementación de antecedentes. Arcadis geotecnia (Inedito). 27 p.
- Thiele, R. & Katsui, Y. 1969. Contribución al conocimiento del volcanismo post-miocénico de los Andes en la Provincia de Santiago, Chile. Universidad de Chile. Departamento de Geología. Publicación, N° 35. 23 p.
- Thiele, R. 1980. Hoja Santiago, Región Metropolitana. Servicio Nacional de Geología y Minería, Carta Geológica de Chile N° 29. 51 p.
- Toloza, M. 1960. El Embalse del Yeso. *Revista Chilena de Ingeniería y Anales del Instituto de Ingenieros*. 5-6: 9-12.
- Universidad de Magallanes. 2009. Radio eco-sondaje en la Cuenca del Río Maipo y mediciones glaciológicas en el Glaciar Tyndall, Campo de Hielo Sur. Dirección General de Aguas, Ministerio de Obras Públicas, Gobierno de Chile. Punta Arenas. 95 p.
- Uyeda, S. 1987. Chilean v/s Mariana type subduction zones with remarks on arc volcanism and collision tectonics. *Circum Pacific Orogenic Belts and Evolution of the Pacific Ocean Basin*. Morgan y Francheteau (Ed). *Geodynamics Series*, vol 18. pp 1-7.
- Uyeda, S.; Kanamori, H. 1979. Back-Arck Opening and the Mode of Subduction. *Journal of Geophysical Research*, vol. 84, NO B3. pp 1049-1059.
- Valenzuela, J; Varela, J. 1991. El Alfalfal Rock Fall and Debris Flow in Chilean Andes Mountains. En Congreso Panamericano Mecánica de Suelos e Ingeniería Fundaciones, Apartados, Vol. 1. Viña del Mar, Chile. pp 357-371.
- Vergara, M., Charrier, R., Munizaga, F., Rivano, S., Sepúlveda, P., Thiele, R., Drake, R., 1988. Miocene volcanism in the central Chilean Andes. *Journal of South American Earth Sciences*, Vol. 1, N° 2, pp 199-209.
- Vila, I. & Montecino, V. 1981. Informe: Estudio limnológico en los Embalses Rapel y Yeso. Universidad de Chile. Facultad de Ciencias. 144 p.

- Villarroel, P.; Naranjo, J. A.; Iriarte, S.; Fernández, C. 2000. Informe geológico del área del deslizamiento de San José de Maipo, Junio 2000. Servicio Nacional de Geología y Minería, inédito. 13 p.
- Wall, R.; Lara, L.; Pérez de Arce, C. 2001. Upper Pliocene 40A/39A ages of Pudahuel Ignimbrite (Diamante – Maipo volcanic complex), Central Chile (33.5° S). Comunicaciones Nº 52. pp 123.
- Wall, R.; Sellés, D.; Gana, P. 1999. Área Til Til-Santiago, Región Metropolitana. Servicio Nacional de Geología y Minería, Mapas geológicos Nº 11, escala 1:100.000, 1 anexo, Santiago.
- Wyss, A.; Norell, M.; Flynn, J.; Novacek, M.; Charrier, R.; Mckenna, M.; Swisher, C.; Frassinetti, D.; Salinas, P. & Meng, J. 1990. A new early Tertiary mammal fauna from Central Chile: implications for Andean stratigraphy and tectonics. Journal of Vertebrate Paleontology, vol 10, nº 4. pp 518-522.
- Zamora, R.; Uribe, J.; Casassa, G.; Potocki, M.; Grigholm, B.; Mayewski, P.; Kurbatov, A.; Dixon, D. & Morrison, M. 2011. Radar surveys of ice thickness and snow stratigraphy at Tupungatito Glacier, a high altitude ice core site in the central Chilean Andes. WCRP OSC Climate Research in Service to Society, 24-28 October 2011, Denver, USA.
- Zouros, N. 2009. European Geoparks. Greek: Natural History Museum of the Lesvos Petrified Forest on behalf of the European Geoparks Network. 163 p.
- Zurita, E. 1999. Historia de enterramiento y exhumación de la Formación Abanico=Coya-Machalí, Cordillera Principal, Chile Central. Memoria. Departamento de Geología, Universidad de Chile. Santiago. 156 p.

7.2 Decretos y Leyes

- Decreto Exento 266. Chile. Declara Zona Típica al Centro histórico de San José de Maipo, ubicado en la Comuna de San José de Maipo, Provincia Cordillera, Región Metropolitana. Ministerio de Educación Pública. 1-7-2010.
- Decreto Exento 278. Chile. Declara Monumento Histórico a Ocho piezas ferroviarias que se indican del ex ferrocarril militar Puente Alto-El Volcán, ubicado en la Comuna de San José de Maipo, Provincia Cordillera, Región Metropolitana. Ministerio de Educación Pública. 17-7-2009.
- Decreto Exento 364. Chile. Declara Monumento Histórico a la Capilla y casa del ex fundo El Manzano, ubicado en la Comuna de San José de Maipo, Provincia Cordillera, Región Metropolitana. Ministerio de Educación Pública. 3-7-1996.
- Decreto Exento 480. Chile. Declara Santuario de la Naturaleza el predio denominado Cascada de las Ánimas, ubicado en la Comuna de San José de Maipo, Provincia Cordillera, Región Metropolitana. Ministerio de Educación Pública. 16-8-1995.
- Decreto Exento 672. Chile. Declara Monumento Histórico a la Casa de salud de mujeres Carolina Doursther, ubicado en la Comuna de San José de Maipo, Provincia Cordillera, Región Metropolitana. Ministerio de Educación Pública. 24-8-2004.
- Decreto Exento 775. Chile. Declara Santuario de la Naturaleza los predios denominados San Francisco de Lagunillas y Quillayal, ubicado en la Comuna de San José de Maipo, Provincia Cordillera, Región Metropolitana. Ministerio de Educación Pública. 8-4-2008.
- Decreto Exento 780. Chile. Declara Monumento Histórico al Edificio del ex sanatorio Laennec, ubicado en la Comuna de San José de Maipo, Provincia Cordillera, Región Metropolitana. Ministerio de Educación Pública. 28-8-2002.

- Decreto Exento 948. Chile. Declara Monumento Histórico a la Aduana de El Manzano, ubicado en la Comuna de San José de Maipo, Provincia Cordillera, Región Metropolitana. Ministerio de Educación Pública. 5-11-2004.
- Decreto Supremo 2581. Chile. Creación del Monumento Natural El Morado. Ministerio de Bienes Nacionales. 28-12-1994.
- Decreto Supremo 309. Chile. Declara Monumento Histórico a la Iglesia y casa parroquial de San José de Maipo, ubicado en la Comuna de San José de Maipo, Provincia Cordillera, Región Metropolitana. Ministerio de Educación Pública. 15-6-1992.
- Decreto Supremo 423. Chile. Declara Monumento Histórico a las Construcciones existentes a lo largo del trazado del ferrocarril militar Puente Alto-El Volcán, ubicado en la Comuna de San José de Maipo, Provincia Cordillera, Región Metropolitana. Ministerio de Educación Pública. 5-11-1991.
- Ley 17288. Chile. Legisla sobre Monumentos Nacionales; Modifica las leyes 16.617 y 16.719; Deroga el decreto Ley 651, de 17 de octubre de 1925. Ministerio de Educación Pública. 27-1-2010.
- Repertorio Nº 2167. Inserción Estatutos de la Asociación de Municipalidades del Parque Cordillera. 5-7-2012.

Anexos

Anexo 1. Yacimientos de rocas y minerales industriales, y de yacimientos metálicos presentes en la Comuna de San José de Maipo

NOMBRE	UTM-E	UTM-N	RECURSO
La Perlita	404.805	6.298.848	Caliza
Ferton	409.374	6.286.172	Yeso y/o Anhidrita
El Canela Ltda.	364.837	6.283.600	Áridos
Catalán Herrera Hermanos	362.910	6.282.364	Áridos
La Obra	361.930	6.282.296	Granito
Petreos	362.750	6.282.192	Áridos
Maurico Vargas	361.720	6.281.905	Áridos
La Junta	361.848	6.281.711	Áridos
Romeral	411.100	6.280.400	Yeso y/o Anhidrita
El Toyo Minerales Ltda.	374.371	6.280.126	Áridos
Los Pinches	407.700	6.280.000	Caliza
S/N	406.874	6.279.477	Yeso y/o Anhidrita
S/N	405.987	6.278.436	Caliza
Maquinarias Antilef y Cia. Ltda.	374.206	6.277.100	Áridos
Soledad	415.500	6.276.500	Yeso y/o Anhidrita
Carlos Tapia	374.292	6.276.072	Áridos
Sur	412.500	6.274.000	Yeso y/o Anhidrita
El Toyo	374.500	6.273.200	Pumicita
Las Placas	404.000	6.262.600	Caliza
Nieves Negras	416.500	6.261.500	Azufre
Rocío	403.500	6.258.300	Caliza
El Volcán	408.655	6.256.846	Yeso y/o Anhidrita
Lo Valdés	403.026	6.256.583	Caliza
Eureka	407.500	6.256.500	Caliza
Rino	405.000	6.228.000	Caliza
Catedral	400.500	6.225.000	Caliza
Almira	411.500	6.217.500	Yeso y/o Anhidrita

Tabla 3.5: principales Yacimientos de rocas y minerales en la Comuna de San José de Maipo. Datos tomados de Carrasco *et al*, 2004.

NOMBRE	UTM-E	UTM-N	MENA PRINCIPAL	MENA SUBORDINADA	ROCA DE CAJA O PARENTAL	MINERALES DE MENA	MINERALES DE GANGA	MINERALES DE ALTERACIÓN	GÉNESIS
Morena	386.997	6.315.511	Cu	-	Andesitas	Bo, Cv, Gal, Ox, Cu	-	-	Hidrotermal, mesotermal
Quempo	386.938	6.296.257	Cu	-	-	-	-	-	-
Gloria	388.233	6.293.654	Cu	-	Andesitas	Ox, Cu	Ca, Hem	-	Hidrotermal, mesotermal
El Alfalfal, Brillador Providencia, Carmen Alto, Abundancia	391.605	6.294.467	Cu-Au	Au	-	-	-	-	-
Desengaño	387.699	6.288.565	Cu	-	-	-	-	-	-
Merceditas del Volcán	390.078	6.292.597	Cu-Co	Co	-	-	-	-	-
Cuatro Hermanos	406.349	6.278.045	Cu	-	Andesitas	-	-	-	-
Cóndores del Volcán	405.837	6.265.099	Cu	-	Brecha andesítica	Cpy, Broch	-	-	-
Las Ratas	406.615	6.264.558	Cu	-	-	Cpy	-	-	Hidrotermal mesotermal
San Arturo	401.675	6.261.457	Cu-Ag	Ag	Diorita	Cs	-	-	Hidrotermal mesotermal
Azfur 1-200	413.619	6.257.722	Cu	-	-	-	-	-	-
Las Arenitas	408.547	6.255.703	Cu	-	Calizas intruidas por filones manto porfidicos	Bo, Ox. Cu, Malaquita	-	-	Mesotermal
San Alberto	401.377	6.255.477	Cu, (Ag), Au	(Ag), Au	Calizas, sedimentos volcánicos y continentales intruidos por granito	-	Limolitas rojas	Arcilla	Hipotermal
Volcán	393.586	6.255.671	Cu	-	-	-	-	-	-
Coroval, Cobaltita	393.937	6.256.414	Cu, Co	Co	Andesitas	Bo, Cpy, Tenn, Bl	Qz, Ca	-	Hidrotermal epitermal
Esperanza	396.000	6.252.100	Cu-Au	Au	Andesitas	Cpy, Cs	-	-	Hidrotermal mesotermal
El Álamo	391.565	6.257.490	Cu-Au	Au	-	-	-	-	-
Tres Amigos	390.459	6.259.332	Cu-(Au)	Au	Andesitas	-	-	-	Hidrotermal mesotermal
La Cortada	391.600	6.257.600	Cu	-	-	-	-	-	-
La Victoria	389.087	6.262.274	Cu	-	Andesitas	Cpy	QZ, Ca, Hem		
Poderosa	390.501	6.255.636	Cu	-	-	-	-	-	-

Unión	379.401	6.255.132	Pb-(Ag-Cu)	Pb-(Ag-Cu)	Areniscas, calizas y lutitas	Bl, Gal, Arg	-	-	Hidrotermal epitermal
Carlota	381.293	6.251.829	Cu-(Au)-Pb-Zn-Ag	(Au)-Pb-Zn-Ag	-	Cpy, Gal, Bl, Tenn	Ca, Ba, Qz	-	-
El Ingenio	381.925	6.258.922	Cu-Au	Au	-	-	-	-	-
Santa Rita	382.812	6.253.696	Cu-(Pb-Zn)	Pb-Zn	Brechas andesíticas	Bl, Bo, Gal	Qz, Ca, Ba, Hem	-	Hidrotermal epitermal
Famatina	385.739	6.254.568	Ag,Au(Zn,Cu,Pb)	(Zn,Cu,Pb)	Andesitas y brechas volcánicas intruidas por granito	Au, Ag, Bor, Cpy, Bl, Ga	Qz, hem, calc, limon, barit	Zonada	Epitermal
Copacabana	384.377	6.251.867	Pb-Ag-Cu	Ag-Cu	Granito	Bl, Cpy, Gal, Tenn	Cal, Qz	-	Hidrotermal epitermal
Las Melosas	385.918	6.251.885	Cu	-	Brechas andesíticas	Cpy	Qz, Ca, Hem	-	Hidrotermal mesotermal
San simón	390.522	6.253.788	Cu-Ag (Au)	Ag-Au	Areniscas	Cpy	QZ, Ca, Tu	-	Hidrotermal mesotermal
Santa Fe, San Vicente, Santa Filomena	390.544	6.251.940	Cu	-	Areniscas	-	-	-	Hidrotermal mesotermal
El Blanco	390.342	6.251.598	Cu	-	Lutitas	-	-	-	Hidrotermal mesotermal
Las Yeguas	376.913	6.233.346	Zn-(Cu)	Cu	Diorita	Cpy, Cs	-	-	Hidrotermal mesotermal
Teniente Chico	398.510	6.228.000	Cu	-	Granodiorita	-	Py, Qz	-	Hidrotermal mesotermal

Tabla 3.6. Resumen de los yacimientos metálicos presentes en la Comuna de San José de Maipo. Basado en datos tomados de Rivano, S. & Tapia, I. (2004). " - " = No corresponde o no hay información disponible.

Anexo 2. Geositos seleccionados, asociados a las áreas temáticas de interés geológico nacional

Geosito	Área Temática de interés geológico nacional
MIRADOR TERRAZAS DEL RÍO MAIPO	Ambientes fluvioaluviales del Neógeno-Cuaternario
CANtera LA OBRA	Batolitos del Cenozoico y los grandes pórfidos cupríferos y depósitos de oro de Chile
FALLA CUATERNARIA LA CANtera	Mega Estructuras y Neotectónica de Chile
SUELO LOS ÁLAMOS	No corresponde
R.M. CERRO DIVISADERO	Mega Estructuras y Neotectónica de Chile
ESTRATOS SECTOR EL TOYO	Depósitos continentales cenozoicos y sus fósiles de vertebrados
ANTICLINAL DEL MAIPO	Depósitos continentales cenozoicos y sus fósiles de vertebrados
VUELTA DEL PADRE	Depósitos continentales cenozoicos y sus fósiles de vertebrados
PLUTÓN SAN GABRIEL	Batolitos del Cenozoico y los grandes pórfidos cupríferos y depósitos de oro de Chile
CERRO EL PLOMO	Depósitos continentales cenozoicos y sus fósiles de vertebrados
PLUTÓN LA GLORIA	Batolitos del Cenozoico y los grandes pórfidos cupríferos y depósitos de oro de Chile
R.M. ESTERO PARRAGUIRRE	Mega Estructuras y Neotectónica de Chile
VOLCÁN TUPUNGATITO	Volcanismo Cuaternario
IGNIMBRITA DE PUDAHUEL	Volcanismo Cuaternario
GLACIAR ECHAURREN NORTE	Geoformas y depósitos glaciales del centro y sur de Chile
EMBALSE EL YESO	No corresponde
TERMAS DEL PLOMO	Volcanismo Cuaternario
CONTACTO PLUTÓN SAN GABRIEL - FORMACIÓN ABANICO	Depósitos continentales cenozoicos y sus fósiles de vertebrados
ANTICLINAL VOLCADO	Depósitos continentales cenozoicos y sus fósiles de vertebrados
PLUTÓN LOS LUNES	Batolitos del Cenozoico y los grandes pórfidos cupríferos y depósitos de oro de Chile
PUEBLO EL VOLCÁN	No corresponde
R.M. LAS AMARILLAS	Mega Estructuras y Neotectónica de Chile
MONUMENTO NATURAL EL MORADO	Geoformas y depósitos glaciales del centro y sur de Chile
FÓSILES LO VALDÉS	Series Continentales Mesozoicas y sus fósiles
LOCALIDAD TIPO FM. LO VALDÉS	Series Continentales Mesozoicas y sus fósiles
PUENTE COLINA	Series Continentales Mesozoicas y sus fósiles
ICNITAS DEL VALLE LAS ARENAS	Series Continentales Mesozoicas y sus fósiles
GLACIAR EL MORADO	Geoformas y depósitos glaciales del centro y sur de Chile
DIAPIRO LA YESERA	Ciclos marinos del Triásico – Jurásico
TERMAS BAÑOS COLINA	No corresponde
LOCALIDAD TIPO FM. RÍO COLINA	Ciclos marinos del Triásico – Jurásico
GLACIAR NIEVES NEGRAS	Geoformas y depósitos glaciales del centro y sur de Chile
VOLCÁN SAN JOSÉ	Volcanismo Cuaternario
PUENTE EL CRISTO	Ambientes fluvioaluviales del Neógeno-Cuaternario
CONTACTO CAMINO AL VOLCÁN	No corresponde
PUENTE DE TIERRA	Volcanismo Cuaternario
LOCALIDAD TIPO FM. COLIMAPU	Series Continentales Mesozoicas y sus fósiles
VOLCÁN MAIPO - CALDERA DIAMANTE	Volcanismo Cuaternario

Tabla 4.1. Áreas Temáticas de interés geológico nacional, asociadas a los geositos seleccionados en la Comuna de San José de Maipo.

