



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

**PATRIMONIO GEOLÓGICO DE LA COMUNA DE PETORCA (32°S –  
32°24'S): ANÁLISIS DE LUGARES DE INTERÉS GEOLÓGICO Y SU  
CONTEXTUALIZACIÓN EN UN MODELO DE EVOLUCIÓN  
PALEOGEOGRÁFICO**

---

**MEMORIA PARA OPTAR AL TÍTULO DE GEÓLOGO  
RODRIGO ESTEBAN PÉREZ GARAY**

**PROFESORA GUÍA:**  
LUISA PINTO LINCOÑIR

**PROFESOR CO-GUÍA:**  
JOSÉ BENADO WILSON

**MIEMBROS DE LA COMISIÓN:**  
REYNALDO CHARRIER GONZÁLEZ  
FRANCISCO HERVÉ ALLAMAND

Este trabajo forma parte del proyecto de Geoparque Valle de Petorca y ha sido parcialmente financiado por el geólogo Vladimir Vicencio y la ONG Covalente.

SANTIAGO DE CHILE  
2018

**RESUMEN DE LA MEMORIA PARA  
OPTAR AL TÍTULO DE:** Geólogo  
**POR:** Rodrigo Esteban Pérez Garay  
**FECHA:** 17/12/2018  
**PROFESORA GUÍA:** Luisa Pinto Lincoñir

**PATRIMONIO GEOLÓGICO DE LA COMUNA DE PETORCA (32°S – 32°24’S): ANÁLISIS DE  
LUGARES DE INTERÉS GEOLÓGICO Y SU CONTEXTUALIZACIÓN EN UN MODELO DE  
EVOLUCIÓN PALEO GEOGRÁFICO**

El producto turístico desarrollado en el proyecto de Geoparque Valle de Petorca se basa en la interpretación territorial evolutiva a partir de Lugares de Interés Geológicos (LIGs) que representan los distintos estadios de la evolución geológica y la vida en el territorio. Para aquello, resulta fundamental contar un acabado conocimiento científico que defina los contextos geológicos locales por representar. En la zona de estudio, la definición de estos contextos geológicos se ha dificultado por la escasa comprensión de la estratigrafía y las fuertes variaciones de facies volcano-sedimentarias de las formaciones cretácicas. En este contexto, el presente trabajo tiene por objetivo general caracterizar la geología e inventariar los lugares de interés geológico (LIGs) de la comuna de Petorca para establecer un modelo de evolución geológica que contextualice los LIGs, y que aporte al enriquecimiento del relato científico, turístico y/o educativo del patrimonio geológico local.

Para el estudio de la geología local y la definición de los contextos locales, se confeccionaron 12 columnas estratigráficas y un mapa geológico a escala 1:100.000, donde se definieron unidades informales las cuales fueron correlacionadas con la bibliografía formal. Por otra parte, para el estudio del patrimonio geológico, se identificaron y seleccionaron 12 LIGs, los cuales fueron caracterizados para el desarrollo del inventario comunal y finalmente fueron valorizados mediante criterios de gestión para promover el aprovechamiento sostenible del patrimonio.

La estratigrafía y las estructuras caracterizadas permiten concluir que, posterior a la apertura de las cuencas extensionales de Lo Prado y Mendoza-Neuquen, se habrían depositado en una cuenca de intraarco las secuencias volcánicas de la Formación Cerro Morado durante el Aptiano – Albiano, proceso que se representa por LIGs tales como el Dique de la Escalera del Diablo. Luego, un evento compresivo, acaecido hacia fines del Albiano, se depositó durante la inversión las secuencias sedimentarias de la Formación Las Chilcas, representado por los LIGs Conglomerados Rojos de Pedernal y las Secuencias Sedimentarias de El Sobrante. Aquellas secuencias fueron posteriormente cubiertas por secuencias volcánicas del Miembro El Calvario, evidenciando la migración del arco volcánico hacia el este. Entre el Campaniano y Maastrichtiano, un *hiatus* en el registro estratigráfico generó una inconformidad regional, la cual se representa por el LIG Discordancia Angular de El Sobrante, sobre la cual se depositaron en discordancia los depósitos de la Formación Lo Valle por sobre la Formación Las Chilcas. Un cambio geodinámico produjo en el Eoceno un periodo extensional en el cual se depositaron las secuencias de la Formación Abanico en la cuenca del mismo nombre. Aquel evento extensional habría perdurado hasta el Mioceno inferior, donde comienza a desarrollarse la inversión y configuración del actual relieve, el cual sigue modelándose, procesos visibles en los LIGs Quebrada de Castro y Avalancha de Roca del Intrusivo Cerro Parado.



*Dedicado a mi madre, padre y hermana, quienes me han apoyado en las distintas etapas de mi vida, siendo un pilar fundamental en lo que hoy soy como profesional y persona. Además, este trabajo se encuentra dedicado a dos de las personas más influyentes en mi vida, mis abuelas Genoveva y Mafalda, quienes, si bien ya no están presencialmente conmigo, fueron fundamentales en mi desarrollo con su alegría y cariño incondicional.*

## AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, quisiera agradecer a mi familia, quienes han sido un pilar fundamental en mi desarrollo profesional y personal. El apoyo incondicional de mis padres, hermana, abuelos, primos y aquellos que ya partieron, me han convertido en la persona soñadora que busca aportar a la comunidad desde la disciplina del patrimonio geológico que tanto amo. Gracias papá, mamá y Pauli por estar siempre conmigo en todo momento, sobre todo en aquellos periodos más difíciles, que fueron vaaarios.

Quisiera agradecer a la comisión, quienes permitieron que este trabajo sea lo que es hoy. A la profe Luisa, quien durante el proceso no solo fue mi profesora guía, sino que también fue una mentora, una consejera y una amiga, quien siempre estuvo participando activamente de todo el proceso y me brindó apoyo en las decisiones tanto relativas al trabajo de título como a otros aspectos; muchísimas gracias. A José quien, pese a estar a la distancia geográfica, siempre me apoyó y guio tanto en la memoria como mi práctica I. Al profesor Hervé con quien conversé en múltiples oportunidades del proyecto de Geoparque Valle de Petorca e incluso amablemente me revisó el trabajo que envié a la GGN. Al profesor Charrier, con quien revisamos parte del trabajo antes del viaje y me mostró enfoques de los que no me había percatado.

En tercer lugar, quiero agradecer a la people del proyecto de Geoparque Valle de Petorca. A Vladimir, quien no solo me dio esta tremenda oportunidad de trabajar en algo que me encanta, sino que también se transformó en un amigo que estuvo ahí en toda la logística, me abrió las puertas de su casa, siempre con la buena onda que me hacía bajar las revoluciones en momentos que lo necesitaba; por todo ello gracias Vladi. Al Tomás, quien me aconsejó y guio en este camino del patrimonio geológico, compartiéndome todas sus experiencias y dándose el tiempo de explicarme los distintos aspectos de la disciplina. A la Denisse, quien, con su forma encantadora y estructurada de ser, me contagiaba esa estructurada forma de. A tod@s l@s practicantes del primer y segundo programa de prácticas. Especial mención a las Vales, el Mati, el Gus y el Benja, quienes fueron un gigantesco aporte en el desarrollo de este trabajo. A Marilyn, Sergio, Pablo y los Covalentines, quienes siempre apoyaron y estuvieron al tanto del proceso. Al Emil, con quien me mando las ideas locas de proyectos que sí o sí tendrán frutos; ¡esto recién empieza!

A mis amigos, quienes fueron un soporte fundamental durante todo mi paso por la U, tanto en los excelentes momentos como en los que fueron tortuosos. A mis queridos amigos del colegio, en especial a la Javi y el Mussy, quienes estuvieron siempre apoyándome en el proceso. A mis amigos de plan común, en especial a mis grandes amigos Mafia, Seba, Diego, Nico y R Pa, quienes me apoyaron y siguen apoyando con todo, ya sea en los carretes, juntas o conversas que hicieron de la U una etapa más amena.

Aún recuerdo esa salida al cerro en la que nos volvimos más cercanos con la Catita hermosa y la Ale, quienes han sido un súper apoyo en distintas etapas; las quiero chiquillas. Hacia ese entonces me hice un muy buen grupo de amigos desde que nos juntamos todos en la casa el Eyi, quien pese a que ni me conocía me invitó igual, donde pude compartir con puros personajes: Marco, Chino, Gfe, Nigga, Carlitos, Poet, Guille, a través de quienes conocí a otros como el fonSECA, Johnny pls, Pelao, Fonsi, Claudito y el Cadiz. Luego de eso conocí a la Vale Díaz, una amiga maravillosa que me ha apañado con todo, sobre todo cuando llegaron las calilah, las maida y las mojojijos, todas todas; se te quiere loquilla. A l@s geolok@s, a quienes les podría dedicar palabras a cada uno, pero por espacio mando un fuerte agradecimiento y abrazo a mi bro Gonzu y Acv2, a la Gabi, que siempre me apaña con el rock, a la Lunita por el cariño y buena onda, Bonnie, Gatits, Wolta que me aguanto tantas veces q lo agarré pal leseo, al Jacinto, Mendo, Chiquillas, Tamis, en fin, para todos podrían haber páginas y páginas. Al equipo de l@s Luis@s, quienes fueron un súper apoyo, en particular al Cris, José y Lara, son bkns cabros. Al Pelao y la Katy, por hacer más soportable el paso por la U con esa buena onda entregada cada vez, al igual que a tod@s l@s funcionari@s del Departamento. A los GPPinos, junto a quienes he desarrollado mi amor por el servicio público y rol social.

Finalmente, agradezco a los osos porque puedo.

# TABLA DE CONTENIDO

RESUMEN.....	i
AGRADECIMIENTOS.....	iii
1. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1. Formulación del Problema.....	1
1.2. Hipótesis de Trabajo .....	2
1.3. Objetivos.....	2
1.3.1. Objetivo General.....	2
1.3.2. Objetivos Específicos .....	2
1.4. Ubicación y Vías de Acceso .....	3
1.5. Clima, Hidrografía y Vegetación.....	4
1.6. Metodología de Trabajo.....	5
1.6.1. Estudio de la Geología Local .....	5
1.6.2. Inventario y Evaluación de Lugares de Interés Geológico.....	8
1.6.3. Contextualización y representación de los lugares de interés geológico.....	10
2. MARCO TEÓRICO: APLICACIONES DE TELEDETECCIÓN EN LA IDENTIFICACIÓN DE LÍMITES ESTRATIGRÁFICOS.....	11
3. MARCO CONCEPTUAL DE LA GEODIVERSIDAD Y EL PATRIMONIO GEOLÓGICO	13
3.1. Geodiversidad .....	13
3.2. Patrimonio Geológico y Geoconservación .....	13
3.2.1. Patrimonio Geológico.....	13
3.2.2. Valores de la Geodiversidad.....	15
3.2.3. Geoconservación .....	15
3.3. Geoturismo y Turismo en Ciencias de la Tierra .....	16
3.4. Geoparques y la Red Global de Geoparques (GGN).....	17
3.4.1. Geoparques: Definición, ejes y su relación con la GGN.....	17
4. MARCO GEOLÓGICO .....	19
4.1. Antecedentes Generales.....	19
4.2. Marco Estratigráfico .....	20
4.2.1. Unidades Estratificadas .....	20
4.2.2. Unidades Intrusivas .....	25
4.2.3. Unidades no Consolidadas.....	28
4.3. Marco Tectónico .....	28

4.3.1.	Unidades Morfoestructurales del Área de Estudio .....	28
4.3.2.	Estructuras .....	29
4.4.	Marco de Evolución Tectono-Estratigráfica.....	32
4.4.1.	Ciclo Andino en la zona de estudio.....	33
5.	GEOLOGÍA LOCAL .....	36
5.1.	Definición de Unidades Informales .....	36
5.1.1.	Unidades Estratificadas .....	36
5.1.2.	Unidades Intrusivas .....	62
5.2.	Estructuras .....	68
5.2.1.	Dominio Estructural Occidental .....	68
5.2.2.	Dominio Estructural Oriental .....	71
6.	DISCUSION SOBRE LA GEOLOGÍA LOCAL.....	74
6.1.	Interpretación y correlaciones.....	74
6.1.1.	Unidades Estratificadas .....	74
6.1.2.	Unidades Intrusivas .....	78
6.1.3.	Estructuras .....	79
6.2.	Definición de Contextos Geológicos Locales y su relación con los Contextos Geológicos Chilenos para la Caracterización del Patrimonio Geológico Nacional .....	81
7.	INVENTARIO Y VALORACIÓN DE LOS LUGARES DE INTERÉS GEOLÓGICO PROPUESTOS.....	83
7.1.	Selección y caracterización de Lugares de Interés Geológico.....	83
7.1.1.	Listado y Distribución de los Lugares de Interés Geológico identificados.....	83
7.1.2.	Definición de los Lugares de Interés Geológico Seleccionados.....	86
7.2.	Valoración y Análisis Cuantitativo de los LIGs Seleccionados .....	99
7.2.1.	Resultados cuantitativos obtenidos para los índices VC, PUT, PUE y RD .....	99
7.2.2.	Análisis de los índices VC, PUT, PUE y RD para los distintos LIGs.....	99
8.	MODELO DE EVOLUCIÓN PALEOGEOGRÁFICO Y GENÉTICO DE DE LOS LIGs.....	101
8.1.	Cretácico Inferior (Aptiano Tardío – Albiano Temprano) .....	101
8.2.	Cretácico Inferior – Superior (Albiano Tardío - Cenomaniano) .....	101
8.3.	Cretácico Superior (Coniaciano - Campaniano).....	102
8.4.	Maastrichtiano - Daniense .....	103
8.5.	Eoceno Superior – Oligoceno Tardío .....	103
8.6.	Mioceno Temprano - Presente.....	103
9.	CONCLUSIONES.....	105

9.1.	Limitaciones del Estudio .....	105
9.1.1.	Respecto a la Geología Local .....	105
9.1.2.	Respecto al Patrimonio Geológico .....	105
9.2.	Conclusiones Generales .....	106
9.2.1.	Con respecto a la Geología Local.....	106
9.2.2.	Con respecto al Patrimonio Geológico.....	106
9.3.	Recomendaciones .....	107
9.3.1.	Con respecto al estudio de la Geología Local .....	107
9.3.2.	Con respecto al Patrimonio Geológico y los Lugares de Interés Geológico .....	107
10.	BIBLIOGRAFÍA .....	108
11.	ANEXO A: Metodología.....	118
11.1.	Anexos Metodológicos para el Inventario de la Geodiversidad .....	118
11.1.1.	Fichas de Caracterización en Terreno para Lugares de Interés Geológico.....	118
11.1.2.	Ficha de Descripción para Lugares de Interés Geológico .....	121
11.1.3.	Valoración Cuantitativa para Lugares de Interés Geológico .....	123
11.1.4.	Contextos Geológicos Chilenos para la Caracterización del Patrimonio Geológico Nacional .....	132
12.	ANEXO B: Marco Conceptual de la Geodiversidad y el Patrimonio Geológico .....	135
12.1.	Objetivos de la Red Global de Geoparques .....	135
13.	ANEXO C: Geología Local.....	136
13.1.	Edades Radiométricas de la comuna de Petorca .....	136
13.2.	Distribución de las columnas estratigráficas de la comuna de Petorca.....	137
13.3.	Puntos de Control y Descripción Macroscópica de Muestras.....	138
13.3.1.	Sector Las Palmas – Frutillar Bajo .....	138
13.3.2.	Sector La Ñipa, Hierro Viejo y Los Tornos.....	140
13.3.3.	Sector Quebrada de Castro.....	144
13.3.4.	Sector Valle de Pedernal.....	146
13.3.5.	Sector Valle de El Sobrante .....	151
13.3.6.	Sector de El Rancho.....	156
13.3.7.	Sector Valle de Las Cruces.....	158
13.4.	Datos estructurales del Sistema Estructural Occidental.....	164
14.	ANEXO D: Inventario de Geodiversidad.....	165
14.1.	Fichas de Caracterización en Terreno de los Sitios de Interés Geológico .....	165
14.2.	Fichas de Inventario de los Lugares de Interés Geológico.....	181

14.3.	Resultados de los Parámetros Específicos para la Evaluación Cuantitativa del VC, PUE, PUT y RD .....	233
14.4.	Análisis de los Resultados Cuantitativos para los LIGs seleccionados .....	236
14.5.	Ficha de Justificación para la Solicitud de Declaración de Santuario de la Naturaleza del LIG 01, Diques de las Venas del Diablo .....	240

## ÍNDICE DE FIGURAS

Fig. 1.1 – Imagen satelital DEM de la zona de estudio (comuna de Petorca, región de Valparaíso, Chile).....	3
Fig. 1.2 – Red hidrográfica y realce de la vegetación (color rojo) de la comuna de Petorca.....	4
Fig. 1.3 – Comparación de las distintas imágenes satelitales utilizadas para la definición de contactos entre unidades y la confección del mapa geológico.....	7
Fig. 3.1 – Marco conceptual de geodiversidad, patrimonio geológico y geoconservación desde la mirada de la geoconservación.....	14
Fig. 4.1 – Mapa geológico compilado de la comuna de Petorca (región de Valparaíso).....	19
Fig. 4.2 – Formaciones presentes en la zona de estudio, con sus respectivas edades y contexto tectónico.....	20
Fig. 4.3 - Disposición de las principales unidades morfoestructurales de orientación NS de la zona de estudio.....	29
Fig. 4.4 - Relación espacial entre los afloramientos de la Formación Abanico y las principales estructuras que la limitan entre los 32°S y 34°S.....	31
Fig. 4.5 - Sistemas de fallas Quebrada de Castro, El Bronce y Petorca-El Durazno.....	32
Fig. 4.6 – Esquema paleogeográfico para la segunda subetapa de la primera etapa del ciclo Andino.....	33
Fig. 4.7 – Distribución de los depósitos volcánicos de la Formación Lo Valle (LV).....	34
Fig. 4.8 - a) Distribución esquemática de los afloramientos de la Formación Abanico y de las estructuras mayores que los limitan en la Cordillera Principal, entre los 32°S y 34°S. b) Esquema de la evolución de la Cuenca de Abanico entre el Oligoceno tardío y el Mioceno temprano en dos secciones generalizadas entre los 32°-33°S y los 33°-34°S.....	35
Fig. 5.1 – Columna estratigráfica generalizada de las unidades estratificadas informales.....	36
Fig. 5.2 – Mapa geológico de la comuna de Petorca.....	39
Fig. 5.3 – Columnas estratigráficas de la unidad Hierro Viejo – Pedernal.....	41
Fig. 5.4 – Imágenes de la sucesión basal de la unidad Hierro Viejo-Pedernal.....	42
Fig. 5.5 – Vista hacia el este de la secuencia estratigráfica de lavas, areniscas, conglomerados y tobas de la sucesión intermedia de la unidad Hierro Viejo-Pedernal.....	43
Fig. 5.6 – Imágenes de la sucesión intermedia de la unidad Hierro Viejo-Pedernal. A) Niveles sedimentarios del sector sur de la ex-mina La Dulcinea, constituida por areniscas medias con estratificación cruzada yaciendo bajo un nivel de conglomerado fino. B) Interpretación de las rocas sedimentarias de la fotografía A). C) Tobas vítreas rojas de la sección superior de la sucesión intermedia. D) Tobas cristalinas pardas de la sucesión intermedia (Muestra PD10P06M01.S)...	44
Fig. 5.7 – Imágenes de la sucesión superior de la unidad Hierro Viejo-Pedernal.....	45
Fig. 5.8 – Contacto concordante entre las unidades Hierro Viejo-Pedernal (andesitas) y El Sobrante (conglomerado).....	46
Fig. 5.9 – Columnas estratigráficas de la unidad El Sobrante.....	47
Fig. 5.10 – Imágenes del nivel conglomerádico basal de la unidad El Sobrante.....	48
Fig. 5.11 – Fotografías de la secuencia sedimentaria ubicada en el sector occidental del valle de El Sobrante.....	49
Fig. 5.12 – Fotografía de la toba lítica rojiza en el sector occidental del valle de El Sobrante.....	49
Fig. 5.13 – Sucesión sedimentaria continental clástica superior de la unidad El Sobrante.....	50

Fig. 5.14 – Nivel tobaceo superior de la unidad El Sobrante .....	50
Fig. 5.15 – Discordancia angular entre las unidades El Rancho en verde y la unidad Cerro Pila en amarillo.....	51
Fig. 5.16 – Columna estratigráfica de secciones de las unidades El Sobrante y El Rancho .....	52
Fig. 5.17 – Litologías representativas de la unidad El Rancho .....	53
Fig. 5.18 – Tobas y lavas de la unidad El Rancho.....	54
Fig. 5.19 – Discriminador litológico para el sector oriental de la comuna de Petorca.....	55
Fig. 5.20 – Secuencias sedimentarias del miembro basal de la unidad Cerro Pila, identificadas en el sector de Las Cruces .....	56
Fig. 5.21 – Columnas estratigráficas de la unidad Cerro Pila, levantadas en el sector de Las Cruces .....	57
Fig. 5.22 – Niveles tobáceos del sector NE del valle de Las Cruces.....	58
Fig. 5.23 – Niveles de brechas volcánicas, andesitas y areniscas finas del sector sur del valle de Las Cruces .....	59
Fig. 5.24 – Interpretación estructural de la zona sur del valle Las Cruces .....	61
Fig. 5.25 – Discriminadores litológicos utilizados para la delimitación de la unidad Las Cruces.....	61
Fig. 5.26 – Rocas intrusivas de la unidad intrusiva Las Palmas.....	63
Fig. 5.27 – Rocas intrusivas de la unidad Morro Hediondo .....	64
Fig. 5.28 – Gabro de piroxeno de la unidad intrusiva Cerro Negro .....	65
Fig. 5.29 – Afloramientos y muestras de las andesitas de piroxeno y las dioritas de hornblenda de la unidad intrusiva Cerro Negro .....	66
Fig. 5.30 – Tonalita de Hbl y Bt de la unidad intrusiva Laguna del Sobrante. ....	67
Fig. 5.31 – Vetas mineralizadas desarrolladas sobre lineamientos con manteos de alto ángulo hacia el SW .....	68
Fig. 5.32 – Traza de falla menor subparalela al lineamiento Quebrada de Castro.....	69
Fig. 5.33 – Perfil esquemático integrado de las unidades y estructuras de la zona de estudio.....	70
Fig. 5.34 – Traza de la Falla Portezuelo y la distribución de las unidades informales afectada por esta.....	71
Fig. 5.35 – Brechas de falla de la Falla Portezuelo .....	72
Fig. 5.36 – Perfil esquemático integrado de las unidades informales y estructuras del perfil A-A’ .....	73
Fig. 6.1 – Columna estratigráfica generalizada para la zona de estudio, correlacionada con la estratigrafía generalizada levantada por Boyce (2015) .....	75
Fig. 6.2 – Mineralización de sulfuros de cobre en brechas hidrotermales de la mina Los Tornos. ....	80
Fig. 6.3 – Distribución de los Contextos Geológicos Locales definidos para la zona de estudio. ....	82
Fig. 7.1 – Distribución de los Lugares de Interés Geológico (LIGs) propuestos y caracterizados para el valle de Petorca, región de Valparaíso, Chile .....	86
Fig. 7.2 - Diques máficos del sitio de interés Venas del Diablo.....	87
Fig. 7.3 – Lugar de interés geológico Escalera del Diablo.....	88
Fig. 7.4 – Panorámica de la Quebrada de Castro.....	89
Fig. 7.5 – Principales elementos de la geodiversidad del lugar de interés geológico Caldera Morro Hediondo .....	90
Fig. 7.6 – Afloramiento y litología del LIG Mina de Pedernalita. ....	91
Fig. 7.7 – Afloramiento y muestra del LIG06, brechas volcánicas de Pedernal .....	92



Fig. 7.8 – Afloramiento y muestra del LIG06, conglomerados rojos de Pedernal .....	93
Fig. 7.9 – Afloramiento del LIG08, secuencias sedimentarias de El Sobrante .....	94
Fig. 7.10 – Discordancia angular observada desde la ladera sur del valle del Sobrante .....	95
Fig. 7.11 – Elemento geológico principal y elementos de la biodiversidad asociados al LIG10, Laguna del Sobrante .....	96
Fig. 7.12 – Panorámica del LIG11 Avalancha de Roca del Intrusivo Cerro Parado .....	97
Fig. 7.13 – Elemento de interés principal del lugar de interés geológico Toba Lítica de Las Cruces.. .....	98
Fig. 8.1 – Modelo paleogeográfico y de evolución tectono-estratigráfica esquemático para el período comprendido entre el Aptiano Tardío y el Campaniano .....	102
Fig. 8.2 - Modelo paleogeográfico y de evolución tectono-estratigráfica esquemático para el período comprendido entre el Maastrichtiano y el presente.....	104
Fig. 13.1 - Distribución de las columnas estratigráficas levantadas de oeste a este en la comuna de Petorca.....	137
Fig. 13.2 – Diagrama de roseta del borde occidental del Sistema Estructural Oriental .....	164
Fig. 14.1 – Diques máficos del lugar de interés Venas del Diablo.....	181
Fig. 14.2 - Imagen representativa de los diques máficos del sitio de interés Venas del Diablo..	183
Fig. 14.3 – Enclaves máficos esferoidales del EDMF.....	184
Fig. 14.4 – Propuesta de polígono de protección del LIG Venas del Diablo .....	185
Fig. 14.5 – Palmar del sector de las Palmas .....	186
Fig. 14.6 – Anuros del río aledaño al sitio de interés Venas del Diablo. ....	186
Fig. 14.7 – Lugar de interés geológico Escalera del Diablo.....	188
Fig. 14.8 – Polígono de protección propuesto para la conservación y gestión del LIG Escalera del Diablo .....	190
Fig. 14.9 – Petroglifos de la Piedra del Indio .....	191
Fig. 14.10 – Especies de la biodiversidad visibles en la zona de la Escalera del Diablo .....	192
Fig. 14.11 – Lugar de interés geológico Quebrada de Castro .....	193
Fig. 14.12 – Brecha volcánica del sector Quebrada de Castro. ....	194
Fig. 14.13 – Sistema estructural de falla transcurrente dextral del sector Quebrada de Castro ..	195
Fig. 14.14 – Elementos de la geodiversidad asociados al elemento de interés principal .....	196
Fig. 14.15 – Elementos de interés no geológicos que se pueden encontrar en el LIG Quebrada de Castro.....	197
Fig. 14.16 – Propuesta de polígono de protección del LIG Quebrada de Castro .....	198
Fig. 14.17 – Lugar de interés geológico Caldera Morro Hediondo.....	200
Fig. 14.18 - Rocas intrusivas de la unidad Morro Hediondo extraídas en el sector del valle de Pedernal, más específicamente en los predios de la ex mina Dulcinea.....	201
Fig. 14.19 – Superficie de protección propuesta para el LIG05.....	203
Fig. 14.20 – Afloramiento principal del LIG 05, Mina de Pedernalita. ....	204
Fig. 14.21 - Afloramiento del LIG Mina de Pedernalita .....	205
Fig. 14.22 – Polígono de protección propuesto para el LIG 05, mina de Pedernalita.....	206
Fig. 14.23 – Afloramiento del LIG 06, Brechas Volcánicas de Pedernal. ....	207
Fig. 14.24 – Características del LIG 06, Brechas Volcánicas de Pedernal .....	208
Fig. 14.25 – Polígonos de protección propuestos para los LIG 06 (punto naranja) y LIG 07 (punto rojo) .....	210

Fig. 14.26 – Conglomerados rojos de clastos redondeados del LIG 07, Conglomerados Rojos de Pedernal.....	211
Fig. 14.27 – Afloramiento y litología de los conglomerados rojos de Pedernal.....	212
Fig. 14.28 - Polígonos de protección propuestos para los LIG 06 (punto naranja) y LIG 07 (punto rojo).....	214
Fig. 14.29 – Afloramiento del LIG 08, Secuencias Sedimentarias de El Sobrante.....	215
Fig. 14.30 - Afloramiento del LIG08, secuencias sedimentarias de El Sobrante.....	216
Fig. 14.31 – Nivel de toba vítrea en las cercanías del elemento principal del LIG 08.....	217
Fig. 14.32 – Polígono de protección del LIG 08.....	218
Fig. 14.33 – Fotografía panorámica del LIG 09 Discordancia Angular de El Sobrante.....	219
Fig. 14.34 – Modelo paleogeográfico esquemático para el Maastrichtiano – Daniense.....	221
Fig. 14.35 – Polígono de protección propuesto para el LIG Discordancia Angular de El Sobrante.....	221
Fig. 14.36 – Laguna de El Sobrante.....	223
Fig. 14.37 – Elementos de interés geológicos asociados al LIG 10.....	224
Fig. 14.38 – Elementos de la Biodiversidad asociados al elemento de interés geológico principal.....	224
Fig. 14.39 – Polígono de protección propuesto para los LIGs 10, 11 y 12.....	225
Fig. 14.40 – Avalancha de roca del LIG 11.....	226
Fig. 14.41 – Características del elemento de interés principal del LIG Avalancha de Roca del Intrusivo Cerro Parado.....	228
Fig. 14.42 Afloramiento principal del LIG 12 Toba Lítica de Las Cruces.....	230
Fig. 14.43 – Afloramientos y litología del LIG Toba Lítica de Las Cruces.....	231
Fig. 14.44 – Elementos geológicos asociados espacialmente al LIG 12.....	232
Fig. 14.45 – Núcleo de biodiversidad principal de Palma Chilena, ubicado en el sector de Las Palmas.....	241
Fig. 14.46 –Diques máficos intruyendo el cuerpo leucocrático de la Unidad Tonalítica Principal del Complejo Plutónico Illapel.....	242

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.1 - Calificación del VC, PUE, PUT, RD.....	10
Tabla 2.1 – Comparación y correlaciones de bandas para las imágenes satelitales Landsat 7 ETM+, Landsat 8 OLI y Sentinel 2.....	11
Tabla 2.2 – Combinaciones de bandas utilizadas en este trabajo para realce de vegetación, litología y minerales de alteración.....	12
Tabla 6.1 – Definición de los 11 contextos geológicos locales definidos para la comuna de Petorca.....	81
Tabla 7.1 – Listado y distribución de los lugares de interés geológico identificados en la comuna de Petorca.....	83
Tabla 7.2 – Resultado de la evaluación cuantitativa del VC, PUE, PUT y RD para los 12 lugares de interés geológico seleccionados.....	99
Tabla 11.1 - Ficha de caracterización en terreno para lugares de interés geológico (Martínez, 2017)......	118
Tabla 11.2 – Formato tipo para la caracterización en terreno de los sitios de interés geológicos.....	120

Tabla 11.3 - Ficha de descripción de los lugares de interés geológico .....	121
Tabla 11.4 - Descripción de los criterios de evaluación del valor científico (Brilha, 2016). .....	123
Tabla 11.5 - Asignación de los puntajes para los criterios de cuantificación del valor científico (Brilha, 2016) .....	124
Tabla 11.6 - Ponderación de los criterios utilizados para cuantificar el valor científico (Brilha, 2016). .....	125
Tabla 11.7 - Descripción de los criterios comunes para la evaluación del PUE y el PUT (Brilha, 2016). .....	125
Tabla 11.8 - Descripción de los criterios específicos para la evaluación del PUE y el PUT (Brilha, 2016). .....	126
Tabla 11.9 - Asignación de los puntajes para los criterios comunes de cuantificación del PUT y PUE (Brilha, 2016) .....	127
Tabla 11.10 - Asignación de los puntajes para los criterios específicos de cuantificación del PUT y PUE (Brilha, 2016) .....	129
Tabla 11.11 - Ponderación de los criterios utilizados para cuantificar el PUE y el PUT (Brilha, 2016). .....	130
Tabla 11.12 - Descripción de los criterios de evaluación del riesgo de degradación (Brilha, 2016). .....	131
Tabla 11.13 - Asignación de los puntajes para los criterios de cuantificación del valor científico (Brilha, 2016) .....	131
Tabla 11.14 - Ponderación de los criterios utilizados para cuantificar el riesgo de degradación (Brilha, 2016). .....	132
Tabla 11.15 – Contextos geológicos nacionales para la caracterización del patrimonio geológico .....	132
Tabla 12.1 – Objetivos de la Red Global de Geoparques para promover el desarrollo económico sostenible .....	135
Tabla 13.1 – Edades radiométricas de la comuna de Petorca.....	136
Tabla 13.2 – Datos estructurales del borde occidental del Sistema Estructural Occidental.....	164
Tabla 14.1 – Ficha de caracterización en terreno del LIG01, Diques Venas del Diablo. ....	165
Tabla 14.2 – Ficha de caracterización en terreno del LIG02, Dique Escalera del Diablo. ....	166
Tabla 14.3 – Ficha de caracterización en terreno del LIG03, Quebrada de Castro.....	167
Tabla 14.4 – Ficha de caracterización en terreno del LIG04 Caldera Morro Hediondo. ....	169
Tabla 14.5 – Ficha de caracterización en terreno del LIG05, Mina de Pedernalita. ....	170
Tabla 14.6 – Ficha de caracterización en terreno del LIG06, Brechas Volcánicas de Pedernal. ....	171
Tabla 14.7 – Ficha de caracterización en terreno del LIG07, Conglomerados Rojos de Pedernal. ....	172
Tabla 14.8 – Ficha de caracterización en terreno del LIG08, Secuencias Sedimentarias del Sobrante.....	174
Tabla 14.9 – Ficha de caracterización en terreno del LIG09, Discordancia Angular del Valle del Sobrante.....	175
Tabla 14.10 – Ficha de caracterización en terreno del LIG10, Laguna del Sobrante. ....	176
Tabla 14.11 – Ficha de caracterización en terreno del LIG11, Avalancha de Roca del Intrusivo del Cerro Parado.....	177
Tabla 14.12 – Ficha de caracterización en terreno del LIG12, Toba Lítica de las Cruces.....	179
Tabla 14.13 – Ficha de descripción cualitativa del LIG01, Dique de las Venas del Diablo. ....	181

Tabla 14.14 – Ficha de descripción cualitativa del LIG02, Dique Escalera del Diablo.....	187
Tabla 14.15 – Ficha de descripción cualitativa del LIG03, Quebrada de Castro. ....	192
Tabla 14.16 – Ficha de caracterización cualitativa del LIG04, Caldera Morro Hediondo.....	199
Tabla 14.17 – Ficha de caracterización cuantitativa del LIG05, Mina de Pedernalita.....	204
Tabla 14.18 – Ficha de caracterización cualitativa del LIG06, Brechas Volcánicas de Pedernal. .....	207
Tabla 14.19 – Ficha de caracterización cualitativa del LIG07, Conglomerados Rojos de Pedernal. .....	211
Tabla 14.20 – Ficha de caracterización cualitativa del LIG08, Secuencias Sedimentarias de El Sobrante.....	215
Tabla 14.21 – Ficha de caracterización del LIG09, Discordancia Angular de El Sobrante. ....	219
Tabla 14.22 – Ficha de caracterización cualitativa del LIG10, Laguna del Sobrante.....	222
Tabla 14.23 – Ficha de caracterización cualitativa del LIG11, Avalancha de Roca del Intrusivo del Cerro Parado.....	226
Tabla 14.24 – Ficha de caracterización cualitativa del LIG12, Toba Lítica de Las Cruces. ....	229
Tabla 14.25 – Desglose de la valoración cuantitativa del Valor Científico (VC) en función de los parámetros específicos definidos por Brilha (2016).....	233
Tabla 14.26 – Desglose de la valoración cuantitativa del Potencial de Uso Educativo (PUE) en función de los parámetros específicos definidos por Brilha (2016). ....	234
Tabla 14.27 – Desglose de la valoración cuantitativa del Potencial de Uso Turístico (PUT) en función de los parámetros específicos definidos por Brilha (2016). ....	235
Tabla 14.28 – Desglose de la valoración cuantitativa del Riesgo de Degradación (RD) en función de los parámetros específicos definidos por Brilha (2016). ....	235
Tabla 14.29 – Ficha de Justificación para la Solicitud de Declaración de Santuario de la Naturaleza del LIG 01, Diques de las Venas del Diablo. La ficha incluye las secciones de identificación, antecedentes de justificación y descripción del área propuesta.....	240

## ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1.1 - Cálculo del puntaje de los parámetros cuantitativos VC, PUE, PUT y RD.....	10
---	----

# 1. INTRODUCCIÓN

---

## 1.1. Formulación del Problema

La comuna de Petorca se ubica en la zona noreste de la región de Valparaíso y, con una superficie de 1517 km<sup>2</sup>, es la comuna más extensa de la región. La economía local históricamente se ha basado en la actividad minera de cobre y oro (Vicuña Mackenna, 1881; Camus *et al.*, 1986; Skewes *et al.*, 1988; Camus *et al.*, 1991; Kojima, 1999; Servicio Nacional de Geología y Minería, 2012). En la actualidad, la falta de actividades mineras ha dado paso a la producción de monocultivos de paltos y limones como principal fuente laboral de la zona (Biblioteca del Congreso Nacional de Chile, 2015). La escasez de oportunidades laborales ha generado una migración de la población joven y una situación de pobreza comunal que llegó a casi el 28% el año 2013, que corresponde al doble del índice nacional para ese mismo año (Biblioteca del Congreso Nacional de Chile, 2015).

Así, el geoturismo surge como una solución atractiva para aquellas problemáticas al diversificar y dinamizar la economía local. El turismo propuesto, posee una base a partir de tres principios fundamentales: 1) la existencia de un patrimonio geológico destacado, 2) la puesta en marcha de iniciativas de geoconservación, educación y divulgación, y 3) creación de un proyecto de desarrollo socioeconómico y cultural a escala local basado en el patrimonio geológico (Carcavilla *et al.*, 2006).

El desarrollo de un turismo en base al patrimonio geológico requiere conocer los distintos elementos de interés geológico que lo componen. Actualmente existen diversas metodologías de evaluación y caracterización de estos lugares de interés geológico o LIGs (Brilha, 2005; Brilha, 2016; Brock y Semeniuk, 2007; Carcavilla *et al.*, 2007; Carcavilla *et al.*, 2012; Cendrero, 2000; Henriques, 2011; Gray, 2013; entre muchos otros). No obstante, no existe una metodología de caracterización estándar, tanto a nivel nacional como internacional.

En los últimos años, diversos trabajos de título han utilizado la metodología de Brilha (2016) para la caracterización de los lugares de interés geológico en base a sus propiedades intrínsecas: valor científico (VC), potencial de uso educativo (PUT), potencial de uso turístico (PUT) y riesgo de degradación (RD). Si bien estos parámetros se analizan primeramente de forma cualitativa, a partir de una serie de puntajes y ponderaciones se les otorga un valor cuantitativo (Brilha, 2016). Es aquella cuantificación la que facilita el desarrollo de políticas y estrategias de conservación y aprovechamiento del patrimonio geológico, objetivo intrínseco de su gestión (Carcavilla *et al.*, 2014).

Hasta el momento se ha hecho referencia principalmente a las características de los lugares de interés geológico (LIGs) y cómo permiten desarrollar estrategias de conservación y aprovechamiento. No obstante, hay que tener en consideración que todos aquellos lugares se encuentran en contextos geológicos determinados, por lo que identificar los más representativos, de los diversos contextos, resulta fundamental para el desarrollo de un producto turístico innovador basado en la interpretación de los estadios evolutivos del territorio.

En particular, la comuna de Petorca se enmarca en un contexto geológico dominado principalmente por la evolución del arco volcánico en la zona de subducción plana, más específicamente alrededor de los 32°S. La definición de contextos locales se ha dificultado por la escasa correlación

estratigráfica y las intensas variaciones de facies sedimentarias y volcánicas de las formaciones cretácicas a estas latitudes.

Mediante la caracterización de la estratigrafía y las estructuras geológicas de la comuna, este trabajo de título busca definir los contextos geológicos locales para la identificación, inventariado y análisis de los lugares de interés geológicos más representativos de los distintos eventos que han modelado el relieve desde el Cretácico Inferior hasta la actualidad.

## **1.2. Hipótesis de Trabajo**

A partir de la problemática de la zona, y con el objetivo de unificar la geología base con el patrimonio geológico, se desprende la siguiente hipótesis de trabajo:

La geodiversidad de la comuna de Petorca cuenta con lugares de interés geológicos de relevancia científica, turística y/o educativa, que representan las distintas etapas de evolución del territorio desde el Cretácico Inferior hasta la actualidad.

## **1.3. Objetivos**

### **1.3.1. Objetivo General**

Caracterizar la geología e inventariar los lugares de interés geológico (LIGs) de la comuna de Petorca para establecer un modelo de evolución geológica que contextualice los LIGs, y que aporte al enriquecimiento del relato científico, turístico y/o educativo del patrimonio geológico local.

### **1.3.2. Objetivos Específicos**

- OE. 1. Definir y describir unidades geológicas de la comuna de Petorca.
- OE. 2. Describir las principales estructuras de la comuna, con especial énfasis en el sector oriental de la zona de estudio.
- OE. 3. Desarrollar un mapa geológico comunal con su modelo estructural en escala 1:100.000.
- OE. 4. Correlacionar las unidades geológicas descritas con las unidades formales de la bibliografía.
- OE. 5. Definir contextos geológicos locales para caracterizar la evolución geológica del territorio.
- OE. 6. Identificar y seleccionar potenciales lugares de interés geológicos de la comuna de Petorca.
- OE. 7. Caracterizar los LIGs seleccionados a nivel comunal.
- OE. 8. Valorizar los LIGs inventariados.
- OE. 9. Contextualizar, mediante una representación gráfica, los lugares de interés geológico con los distintos estadios del modelo de evolución geológico.

## 1.4. Ubicación y Vías de Acceso

La comuna de Petorca corresponde a la más grande de la Región de Valparaíso con 1517 km<sup>2</sup>. Posee 10.047 habitantes, y se ubica en el límite norte de la Región, colindando hacia el norte con la región de Coquimbo y hacia el sur con la comuna de Cabildo (Fig. 1.1). El valle se encuentra a 204 km de Santiago. Desde esta ciudad, se debe tomar la ruta 5 hacia el norte, y posteriormente se debe tomar la ruta E-35 en dirección a La Ligua-Cabildo. Desde Cabildo, siguiendo por la ruta E-35, tras recorrer 33 km, se llega a la localidad de Petorca (Fig. 1.1).

Tanto la ruta 5 como la ruta E-35 se encuentran pavimentadas. El acceso a lugares más alejados de la comuna se realiza por caminos de tierra o de ripio. Algunos de los lugares de interés, tanto geológicos como arqueológicos, se acceden por huellas.

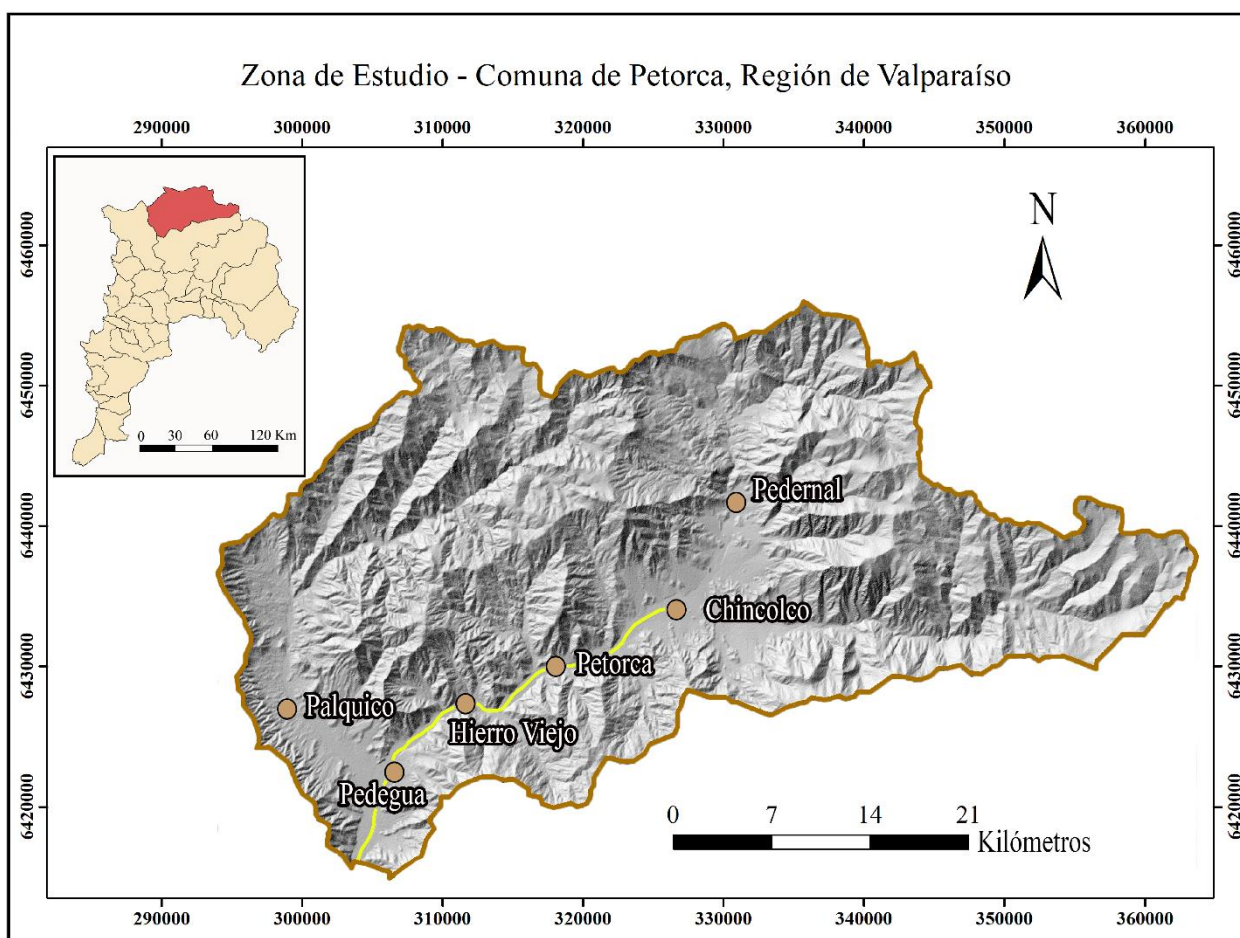


Fig. 1.1 – Imagen satelital DEM de la zona de estudio (comuna de Petorca, región de Valparaíso, Chile). Con círculos pardo anaranjado se destacan las principales localidades de la comuna, y en un trazo de color amarillo la ruta E-35, la cual conecta la comuna de Petorca con la comuna colindante de Cabildo por el sur. El cuadro superior izquierdo muestra la distribución geopolítica de la región de Valparaíso, destacándose en rojo la comuna de Petorca.

## 1.5. Clima, Hidrografía y Vegetación

La cuenca del río Petorca, principal dren de la comuna, se desarrolla en una macrozona con régimen mixto semiárido-mediterráneo con estaciones secas prolongadas (Anabalón, 2006). Las precipitaciones medias anuales no superan los 300 mm, marcando una tendencia hacia el clima semiárido (Anabalón, 2006).

Los principales afluentes del río Petorca los constituyen el río Pedernal y El Sobrante (Fig. 1.2), los cuales se ubican en el sector oriental de la zona de estudio. En torno a estos tres ríos se desarrolla la agricultura de palto, limones y nogales, siendo esta la principal actividad productiva de la comuna (Anabalón, 2006).

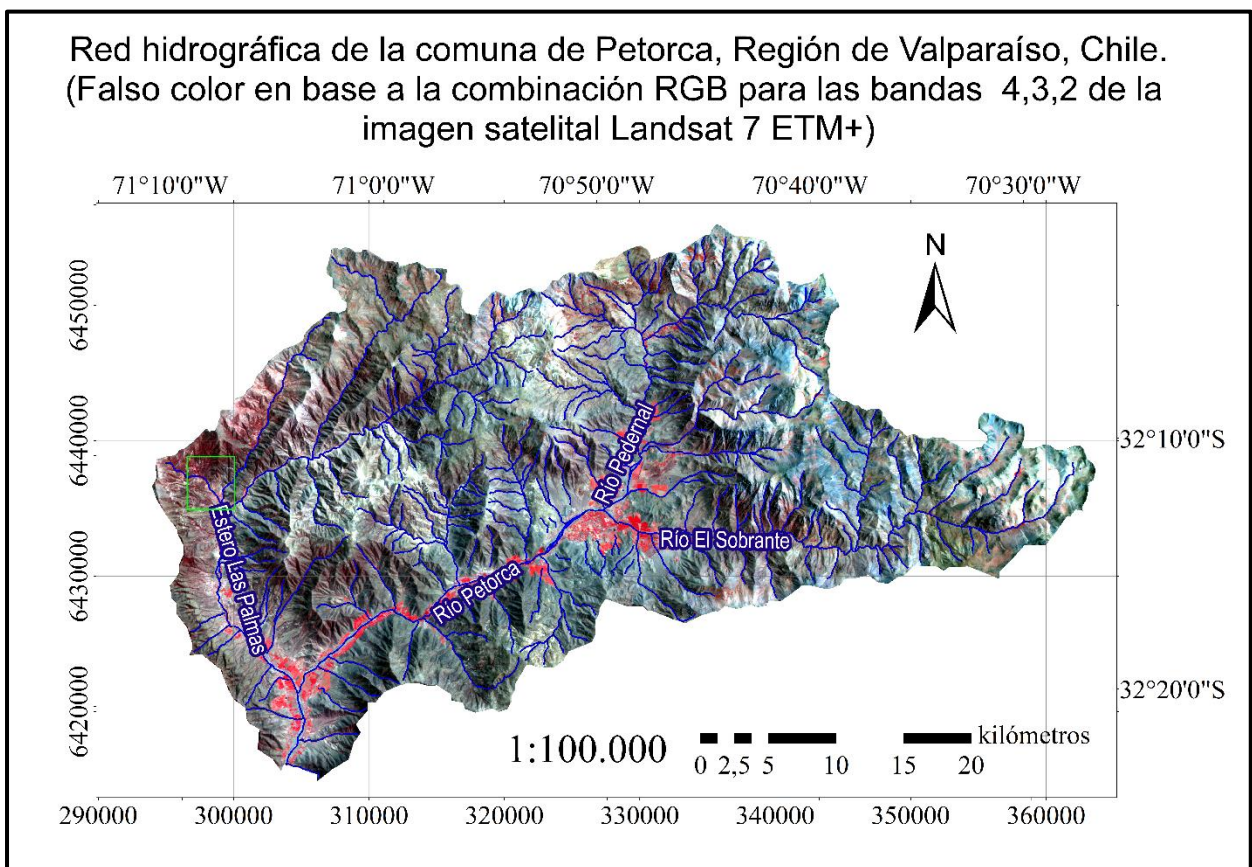


Fig. 1.2 – Red hidrográfica y realce de la vegetación (color rojo) de la comuna de Petorca, a partir de la combinación de bandas 432 para el falso color de la imagen satelital Landsat 7 ETM+. En tonalidades rojas se realza la vegetación, siendo esta abundante en las riberas de los ríos Petorca, El Sobrante y Pedernal. Cabe destacar que aquel realce indica mayoritariamente las zonas de monocultivos de paltos, limones y nogales. Con un cuadro verde en el límite occidental, se delimita el núcleo de biodiversidad de Palma Chilena (*Jubaea chilensis*).

La vegetación endémica, altamente degradada por la acción antrópica y la introducción de especies exóticas tales como los paltos (*Persea americana Mill*), se caracteriza por su desarrollo transicional entre formaciones semiáridas y mediterráneas, con abundancia de vegetación esclerófila, arbustos y cactáceas, donde las últimas predominan en las laderas de exposición norte (Ríos y Toro, 2008).

Entre las especies arbóreas y arbustivas más comunes destacan el peumo (*Cryptocarya alba*), el Boldo (*Peumus boldus*), el Litre (*Lithraea caustica*), Quillay (*Quillaja saponaria*) y el Espino



(*Acacia caven*). En los sitios con mayor humedad, tales como quebradas y cursos de agua, abundan las Pataguas (*Crinodendron patagua*), los Lingues (*Persea lingue*), y en menor medida el Canelo (*Drimis winteri*) y el Belloto del Norte (*Beilschmiedia miersii*), ambas especies endémicas de Chile que se encuentran en peligro de extinción (Ríos y Toro, 2008). Entre las lianas y plantas herbáceas más comunes se encuentran la *Lardezabala biternata*, *Proustia pyrifolia*, *Tropaeolum azureum* y los helechos *Adiantum chilense* y *Blechnum hastatum*.

En el límite occidental de la zona de estudio (Fig. 1.2), las condiciones climáticas y geográficas permitieron el desarrollo de un núcleo de biodiversidad de Palma Chilena (*Jubaea chilensis*), el cual cuenta con 1300 ejemplares de esta especie protegida y declarada en estado de conservación vulnerable por la IUCN (Youlton *et al.*, 2016). Este núcleo de biodiversidad corresponde a uno de los palmares relictos más septentrionales de Chile, y el área fue declarada Sitio Prioritario para la Conservación de la Biodiversidad (Muñoz *et al.*, 1996).

## **1.6. Metodología de Trabajo**

### **1.6.1. Estudio de la Geología Local**

#### **1.6.1.1. Trabajo de gabinete pre-campaña de campo**

La primera aproximación para conocer la zona de estudio se realizó mediante la revisión bibliográfica disponible y el reconocimiento mediante imágenes satelitales. En esta línea, herramientas computacionales como *ENVI v. 5.3* y *ArcGIS v. 10.5* fueron utilizadas para determinar tanto topografía como litologías, facilitando el trabajo en terreno.

El *software ArcGIS* se utilizó para el tratamiento de imágenes satelitales *ASTER GDEM (Global Digital Elevation Map)*, mediante las cuales se determinó la topografía de la zona de estudio. Esta herramienta fue utilizada para establecer las rutas a seguir en terreno.

Adicionalmente, el *software ENVI* fue empleado en el tratamiento de imágenes satelitales de tipo *Landsat 7 ETM+*, *Landsat 8 OLI* y *Sentinel 2*. A diferencia de los *ASTER GDEM*, los satélites de estas imágenes no entregan valores de elevación, sino que separan las distintas longitudes de onda del espectro electromagnético emitido por la superficie. Estas longitudes de ondas son agrupadas en bandas espectrales las cuales, al ser combinadas de manera específica, ayudaron a resaltar el espectro visible e incluso realizar un discriminador litológico y de vegetación (Fig. 1.3). El uso de esta herramienta tuvo por objetivo establecer una primera aproximación al mapeo geológico de la comuna (OE. 1), e identificar los sectores de menor vegetación para buscar las zonas óptimas donde estudiar afloramientos.

#### **1.6.1.2. Trabajo de campaña de campo**

Una vez definidas las rutas, se llevó a cabo la campaña en terreno desarrollada entre los meses de enero y abril de 2018. Esta etapa estuvo enfocada en obtener los datos procesados en el trabajo

post- terreno, los que son posibles de separar en 3 ejes: unidades estratigráficas, datos estructurales y unificación de los datos.

a) Unidades estratigráficas (Metodología para el OE. 1)

Para definir las unidades estratigráficas se llevó a cabo una transecta W-E, en la cual se levantaron columnas estratigráficas en puntos clave para la definición de las unidades geológicas estratificadas. Asimismo, se definieron las unidades no estratificadas y las alteraciones.

b) Estructuras (Metodología para el OE. 2)

Para definir las estructuras de la zona, se determinaron los rumbos y manteos de las unidades estratificadas y, cuando fue posible, de las estructuras que afloraban en el sector. Adicionalmente, se buscaron evidencias estructurales tales como brechas y espejos de falla, colas sigma y delta, salbanda, entre otros.

c) Unificación de los datos (Metodología para el OE. 3)

Para la representación de los datos, se confeccionó un mapa geológico de la comuna en escala 1:100.000 en base a los 240 puntos de control obtenidos. Para ello, primero se definieron las unidades estratificadas y no estratificadas, seguido de las estructuras y la alteración de las rocas. Para la delimitación de las unidades y las zonas de alteración se utilizaron además combinaciones de bandas espectrales específicas (Fig. 1.3) para las imágenes satelitales *Landsat 8 OLI* y *Sentinel 2* (Marco Teórico, Tabla 2.2).

### 1.6.1.3. Trabajo de gabinete post-campaña de campo

a) Tabulación y correlación (Metodología para el OE. 4)

En gabinete se tabuló la información levantada en terreno a partir de las columnas, mapas y perfiles estructurales. Además, se anexó la descripción de las muestras.

Con aquella información, se correlacionaron las unidades geológicas informales definidas, con las unidades formales de la bibliografía actualizada.

b) Definición de Contextos Geológicos Locales (Metodología para el OE. 6)

Una vez correlacionadas las unidades geológicas y estructuras de la zona de estudio, se definieron 11 contextos geológicos locales para representar la evolución geológica de la comuna de Petorca, los cuales se dividieron en dos ejes: a) Procesos Geomorfológicos del Neógeno – Cuaternario y b) Evolución del Magmatismo y del Arco Volcánico.

Los contextos geológicos locales fueron a su vez comparados con los contextos geológicos nacionales para la caracterización del patrimonio geológico nacional definidos por Mourgues *et al.* (2012) con el fin de correlacionar los LIGs seleccionados con la estandarización a nivel nacional.

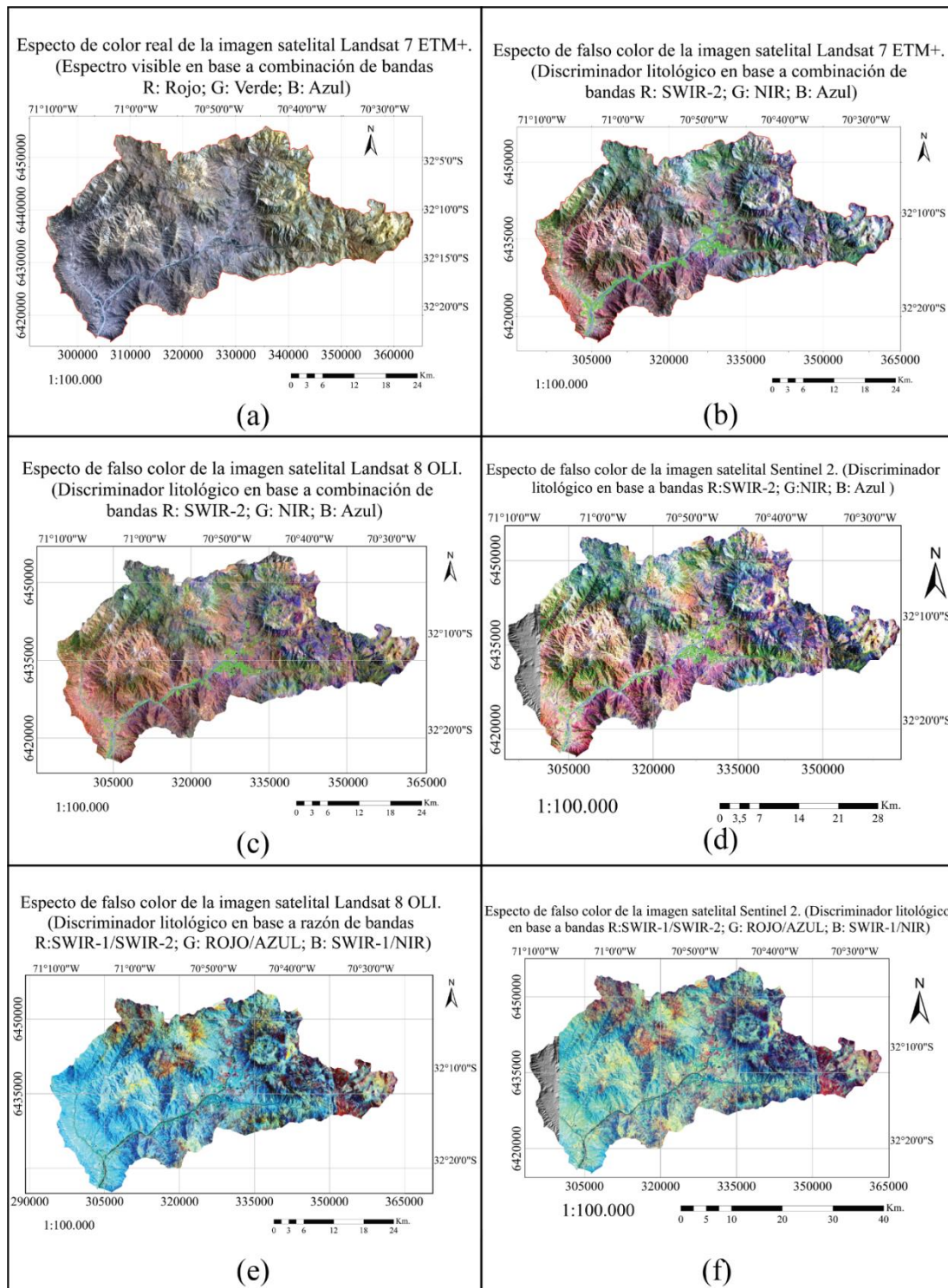


Fig. 1.3 – Comparación de las distintas imágenes satelitales utilizadas para la definición de contactos entre unidades y la confección del mapa geológico en escala 1:100.000. Las distintas imágenes detallan el satélite utilizado y las razones de bandas utilizadas a partir de las metodologías disponibles (Pérez y Muñoz, 2006; Mwaniki *et al.*, 2015).

## 1.6.2. Inventario y Evaluación de Lugares de Interés Geológico

Existe un amplio abanico de posibilidades para desarrollar una metodología con la cual desarrollar un inventario de los lugares de interés geológico (e.g. Fernández, 2007; Martínez, 2010; Benado, 2013; Parterrieu, 2013; Brilha, 2016; Martínez, 2017). El presente trabajo de título se basó en las metodologías utilizadas por Brilha (2016) y Martínez (2017).

### 1.6.2.1. Identificación y selección de potenciales Lugares de Interés Geológico (Metodología para el OE. 6)

Una vez definidos los contextos geológicos locales, se identificaron los lugares de interés geológicos de la comuna de Petorca en base al conocimiento de la comunidad local y el estudio de superficie desarrollado en este trabajo. En este proceso, 26 LIGs potenciales fueron catastrados, los cuales se encuentran distribuidos en toda la comuna y representan los contextos geológicos locales definidos.

Para el desarrollo de un inventario comunal se seleccionaron 12 LIGs en base a su rareza o singularidad, integridad, conocimiento científico y representatividad de los contextos geológicos locales. En el caso de los LIGs Dique Escalera del Diablo y Mina de Pedernalita, la asociación con elementos de interés no geológicos fue un criterio de selección dada su relevancia cultural.

### 1.6.2.2. Caracterización e inventariado de LIGs seleccionados (Metodología para el OE. 7)

Sistematizar la caracterización de criterios determinables en terreno permite tener un registro estandarizado y metodológicamente unificado. Martínez (2017) desarrolló una ficha de caracterización en terreno (Anexo, Tabla 11.1), que incluye parámetros tales como la distribución geográfica de los sitios de interés, las condiciones de acceso, los contextos geológicos representados, el estado de conservación, las características más relevantes, su belleza y condiciones de observación, entre otros. En este trabajo de título se modificó la ficha desarrollada por Martínez (2017) con el objeto de incluir parámetros que ayuden al desarrollo del inventario comunal y posterior valorización de los LIGs,

Para desarrollar el inventario comunal de lugares de interés geológico, se utilizó una ficha de caracterización que incluye la justificación de la selección del sitio en base a la rareza, integridad, valor científico intrínseco y representatividad del contexto geológico principal, y su asociación con otros aspectos de la geodiversidad. Además, existen secciones que hacen referencia a las condiciones de aprovechamiento, relación con elementos de interés no geológicos y condiciones actuales de conservación del LIG con sus correspondientes polígonos de protección (Anexo, Tabla 11.3).

### 1.6.2.3. Cuantificación y valorización de los LIGs inventariados (Metodología para el OE. 8)

A partir de una serie de criterios definidos por Brilha (2016), se valorizaron los distintos lugares de interés geológicos seleccionados bajo 4 parámetros principales: Riesgo de Degradación (RD), Valor Científico (VC), Potencial de Uso Educativo (PUE) y Potencial de Uso Turístico (PUT) (Anexo, Tabla 11.4, Tabla 11.7, Tabla 11.8 y Tabla 11.12, respectivamente).

#### a) Evaluación cuantitativa del valor científico (VC)

El VC corresponde a uno de los pilares fundamentales de la identificación del Patrimonio Geológico debido a que su importancia radica en rescatar la relevancia científica de una ocurrencia, independientemente de su uso potencial inmediato.

La cuantificación del VC incluye 7 criterios que fueron caracterizados en trabajo de campo y gabinete (Anexo, Tabla 11.4). Los primeros 6 criterios (de la A a la F) corresponden a valores intrínsecos del lugar de interés geológico, mientras que el séptimo criterio (G) se relaciona con el potencial de uso para investigaciones científicas (Brilha, 2016).

#### b) Evaluación cuantitativa del potencial de uso educativo (PUE) y del potencial de uso turístico (PUT)

El PUE y PUT se refieren estrictamente al uso adicional que puede atribuirse a un sitio de interés geológico identificado. Un alto valor de PUE permite desarrollar programas educativos en torno a la importancia de aquellos lugares. De igual manera, un alto valor de PUT permite diseñar una serie de actividades en torno al turismo.

Para cuantificar el PUE y el PUT de los lugares de interés geológicos, se caracterizaron en terreno y gabinete los distintos criterios definidos por Brilha (2016). Estos usos potenciales comparten 10 criterios comunes (Anexo, Tabla 11.7). Dado que la finalidad de ambos usos potenciales es distinta, a cada uno se añaden criterios específicos (Anexo, Tabla 11.8).

#### c) Evaluación cuantitativa del riesgo de degradación (RD)

El RD corresponde a la vulnerabilidad del sitio de interés tanto por acción natural como antrópica. Un alto valor del RD indica que este sitio posee un riesgo potencial y, por ende, debiese ser considerado en las políticas de conservación.

Brilha (2016) definió 5 criterios para la cuantificación del RD (Anexo, Tabla 11.12). Dada sus naturalezas, solo fueron caracterizados en terreno los criterios de deterioro de los elementos geológicos y de proximidad a áreas/actividades con potencial de producir degradación. Los otros 3 criterios fueron caracterizados en gabinete.

d) Calificación de los lugares de interés geológico

A cada criterio del VC, PUE, PUT y RD se le asignó un puntaje y ponderación (Anexo, Tabla 11.5, Tabla 11.6, Tabla 11.9, Tabla 11.10, Tabla 11.11, Tabla 11.13 y Tabla 11.14). Utilizando aquella ponderación, a cada lugar de interés se le calculó (Ecuación 1.1) un puntaje que va de 0 a 400.

*Ecuación 1.1 - Cálculo del puntaje de los parámetros cuantitativos VC, PUE, PUT y RD. “ $c_i$ ” corresponde al criterio “ $i$ ”, “ $p_i$ ” el puntaje asignado al criterio “ $i$ ”, y “ $n$ ” la cantidad de criterios del parámetro cuantitativo calculado.*

$$\text{Parámetro Cuantitativo (VC, PUE, PUT, RD)} = \sum_{i=1}^n c_i \times p_i$$

Con aquel puntaje, se calificaron los parámetros cuantitativos del lugar de interés geológico en bajo, moderado y alto (Tabla 1.1). Esta calificación condiciona las estrategias de gestión de los sitios. Un alto riesgo de degradación requiere estrategias de conservación por sobre los usos potenciales. Si el lugar presenta un RD moderado a bajo, entonces es posible planificar su aprovechamiento para fines turísticos y educativos, siempre y cuando no afecten la conservación de los elementos de interés.

*Tabla 1.1 - Calificación del VC, PUE, PUT, RD en función del puntaje obtenido a partir de los criterios específicos para cada parámetro. Bajos valores de RD se considera un rasgo positivo, mientras que para el resto de los parámetros bajos valores es un rasgo negativo.*

<b>VC, PUE, PUT, RD</b>	<b>CALIFICACIÓN</b>
< 200	Bajo
201-300	Moderado
301 - 400	Alto

### 1.6.3. Contextualización y representación de los lugares de interés geológico (Metodología para el OE. 9)

Dado que los LIGs seleccionados representan diversos estadios de la evolución geológica de la zona de estudio, estos fueron representados mediante modelos de evolución paleogeográficos esquemáticos, permitiendo la visualización de la conexión espacial, temporal y genética entre ellos.

## 2. MARCO TEÓRICO: APLICACIONES DE TELEDETECCIÓN EN LA IDENTIFICACIÓN DE LÍMITES ESTRATIGRÁFICOS

El uso de imágenes satelitales ha contribuido a diversas disciplinas debido a la amplia gama de aplicaciones. Una de las aplicaciones que ha adquirido una gran relevancia para la geología y el estudio de superficie la constituye la teledetección, la cual permite identificar diversos elementos de la superficie tales como vegetación, cuerpos de agua, hielo, nieve, zonas urbanas e incluso suelos y rocas (Knepper, 2010).

La teledetección se basa en el estudio de la radiación electromagnética que refleja la superficie de la Tierra y es captada mediante satélites o aviones que cuentan con detectores (Pérez y Muñoz, 2006). Según el tipo de satélite, es posible obtener distintos registros, los cuales son separados en bandas espectrales o electromagnéticas (Pérez y Muñoz, 2006). En el presente trabajo de título se utilizan los satélites *Landsat 7 ETM+*, *Landsat 8 OLI* y *Sentinel 2*, los cuales poseen distintas resoluciones y rangos de banda (Tabla 2.1), realizando de manera distinta las litologías.

Tabla 2.1 – Comparación y correlaciones de bandas para las imágenes satelitales *Landsat 7 ETM+*, *Landsat 8 OLI* y *Sentinel 2*.

Landsat-7 ETM+ (µm)			Landsat-8 OLI (µm)			Sentinel-2 (µm)		
Número de Banda	Resolución (m). Espectro electromagnético de la banda	Longitud de Onda (Inferior - Superior)	Número de Banda	Resolución (m). Espectro electromagnético de la banda	Longitud de Onda (Inferior - Superior)	Número de Banda	Resolución (m). Espectro electromagnético de la banda	Longitud de Onda (Inferior - Superior)
			<b>Banda 1</b>	30 m Aerosol Costero (AC)	0,435 - 0,451	<b>Banda 1</b>	60 m Aerosol Costero (AC)	0,421 - 0,457
<b>Banda 1</b>	30 m Azul	0,441 - 0,514	<b>Banda 2</b>	30 m Azul	0,452 - 0,512	<b>Banda 2</b>	10 m Azul	0,439 - 0,535
<b>Banda 2</b>	30 m Verde	0,519 - 0,601	<b>Banda 3</b>	30 m Verde	0,533 - 0,590	<b>Banda 3</b>	10 m Verde	0,537 - 0,582
<b>Banda 3</b>	30 m Rojo	0,631 - 0,692	<b>Banda 4</b>	30 m Rojo	0,636 - 0,673	<b>Banda 4</b>	10 m Rojo	0,646 - 0,685
						<b>Banda 5</b>	20 m VRE	0,694 - 0,714
						<b>Banda 6</b>	20 m VRE	0,731 - 0,749
						<b>Banda 7</b>	20 m VRE	0,768 - 0,796
						<b>Banda 8</b>	10 m NIR	0,67 - 0,908
<b>Banda 4</b>	30 m Infrarrojo Cercano (NIR)	0,772 - 0,898	<b>Banda 5</b>	30 m NIR	0,851 - 0,879	<b>Banda 8a</b>	20 m NIR	0,848 - 0,881
						<b>Banda 9</b>	60 m WV	0,931 - 0,958
<b>Banda 5</b>	30 m Infrarrojo de Onda Corta (SWIR-1)	1,547 - 1,749	<b>Banda 6</b>	30 m SWIR-1	1,566 - 1,651	<b>Banda 11</b>	20 m SWIR-1	1,539 - 1,681
<b>Banda 6</b>	60 m Infrarrojo de Onda Larga (LWIR)	10,31 - 12,36	<b>Banda 10</b>	100 m LWIR-1	10,60 - 11,19			
			<b>Banda 11</b>	100 m LWIR-2	11,50 - 12,51			
<b>Banda 7</b>	30 m Infrarrojo de Onda Corta (SWIR-2)	2,064 - 2,345	<b>Banda 7</b>	30 m SWIR-2	2,107 - 2,294	<b>Banda 12</b>	20 m SWIR-2	2,072 - 2,312
<b>Banda 8</b>	15 m Pancromática (PAN)	0,515 - 0,896	<b>Banda 8</b>	15 m PAN	0,503 - 0,676			
			<b>Banda 9</b>	30 m Cirrus	1,363 - 1,384	<b>Banda 10</b>	60 m Cirrus	1,338 - 1,414

A partir de combinaciones de bandas espectrales en los canales de color RGB, HSV entre otros, es posible lograr un realce litológico (Mwaniki *et al.*, 2015). Existen diversas metodologías de combinación de bandas en función del registro, pero para todos ellos se recomienda la aplicación de corrección atmosférica y máscaras de vegetación (Knepper, 2010).

En este trabajo se utilizan los canales RGB para realce de vegetación, discriminador litológico e identificación de minerales de alteración para la confección del mapa geológico en escala 1:100.000 (Tabla 2.2).

Tabla 2.2 – Combinaciones de bandas utilizadas en este trabajo para realce de vegetación, litología y minerales de alteración, en base a metodologías utilizadas por Pérez y Muñoz (2006), Knepper (2010) y Mwaniki *et al.* (2015).

Combinación de Bandas Espectrales en sistema RGB	Usos	Canal de Banda para imagen Landsat 7 ETM+	Canal de Banda para imagen Landsat 8 OLI	Canal de Banda para imagen Sentinel 2	Referencia
<b>R:</b> Rojo; <b>G:</b> Verde; <b>B:</b> Azul	Color Real	<b>R:</b> B3; <b>G:</b> B2; <b>B:</b> B1	<b>R:</b> B4; <b>G:</b> B3; <b>B:</b> B2	<b>R:</b> B4; <b>G:</b> B3; <b>B:</b> B2	Pérez y Muñoz, 2006
<b>R:</b> NIR; <b>G:</b> Rojo; <b>B:</b> Verde	Falso color para realce de vegetación	<b>R:</b> B4; <b>G:</b> B3; <b>B:</b> B2	<b>R:</b> B5; <b>G:</b> B4; <b>B:</b> B3	<b>R:</b> B8a; <b>G:</b> B4; <b>B:</b> B3	Pérez y Muñoz, 2006
<b>R:</b> SWIR-2; <b>G:</b> NIR; <b>B:</b> Azul	Falso color para discriminador litológico	<b>R:</b> B7; <b>G:</b> B4; <b>B:</b> B1	<b>R:</b> B7; <b>G:</b> B5; <b>B:</b> B2	<b>R:</b> B12; <b>G:</b> B8a; <b>B:</b> B2	Pérez y Muñoz, 2006
<b>R:</b> Rojo/Verde; <b>G:</b> SWIR-1/Azul; <b>B:</b> SWIR-2/Rojo	Falso color para discriminador litológico	<b>R:</b> B3/B2; <b>G:</b> B5/B1; <b>B:</b> B7/B3	<b>R:</b> B3/B2; <b>G:</b> B5/B1; <b>B:</b> B7/B3	<b>R:</b> B4/B3; <b>G:</b> B11/B2; <b>B:</b> B12/B4	Mwaniki <i>et al.</i> , 2015
<b>R:</b> SWIR-1/SWIR-2; <b>G:</b> Rojo/Azul; <b>B:</b> SWIR-1/NIR	Falso color para estudio de minerales de alteración	<b>R:</b> B5/B7; <b>G:</b> B3/B1; <b>B:</b> B5/B4	<b>R:</b> B6/B7; <b>G:</b> B4/B2; <b>B:</b> B6/B5	<b>R:</b> B11/B12; <b>G:</b> B4/B2; <b>B:</b> B11/B8a	Knepper, 2010



### **3. MARCO CONCEPTUAL DE LA GEODIVERSIDAD Y EL PATRIMONIO GEOLÓGICO**

---

#### **3.1. Geodiversidad**

El término geodiversidad es un concepto reciente, el cual se comenzó a instalar a nivel mundial en la década de 1990 (Carcavilla *et al.*, 2008). Pese a aquello, no fue sino hasta la década del 2000 donde se buscó unificar el concepto (Kozłowski, 2004; Rojas, 2004; Brilha *et al.*, 2005; Carcavilla *et al.*, 2007; Serrano y Ruiz-Flaño, 2007), donde autores como Nieto (2001) y Gray (2004) realizan una revisión bibliográfica de las concepciones más utilizadas.

Nieto (2001) define la geodiversidad como el número y variedad de estructuras (sedimentarias y tectónicas), materiales geológicos (minerales, rocas y fósiles), que constituyen el sustrato de una región sobre las que se asienta la actividad orgánica, incluida la antrópica. Uno de los principales aportes de aquella definición es considerar que la geodiversidad puede verse afectada por actividad antrópica, siendo importante desde el punto de la conservación (Carcavilla *et al.*, 2008).

En el reino unido, la definición más utilizada es la de Gray (2004) (Carcavilla *et al.*, 2008), donde se concibe la geodiversidad como el rango natural de diversidad de rasgos geológicos (rocas, minerales y fósiles), geomorfológicos (formas del terreno y procesos) y suelos, incluyendo sus relaciones, propiedades e interpretaciones de sistemas.

La literatura española tiende a utilizar la concepción de Nieto (2001), lo cual se aprecia en los trabajos de Díaz-Martínez *et al.* (2008) y Carcavilla *et al.* (2007). El trabajo de Carcavilla *et al.* (2007) considera la geodiversidad de un punto de vista estadístico, siendo concebida como la variedad de rasgos geológicos presentes en un lugar, identificados tras considerar su frecuencia, distribución y cómo estos ilustran la evolución geológica del mismo. De esta manera, para el autor el estudio de la geodiversidad se deberá centrar en analizar los elementos geológicos presentes en una región no solo de forma individual, sino que, además considerando su distribución y la relación entre estos, permitiendo cuantificar y comparar distintas áreas (Carcavilla *et al.*, 2008).

Este trabajo utiliza la definición de Nieto (2001) para la caracterización de la geodiversidad. Esta definición fue elegida debido a que considera la actividad antrópica como agente de degradación, siendo relevante para las estrategias de conservación.

#### **3.2. Patrimonio Geológico y Geoconservación**

##### **3.2.1. Patrimonio Geológico**

Llamado también “Geopatrimonio” se ha definido de distintas formas según los autores y concepciones a partir de la geodiversidad (Cendrero, 1996; Elízaga y Palacio, 1996; Durán *et al.*, 1998; Del Ramo *et al.*, 2004; Gray, 2004; Carcavilla *et al.*, 2007; Carcavilla, 2014).

Del Ramo *et al.* (2004) define el patrimonio geológico como el “conjunto de recursos naturales geológicos de valor científico, cultural y/o educativo, como formaciones y estructuras geológicas, formas del terreno, minerales, rocas, fósiles, suelos y otras manifestaciones geológicas que permiten conocer, estudiar e interpretar: a) el origen y evolución de la Tierra y de la vida; b) los procesos que la han modelado; y c) los climas y paisajes del pasado y presente”. Esta definición fue aceptada por la ley española 42/2007 del Patrimonio Natural y de la Biodiversidad, decretada el 13 de diciembre de 2007.

Tanto Brilha (2005) como Carcavilla *et al.* (2007) conciben al patrimonio geológico como el conjunto de elementos geológicos con valor científico, turístico y educativo, entre otros. Esta definición difiere del concepto de geodiversidad, pues mientras el patrimonio geológico considera los lugares de interés geológicos destacados uno o más valores de la geodiversidad, la geodiversidad analiza las características, variabilidad y número de elementos sin considerar sus valores de la geodiversidad.

Con el objetivo de establecer un plan de gestión de los elementos geológicos con un valor especial, Brilha (2016) establece una división entre los elementos de interés en función del aprovechamiento de estos (Fig. 3.1). La distinción entre los criterios se basa en el valor científico que poseen los sitios de interés, donde si predomina este valor serán considerados geositos o elementos del patrimonio geológico, si son *in situ* o *ex situ* respectivamente. Un ejemplo común de aquello lo representa el registro fósil, ya que de encontrarse en su lugar de origen se considerará como un geosito, pero si ha sido removido y llevado a un museo, se considerará un elemento del patrimonio geológico. Por otra parte, si priman valores educativos o turísticos serán considerados sitios de la geodiversidad o elementos de la geodiversidad, si son *in situ* o *ex situ* respectivamente.

Esta distinción de conceptos permite establecer estrategias de conservación de la geodiversidad al enfocar el aprovechamiento sustentable del recurso abiótico.

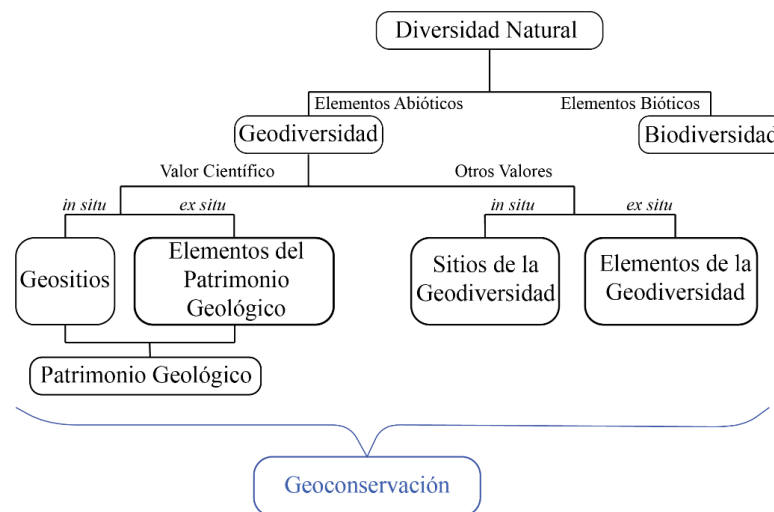


Fig. 3.1 – Marco conceptual de geodiversidad, patrimonio geológico y geoconservación desde la mirada de la geoconservación. Solo una pequeña fracción de la geodiversidad posee valores relevantes que justifica la implementación de estrategias de geoconservación, independiente de si esta fracción es considerada patrimonio geológico o sitios y elementos de la geodiversidad. (Traducido de Brilha, 2016).

La separación de conceptos de Brilha (2016) en función de su aprovechamiento y ubicación ha sido tema de discusión a nivel internacional. Diversos autores han considerado que aquella separación complejiza la comprensión de la disciplina, prefiriendo utilizar simplemente elementos de la geodiversidad que se encuentran presentes en lugares de interés geológico para su gestión (Enrique Díaz-Martínez, Ánchel Belmonte Ribas y Asier Hilario Orus, comunicación personal).

En este trabajo se considera simplemente el uso Lugar de Interés Geológico (LIG) dado que engloba las divisiones establecidas por Brilha (2016) y reduce las confusiones entre las distintas terminologías.

### 3.2.2. Valores de la Geodiversidad

Dado que el patrimonio geológico considera el valor de los elementos geológicos, se han descrito una serie de parámetros a considerar en la valoración cualitativa de estos elementos (Brilha, 2005). El valor intrínseco hace referencia al valor propio del elemento por su propia existencia, independiente del valor que pueda tener para el ser humano. El valor cultural se reconoce como tal cuando adquiere una importancia para el ser humano, ya sea por su desenvolvimiento social, cultural y/o religioso, o por ser el medio físico que lo rodea. El valor estético corresponde a la belleza del elemento, siendo de esta manera un atributo subjetivo dependiendo del espectador. El valor económico de un elemento puede ser analizado desde dos directrices: a) el valor económico intrínseco del elemento, tal como es el caso de las gemas o minerales de interés económico, y b) el valor asociado al elemento, donde se puede encontrar el valor agregado por actividades turísticas y de bienes y servicios. Al igual que el valor económico, el valor funcional puede ser analizado desde dos puntos de vista distintos: a) geodiversidad in situ, donde se concibe de carácter utilitario para el humano, y b) valor de la geodiversidad, que considera los elementos como parte de una orgánica que sustenta los sistemas físicos y ecológicos. Finalmente, el valor científico y educativo se relaciona con el aprovechamiento de aquellos elementos, donde el valor científico busca la preservación de los elementos para estudios futuros, mientras que el educativo trata de divulgar el conocimiento mediante actividades educativas no formales para público general.

### 3.2.3. Geoconservación

Con el acelerado aumento de la población, el estilo de vida industrializado, basado en el consumo de materias, energía y tierras fértiles, ha generado un incremento en la producción de desechos, emisiones contaminantes y degradación de elementos naturales de valor científico relevante para la comprensión de la evolución de la Tierra y la vida (Henriques, 2011; Gray, 2004).

Muchas veces la conservación del entorno natural se centra en los elementos de la biodiversidad, dejando en segundo plano la vulnerabilidad de la geodiversidad (Wimbledon, 2002; Sharples, 2002; Andrasanu, 2006). El problema con aquella visión es que no se considera que, a diferencia de la biodiversidad, la geodiversidad es un recurso no renovable incapaz de adaptarse a los cambios, presentando una evidente vulnerabilidad (Wimbledon *et al.*, 2002). Otra problemática se desprende al analizar la interacción de la geodiversidad con la biodiversidad, ya que es precisamente en el

entorno abiótico donde se desarrolla la vida, y el uso no gestionado del recurso geológico amenaza directamente el equilibrio de la biodiversidad (Wimbledon *et al.*, 2000; Sharples, 2002; Andrasanu, 2006).

Desde el punto de vista científico, es necesario impulsar la protección del entorno geológico dado que es la presencia de sus elementos lo que nos permite comprender los diversos procesos que definen aquellos entornos (Wimbledon, *et al.*, 2000; Sharples, 2002). Las ciencias de la Tierra han podido desarrollarse gracias a la presencia de estos elementos, por lo que su protección para generaciones futuras resulta fundamental para el desarrollo de nuevos estudios (Wimbledon *et al.*, 2000; Sharples, 2000; Andrasanu, 2006).

Los primeros esfuerzos de conservación de la geodiversidad se remontan al siglo XVII en Alemania con la protección de las cuevas de las montañas Harz (Grube, 1994). En Inglaterra, la protección del patrimonio geológico se remonta al siglo XIX, pero no es sino hasta 1977 en que se establecen las primeras metodologías científicas de conservación (Wimbledon *et al.*, 2000; Henriques, 2011). A fines de la década de 1980, comienza a adquirir relevancia la conservación de los elementos geológicos, implantándose el concepto de geodiversidad (Henriques, 2011). Este concepto finalmente consolidó su importancia internacional en el “Primer Simposio en la Conservación de nuestro Patrimonio Geológico”, realizado en 1991 en Francia (Henriques, 2011). Posteriormente, en 1999, la UNESCO reconoce la importancia de la geoconservación, y en el año 2005 considera la promoción del patrimonio geológico una de las herramientas más efectivas para el cambio de concepción y comportamiento de nuestro estilo de vida, para alcanzar un desarrollo sustentable y la estabilidad de los países (Henriques y Brilha, 2017).

Actualmente, la geoconservación se concibe con tres miradas distintas. La primera sería la geoconservación en su sentido directo, donde la considera como “la conservación de la geodiversidad por su valor intrínseco patrimonial y ecológico” (Sharples, 1995). La segunda corresponde al punto de vista de la gestión, donde puede ser comprendida como “el conjunto de acciones, técnicas y medidas encaminadas a asegurar la conservación (incluyendo la rehabilitación) del patrimonio geológico, basándose para ello en el análisis de sus valores intrínsecos, su vulnerabilidad y su riesgo de degradación” (Carcavilla *et al.*, 2012). La tercera acepción considera la geoconservación como la disciplina que aborda todos los aspectos relacionados con el patrimonio geológico, incluyendo la implementación de un inventario específico y su evaluación, conservación y monitoreo (Henriques, 2011). El presente trabajo de título considerará las últimas dos acepciones, considerando la tercera como una metodología para gestionar la conservación y la segunda como el fin de proteger el patrimonio geológico.

### **3.3. Geoturismo y Turismo en Ciencias de la Tierra**

Desde los comienzos de la disciplina, el geoturismo ha adquirido diversas acepciones según sus alcances e interacciones con otras disciplinas (Hose, 2006, 2008, 2012; Dowling y Newsome, 2008, Dowling, 2009; Carcavilla *et al.*, 2011; Tourtellot, 2011; Chen *et al.*, 2015), pero esencialmente puede ser concebido como una estrategia de promoción turística basada en la interpretación de los aspectos geológicos de un territorio, más allá de su disfrute visual y estético (Carcavilla *et al.*,

2012), y que beneficie a las comunidades a partir de un desarrollo económico sostenible (Dowling, 2009).

Chen *et al.* (2015), propone el uso del término de turismo en ciencias de la Tierra para referirse a la disciplina que integra tanto al geoturismo como al turismo geográfico, entendiéndose este último como la vertiente que incluye la geografía humana y otras ciencias sociales. De esta manera, el turismo en ciencias de la Tierra contempla la búsqueda, evaluación, planificación y protección de elementos naturales y culturales de valor, que promuevan la discusión en torno a las causas y procesos que los crearon, en base a métodos que combinan distintas disciplinas (Chen *et al.*, 2015). En este trabajo se caracterizan y valorizan lugares de interés geológicos, concibiéndose estos como el insumo fundamental para el desarrollo de un programa geoturístico. Cabe destacar que el producto turístico de intereses especiales actualmente impulsado por el proyecto de Geoparque Valle de Petorca busca promover el valor territorial mediante la conexión entre los elementos patrimoniales geológicos, biológicos, arqueológicos, entre otros.

### **3.4. Geoparques y la Red Global de Geoparques (GGN)**

#### **3.4.1. Geoparques: Definición, ejes y su relación con la GGN**

Los orígenes del concepto de Geoparque se remontan a la década de 1980 con el desarrollo de los primeros geoparques en Europa, pero no es sino hasta el año 2000 en que comienza un acelerado progreso en la materia, con la conformación de la Red de Geoparques Europea (EGN; Enrique Díaz-Martínez, comunicación personal). En el año 2004, los geoparques establecidos en Europa se unen a los geoparques de China para la conformación de la Red Global de Geoparques (GGN), apoyados por la UNESCO (Enrique Díaz-Martínez, comunicación personal<sup>1</sup>).

Desde el año 2015, la GGN pasa a ser un programa de la UNESCO, el cual busca promover el desarrollo local sostenible mediante el geoturismo. La UNESCO define un geoparque de la GGN como un área geográfica unificada, singular, con sitios y paisajes de significancia geológica internacional, que son gestionados con un concepto holístico de protección, educación y desarrollo sostenible. Si bien la definición de geoparque de la UNESCO considera el patrimonio geológico, el término adoptado no se refiere estrictamente a geología, más aún que el prefijo geo- corresponde a *Gaia*, siendo así un concepto holístico que incluye todos los aspectos patrimoniales de nuestra Tierra, tanto los naturales como los culturales (Nickolas Zouros, comunicación personal<sup>2</sup>).

Desde el punto de vista administrativo, los geoparques pueden concebirse como entidades basadas en tres ejes fundamentales: geoconservación, educación y turismo (Martínez, 2017). La geoconservación, tal como se ha mencionado, busca la preservación del patrimonio geológico, siendo de gran relevancia en los programas turísticos y educativos de los geoparques al promover la protección de los elementos de interés. Por otra parte, la educación surge como un eje

---

<sup>1</sup> Curso “Patrimônio Geológico, Geoconservação e Geoparques UFG”, dictado en abril de 2018 por los geólogos Ánchel Belmonte, Enrique Díaz-Martínez y Asier Hilario en la Universidade Federal de Goiás, Brasil.

<sup>2</sup> 8<sup>va</sup> Conferencia Internacional de la Red Global de Geoparques de la UNESCO realizada en septiembre de 2018 en el Geoparque Adamello Brenta, Italia.

fundamental debido a su relevancia para el desarrollo local al ser una de las mejores estrategias de conservación junto al turismo sostenible (UNESCO, 2004), al fortalecer la conexión entre las comunidades y sus entornos, y al potenciar el patrimonio cultural (Eder y Patzak, 2004). Finalmente, el geoturismo ha sido considerado por el programa de geoparques de la UNESCO como una de las mejores herramientas de desenvolvimiento social sustentable, al impulsar un modelo económico basado en el turismo, venta de bienes y servicios, producción y promoción de productos locales, entre otros (UNESCO, 2004).

## 4. MARCO GEOLÓGICO

### 4.1. Antecedentes Generales

En el área de estudio afloran rocas estratificadas de edades cretácicas hasta neógenas en franjas de orientación NS, además de rocas intrusivas de edades comprendidas entre el Cretácico Superior y el Mioceno. En la Fig. 4.1 se presenta la distribución de las unidades geológicas reconocidas en la zona de estudio por distintos autores. En el siguiente apartado se describen las unidades geológicas bibliográficas correlacionadas en este trabajo.

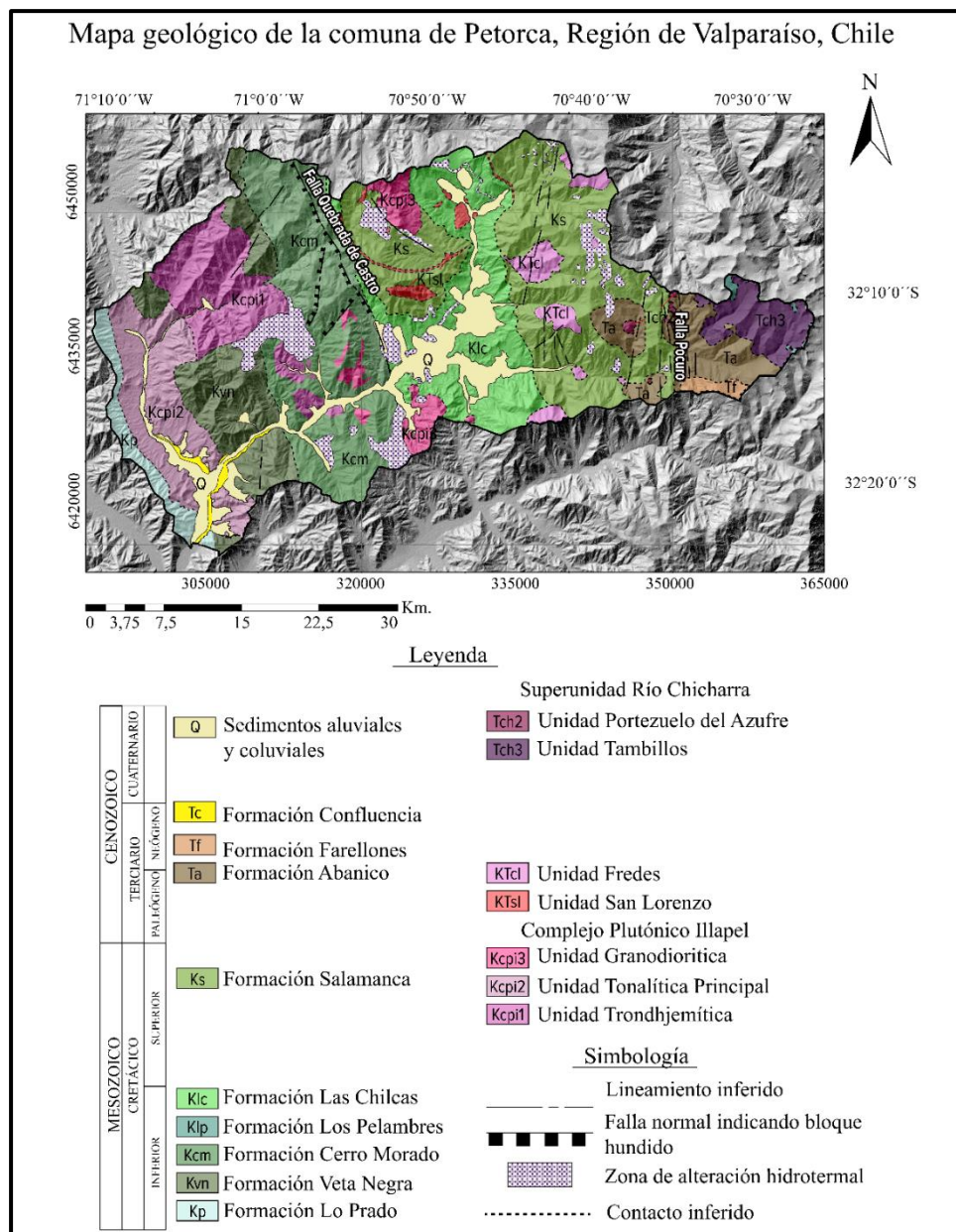


Fig. 4.1 – Mapa geológico compilado de la comuna de Petorca (región de Valparaíso), en base a la imagen satelital DEM de la zona de estudio. Compilación a partir de Rivano et al. (1993), Camus et al. (1986), Jara (2013) y Ferrando (2014).

## 4.2. Marco Estratigráfico

### 4.2.1. Unidades Estratificadas

Las secuencias estratigráficas que afloran en la zona de estudio corresponden a rocas dispuestas en franjas aproximadamente NS (Fig. 4.1) de edades Cretácicas de las formaciones Cerro Morado, Las Chilcas, y Lo Valle (Rivano *et al.*, 1993). Las rocas Cretácicas se caracterizan por desarrollarse en el contexto geodinámico transicional de extensión, con ciclos transgresivos-regresivos, a un contexto tectónico compresivo (Fig. 4.2) (Charrier *et al.*, 2007).

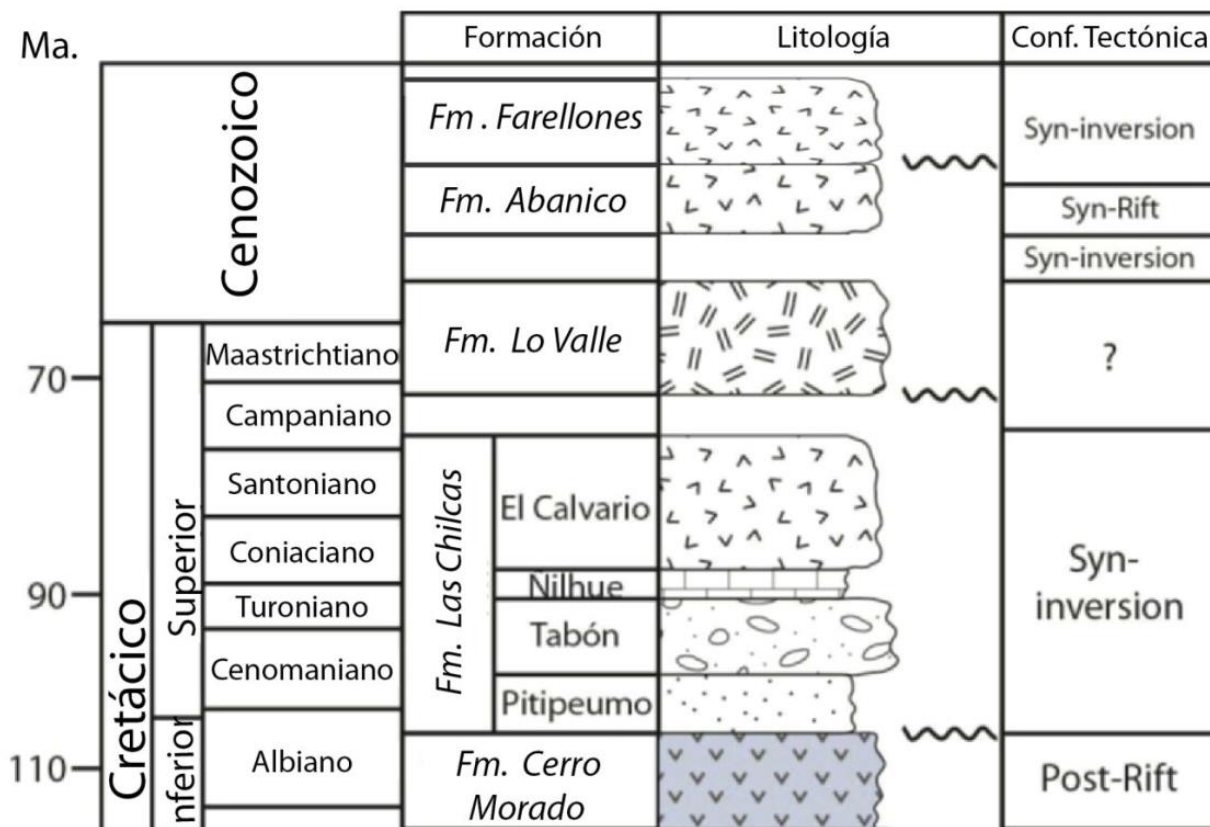


Fig. 4.2 – Formaciones presentes en la zona de estudio, con sus respectivas edades y contexto tectónico (Machuca, 2017, modificado de Boyce, 2015)

#### 4.2.1.1. Formación Cerro Morado

Definida por Carter y Aliste (1962), pero incluida en la base de la Formación Las Chilcas por diversos autores (Thomas, 1958; Piracés y MaksaeV, 1977; Rivano *et al.*, 1993), corresponde a una secuencia de 1300 m a 1800 m de espesor, constituida predominantemente por rocas volcánicas púrpuras y verdosas, depositadas en un ambiente de arco volcánico subaéreo (Boyce, 2015). Se dispone en una franja N-S (Fig. 4.1), yaciendo de manera discordante sobre la Formación volcánica Veta Negra (Carter y Aliste, 1962), pero en sectores se reconocen estratos basales paralelos a esta última, interpretándose como una discordancia progresiva (Boyce, 2015). Según este mismo autor, su techo se presenta discordante bajo la Formación Las Chilcas (Fig. 4.2).



Litológicamente, predominan las brechas volcánicas y andesitas de grano fino a grueso de color púrpura, donde algunas son similares a las andesitas “ocoíticas” del Miembro Ocoa de la Formación Veta Negra (Boyce, 2015). Además, se pueden encontrar potentes niveles de tobas líticas homogéneas y lavas andesíticas y traquíticas de color pardo a pardo rojizo (Boyce, 2015; Machuca, 2017). Subordinadamente, aparecen niveles de conglomerados sobreyacidos por secuencias de andesitas de grano fino, tobas y brechas volcánicas de color pardo rojizo (Boyce, 2015).

En base a su disposición estratigráfica sobre la Formación Veta Negra y bajo la Formación Las Chilcas, junto a las recientes edades conocidas, se le asigna una edad Aptiano Tardío – Albiano Temprano (115? – 106 Ma) (Boyce, 2015).

#### 4.2.1.2. Formación Las Chilcas

Secuencia sedimentaria y volcánica subordinada, depositada en un ambiente de arco volcánico subaéreo en una franja N-S (Fig. 4.1) de aproximadamente 50 km de ancho (Åberg *et al.*, 1984; Mpodozis y Ramos, 1990; Rivano, 1996; Parada, 2005a; Parada, 2005b; Charrier *et al.*, 2007; Jara, 2014). Su espesor máximo estimado es de 3500 m y su base ha sido definida tanto concordante (Thomas, 1958; Piracés y Makshev, 1976) como discordante sobre la Formación Cerro Morado (Carter y Aliste, 1962; Boyce, 2015). Su techo varía latitudinalmente y fue reconocido por Thomas (1958) como una discordancia de erosión y plegamiento, yaciendo bajo niveles de tobas soldadas de la Formación Lo Valle (Thomas, 1958), opinión compartida por Boyce (2015). Otros autores han definido el contacto superior como una discordancia bajo la Formación Salamanca al norte de los 32°15'S (Jara y Charrier, 2014), mientras que, al sur de aquella latitud, limita con la Zona de Falla Pocuro al E, estableciéndose un contacto por falla bajo la Formación Los Pelambres (Rivano, 1993).

Litológicamente se describe como una secuencia volcanoclástica de ambiente continental-lagunar con marcadas variaciones de facies laterales (Rivano *et al.*, 1993; Martínez-Pardo, 1994; Gana y Wall, 1997; Jara y Charrier, 2014). Posee un miembro inferior (Miembro Pitipeumo, Fig. 4.2) sedimentario subaéreo de aproximadamente 400 m a 1000 m de potencia, constituido de areniscas intercaladas con niveles conglomerádicos, brechas y lavas andesíticas y dacíticas (Boyce, 2015). Sobre el miembro inferior se dispone de manera concordante un miembro sedimentario continental (Miembro Tabón, Fig. 4.2), caracterizado por una sucesión inferior de conglomerados y brechas matriz-soportadas, de color pardo y mal seleccionadas, mientras que hacia el techo los conglomerados son clasto-soportados de color pardo rojizo (Boyce, 2015). Sobre el Miembro Tabón se dispone el Miembro Ñilhue, constituido por calizas y depósitos calcáreos fosilíferos (Boyce, 2015). Finalmente, el techo de la Formación Las Chilcas lo constituye el Miembro El Calvario, el cual posee una potencia entre 900 m y 2000 m, constituido predominantemente por brechas andesíticas de color gris oscuro y andesitas masivas, intercaladas con niveles conglomerádicos pardo-rojizos (Boyce, 2015).

El registro fósil encontrado en calizas de la Formación Las Chilcas en el sector de Polpaico en la región Metropolitana, corresponde a una biodiversidad micropaleontológica conformada

principalmente por esqueletos calcáreos de algas, foraminíferos planctónicos y foraminíferos bentónicos (Martínez-Pardo, 1994). La presencia de los foraminíferos bentónicos son indicio de un ambiente marino somero de profundidades no superiores a los 200 m, lo que se ha interpretado como una plataforma continental de bajo ángulo conectada con el océano (Martínez-Pardo, 1994). Las secuencias volcanoclásticas del miembro superior de la Formación Las Chilcas se han atribuido a un contexto de arco volcánico subaéreo y en menor medida marino (Levi y Aguirre, 1981; Charrier, 1984; Mpodozis y Ramos, 1989; Jara y Charrier, 2014). Las facies sedimentarias continentales describen un ambiente semi-árido de abanico aluvial y fluvial, con inundaciones repentinas y flujos de lahares, todo ello en las cercanías a diversos sistemas volcánicos (Boyce, 2015).

La carta geológica (Rivano *et al.*, 1993) asigna a la Formación Las Chilcas una edad Barremiano-Turoniano, sin embargo, existe una amplia discusión en torno a la edad de la formación. El registro fósil de los foraminíferos planctónicos posee un biocron acotado al Albiano Medio-Superior (Martínez-Pardo, 1994), lo que se correlaciona bien con las dataciones U-Pb en zircones que arrojan edades de  $109,6 \pm 0,1$  Ma (Wall *et al.*, 1999). Por otro lado, dataciones geocronológicas mediante  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  en plagioclasas de lavas han entregado edades de 114-116 Ma, correspondiente al Aptiano Superior, lo que es consistente con edades radiométricas de plutones que cortan la formación cerca de Llaillay (Rivano *et al.*, 1986). Boyce (2015) dató el miembro basal de la formación, obteniendo edades radiométricas U-Pb en circones entre los  $105,7 \pm 3,3$  Ma y  $99,9 \pm 3,0$  Ma para una arenisca conglomerádica y una andesita de piroxeno, respectivamente.

La edad del techo de la formación también ha sido temática de discusión debido a la marcada variación lateral (Thomas, 1958; Godoy, 1982; Beck *et al.*, 1990). Mediante dataciones K-Ar se han establecido edades de  $64 \pm 0,5$  -  $77,8 \pm 1,0$  Ma para la Formación Lo Valle (Drake *et al.*, 1976), mientras que para la Formación Las Chilcas se han asignado edades correspondientes al Maastrichtiano mediante registro bioestratigráfico, geocronológico y magnetoestratigráfico (Kent y Gradstein, 1985). Mediante estudios radiométricos de U-Pb en circones, Boyce (2015) acotó la edad del Miembro El Calvario entre  $85,8 \pm 3$  Ma y  $82,7 \pm 5,7$  Ma, a partir de una lava traquítica de anfíbola en la base de la unidad y el circón más joven para una arenisca de las secciones superiores respectivamente.

Boyce (2015) propuso una correlación tentativa entre el Miembro El Calvario y la Formación Salamanca, basado en la comparación de las edades radiométricas obtenidas en su estudio con las de Jara y Charrier (2014). Para la Formación Salamanca, Jara y Charrier (2014) obtuvieron edades U-Pb en circones de lava y toba de  $87,7 \pm 1,2$  Ma y  $81,5 \pm 1,1$  Ma respectivamente, muy similares a las obtenidas por Boyce (2015) para el Miembro El Calvario en el Cajón de Lo Valle.

De esta manera, a partir de la biocronología de los foraminíferos planctónicos es posible establecer que el ambiente de plataforma continental somera, en la que se depositaron los niveles calcáreos de la Formación Las Chilcas, permaneció hasta el Albiano Superior (Martínez-Prado, 1994). Posteriormente, las rocas sedimentarias y volcánicas de ambiente continental subaéreo corresponden principalmente a niveles que se habrían depositado hasta el Campaniano (Kent y Gradstein, 1985; Rivano *et al.*, 1993; Boyce, 2015).

#### 4.2.1.3. Formación Lo Valle

La Formación Lo Valle fue definida por Thomas (1958) como una sucesión de hasta 700 m de espesor, predominantemente piroclástica de composición andesítica a riolítica y con intercalaciones de niveles sedimentarios continentales. Se distribuye coronando los cerros de la Cordillera Principal, siendo su techo la actual superficie de erosión, salvo en los sectores orientales en que yace de manera discordante bajo la Formación Abanico (Gana y Wall, 1997; Boyce, 2015). Su base y definición ha sido tema de discusión en diversos trabajos debido a sus relaciones de contacto (Thomas, 1958; Carter y Aliste, 1962; Viteri, 1970; Piracés y Maksaev, 1977; Gana y Wall, 1977; Godoy, 1982; Rivano *et al.*, 1993; Boyce, 2015). Originalmente, la formación fue definida en base a una discordancia por erosión, yaciendo sobre la Formación Las Chilcas (Thomas, 1958; Viteri, 1970; Piracés y Maksaev, 1977; Gana y Wall, 1977). Por otra parte, autores como Godoy (1982) y Rivano *et al.* (1993) afirman la inexistencia de tal discordancia, considerando la Formación Lo Valle como una secuencia volcánica superior de la Formación Las Chilcas.

Litológicamente, la Formación Lo Valle presenta un nivel conglomerádico inferior, el cual yace bajo secuencias volcánicas tobáceas y de brechas volcánicas (Boyce, 2015). Las tobas inferiores reconocidas por Boyce (2015) se presentan en colores blanquecinos, púrpuras y rosas, y algunas se presentan soldadas. Sobre los niveles tobáceos, se disponen secuencias volcánicas de lavas andesíticas porfídicas café rojizas a grises y negras, tobas y brechas intercaladas con lutitas rojas, conglomerados y areniscas tobáceas (Thomas, 1958; Boyce, 2015; Machuca, 2017). La Formación Lo Valle se encuentra intruida por cuerpos hipabisales y plutónicos de edades Paleocenas-Miocenas (Rivano *et al.*, 1993; Machuca, 2017).

La edad de la formación ha sido determinada en base a edades radiométricas mediante K/Ar, Ar/Ar y U-Pb (Drake *et al.*, 1976; Gana y Wall, 1977; Rivano *et al.*, 1993; Boyce, 2015). Drake *et al.* (1976) obtuvo mediante K/Ar edades de  $64,6 \pm 5$  Ma,  $70,5 \pm 2,5$  Ma y  $77,8 \pm 1$  Ma. Por otra parte, Rivano *et al.* (1993), en lo que consideraron la sección volcánica superior de la Formación Las Chilcas, obtuvieron resultados K/Ar de 64 Ma y 67,8 Ma. Gana y Wall (1997) obtuvieron edades Ar/Ar de  $71,4 \pm 1,4$  Ma y  $71,9 \pm 1,4$  Ma, K/Ar de  $65 \pm 2$  Ma. Mediante el análisis de U-Pb en circones, Boyce (2015) obtuvo una edad media ponderada de  $73,3 \pm 0.5$  Ma. De esta manera, la Formación Lo Valle tendría una edad Maastrichtiana a Daniana.

#### 4.2.1.4. Formación Abanico

Los depósitos predominantemente volcánicos de la Formación Abanico y sus equivalentes, Formación Coya-Machalí (Klohn, 1960) y la Formación Colbún (Karzulovic *et al.*, 1979), afloran en la Cordillera Occidental y los cerros islas de la Depresión Central entre los  $31^{\circ}\text{S}$  y  $36^{\circ}\text{S}$  (Aguirre, 1960; Klohn, 1960; González y Vergara, 1962; Charrier, 1973b; Charrier *et al.*, 1996, 2002b, 2005, 2009; Fock *et al.*, 2006; Jara, 2013; Quiroga, 2013; Machuca, 2017).

Entre los  $32^{\circ}\text{S}$  y  $33^{\circ}\text{S}$ , Jara (2013) indicó que los depósitos de la Formación Abanico yacen discordantemente sobre las rocas Cretácicas (Fig. 4.1), mientras que entre los  $33^{\circ}\text{S}$  -  $34^{\circ}\text{S}$ , el contacto basal ha sido definido como un contacto por falla o concordante con un *hiatus* de 37 Ma

sobre las formaciones cretácicas (Gana y Wall, 1997; Fuentes, 2004; Fock, 2005; Charrier *et al.*, 2007). La Formación Abanico yace de manera transicional bajo la Formación Farellones, presentándose tanto de manera discordante como pseudoconcordantes según el sector (Charrier *et al.*, 2002), situación interpretada por Fock (2005) y Fock *et al.* (2005) como producto del desarrollo de discordancias progresivas formadas localmente por la inversión tectónica de fallas normales que participaron en la generación de la cuenca extensional en que se depositó esta formación.

Litológicamente, se compone predominantemente de secuencias volcánicas de afinidad toleítica y bajo enriquecimiento de elementos traza móviles (Sellés, 1999, 2000a) y volcanoclásticas fuertemente plegadas de 2000 -2500 m, constituidas por lavas, tobas y depósitos piroclásticos con intercalaciones de depósitos sedimentarios fluviales, aluviales y lacustres que forman lentes de hasta 500 m de espesor (Charrier *et al.*, 2002; Nyström *et al.*, 2003). Hacia la base, los niveles de lava se presentan como secuencias andesíticas brechosas de color púrpuras verdosas, las cuales gradan hacia el techo a lavas andesíticas porfídicas y afaníticas, y a dacitas brechosas (Gana y Wall, 1997). Hacia los niveles superiores, se reconocen secuencias de brechas piroclásticas, andesitas y tobas de lapilli (Gana y Wall, 1997).

Estudios radiométricos realizados mediante  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  y K-Ar en lavas andesíticas basálticas y basálticas han entregado edades que fluctúan entre los  $26,6 \pm 1,2$  Ma y  $19,4 \pm 1,4$  Ma, pero a partir de una edad  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  en plagioclasa de  $34,3 \pm 2,2$  Ma, registrada en base a un dique que intruye la base de la Formación Abanico, se le ha interpretado una edad Eoceno superior-Mioceno inferior (Gana y Wall, 1997). Esta edad presenta una buena correlación con el registro fósil de mamíferos que habitaron en el límite Eoceno - Oligoceno (Wyss *et al.*, 1994) y el registro fósil de hojas y troncos que indican una edad Oligocena superior – Miocena inferior (Sellés e Hinojosa, 1997). Esta información permite asignarle a la Formación Abanico una edad Eoceno superior – Mioceno inferior, con un ambiente depositacional de cuenca continental extensional de intraarco, con transiciones lacustres-fluviales a volcánico subaéreo (Wyss *et al.*, 1994; Sellés e Hinojosa, 1997; Gana y Wall, 1997; Charrier *et al.*, 2002, 2007).

#### 4.2.1.5. Formación Farellones

Secuencia volcánica predominantemente félsica que se dispone en una franja N-S (Fig. 4.1) y que aflora en la Cordillera Principal entre los  $32^{\circ}\text{S}$  y los  $35^{\circ}\text{S}$  (Vergara *et al.*, 1988; Rivano, 1990). Su espesor máximo estimado alcanza los 2400 m en su localidad tipo (Thiele, 1980), sin embargo, entre los  $32^{\circ}30'\text{S}$  y  $33^{\circ}\text{S}$  posee un espesor de 2150 m (Nyström *et al.*, 2003; Campbell, 2005). Según la latitud, rocas consideradas de la Formación Farellones yacen sobre las formaciones Lo Valle y Abanico. El contacto con la Formación Lo Valle se ha definido como una discordancia angular o erosiva, y es la que se observa en el área de estudio (Rivano *et al.*, 1993; Boyce, 2015). El contacto con la Formación Abanico ha sido un amplio tema de discusión y se ha definido como concordante, discordante, pseudoconcordante y por falla según diversos estudios en distintas localidades (Klohn, 1960; Charrier, 1973; Thiele, 1980; Rivano *et al.*, 1990; Godoy 1988, 1991; Godoy y Lara, 1994; Fock, 2005; Rauld, 2011; Jara, 2013; entre otros).

Litológicamente la Formación Farellones se ha definido como una secuencia volcánica continental desarrollada en un ambiente subaéreo, representando el arco volcánico Mioceno (Moscoso *et al.*,

1982; Vergara *et al.*, 1988; Rivano *et al.*, 1993). Posee un miembro inferior compuesto de tobas e ignimbritas de composición riolítica a dacítica, con intercalaciones de depósitos lacustres (Aguirre, 1960; Rivano *et al.*, 1990; Vergara *et al.*, 1993; Nyström *et al.*, 2003; Campbell, 2005). El miembro medio corresponde principalmente lavas andesítico-basálticas, dacitas y conglomerados (Rivano *et al.*, 1990; Nyström *et al.*, 2003; Campbell, 2005). El miembro superior se constituye de flujos andesítico-basálticos intruidos por domos riolíticos, y subordinadamente lavas dacíticas a riolíticas (Rivano *et al.*, 1990; Nyström *et al.*, 2003). Signatura geoquímica con características calcoalcalinas señalan un importante aporte cortical (Vergara *et al.*, 1988; Nyström *et al.*, 1993; Kay y Mpodozis, 2002).

En la zona de estudio, dataciones radiométricas mediante K-Ar en roca total entregan edades Oligo-Miocenas de  $24,5 \pm 1,2$  Ma,  $23,2 \pm 0,9$  Ma,  $21,7 \pm 1,0$  Ma y  $18,0 \pm 1,2$  Ma (Rivano *et al.*, 1993). Estas edades presentan una buena correlación con las edades K-Ar en plagioclasas de  $23,1 \pm 2,3$  Ma (Rivano, 1996) y  $18,2 \pm 0,9$  Ma (Vergara *et al.*, 1988), encontradas más al sur a la altura del río Rocín. Munizaga y Vicente (1982) obtuvieron para una riolita al oeste de la localidad Los Erizos (Argentina), una edad K-Ar en biotita de  $25,2 \pm 0,5$  Ma, interpretándose que la actividad volcánica que dio origen a la formación inició en el Oligoceno Tardío. Sin embargo, más al sur se han encontrado edades más rejuvenecidas del orden de los 16 Ma (Charrier *et al.*, 2007). Esta diferencia de edades entre la zona norte y sur de la Formación Farrellones ha sido atribuida a una progresión del magmatismo de norte a sur, relacionado a la migración de la dorsal de Juan Fernández durante los inicios de la formación (Charrier *et al.*, 2007).

## 4.2.2. Unidades Intrusivas

### 4.2.2.1. Complejo Plutónico Illapel (Rivano *et al.*, 1985)

Definido inicialmente como Superunidad Illapel (Rivano *et al.*, 1985), corresponde a un complejo intrusivo de dimensiones batolíticas que aflora en una franja N-S en la Cordillera de la Costa (Fig. 4.1) y se desarrolla con un área de aproximadamente  $3200 \text{ km}^2$  entre los  $31^{\circ}25'S$  y los  $32^{\circ}30'S$  (Rivano *et al.*, 1985; Rivano *et al.*, 1993; Parada *et al.*, 1999; Parada, 2005<sup>a</sup>; Ferrando, 2014).

Formando parte del cinturón oriental del Batolito Costero, el Complejo Plutónico Illapel (CPI) se emplaza durante el Cretácico intruyendo rocas volcanosedimentarias triásicas, intrusivos y rocas volcánicas del Jurásico, y rocas sedimentarias y volcánicas del Cretácico inferior (Rivano *et al.*, 1993; Parada *et al.*, 1999; Parada *et al.*, 2005<sup>a</sup>; Morata *et al.*, 2010; Ferrando, 2014). Este emplazamiento se produce en las secuencias de una cuenca subsidente (Vergara *et al.*, 1995) y corresponde al cuerpo intrusivo más empobrecido isotópicamente entre el intrusivo del Cretácico Inferior (Parada *et al.*, 2005<sup>a</sup>). Este empobrecimiento isotópico se ha atribuido al periodo de extensión cortical que dominó en aquel período (Parada *et al.*, 2005; Ferrando, 2014), lo que concuerda con los grandes espesores de los depósitos del arco volcánico y de los sedimentos del trasarco y antearco (Charrier *et al.*, 2007).

Inicialmente el CPI se dividía en las unidades Chalinga y Limahuida (Rivano *et al.*, 1985; Parada *et al.*, 1999), las cuales presentaban edades radiométricas K-Ar entre los  $113 \pm 3$  Ma y los  $96 \pm 2$  Ma

(Rivano *et al.*, 1985). Sin embargo, mediante estudios petrográficos, geoquímicos, geocronológicos con U-Pb en circones y de susceptibilidad magnética (Hidalgo, 2011), se ha establecido que el CPI se puede subdividir en cuatro unidades que representan distintos pulsos durante su formación: Unidad Máfica (UM), Unidad Trondhjemítica (UT), Unidad Tonalítica Principal (UTP) y Unidad Granodiorítica (UG). De estas cuatro unidades, solo la UM no aflora en la zona de estudio (Fig. 4.1).

a) Unidad Máfica (UG)

Corresponde a gabros y dioritas con tonalitas subordinadas que afloran en la parte noroccidental del CPI (Ferrando, 2014).

Localmente se aprecian zonas de cizalle con distintos indicadores cinemáticos tales como porfiroclastos y porfiroblastos, colas  $\sigma$  y  $\delta$ , y estructuras tipo S-C, indicando eventos deformativos posteriores a su emplazamiento (Ferrando, 2014).

Dataciones radiométricas entregan un rango de edad entre  $118,0 \pm 1,9$  Ma y  $115,7 \pm 2$  Ma mediante U-Pb en circones (Morata *et al.*, 2010) y una edad cercana a 113 Ma mediante Ar-Ar en anfíbola (Ferrando *et al.*, 2014). De esta manera, la UG corresponde al pulso magmático más antiguo desarrollado en el Aptiano (Hidalgo, 2011).

b) Unidad Trondhjemítica (UT)

Corresponde a trondhjemitas y leucogranitos que afloran en con una disposición N-S en la parte central del CPI (Ferrando, 2014).

La UT aflora en el área de estudio con una forma lobular en el sector de Las Palmas, zona occidental del valle de Petorca. En esta zona, los afloramientos corresponden principalmente a granodioritas y leucogranitos con facies locales de tonalitas (Ferrando, 2014). Estas rocas se encuentran intruidas por una serie de diques syn- y post-plutónicos de origen ígneo, dando origen al Enjambre de Diques Máficos de Frutillar (Hidalgo, 2011).

Dataciones radiométricas establecen un rango de edad entre  $110,4 \pm 1,8$  Ma y  $109,7 \pm 1,5$  Ma mediante U-Pb en circones (Morata *et al.*, 2010). Adicionalmente, estudios radiométricos realizados en el sector de Las Palmas han arrojado edades de  $99,2 \pm 0,6$  Ma mediante U-Pb en titanita (Morata *et al.*, 2006) y una edad de emplazamiento cercana a 108 Ma mediante Ar-Ar (Ferrando *et al.*, 2014). De esta manera, la UT corresponde al segundo pulso magmático desarrollado en el Albiano (Hidalgo, 2011).

c) Unidad Tonalítica Principal (UTP)

Corresponde a tonalitas con enclaves máficos y granodioritas subordinadas que afloran en una franja N-S en la parte sur del CPI (Ferrando, 2014).

Los enclaves máficos presentan distintas formas y tamaños (Varas *et al.*, 2009; Varas, 2011) e incluso localmente se presentan como enclaves microgranulares (Ferrando, 2014).

Las dataciones radiométricas mediante U-Pb en circones han asignado un rango de edad entre los  $102,4\pm 1,5$  Ma y  $98,8\pm 1,3$  Ma (Morata *et al.*, 2010) por lo que corresponde al tercer pulso magmático del Albiano-Cenomaniano (Hidalgo, 2011).

#### d) Unidad Granodiorítica (UG)

Corresponde a granodioritas leucocráticas a mesocráticas ubicadas en el borde oriental del CPI (Ferrando, 2014). Dataciones U-Pb en circones asignan una edad de  $86,9\pm 1,2$  Ma (Morata *et al.*, 2010), por lo que esta unidad correspondería al pulso final durante el Coniaciano (Hidalgo, 2011).

#### 4.2.2.2. Unidad San Lorenzo (Rivano *et al.*, 1985)

Ubicada en el sector medio de la zona de estudio entre la Quebrada de Castro y la falla Pocuro (Fig. 4.1), intruye a las rocas de las formaciones Veta Negra y Salamanca (Rivano *et al.*, 1993). En particular, en el valle de Petorca se encuentra concentrada principalmente en el sector de la caldera de Morro Hediondo, donde su dique anular distintivo corresponde a la unidad San Lorenzo (Rivano, 1996; Camus *et al.*, 1991).

Corresponde a pequeños cuerpos intrusivos dioríticos, pórfidos andesíticos y andesitas de grano fino de color gris verdoso (Rivano, 1996).

Dataciones de pórfidos dioríticos mediante K-Ar en plagioclasa, feldespato y roca total han asignado edades de  $86\pm 3$  Ma,  $79\pm 3$  Ma y  $80\pm 3$  Ma respectivamente (Camus *et al.*, 1986). Por otra parte, dataciones en un pórfido diorítico de hornblenda ha dado edades K-Ar en plagioclasa y anfíbola de  $63\pm 2$  Ma y  $84\pm 5$  Ma respectivamente (Rivano, 1996). Estas edades se correlacionan con las dataciones del pórfido granodiorítico de Petorca de edad K-Ar de  $86\pm 3$  Ma y el dique anular dacítico de la caldera Morro Hediondo de edad K-Ar de  $80\pm 3$  Ma (Camus *et al.*, 1991).

#### 4.2.2.3. Unidad Fredes (Rivano *et al.*, 1985)

Ubicada en el sector oriental de la zona de estudio y al W de la falla Pocuro (Fig. 4.1), intruye a las rocas volcánicas de la Formación Salamanca (Rivano *et al.*, 1993).

Corresponde a stocks grises de 20-100 km<sup>2</sup> compuestos de dioritas de piroxeno y hornblenda y cuarzdioritas de grano fino a medio, con granodioritas, tonalitas y monzogranitos subordinados (Rivano *et al.*, 1993; Rivano, 1996).

Las edades radiométricas K-Ar de la unidad van de los  $68\pm 10$  Ma a los  $45,5\pm 1,2$  Ma, asignando una edad Paleocénica-Eocénica (Munizaga y Vicente, 1982; Parada *et al.*, 1988; Rivano *et al.*, 1993).

#### 4.2.2.4. Superunidad Río Chicharra (Rivano *et al.*, 1985)

Ubicada en el sector oriental de la zona de estudio y sobre y al E de la falla Pocuro (Fig. 4.1), intruye a las rocas volcánicas de la Formación Salamanca (Rivano *et al.*, 1993). Se compone de las unidades Río Cerro Blanco, Portezuelo del Azufre y Tambillos, donde solo la primera aflora en el área de estudio (Rivano *et al.*, 1993).

En la zona de estudio aflora la unidad Río Cerro Blanco, la cual se constituye petrográficamente de monzodioritas, monzonitas cuarcíferas, monzogranitos y granodioritas, todas ellas con índices de colores que varían entre hololeucocráticas y leucocráticas y con texturas hipiodiomórficas inequigranulares, con predominio de cristales de plagioclasas (Rivano *et al.*, 1993). Los cristales máficos se presentan comúnmente en cúmulos, siendo los piroxenos con bordes uralitizados los predominantes y con presencia de cristales de anfíbol y biotita subordinados. Los cristales de cuarzo y ortoclasa aparecen con bordes de reacción con las plagioclasas (Rivano *et al.*, 1993). Edades radiométricas de K-Ar en biotita y roca total han permitido asignarle una edad entre 19,2 Ma y 15 Ma, interpretándose como los intrusivos de las cámaras magmáticas que habrían generado el volcanismo de la Formación Farellones.

#### 4.2.3. Unidades no Consolidadas

##### 4.2.3.1. Sedimentos Aluviales y Coluviales (Rivano *et al.*, 1993)

Corresponden al relleno de los valles de la comuna de Petorca y se compone tanto de conos de deyección torrenciales y escombros de faldas, como de depósitos de colapso y gravitacionales (Rivano *et al.*, 1993).

### 4.3. Marco Tectónico

#### 4.3.1. Unidades Morfoestructurales del Área de Estudio

En la zona de estudio, las principales unidades morfoestructurales corresponden a la Cordillera de la Costa y la Cordillera Principal (Fig. 4.3). En la Cordillera de la Costa afloran rocas de la Formación Cerro Morado y del Complejo Plutónico Illapel. Por otra parte, en la Cordillera Principal, emergen rocas de las formaciones Cerro Morado, Las Chilcas, Lo Valle y Abanico, además de las unidades intrusivas San Lorenzo, Fredes y Río Cerro Blanco.



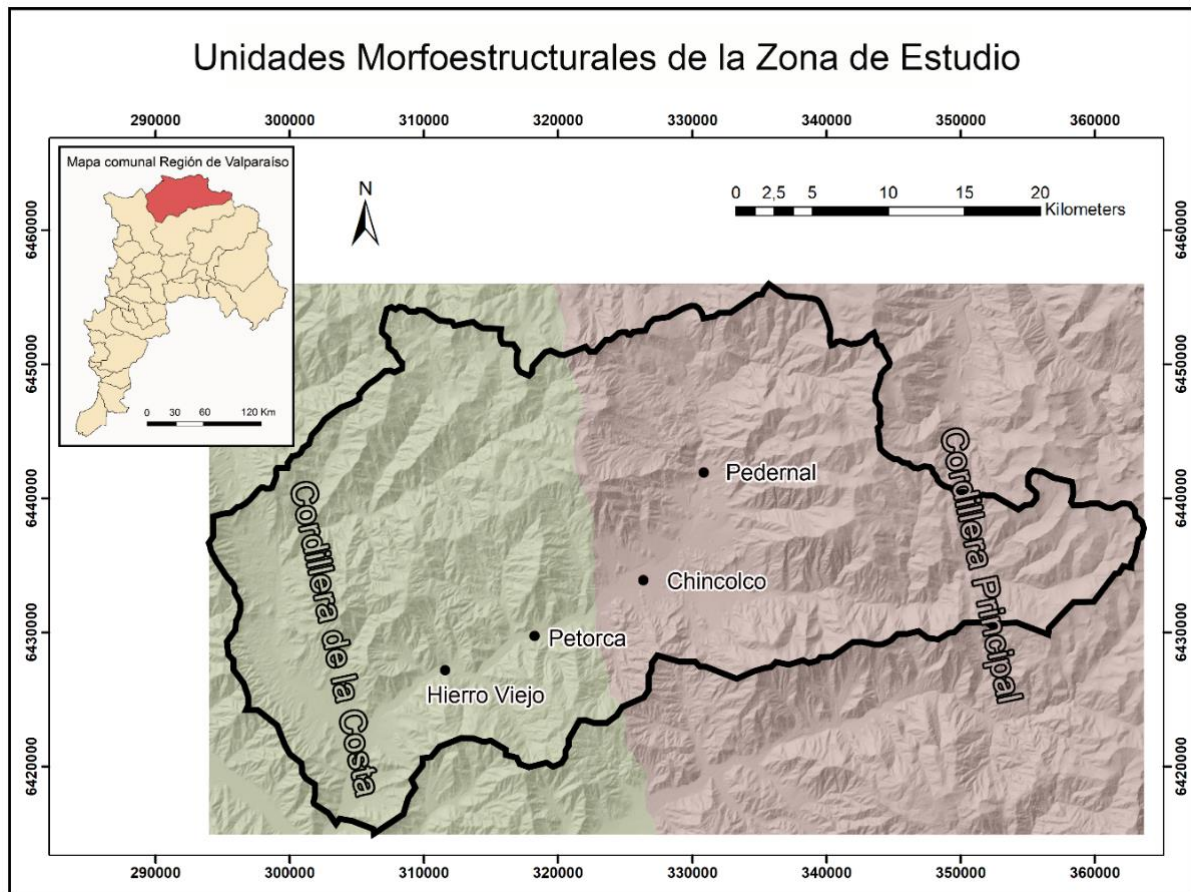


Fig. 4.3 - Disposición de las principales unidades morfoestructurales de orientación NS de la zona de estudio. En verde se destaca la Cordillera de la Costa, mientras que en pardo se delimita la Cordillera Principal. Desarrollado a partir de Jara y Charrier (2014).

#### 4.3.2. Estructuras

En la comuna de Petorca es posible distinguir dos dominios estructurales, los cuales se caracterizan por presentar lineamientos de rumbos aproximadamente NS. El primer dominio se desarrolla en torno a la Zona de Falla Pocuro (Aguirre, 1960; Rivano, 1996), la cual se ubica en el sector oriental de la zona de estudio (Fig. 4.1), afectando principalmente a rocas del Cretácico Superior (Hoja Quillota-Portillo, Rivano *et al.*, 1993). El segundo dominio lo comprende el sistema de fallas Quebrada de Castro, El Bronce y Petorca-El Durazno que, en conjunto a lineamientos que bordean la caldera Morro Hediondo, controlan la mineralización del distrito de oro El Bronce, ubicado en el segmento central de la zona de estudio (Fig. 4.1), entre las localidades de Hierro Viejo y Petorca-Chicolco (Camus *et al.*, 1991).

##### 4.3.2.1. Zona de Falla Pocuro (ZFP)

La Zona de Falla Pocuro, definida como Falla Pocuro por Aguirre (1960), fue inicialmente concebida como una faja de rocas milonitizadas y microfábricas cataclásticas de rumbo NS, la cual se habría producido por un conjunto de fallas normales en *zig-zag* (Aguirre, 1960; Carter y Aguirre, 1965; Rivano, 1996). Esta falla generó un movimiento relativo ascendente del bloque

oriental de aproximadamente 2000 m, siendo un elemento estructural de importancia mayor en la formación de la Depresión Central (Aguirre, 1960; Carter y Aguirre, 1960). Sin embargo, debido a la escasa evidencia de niveles estratigráficos guías, la discusión en torno a su movimiento relativo sigue siendo tema de debate (Moscoso *et al.*, 1982).

En el sector de El Sobrante, sector oriental de la zona de estudio, se ha identificado una serie de espejos de fallas subverticales que buzan entre 80° a 85°, y que en base a aquello fueron interpretadas como producto de un movimiento de rumbo en parte extensivo (Rivano, 1996). Rivano (1996) describe a la ZFP como una megafalla que se extiende por lo menos entre los 31°S y los 34°S, y que divide los dominios morfoestructurales de la Cordillera Principal de la Depresión Central. El autor reconoce además que la zona de daño de la falla se extiende con un ancho de 500 m a 2 km, presentándose como un conjunto de estructuras subparalelas menores que obliteran la secuencia estratigráfica. En la zona de estudio, la falla se ha reconocido con un ancho de 200 m, correspondiente a la traza.

Posteriormente, Campbell (2005) reconoce que, al sur del río Rocín, la ZFP se compone de dos zonas de falla subparalelas de rumbos aproximados NS a N20°W con vergencia al oeste, mientras que al norte de aquella localidad continúan como una sola hacia el norte por el Estero Chalaco. El autor, además establece un contacto por falla entre las unidades del Cretácico Superior y las del Cenozoico, donde las primeras se ubican al oeste de la falla. Sin embargo, mediante dataciones Ar/Ar y K/Ar a la altura de la cuesta de Chacabuco al sur de Los Andes, se reconocen rocas cenozoicas al este de la Falla Infernillo (Fig. 4.4), la cual se ubica al oeste de la ZFP y se ha definido como una falla normal invertida durante el Oligoceno superior-Mioceno inferior (Fock, 2006).

Estudios posteriores han correlacionado la ZFP hacia el sur con la Falla San Ramón (FSR) (Fig. 4.4), estableciendo a este como un sistema de falla invertido vergente al oeste (Thiele, 1980; Fock *et al.*, 2006; Rauld *et al.*, 2006). Esto se condice con las evidencias encontradas en el sector de la laguna Chepical, donde estructuras de buttressing, estratos de crecimiento con identificación de *onlaps*, y estructuras de harpón han podido interpretar el movimiento como una inversión tectónica de los depocentros de la cuenca de Abanico limitada por la Falla Pocuro (Jara y Charrier, 2014).

Con respecto al período de actividad de la Falla San Ramón, evidencias de movimiento cuaternario se han encontrado a partir de trincheras en el frente cordillerano de Santiago (Rauld *et al.*, 2006; Vargas y Rebolledo, 2012), mientras que en la zona de Los Andes-Cariño Botado se han identificado cambios abruptos de pendientes sobre la traza de la Falla Pocuro, además de elementos geomorfológicos como abanicos aluviales (Troncoso *et al.*, 2014). Estos elementos geomorfológicos encontrados en la región de Los Andes han sido atribuidos a la falla inversa Cariño Botado (Troncoso *et al.*, 2014), la cual posee la misma dirección y se encuentra en la traza de la ZFP. Sin embargo, aún faltan evidencias que permitan establecer una correlación definitiva entre estas fallas con la Falla Pocuro para poder establecer su actividad reciente.

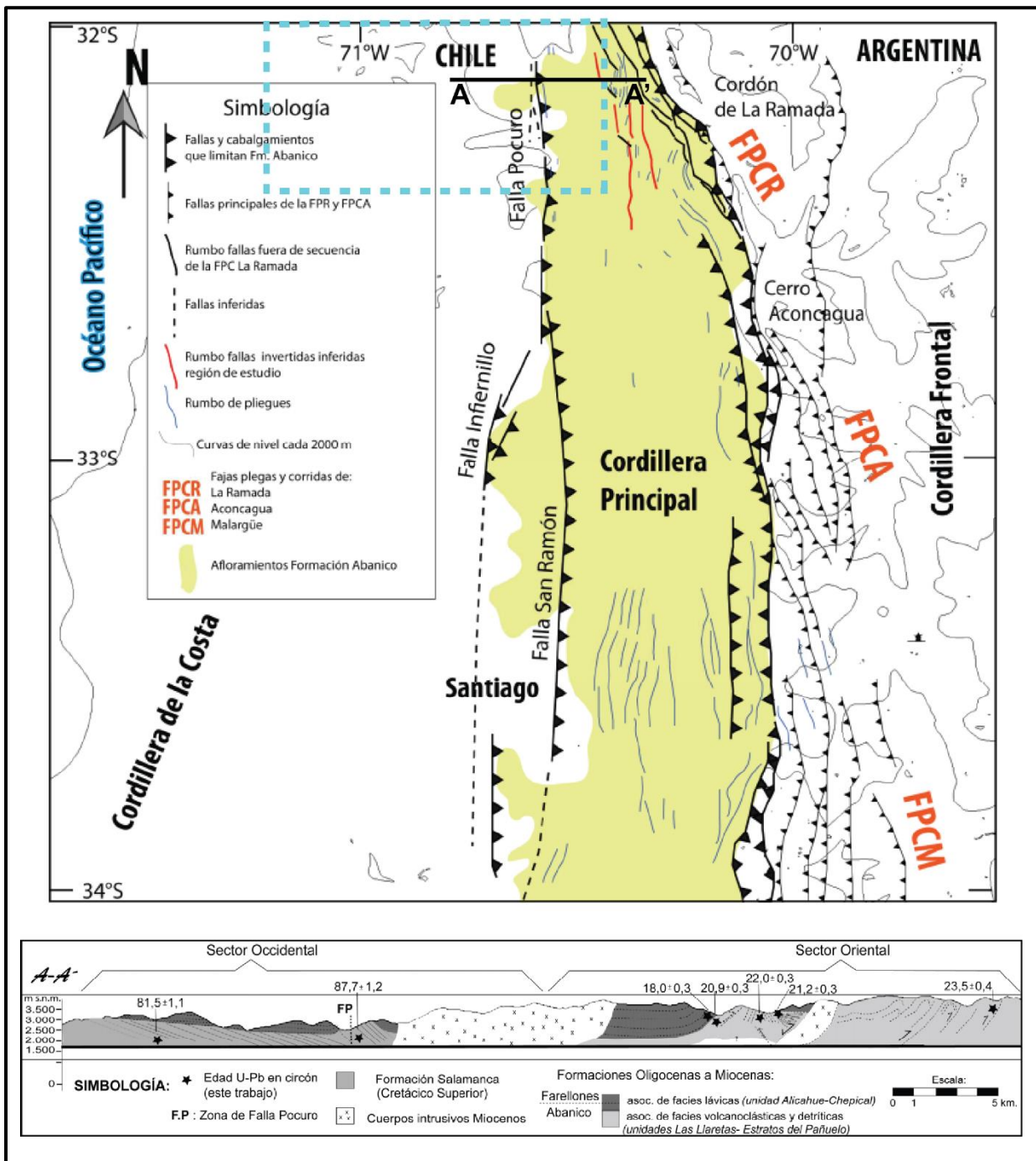


Fig. 4.4 - Relación espacial entre los afloramientos de la Formación Abanico y las principales estructuras que la limitan entre los 32°S y 34°S. En la imagen superior se indica la traza aproximada del perfil A-A', el cual representa la disposición en profundidad de las unidades geológicas en torno a los 32°15'S. En color cian se destaca la zona de estudio de este trabajo. Modificado de Jara (2013) y basado en compilado de Rivano (1996), Fock (2006), Farías (2007) y Rauld (2011).

#### 4.3.2.2. Sistema de Fallas Quebrada de Castro, Quebrada El Bronce y Petorca-El Durazno

En la zona de estudio, entre los sectores de Hierro Viejo y Petroca - Chincolco, se han reconocido una serie de lineamientos que han controlado el ascenso de fluidos mineralizadores dando origen a los principales yacimientos de Cu, Au y Ag de la zona (Camus *et al.*, 1986; Skewes y Camus, 1988; Camus *et al.*, 1991).

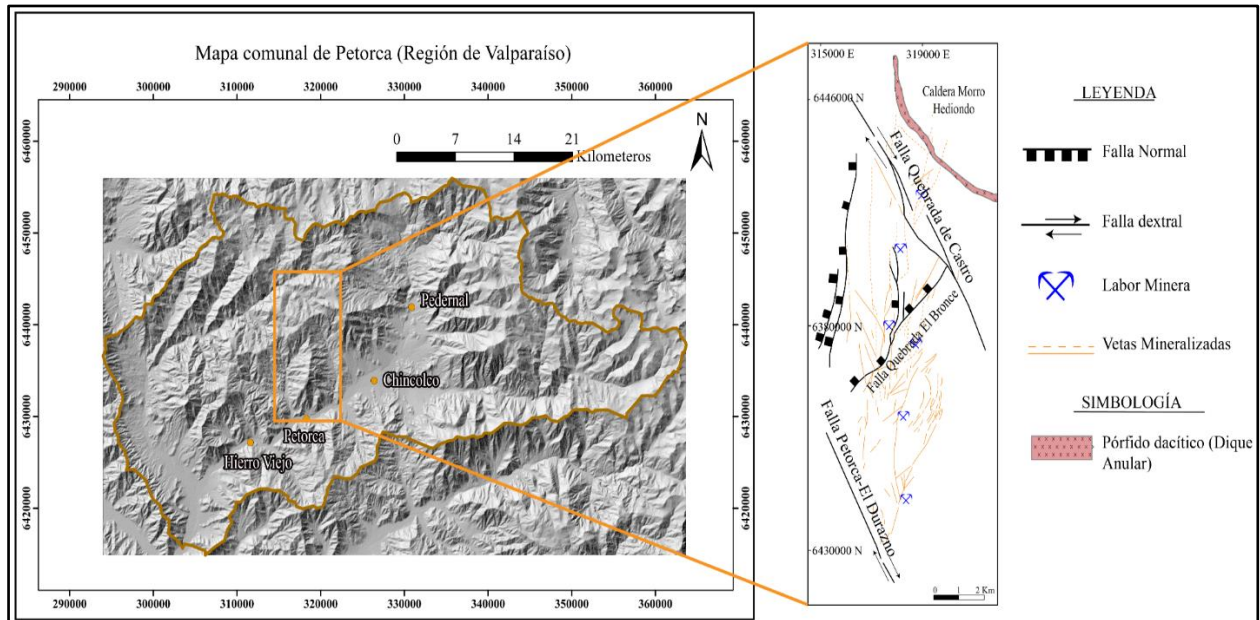


Fig. 4.5 - Sistemas de fallas Quebrada de Castro, El Bronce y Petorca-El Durazno, y su relación espacial con la caldera Morro Hediondo y las principales labores mineras (a partir de Camus *et al.*, 1991).

La estructura ubicada más al este corresponde al sistema estructural Quebrada de Castro (Fig. 4.5). Este sistema se ha definido como un lineamiento de carácter regional, que se extiende entre los 31°S y los 33°S con un rumbo de N22°W (Camus *et al.*, 1991). Comprende una serie de fallas subparalelas dextrales con menor componente transpresivo y albergan vetas mineralizadas de Au, Ag y Cu (Camus *et al.*, 1991).

La estructura ubicada más al SW corresponde al lineamiento Petorca-El Durazno (Fig. 4.5), el cual al igual que el sistema Quebrada de Castro, se ha definido como una serie de fallas dextrales con componente transpresivo (Camus *et al.*, 1991).

Finalmente, el sistema estructural Quebrada El Bronce (Fig. 4.5), corresponde a una serie de fallas tensionales, diques y vetas que se extienden por 18 km y se delimita por las fallas Quebrada de Castro y Petorca-El Durazno (Camus *et al.*, 1991).

#### 4.4. Marco de Evolución Tectono-Estratigráfica

La evolución geodinámica del margen occidental de Sudamérica se ha dividido en etapas o ciclos. La primera etapa, desarrollada entre el Proterozoico y el Paleozoico, se caracteriza por la conformación del margen occidental de Gondwana a partir de procesos de *rifting* y la acreción de

terrenos alóctonos (Ramos, 2009; Jara, 2013). La segunda etapa, denominada “Ciclo Tectónico Pre-Andino”, corresponde al quiebre de Gondwana y el desarrollo de cuencas extensionales de orientación NNW (Charrier *et al.*, 1979; Charrier *et al.*, 2007). Finalmente, con el desarrollo de la subducción moderna desde el Jurásico Inferior, comienza el “Ciclo Tectónico Andino” (Mpodozis y Ramos, 1989; Coira *et al.*, 1982; Charrier *et al.*, 2007).

En la zona de estudio, las rocas más antiguas que afloran corresponden a las secuencias volcánicas del Cretácico Inferior, por ende, la evolución geodinámica de la comuna de Petorca se enmarca en el Ciclo Tectónico Andino.

#### 4.4.1. Ciclo Andino en la zona de estudio

El ciclo Andino se ha subdividido en dos periodos, uno temprano y uno tardío, los cuales se han subdividido a su vez en etapas por sus condiciones particulares (Coira *et al.*, 1982; Charrier *et al.*, 2007). La primera etapa (Jurásico Inferior-Cretácico Inferior), corresponde al primer periodo del ciclo Andino, mientras que la segunda etapa (Cretácico Inferior – Paleógeno Inferior) y tercera etapa (Paleógeno Superior al presente) constituyen el segundo periodo del ciclo Andino.

##### 4.4.1.1. Primer periodo del ciclo Andino (Jurásico Inferior – Cretácico Inferior)

##### 4.4.1.1.1. Primera Etapa del Ciclo Andino (Jurásico Inferior – Cretácico Inferior)

Con la reactivación de la subducción, en el Jurásico Inferior surge un arco magmático subparalelo al margen occidental de Gondwana, pero ligeramente oblicuo al actual margen continental, el cual se desarrolló en condiciones extensionales (Charrier *et al.*, 2007). En el Jurásico superior al Cretácico inferior, una migración del arco magmático hacia el oriente definió la paleogeografía en torno a los 32°S, caracterizada por las siguientes unidades morfoestructurales; de oeste a este: la cuenca de antearco de Lo Prado, el arco de Lo Prado y la cuenca de trasarco de Mendoza-Neuquén (Fig. 4.6). Posterior a la formación de las cuencas, en un periodo de *post-rifting* durante el Aptiano Tardío – Albiano Temprano, se habrían depositado las secuencias volcánicas de la Formación Cerro Morado (Boyce, 2015).

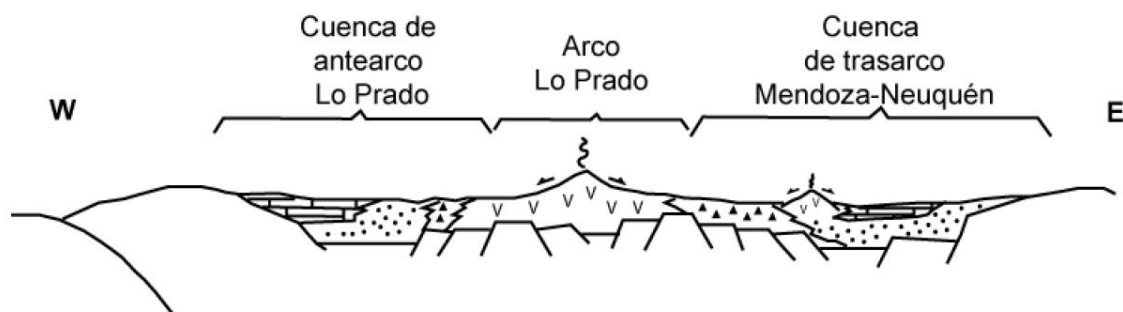


Fig. 4.6 – Esquema paleogeográfico para la segunda subetapa de la primera etapa del ciclo Andino (Tomado de Jara, 2013, modificado de Charrier *et al.*, 2007).



#### 4.4.1.2. Segundo periodo del ciclo Andino (Cretácico Inferior - presente)

##### 4.4.1.2.1. Segunda Etapa del Ciclo Andino (Cretácico Inferior – Paleógeno Inferior)

Con una rápida producción de corteza continental en el océano Pacífico primitivo (Larson, 1991) y la reducción del ángulo de subducción, se inició en el margen occidental de Sudamérica un margen convergente de subducción tipo chileno (Charrier *et al.*, 2007), produciendo la Fase Tectónica Peruana, y con ello el segundo periodo del ciclo Andino (Coira *et al.*, 1982). La disminución del ángulo de subducción habría generado en el Cretácico Inferior tardío un cambio de un sistema tectónico extensional a uno compresivo, produciendo un relieve que facilitó depositación de sedimentos continentales en las secciones proximales del antepaís. Estos depósitos corresponden a los miembros Pitipeumo y Tabón de la Formación Las Chilcas (Boyce, 2015). Durante el Cretácico Superior, el desarrollo del arco volcánico sobre los depósitos del antepaís habría generado los depósitos volcánicos del Miembro El Calvario de la Formación Las Chilcas (Boyce, 2015).

El límite Cretácico-Paleógeno registra un evento compresivo conocido como Fase K-T (o Fase Incaica I), el cual produjo una inconformidad regional, separando los depósitos Mesozoicos de los Cenozoicos (Cornejo *et al.*, 2003; Charrier *et al.*, 2007; Jara, 2013). En base a la estratigrafía y la geoquímica, Pérsico (2016) propone el desarrollo de un arco volcánico ubicado al este del orógeno previamente formado, el cual se habría desarrollado en un ambiente extensional y subsidente durante el límite Cretácico Superior – Paleoceno. Aquel arco subsidente estaría representado por secuencias volcánicas de la Formación Lo Valle (Fig. 4.7. Machuca, 2017).

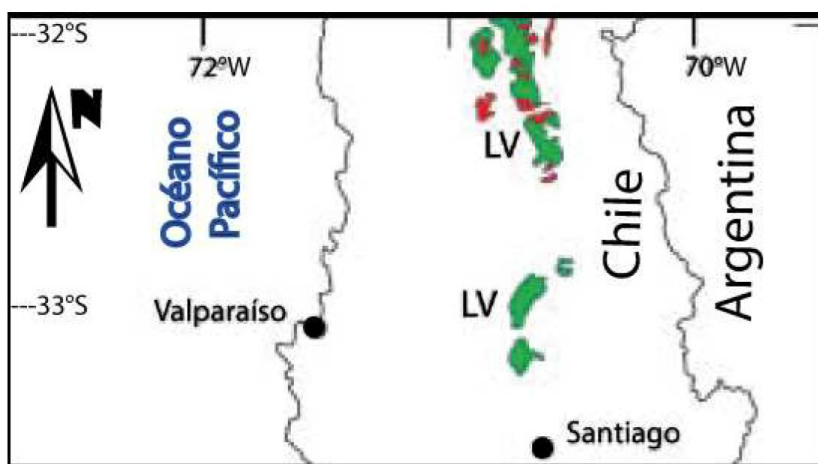


Fig. 4.7 – Distribución de los depósitos volcánicos de la Formación Lo Valle (LV), que representa el arco volcánico de la segunda etapa del ciclo Andino. (Tomado de Jara, 2013)

##### 4.4.1.2.2. Tercera Etapa del Ciclo Andino (Paleógeno Superior - Presente)

Luego de un *hiatus* estratigráfico en el Paleógeno inferior en la zona de estudio (Gana y Wall, 1997), la Tercera Etapa del Ciclo Andino comienza en el Eoceno con un nuevo evento tectónico compresivo (Fase Incaica Principal o Fase Incaica II), el cual coincide con un *peak* de alta tasa de convergencia ( $> 10$  cm/año entre 49,5 y 42 Ma), asociada a una importante disminución en la

oblicuidad de la subducción (Charrier y Vicente 1972; Makshev 1978; Pliger, 1984; Cornejo *et al.* 2003; Charrier *et al.*, 2007). La Fase Incaica II marca el inicio de la configuración actual del margen occidental de Sudamérica, donde se produce el alzamiento de la Cordillera Andina en su posición actual y el desarrollo de las unidades morfoestructurales actuales (Charrier *et al.*; 2007).

Posterior a la Fase Incaica Principal, un proceso extensional tuvo lugar en el Eoceno superior, permitiendo el desarrollo de cuencas extensionales de intraarco con volcanismo activo, que permitieron la depositación de las rocas del Eoceno superior al Mioceno inferior de la Formación Abanico (Nyström *et al.*, 2003; Kay *et al.*, 2005; Muñoz *et al.*, 2006; Jordan *et al.*, 2001, Charrier *et al.*, 2002, 2007). Las condiciones extensionales de la cuenca de Abanico habrían perdurado hasta el Oligoceno Superior – Mioceno Inferior (Fig. 4.8), donde variaciones geodinámicas en el margen occidental de Sudamérica produjeron la inversión de la cuenca y la depositación *syn-inversión* de la Formación Farellones (Pardo-Casas y Molnar, 1987; Jordan *et al.*, 2001; Charrier *et al.*, 2002; Nyström *et al.*, 2003; Charrier *et al.*, 2005, 2007; Boyce, 2015).

Desde el Mioceno Inferior la colisión de la dorsal de Juan Fernández generó una zona de subducción plana, la cual ha controlado el relieve actual entre los  $\sim 27^\circ$  y  $\sim 33^\circ$ S (Yáñez *et al.*, 2001, 2002). Aquel cambio en la convergencia de la placa oceánica sería el responsable del estrechamiento de la cuña astenosférica, la reducción del antearco por subducción erosiva, y la migración y expansión del arco hacia el este, producto de la somerización de la placa subductante (Charrier *et al.*, 2015).

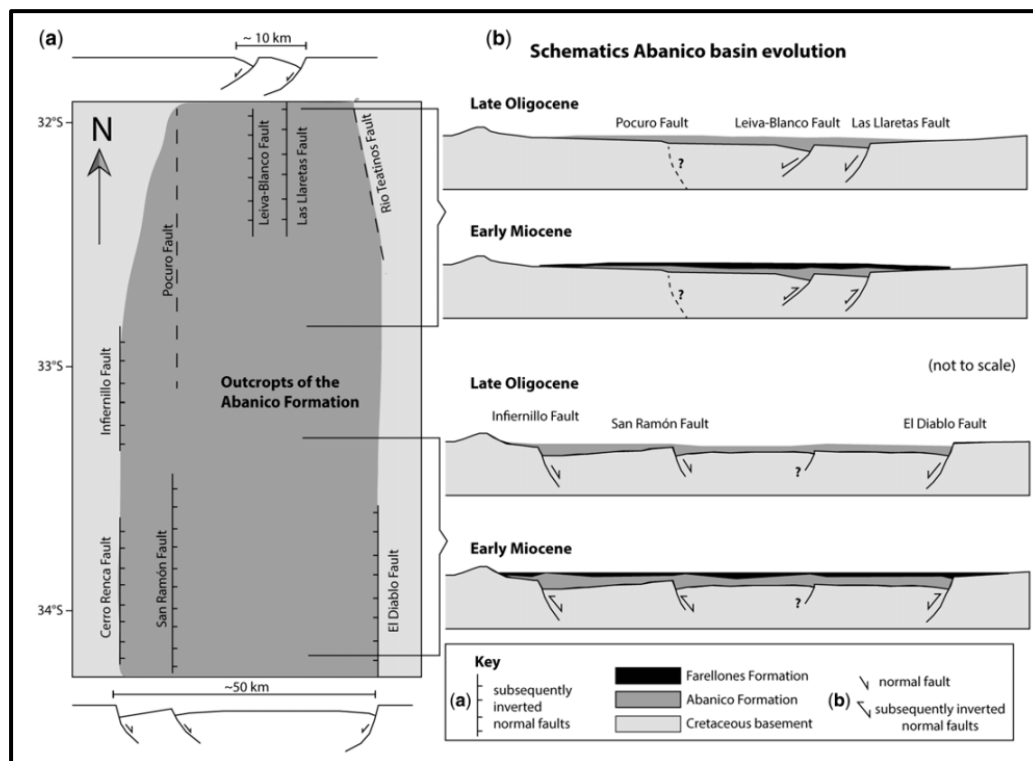


Fig. 4.8 - a) Distribución esquemática de los afloramientos de la Formación Abanico y de las estructuras mayores que los limitan en la Cordillera Principal, entre los 32°S y 34°S. Se interpreta el ancho de la cuenca en donde se acumulan los depósitos de la Formación Abanico. b) Esquema de la evolución de la Cuenca de Abanico entre el Oligoceno tardío y el Mioceno temprano en dos secciones generalizadas entre los 32°-33°S y los 33°-34°S. Tomado de Jara *et al.* (2015).

## 5. GEOLOGÍA LOCAL

En este capítulo se definen de manera informal las unidades geológicas del área de estudio, considerando sus distribuciones, relaciones de contacto, estratigrafía y petrología en base a los 240 puntos de control realizados en las campañas de terreno. Asimismo, se definen estructuras geológicas de manera informal, las cuales se han dividido en un dominio estructural occidental, constituido por los lineamientos Los Tornos y Quebrada de Castro, y uno oriental, desarrollado en torno a la Falla Portezuelo. Las correlaciones con las unidades geológicas y las estructuras de la bibliografía formal se detallan en el capítulo 6.

### 5.1. Definición de Unidades Informales

#### 5.1.1. Unidades Estratificadas

A partir de las relaciones de contacto y la estratigrafía de la zona de estudio, se han definido 5 unidades estratificadas que, de base a techo, corresponden a la Unidad Hierro Viejo – Pedernal, Unidad El Sobrante, Unidad El Rancho, Unidad Cerro Pila y Unidad Las Cruces. La Fig. 5.1 resume las características generales de las distintas unidades, las cuales se detallan en profundidad en los apartados siguientes.

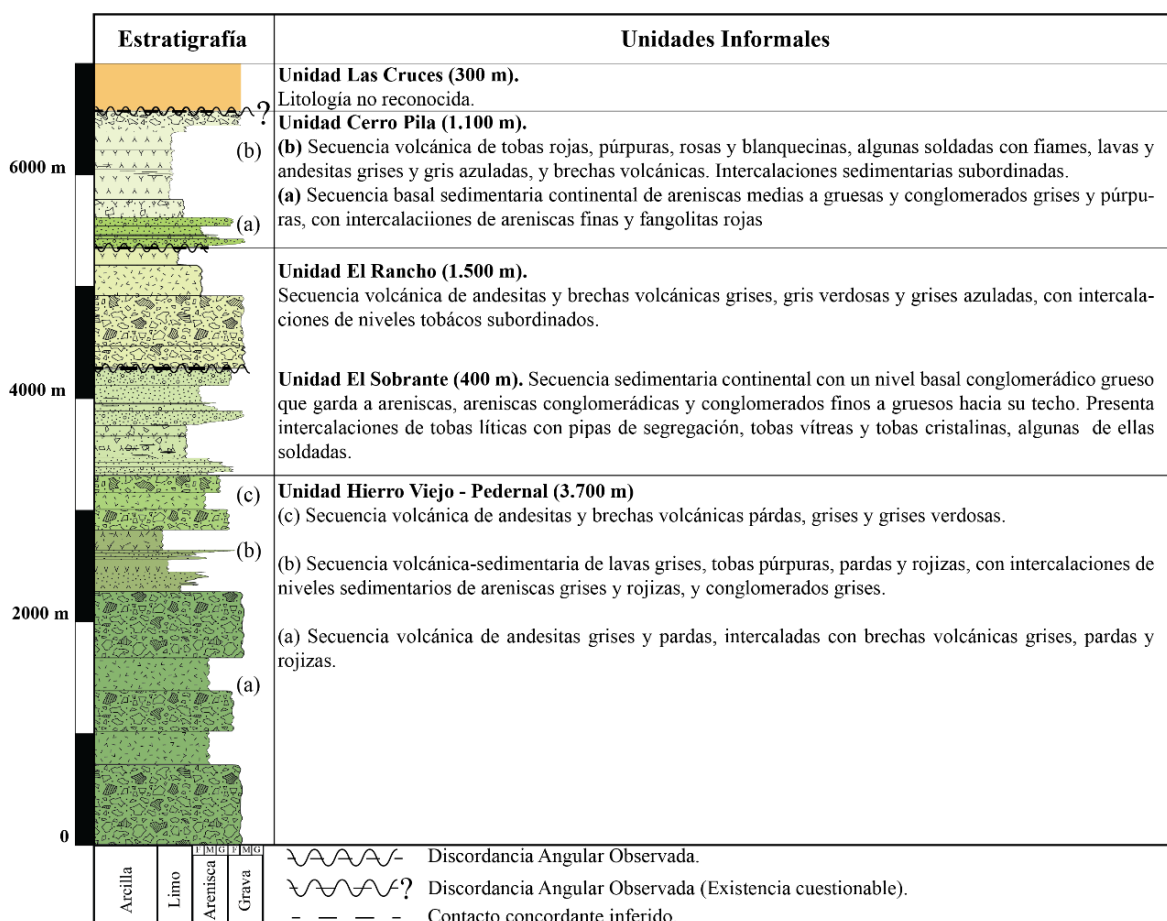
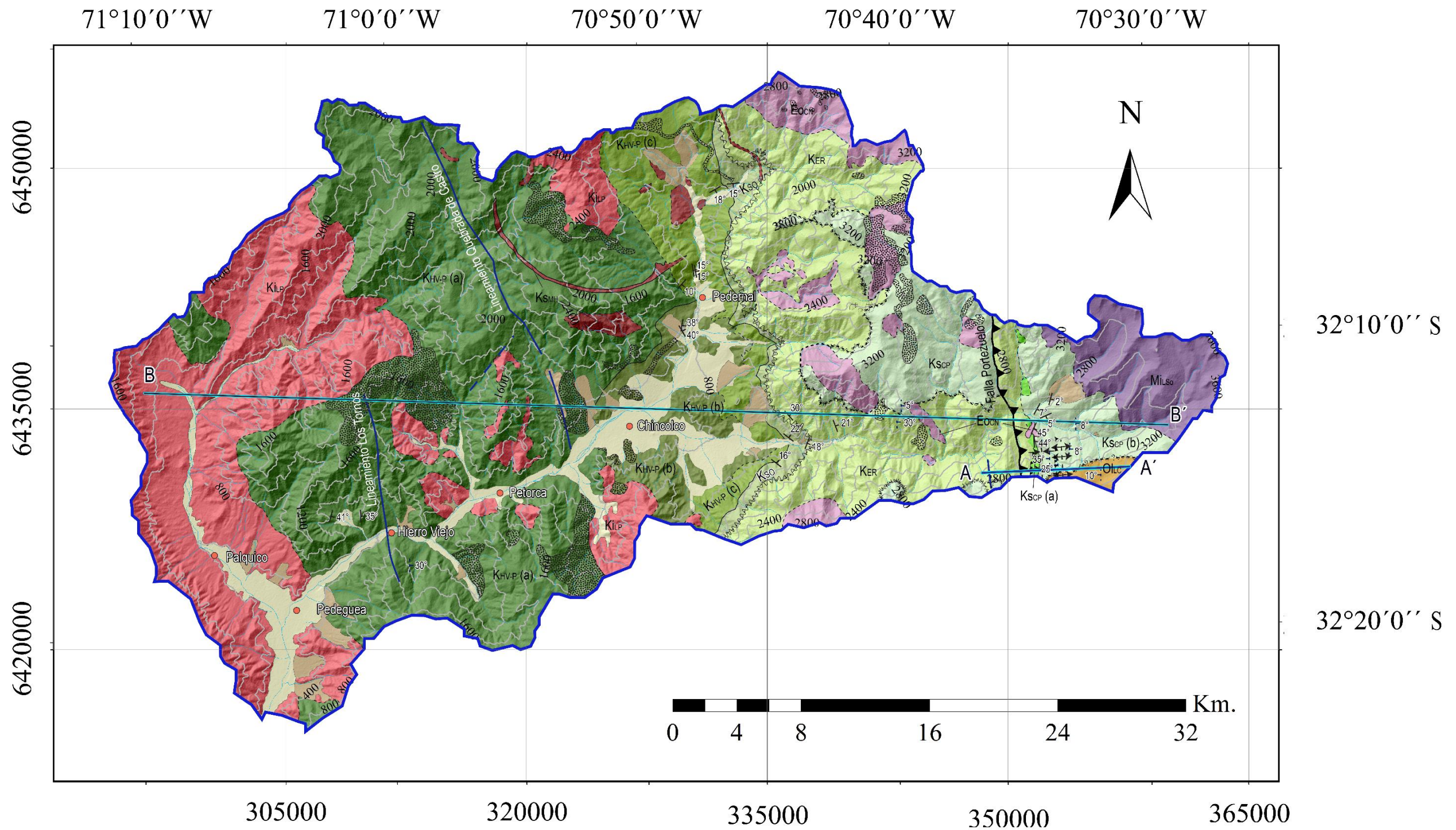



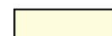

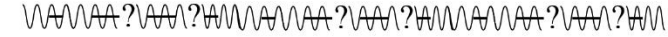





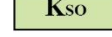

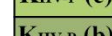
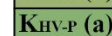

Fig. 5.1 – Columna estratigráfica generalizada de las unidades estratificadas informales definidas en este trabajo.







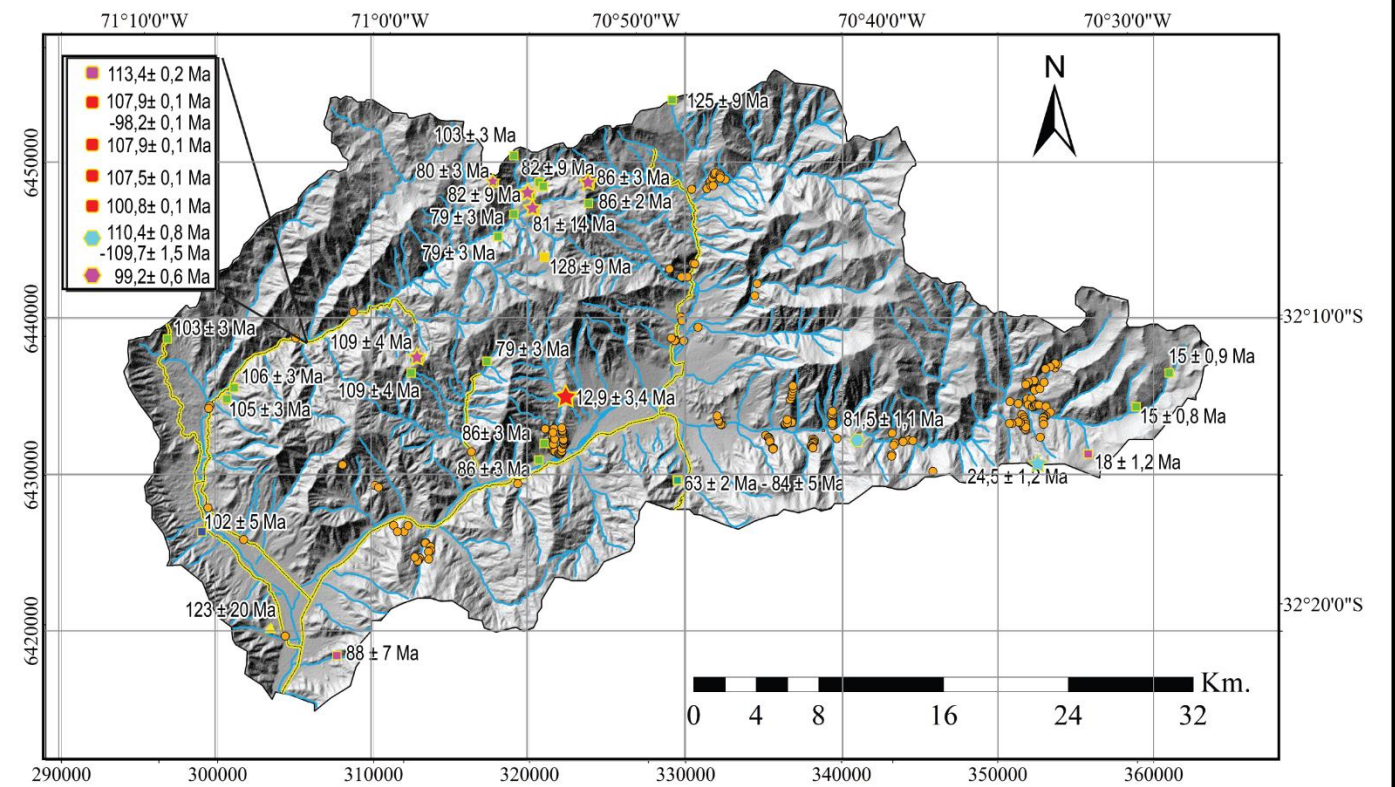




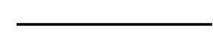
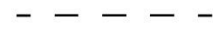
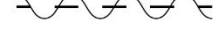
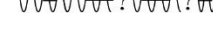





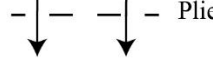






## Leyenda

-  **Depósitos aluviales, coluviales y fluvio-aluviales.**
-  **Depósitos de relleno de valles.**
-  **Oh<sub>L.C</sub> Unidad Las Cruces (Oh<sub>L.C</sub>).**
- 
-  **Unidad Cerro Pila (K<sub>CP</sub>).**
-  **K<sub>CP</sub>(b)** Secuencia volcánica de tobas rojas, púrpuras, rosas y blanquecinas, algunas soldadas con fiames, lavas y andesitas grises y gris azuladas, y brechas volcánicas grises. Intercalaciones sedimentarias subordinadas.
- K<sub>CP</sub>(a)** Secuencia sedimentaria continental de areniscas medias a gruesas y conglomerados grises y púrpuras, con intercalaciones de areniscas finas y fangolitas rojas.
- 
-  **Unidad El Rancho (K<sub>ER</sub>).**
- Secuencia volcánica de andesitas y brechas volcánicas grises, grises verdosas y grises azuladas, con intercalaciones de niveles tobáceos subordinados.
- 
-  **Unidad El Sobrante (K<sub>SO</sub>).**
- Secuencia sedimentaria continental con un nivel basal conglomerádico de alta energía y niveles de areniscas, areniscas conglomerádicas y conglomerados pardos, grises y rojizos. Presenta niveles subordinados de tobas liticas rosas con pipas de segregación y tobas vítreas y cristalinas grises y grises verdosas.
- 
-  **Unidad Hierro Viejo-Pedernal (K<sub>HV-P</sub>).**
-  **K<sub>HV-P</sub>(c)** Secuencia volcánica de andesitas y brechas volcánicas pardas, grises y grises verdosas.
-  **K<sub>HV-P</sub>(b)** Secuencia volcánica-sedimentaria de lavas grises, tobas púrpuras, pardas y rojizas, con intercalaciones de niveles sedimentarios de areniscas grises y rojizas y conglomerados grises.
- K<sub>HV-P</sub>(a)** Secuencia volcánica de andesitas grises y pardas, intercaladas con brechas volcánicas grises, pardas y rojizas.

-  **Unidad Intrusiva Laguna del Sobrante (Mi<sub>L.SO</sub>).**  
Tonalitas de Hbl y Bt de color blanco.
-  **Unidad Intrusiva Cerro Negro (Eoc<sub>N</sub>).**  
Granodioritas de Hbl, dioritas de Hbl y Bt y gabros de Px. Se presentan como afloramientos masivos de color amarillo. Gabros y dioritas poseen magnetismo.
-  **Unidad Intrusiva Morro Hediondo (K<sub>SMH</sub>).**  
Pórfidos andesíticos de color gris verdoso, tonalitos blanquecinos y dioríticos gris oscuro con tonos verdosos.
-  **Unidad Intrusiva Las Palmas (K<sub>ILP</sub>).**  
Tonalitas, granodioritas y granitos leucocráticos con enclaves y diques máficos microgranulares.



## Simbología

-  Contacto concordante, ubicación certera.
-  Contacto concordante, ubicación inferida.
-  Contacto discordante observado, ubicación inferida.
-  Contacto discordante observado de existencia cuestionable, ubicación inferida.
-  Falla inversa. Triángulos indican bloque alzado.
-  Falla inversa inferida. Triángulos indican bloque alzado.
-  Lineamiento observado.
-  Lineamiento inferido.
-  Pliegue sinclinal inferido.
-  Pliegue anticlinal inferido.
-  Dato de rumbo/manteo medido.
-  Dato de rumbo/manteo aparente.
-  Zona de Alteración.
-  Red Vial.
-  Red Hídrica.
-  Puntos de Control.

## Edades Radiométricas (Ma)


















-  Edad Ar-Ar en biotita de granitoide.
-  Edad K-Ar en biotita de granitoide.
-  Edad K-Ar en anfíbol de granitoide.
-  Edad U-Pb en circones de granitoide.
-  Edad U-Pb en titanitas de granitoide.
-  Edad Ar-Ar en anfíbol de gabro.
-  Edad K-Ar en Kfs de diorita.
-  Edad K-Ar en roca total de diorita.
-  Edad K-Ar en plagioclasa de andesita.
-  Edad K-Ar en roca total de andesita.
-  Edad U-Pb en circones de toba.
-  Edad K-Ar en biotita de toba dacítica.
-  Edad K-Ar en biotita de roca de alteración.
-  Edad K-Ar en par Plg-Anf.
-  Edad K-Ar en biotita.
-  Edad K-Ar en roca total.
-  Edad Pb - σ.

Fig. 5.2 – Mapa geológico de la comuna de Petorca con límites estratigráficos definidos a partir de las unidades informales. Se incluyen las edades radiométricas obtenidas para la comuna a partir de la bibliografía disponible (Tabla 13.1).

#### 5.1.1.1. Unidad Hierro Viejo – Pedernal ( $K_{HV-P}$ )

##### Definición y Relaciones de Contacto

Sucesión de 3700 m de espesor aproximado, constituida predominantemente por rocas volcánicas grises y pardas con escasos niveles sedimentarios hacia su sección superior (Fig. 5.3). Se dispone en una franja NS que aflora desde el valle de Las Palmas por el occidente hasta la parte oeste del valle de El Sobrante por el oriente (Fig. 5.2). El techo de la unidad yace de forma concordante bajo la unidad El Sobrante (Fig. 5.8). Su contacto basal es desconocido a raíz de la intrusión de los granitoides de la unidad intrusiva Las Palmas.

##### Litología

En base a su constitución, la unidad Hierro Viejo-Pedernal se divide en tres secuencias volcánicas, donde la secuencia intermedia presenta rocas volcánicas intercaladas con niveles sedimentarios continentales. La secuencia volcánica basal posee un espesor aproximado de 2500 m, y se caracteriza por la presencia de andesitas, brechas volcánicas y sucesiones de lavas subordinadas (Fig. 5.3. Columnas A y B). Las andesitas presentan una masa fundamental gris oscuro a gris parduzco, plagioclasas de hasta 4 mm con alteración a minerales de arcilla y se encuentran alteradas de manera poco pervasiva por minerales de clorita y epidota (Fig. 5.4.A y B). Las brechas volcánicas se presentan como afloramientos de colores blanquecinos, grises y pardos, y presentan una alteración a clorita-epidota de manera selectiva en sus clastos (Fig. 5.4. C y D). La matriz de las brechas es volcánica de colores pardos y rojizos, con variación en el contenido de plagioclasas (Fig. 5.4. C, D y E). Sus clastos son volcánicos, monomícticos a polimícticos con hasta 4 tipos de andesitas distintas, se presentan angulosos a subredondeados y sus tamaños no superan los 10 cm (Fig. 5.4).

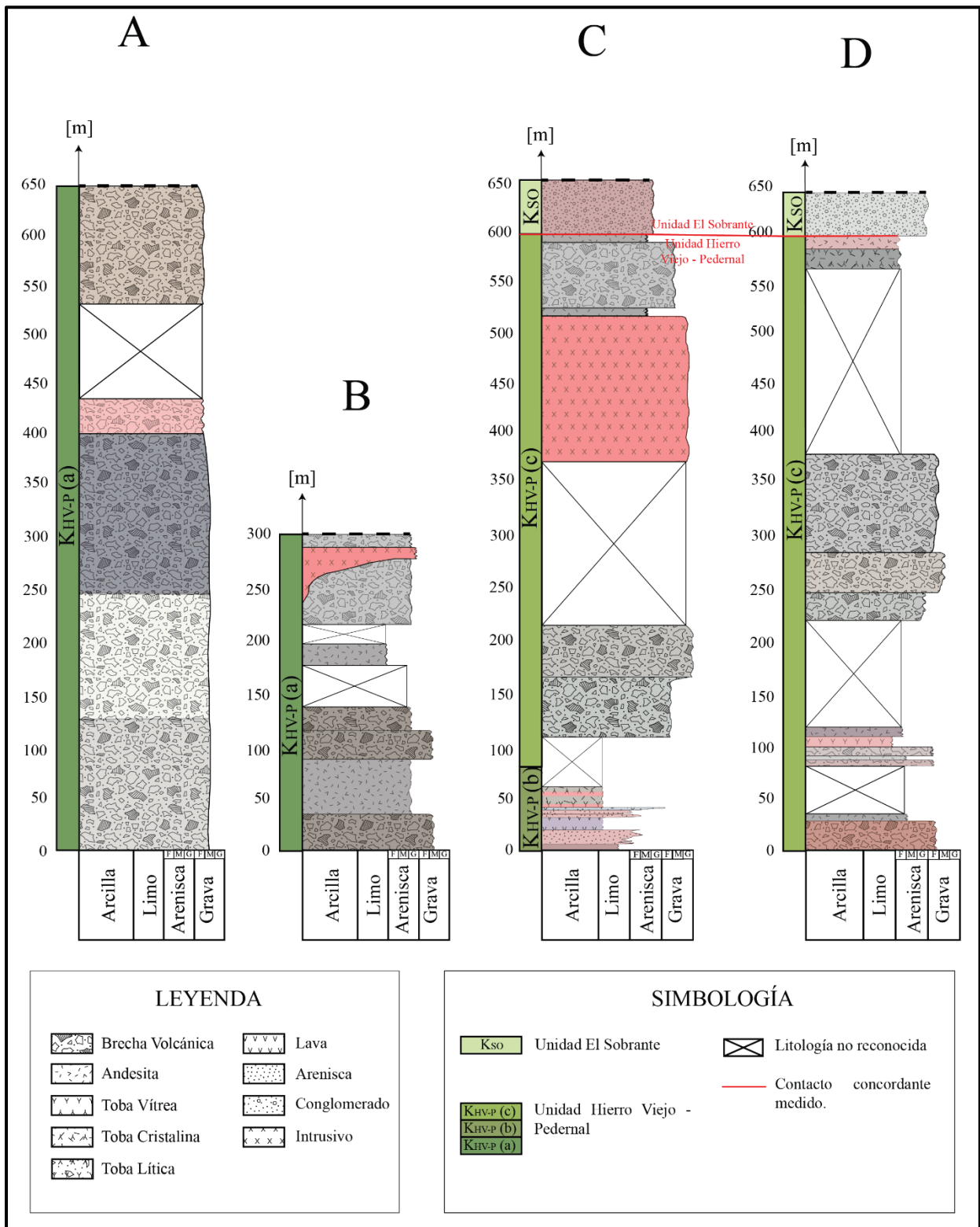


Fig. 5.3 – Columnas estratigráficas de la unidad Hierro Viejo – Pedernal levantadas entre la localidad de Hierro Viejo y el valle de Pedernal. Para las rocas estratificadas, los colores indican el color de la litología, mientras que las rocas intrusivas se representan en color rojo. La ubicación de las columnas estratigráficas se detalla en la figura Fig. 13.1.



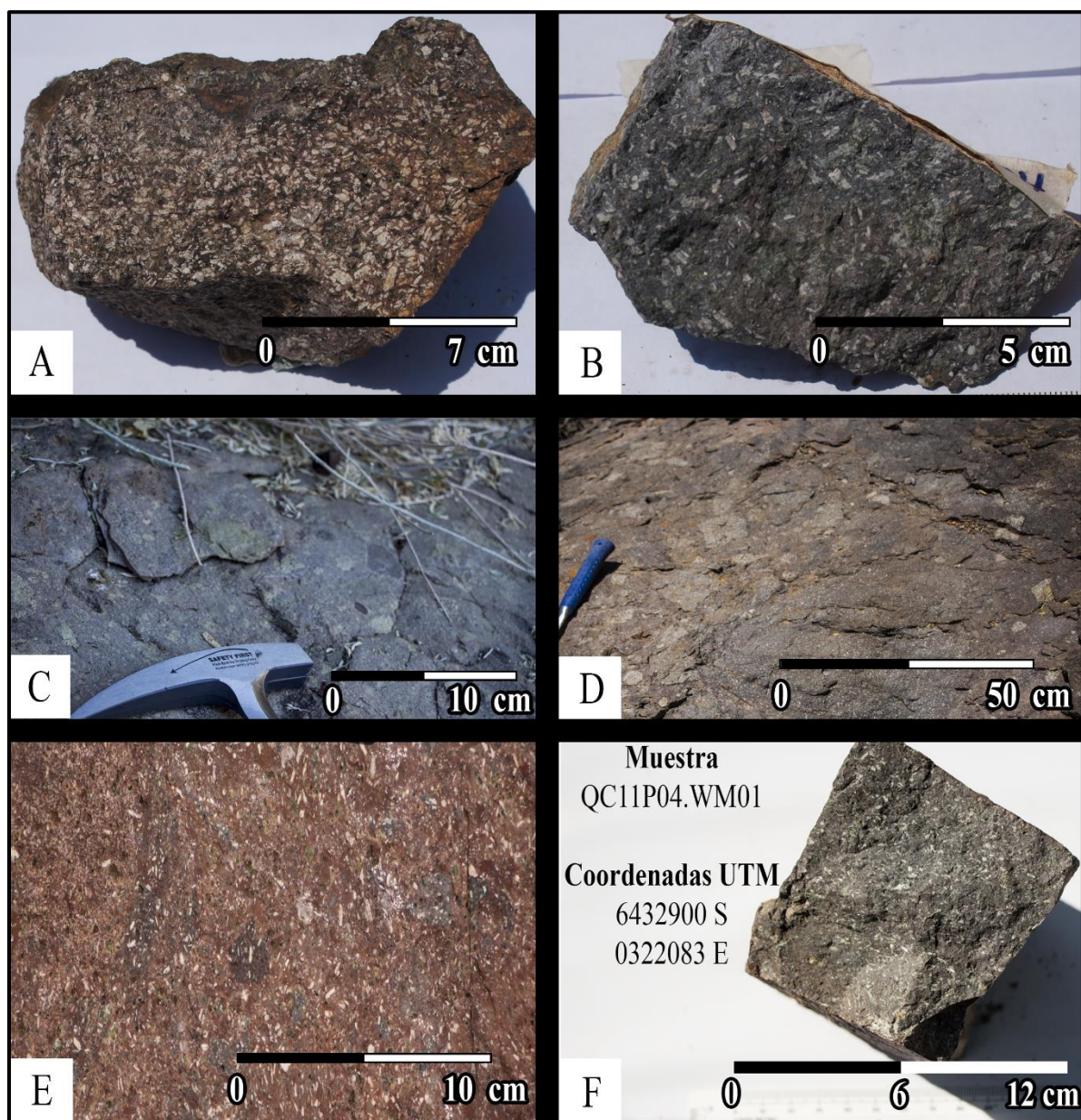


Fig. 5.4 – Imágenes de la sucesión basal de la unidad Hierro Viejo-Pedernal. A) Andesita gris parduzca del sector de Hierro Viejo (Muestra Hv17P11, Anexo 10.2.1). B) Andesita gris azulada con alteración de clorita-epidota del sector de Hierro Viejo (Muestra Hv17P10, Anexo 10.2.1). C) Brecha volcánica gris azulada con alteración selectiva a los clastos del sector quebrada La Ñipa. D) Brecha volcánica monomíctica del sector quebrada la Ñipa. E) Brecha volcánica polimíctica rojiza con plagioclasas en la masa fundamental, sector Quebrada de Castro. F) Lava andesítica parda grisácea del sector Quebrada de Castro (Muestra QC11P04.WM01, Anexo 10.2.1).

La sucesión intermedia posee un espesor que varía entre los 100 m y los 950 m, y aflora en el sector centro-sur del valle de Pedernal (Fig. 5.3, columna C). Se compone de lavas y tobas, intercaladas con niveles sedimentarios continentales (Fig. 5.5). Las tobas basales son vítreas de color marrón y sobre esta se dispone un nivel de 15 m de potencia de arenisca roja de grano fino, polimíctica y clastos redondeados. Ascendiendo estratigráficamente, se observan lavas púrpuras yaciendo bajo una secuencia de sedimentaria de 5 m de espesor constituida por areniscas medias con presencia de estratificación cruzada (Fig. 5.6. A y B), y un nivel de conglomerado fino en su sección superior (Fig. 5.6. A y B). Coronando la sucesión, se dispone una intercalación de tobas vítreas rojas con



fiamas y tobas cristalinas pardas (Fig. 5.6. C y D), las que alcanzan un espesor de hasta 20 m en el sector oriental del valle de Pedernal.

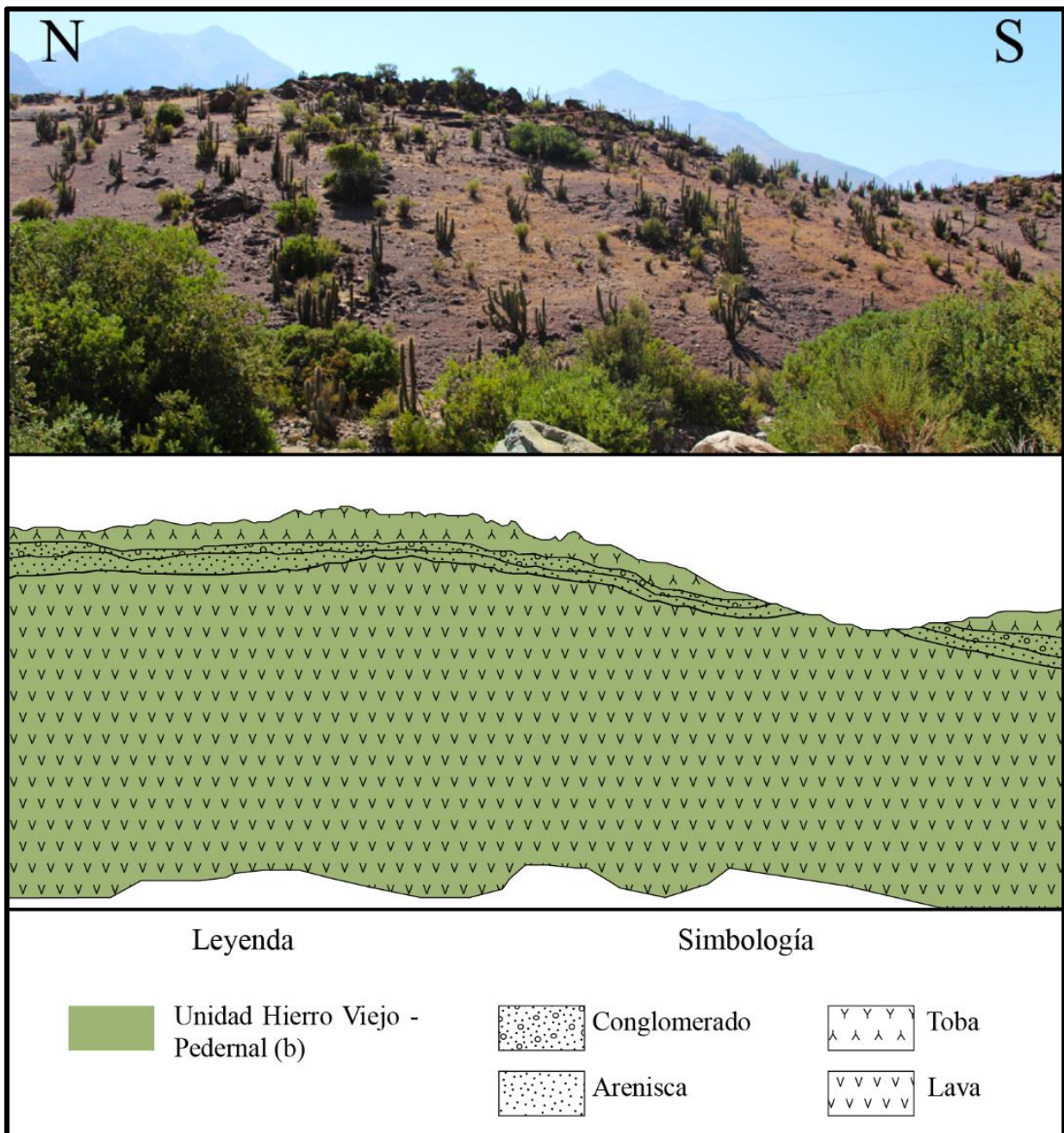


Fig. 5.5 – Vista hacia el este de la secuencia estratigráfica de lavas, areniscas, conglomerados y tobas de la sucesión intermedia de la unidad Hierro Viejo-Pedernal. La secuencia interpretada en el esquema inferior se ubica 2 km al sur de la ex-mina La Dulcinea.

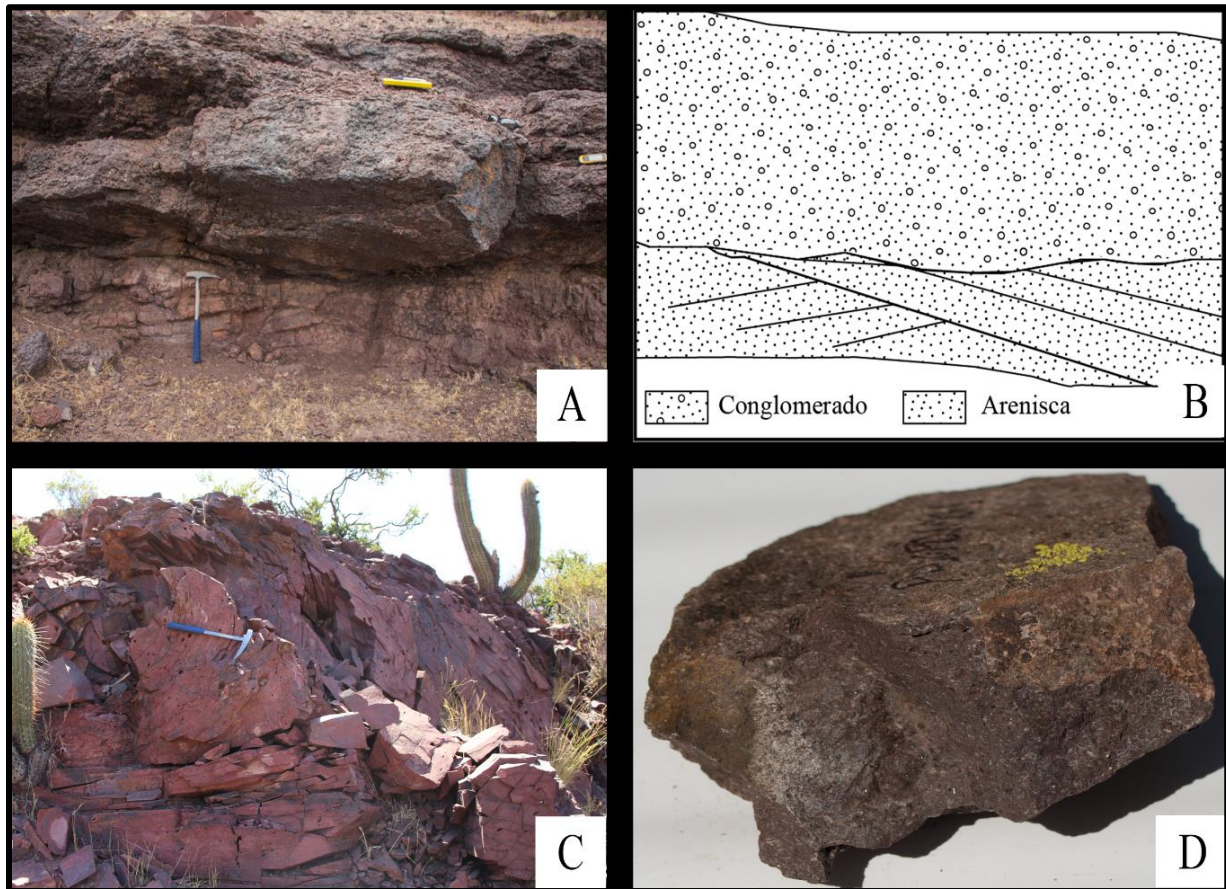


Fig. 5.6 – Imágenes de la sucesión intermedia de la unidad Hierro Viejo-Pedernal. A) Niveles sedimentarios del sector sur de la ex-mina La Dulcinea, constituida por areniscas medias con estratificación cruzada yaciendo bajo un nivel de conglomerado fino. B) Interpretación de las rocas sedimentarias de la fotografía A). C) Tobas vítreas rojas de la sección superior de la sucesión intermedia. D) Tobas cristalinas pardas de la sucesión intermedia (Muestra PD10P06M01.S).

Con un espesor variable entre los 250 m y los 450 m, la sucesión superior corresponde a brechas volcánicas y andesitas grises a gris verdosas, que afloran en el sector centro-norte del valle de Pedernal, más específicamente al norte de la ex-mina La Dulcinea (Fig. 5.3, columnas C y D). Las brechas se presentan como niveles de espesores continuos de hasta 100 m, y poseen clastos volcánicos angulosos, monomícticos y sus tamaños varían desde los 3 cm a los 40 cm (Fig. 5.7). La secuencia se encuentra intruida por una serie de diques e intrusivos hipabisales dacíticos de color gris parduzco.



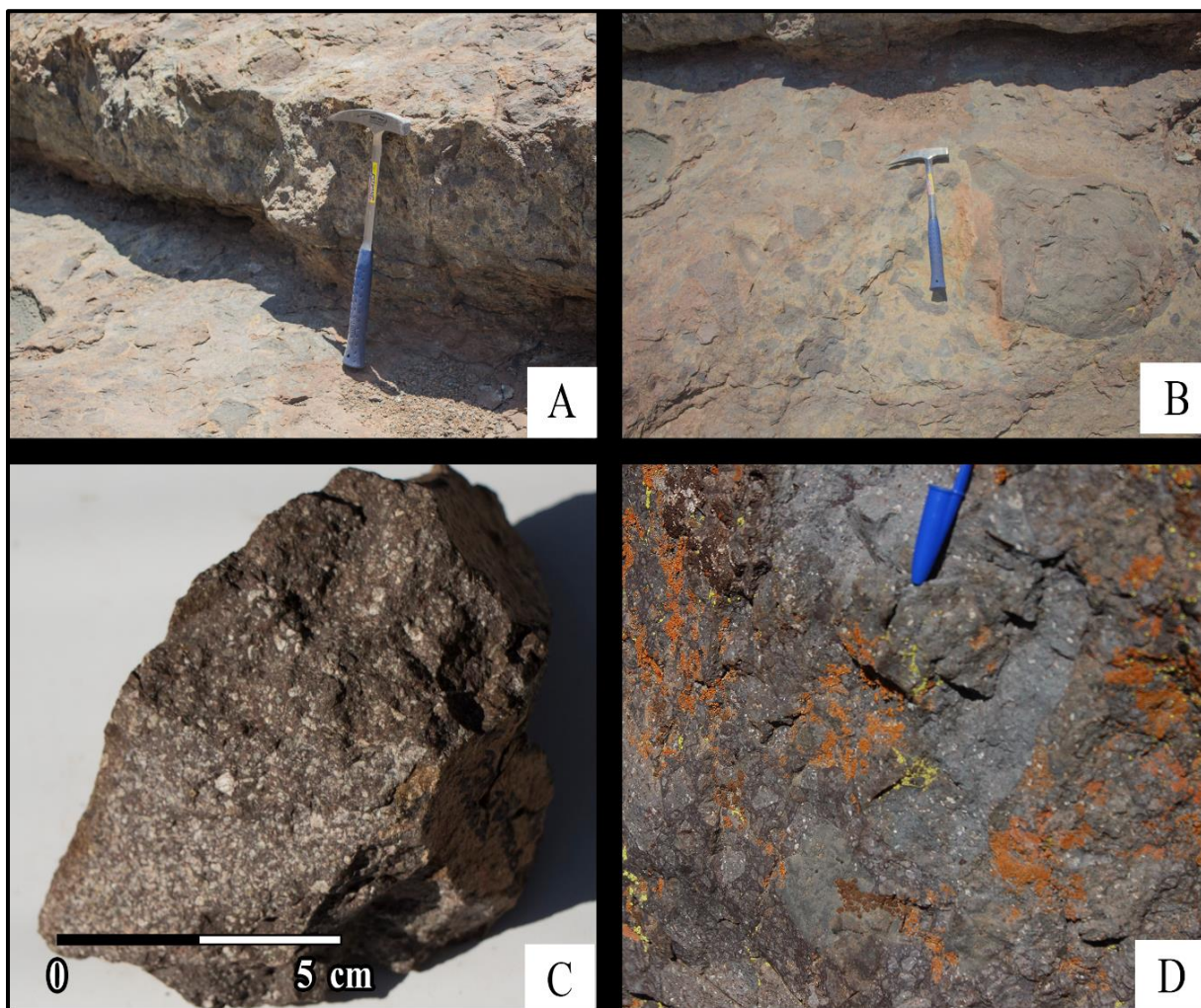


Fig. 5.7 – Imágenes de la sucesión superior de la unidad Hierro Viejo-Pedernal. A) y B) Brecha volcánica monomítica de color gris del sector ubicado 5 km al norte de la ex-mina La Dulcinea. C) Intrusivo hipabisal dacítico del sector norte del valle de Pedernal. D) Brecha volcánica gris ubicada estratigráficamente sobre el intrusivo dacítico.

#### 5.1.1.2. Unidad El Sobrante (K<sub>SO</sub>)

##### Definición y Relaciones de Contacto

Sucesión de rocas sedimentarias continentales pardas, marrones y grises, intercaladas con niveles de tobas rosas, verdes y grises. Posee un espesor máximo aproximado de 400 m, y se dispone en una franja que bordea la zona oriental de la unidad Hierro Viejo-Pedernal, aflorando desde el Norte del valle de Pedernal hasta la zona occidental del valle de El Sobrante (Fig. 5.2). Su contacto basal es concordante con la unidad Hierro Viejo-Pedernal (Fig. 5.8). Yace bajo la unidad volcánica El Rancho, pero su relación no fue reconocida, infiriéndose una disconformidad.





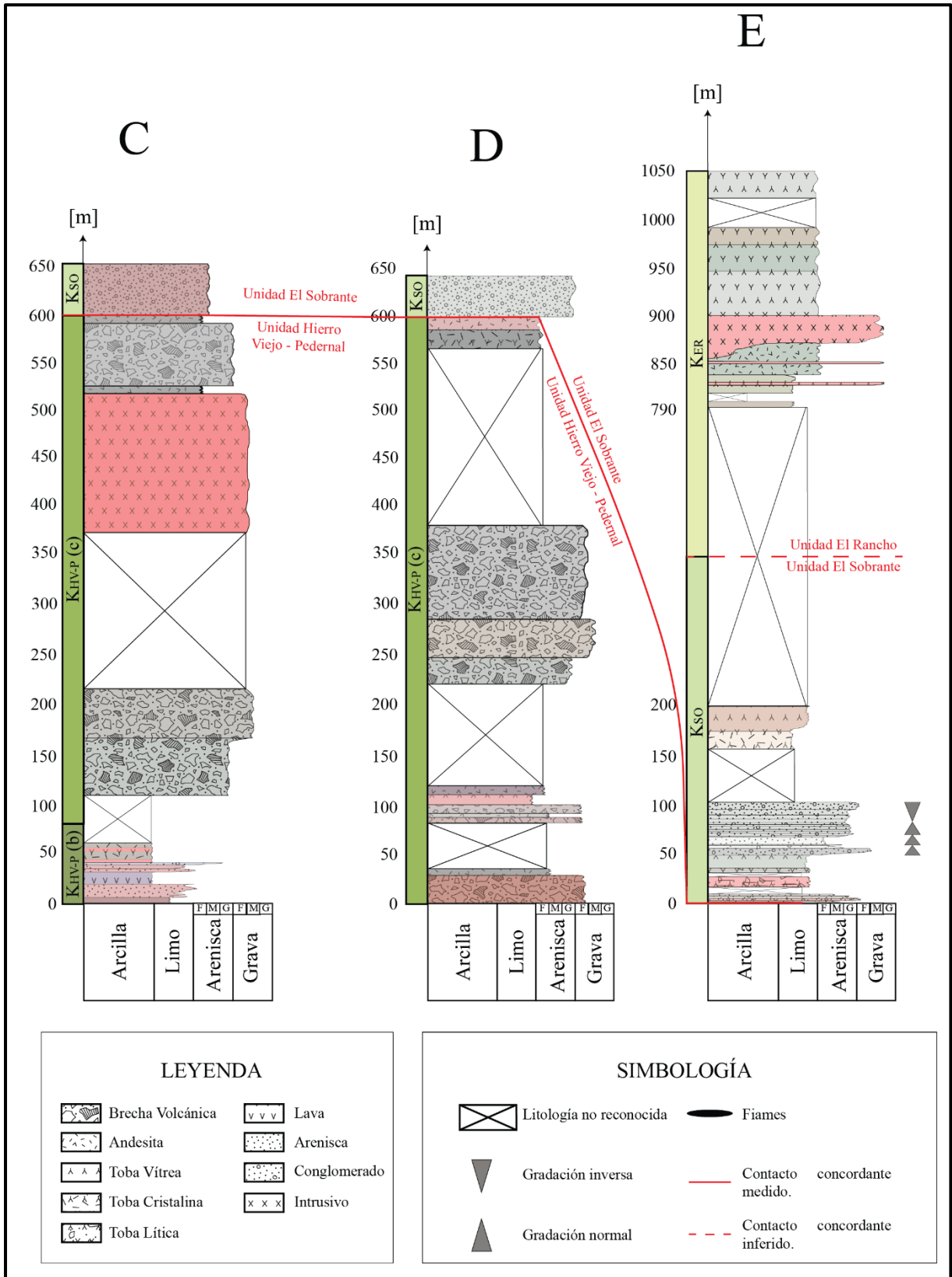


Fig. 5.9 – Columnas estratigráficas de la unidad El Sobrante, identificada en los sectores de Pedernal y el valle de El Sobrante. Las columnas muestran las relaciones de contacto con la unidad inferior Hierro Viejo – Pedernal y la unidad superior El Rancho. La ubicación de las columnas estratigráficas se detalla en la figura Fig. 13.1.



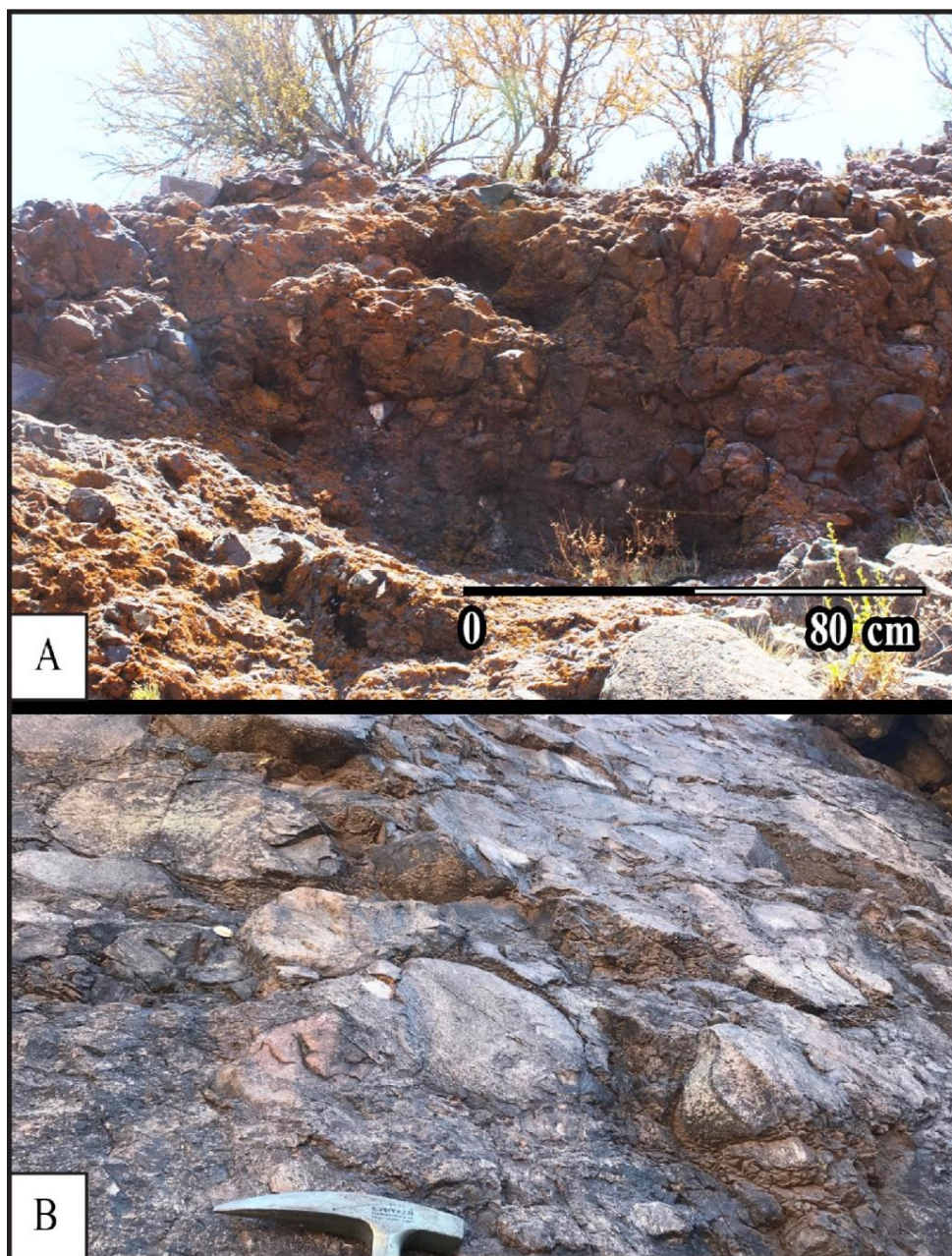


Fig. 5.10 – Imágenes del nivel conglomerádico basal de la unidad El Sobrante. A) Conglomerados rojos del sector norte del valle de Pedernal. B) Conglomerado gris parduzco del sector occidental del valle de El Sobrante.

Sobre el nivel de conglomerado basal, se dispone una sucesión sedimentaria clástica continental de 10 m de espesor y color marrón, la cual presenta dos ciclos grano decreciente. El nivel de arenisca brechoza inferior se presenta matriz soportado, con una matriz de arena media a gruesa de color pardo y clastos polimícticos subangulosos de hasta 7 cm. Sobre la arenisca brechoza se dispone un nivel de arenisca gruesa de color marrón, con clastos polimícticos bien seleccionados (Fig. 5.11.B), la cual yace bajo un nivel de areniscas conglomerádicas rojas, con buena selección, clastos polimícticos y redondeados, las cuales gradan a areniscas medias de color marrón (Fig. 5.11.B). Coronando esta sucesión sedimentaria, se dispone un nivel de conglomerado fino a medio de color marrón, matriz soportado, con una matriz de arena gruesa y clastos polimícticos redondeados de hasta 5 cm (Fig. 5.11. A).



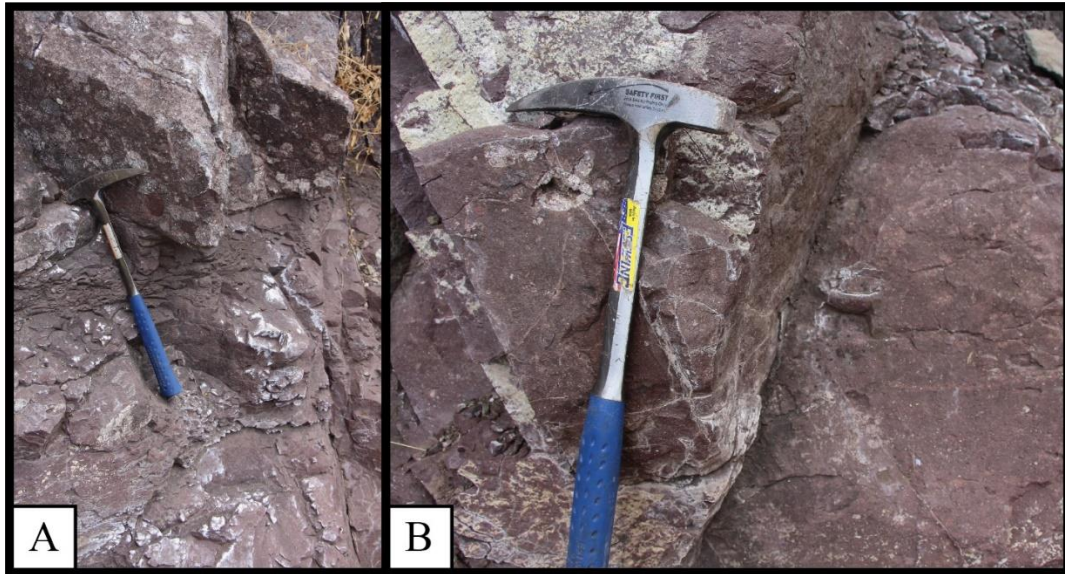


Fig. 5.11 – Fotografías de la secuencia sedimentaria ubicada en el sector occidental del valle de El Sobrante. A) Conglomerado matriz soportado de grano fino a medio sobre nivel de arenisca media a gruesa, ambos de color marrón. B) Nivel de arenisca conglomerádica en el sector superior izquierdo de la imagen y arenisca media en la sección inferior, ambas de color marrón.

Ascendiendo estratigráficamente, se disponen concordantemente una secuencia de 40 m de espesor, constituida de tobas líticas roja y gris, y un nivel de toba vítrea de color verde. La toba lítica roja se caracteriza por la presencia de pipas de segregación y fiames (Fig. 5.12).

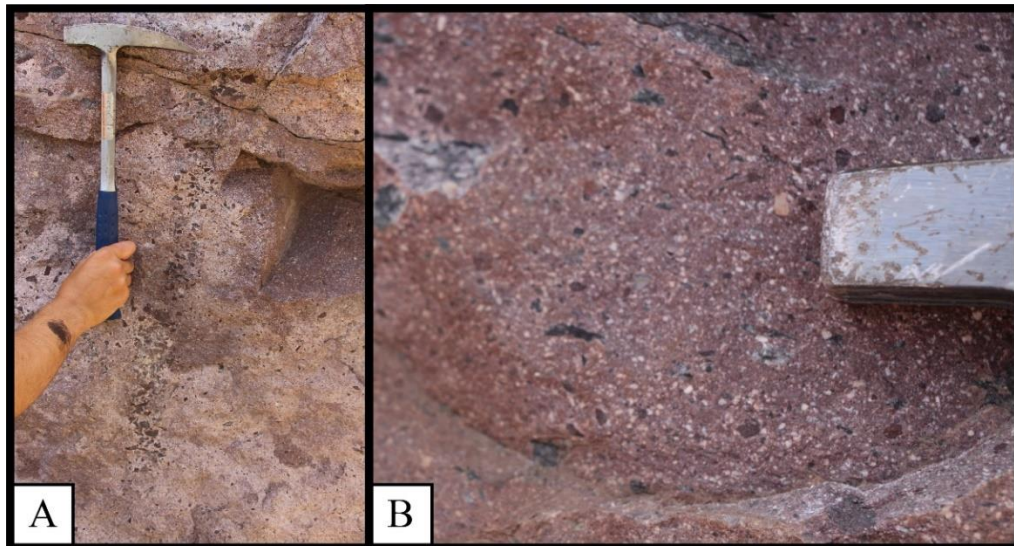


Fig. 5.12 – Fotografía de la toba lítica rojiza en el sector occidental del valle de El Sobrante. A) Pipa de segregación que indica el escape de fluidos durante el proceso de litificación. B) fiames negros de la toba lítica.

Sobre los niveles de tobas, se dispone una segunda sucesión sedimentaria continental clástica de 50 m de espesor y color gris. La sucesión presenta un nivel basal de conglomerado polimíctico, subredondeado a subanguloso, con tamaño de clastos que alcanzan los 10 cm, y que yace bajo una intercalación de areniscas polimícticas medias a gruesas (Fig. 5.13.A). Hacia el techo se encuentra un nivel de conglomerados de grano grueso, polimícticos y de clastos redondeados a subangulosos que alcanzan tamaños de hasta 25 cm (Fig. 5.13.B).



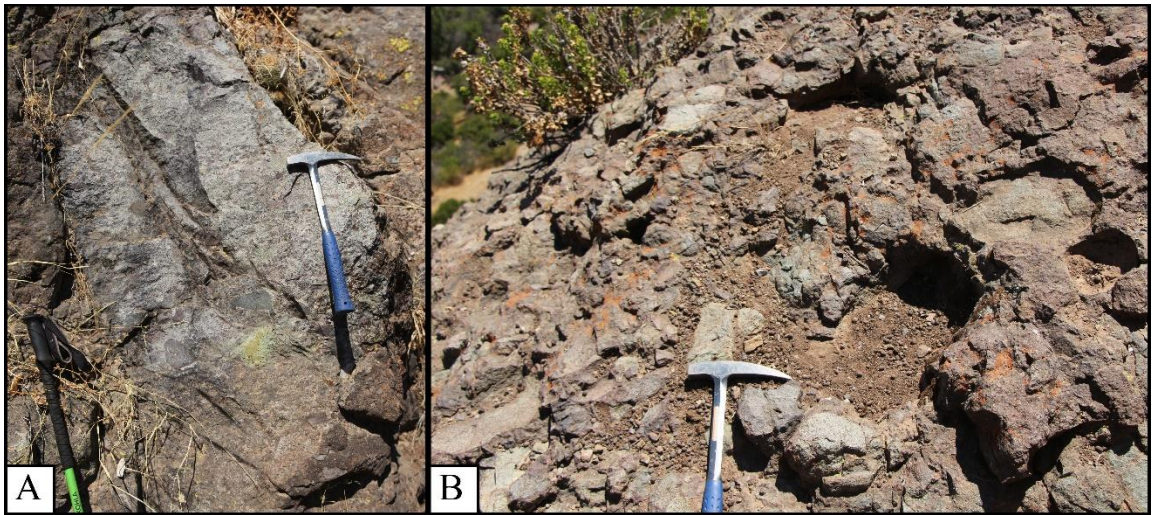


Fig. 5.13 – Sucesión sedimentaria continental clástica superior de la unidad El Sobrante. A) Intercalación de areniscas medias y gruesas de color gris sobre un nivel conglomerádico gris de clastos de hasta 10 cm. B) Conglomerado superior de la sucesión sedimentaria; se presenta polimíctico y con clastos redondeados a subangulosos que llegan a los 25 cm.

Los niveles superiores distinguibles de la unidad El Sobrante consisten dos niveles tobáceos que alcanzan los 35 m de espesor. El nivel de toba inferior corresponde a una toba cristalina con cristales de plagioclasa bien preservadas en una matriz vítrea de color pardo claro. Sobre la toba cristalina, se dispone un nivel de toba vítrea parda anaranjada con escasos líticos (Fig. 5.14).

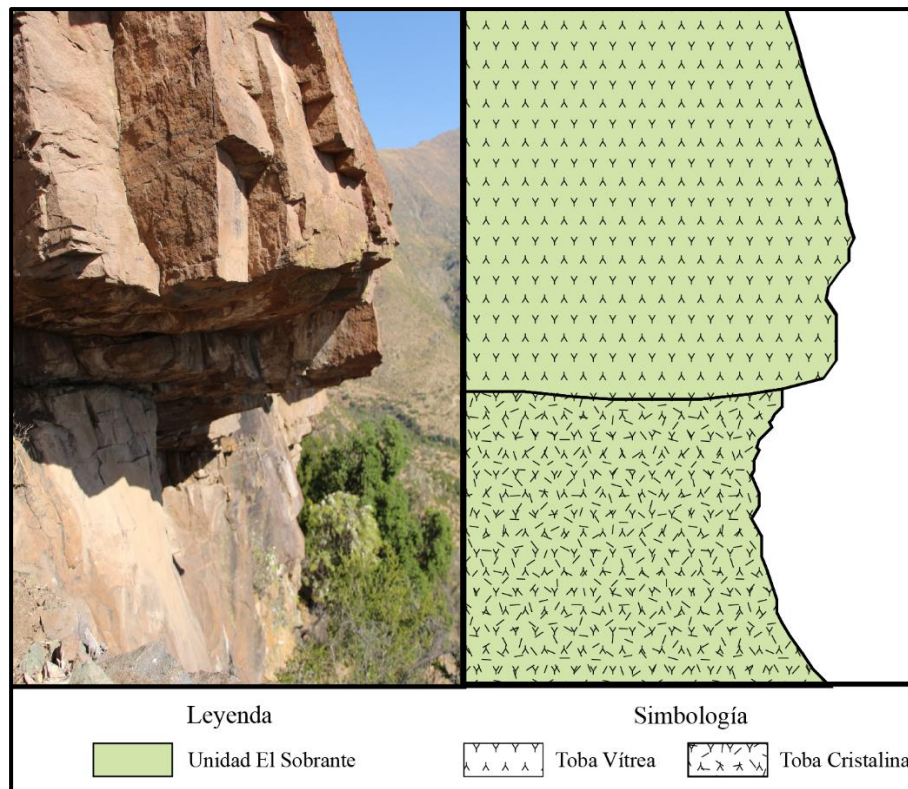


Fig. 5.14 – Nivel tobáceo superior de la unidad El Sobrante. La interpretación de la fotografía muestra el contacto litológico entre la toba vítrea superior y la toba cristalina inferior.

### 5.1.1.3. Unidad El Rancho ( $K_{ER}$ )

#### Definición y Relaciones de Contacto

Sucesión de rocas volcánicas grises a gris parduzcas, constituidas principalmente de brechas volcánicas y andesitas. Posee un espesor mínimo aproximado de 1500 m, y se dispone en una franja NS, aflorando entre el valle de Pedernal por el W y el sector de Las Cruces por el E (Fig. 5.2). Su contacto basal con la unidad El Sobrante es desconocida, infiriéndose una disconformidad, y yace en discordancia angular bajo la unidad Cerro Pila (Fig. 5.15).

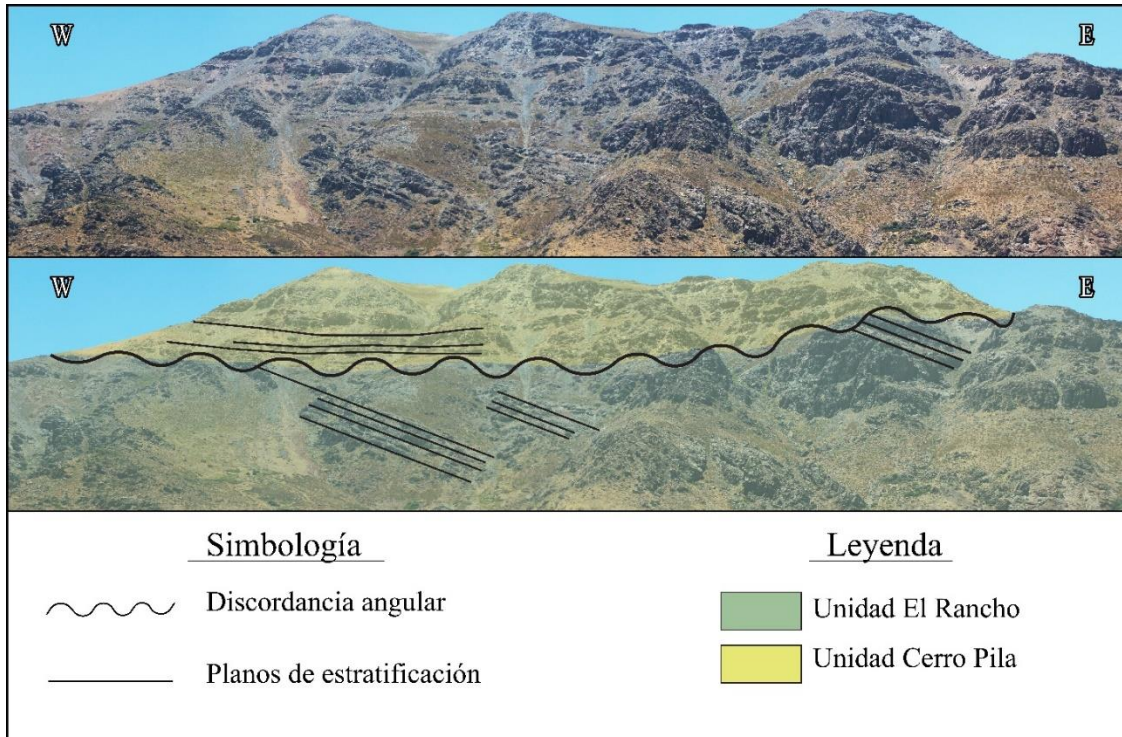


Fig. 5.15 – Discordancia angular entre las unidades El Rancho en verde y la unidad Cerro Pila en amarillo. La fotografía, tomada hacia el norte, muestra la discordancia visible desde la ladera sur en el sector conocido como El Rancho.

#### Litología

La unidad El Rancho corresponde a una secuencia volcánica constituida por andesitas y brechas volcánicas con intercalaciones de lavas y tobas subordinadas (Fig. 5.16). Las andesitas afloran en secuencias de hasta 50 m de espesor y son más abundantes hacia el sector oriental del valle de El Sobrante. Presentan una masa fundamental de color gris oscuro a pardo con plagioclasas anhedral a subhedral de tamaños que van entre 1 y 3 mm, y se presentan ocasionalmente alteradas a minerales de arcilla (Fig. 5.17 A, B, C y D). Los minerales máficos son escasos, y se presentan de forma anhedral, con tamaños de hasta 1 mm y se encuentran alterados selectivamente a clorita y epidota.



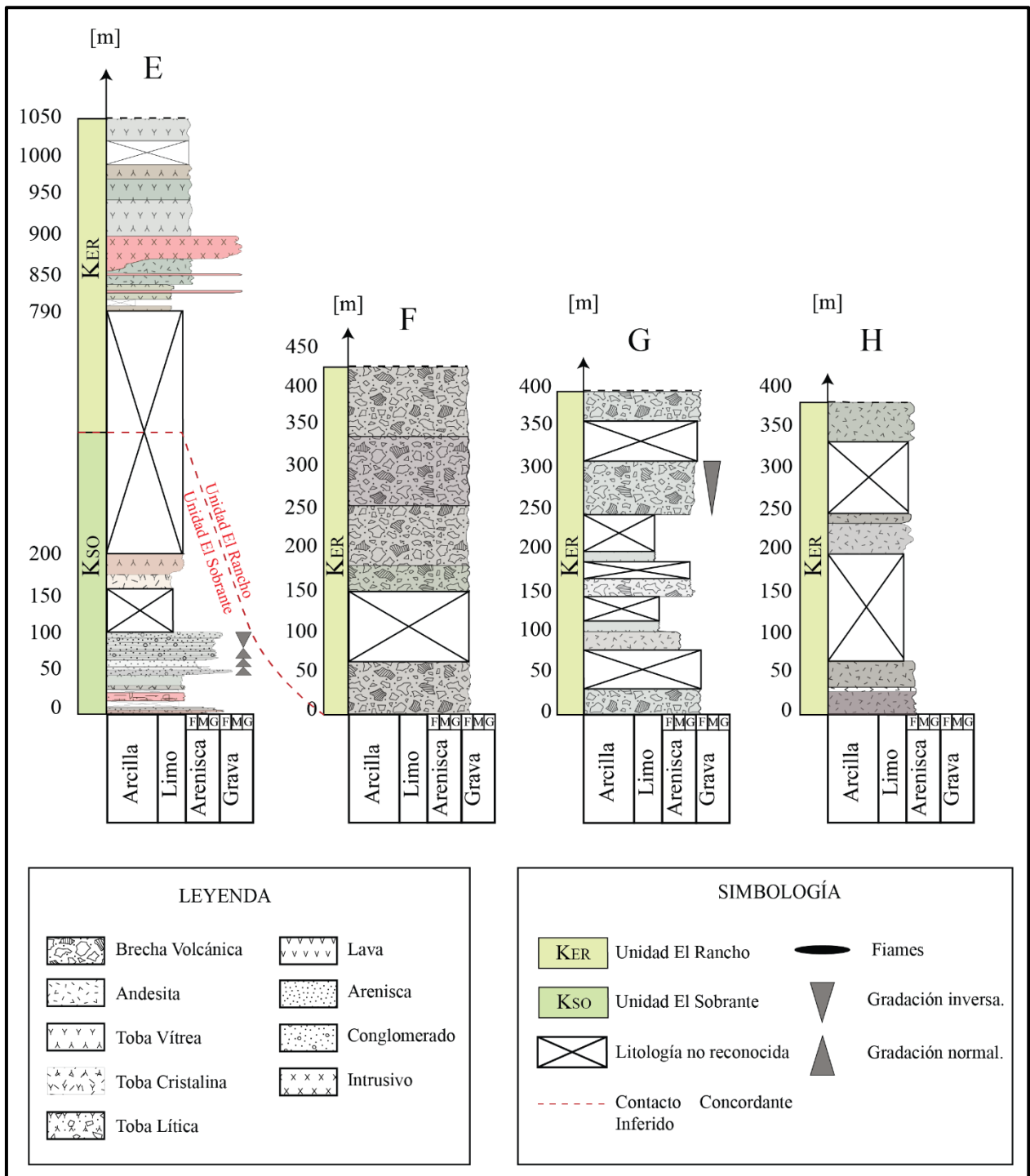


Fig. 5.16 – Columna estratigráfica de secciones de las unidades El Sobrante y El Rancho en el sector del valle de El Sobrante. La ubicación de las columnas estratigráficas se detalla en la figura Fig. 13.1.

Las brechas volcánicas son más abundantes en las secciones inferiores de la unidad y se presentan en niveles de hasta 90 m de potencia. La matriz volcánica de colores gris a gris verdoso o parduzco presenta cristales de plagioclasas subhedrales de hasta 2 mm (Fig. 5.17 E, F, G y H). Existen dos tipos de clastos andesíticos angulosos alterados a minerales de clorita-epidota, donde los grises presentan cristales de plagioclasas mal preservados, poseen tamaños de hasta 15 cm y se encuentran

alterados a epidota, mientras que los clastos pardos no superan los 5 cm y poseen textura porfírica con cristales de plagioclasas subhedrales bien preservadas (Fig. 5.17 G y H).

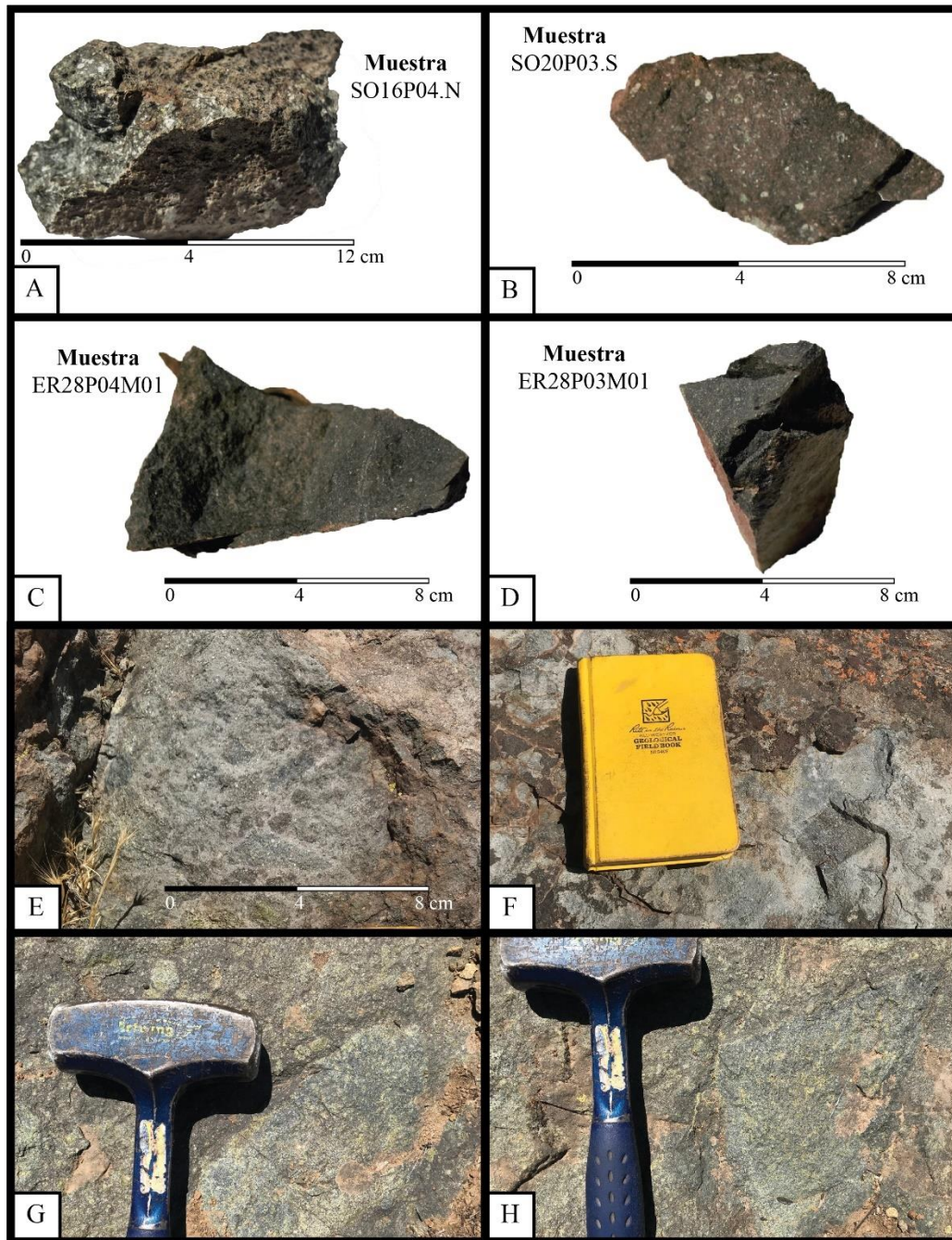


Fig. 5.17 – Litologías representativas de la unidad El Rancho. A) Muestra de andesita porfírica de color gris de extraída del sector occidental del valle de El Sobrante, sobre la unidad El Sobrante. B) Andesita porfírica del sector occidental del valle de El Sobrante de color pardo y con cristales de plagioclasas alterados a minerales de arcilla. C) y D) Andesitas porfíricas grises con cristales de plagioclasas de grano fino extraídas del sector conocido como El Rancho. E) y F) Brechas volcánicas de clastos andesíticos porfíricos angulosos de colores grises y pardos. G) y H) Brechas volcánicas de clastos volcánicos grises, angulosos y con alteración selectiva de minerales de clorita y epidota.

Los niveles de lavas subordinadas se presentan en afloramientos de hasta 10 m de espesor, de color gris parduzco y corresponden a lavas afaníticas mesocráticas con alteración de epidota en vetillas



y cúmulos (Fig. 5.18). Las tobas se presentan en niveles con potencias de hasta 10 m, y corresponden a tobas vítreas verdes y grises parduzcas claras, con matriz de ceniza fina a media (Fig. 5.18). Las tobas verdes carecen de líticos y cristales, mientras que las blancas parduzcas presentan líticos monomíticos rojizos de hasta 2 mm y cristales de feldespatos tabulares de hasta 1,5 mm.

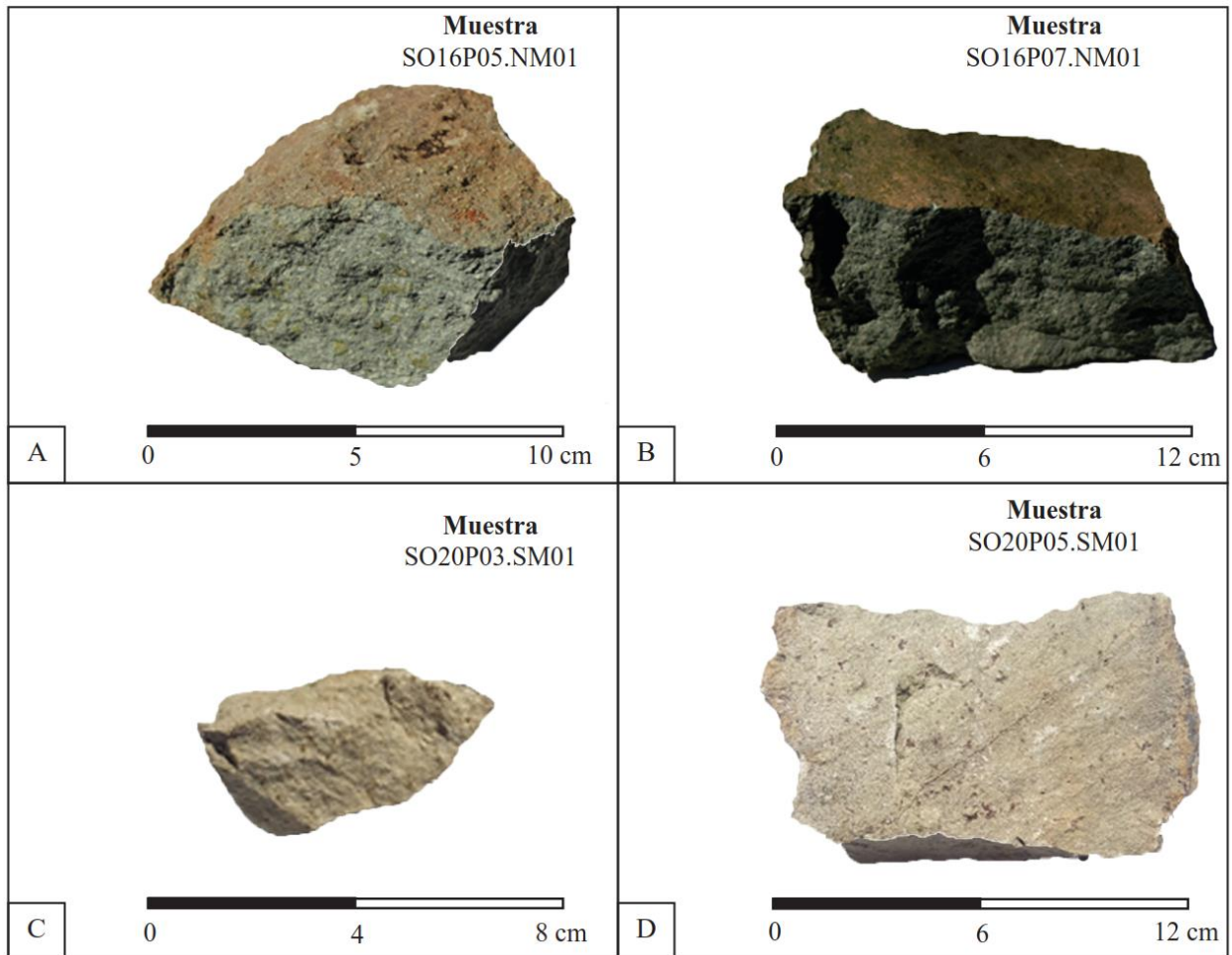


Fig. 5.18 – Tobas y lavas de la unidad El Rancho. A) Lava porfírica verde con cristales de plagioclasas alteradas a minerales de arcilla y nódulos de epidota del sector de El Sobrante. B) Lava porfírica microcristalina con cristales de plagioclasa en una matriz de color gris verdoso. C) Toba vítrea blanca parduzca con matriz de tamaño ceniza fina. D) Toba vítrea blanquecina con matriz de tamaño ceniza media.

#### 5.1.1.4. Unidad Cerro Pila (KCP)

##### Definición y Relaciones de Contacto

Sucesión de 1.100 m de espesor constituida por un miembro inferior sedimentario continental de colores púrpuras y grises, y un miembro superior volcánico con intercalaciones subordinadas de rocas sedimentarias. Aflora principalmente en una franja NS en la parte oriental de la zona de estudio (Fig. 5.2) y en las cumbres de los cerros del valle de El Sobrante (Fig. 5.19), yaciendo de forma discordante sobre la unidad El Rancho (Fig. 5.15). Su techo generalmente corresponde a la superficie actual de erosión, pero en el sector de Las Cruces yace de manera discordante bajo la unidad Las Cruces (Fig. 5.24).

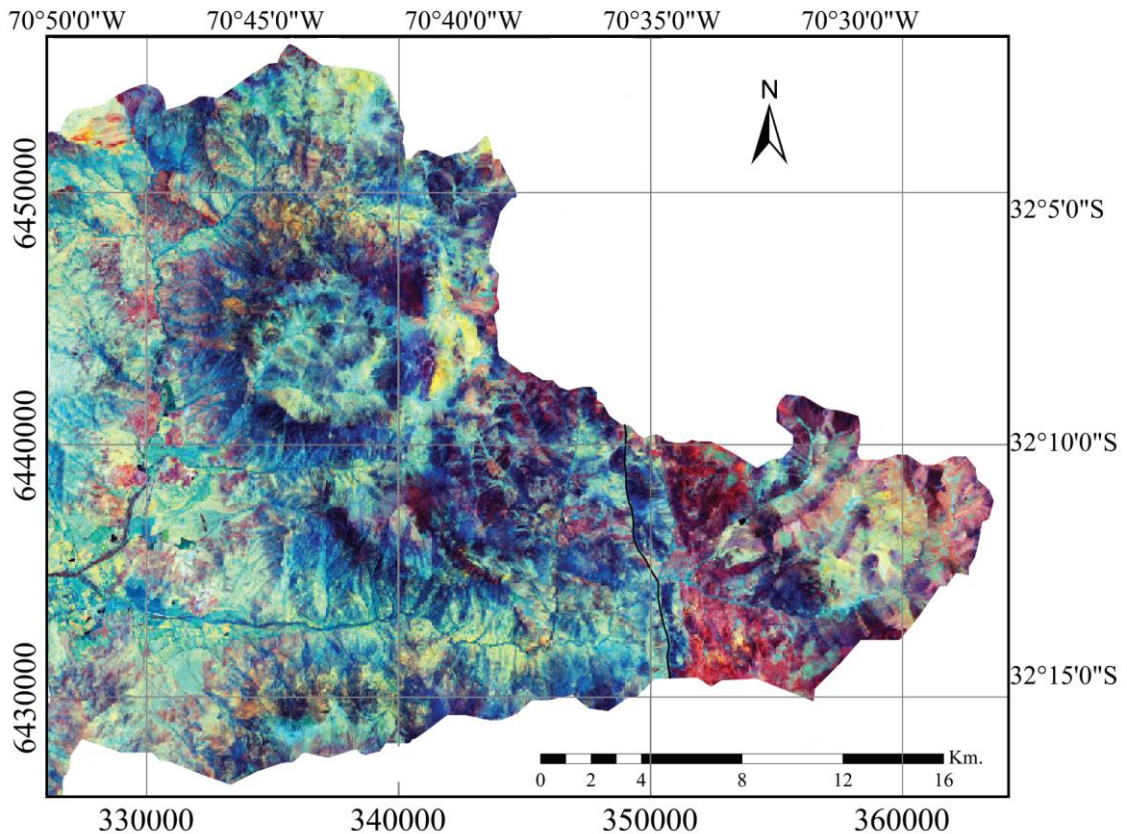


Fig. 5.19 – Discriminador litológico para el sector oriental de la comuna de Petorca en base a las razones de bandas espectrales R: Rojo/Verde, G: SWIR-1/Azul y B: SWIR-2/Rojo. Los colores rojo intenso, ubicados al este de los 70°45'0" W, corresponden a las unidades Cerro Pila y Las Cruces, mientras que los colores en tonos azules corresponden a las unidades Hierro Viejo-Pedernal, El Sobrante y El Rancho.

## Litología

En base a la secuencia estratigráfica y el discriminador litológico de las imágenes satelitales (Fig. 5.19), se definieron dos miembros para la unidad Cerro Pila. El miembro inferior corresponde a una secuencia sedimentaria continental que presenta un espesor máximo aproximado de 200 m y se constituye de un nivel basal conglomerádico y niveles de areniscas en la sección superior de la secuencia (Fig. 5.21). Los conglomerados púrpuras basales presentan intercalaciones de areniscas grises subordinadas y poseen clastos polimícticos redondeados de hasta 20 cm en una matriz de arena fina a media (Fig. 5.20, A y B). Sobre el nivel conglomerádico inferior abundan los niveles de areniscas grises y grises verdosas de grano medio (Fig. 5.20, C, D y E), con clastos polimícticos, bien seleccionados y redondeados, y se intercala con niveles de fangolitas y areniscas finas rojizas (Fig. 5.20. E). El miembro inferior sedimentario de la unidad Cerro Pila se encuentra intruido por filones e intrusivos de la unidad intrusiva Cerro Negro.



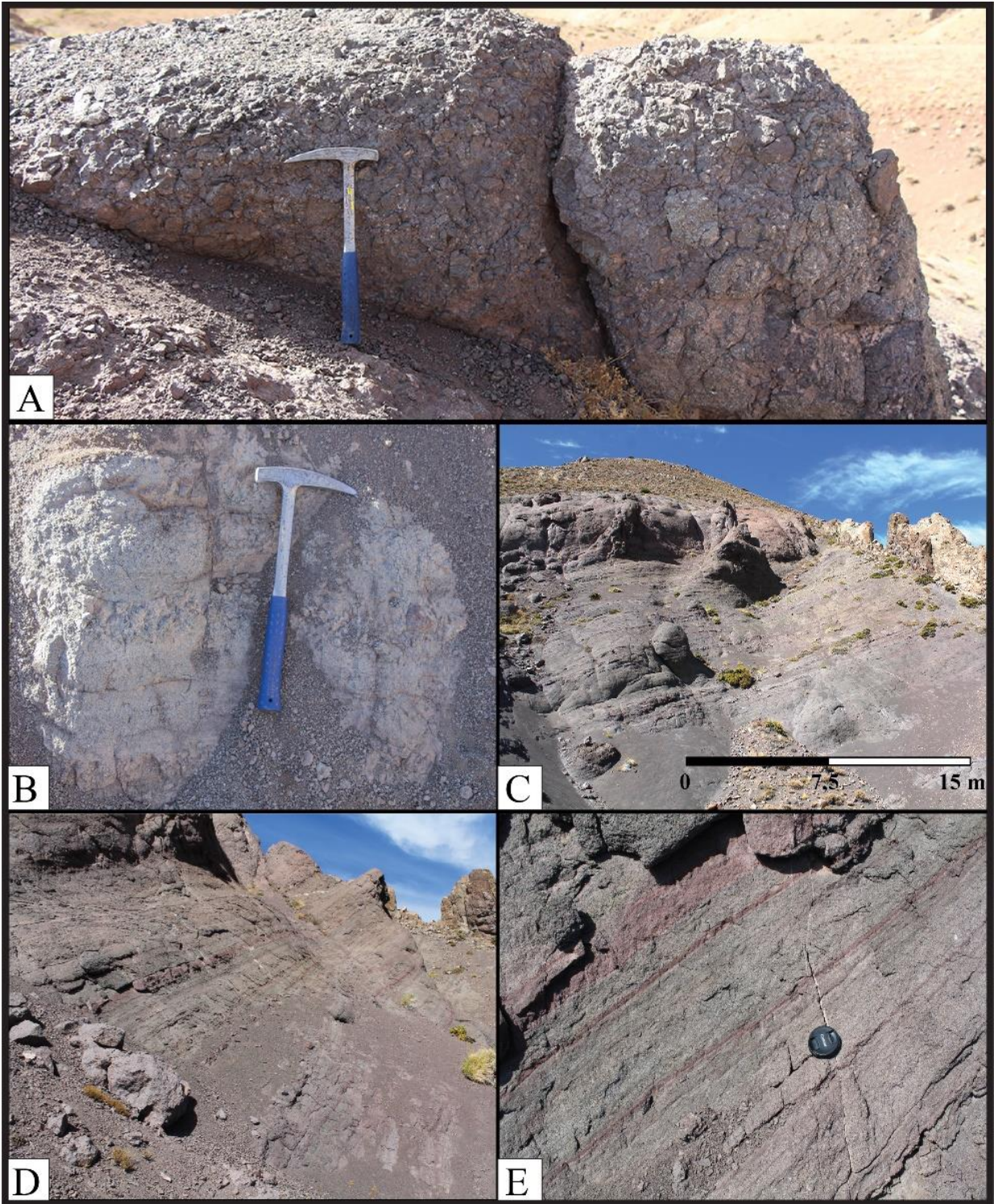


Fig. 5.20 – Secuencias sedimentarias del miembro basal de la unidad Cerro Pila, identificadas en el sector de Las Cruces. A) Conglomerados basales púrpuras de clastos redondeados mal seleccionados en matriz de arena gruesa. B) Intercalación de areniscas, areniscas conglomerádicas y conglomerados grises a gris púrpura. C, D y E) Secuencia de areniscas y areniscas conglomerádicas grises a grises verdosas, con intercalaciones de niveles de fangolitas y areniscas finas rojas.

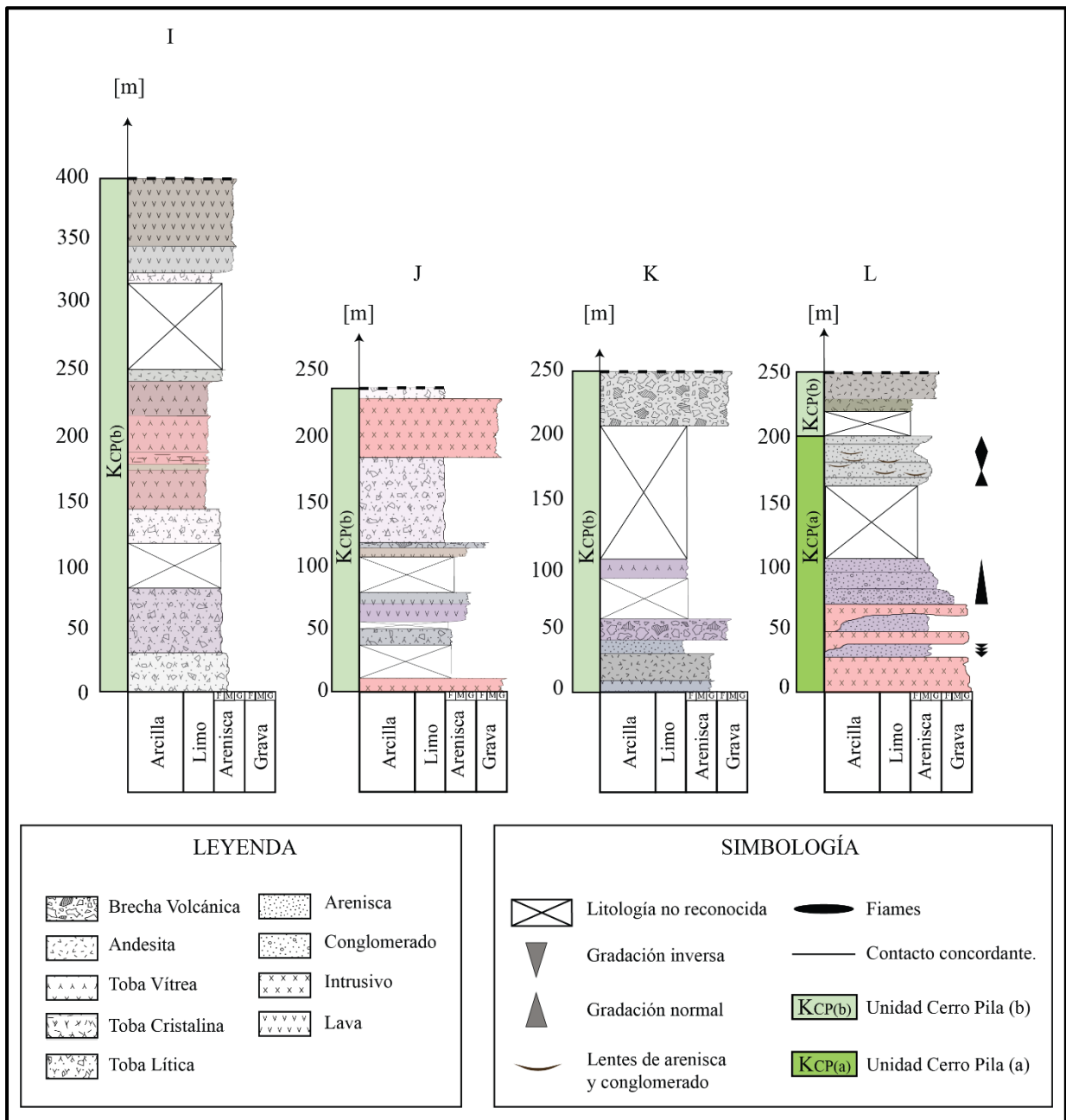


Fig. 5.21 – Columnas estratigráficas de la unidad Cerro Pila, levantadas en el sector de Las Cruces. La sección inferior de la columna L (KCP(a)) corresponde al miembro inferior sedimentario definido para la unidad, mientras que el resto de las columnas corresponde al miembro volcánico superior. La ubicación de las columnas estratigráficas se detalla en la figura Fig. 13.1.

El miembro superior posee un espesor mínimo aproximado de 900 m y se constituye de una secuencia volcánica de tobas, andesitas y brechas volcánicas con niveles sedimentarios subordinados (Fig. 5.21). Las tobas se presentan como tobas líticas de colores blanquecinos, rosas y púrpuras, y tobas vítreas grises y rojizas, en su mayoría soldadas. Las tobas líticas poseen líticos polymícticos andesíticos y/o riolíticos, angulosos de colores pardos y grises oscuros, y tamaños de hasta 2 cm, (Fig. 5.22. A y B) y las blanquecinas y rosas presentan además líticos pumíceos de hasta 2 cm (Fig. 5.22. B, C y D). Las tobas vítreas grises y rojizas no poseen líticos ni cristales visibles y en la mayoría de los casos se presentan soldadas con fiammes (Fig. 5.22. E y F). Las andesitas



presentan textura porfírica con cristales de plagioclasa subhedrales de hasta 3 mm y bien preservadas, con escasa alteración a minerales de arcillas en una masa fundamental de color gris (Fig. 5.23. C). Las brechas volcánicas afloran en niveles grisáceos de hasta 20 m de potencia y presentan una matriz volcánica gris claro con clastos volcánicos, polimícticos y angulosos de colores grises, marrones y pardos de hasta 15 cm (Fig. 5.23. A y B). Los niveles sedimentarios son escasos y se presentan como areniscas finas a medias de color gris con clastos redondeados, bien seleccionados e intercalaciones con niveles de fangolitas negras magnéticas (Fig. 5.23. D).

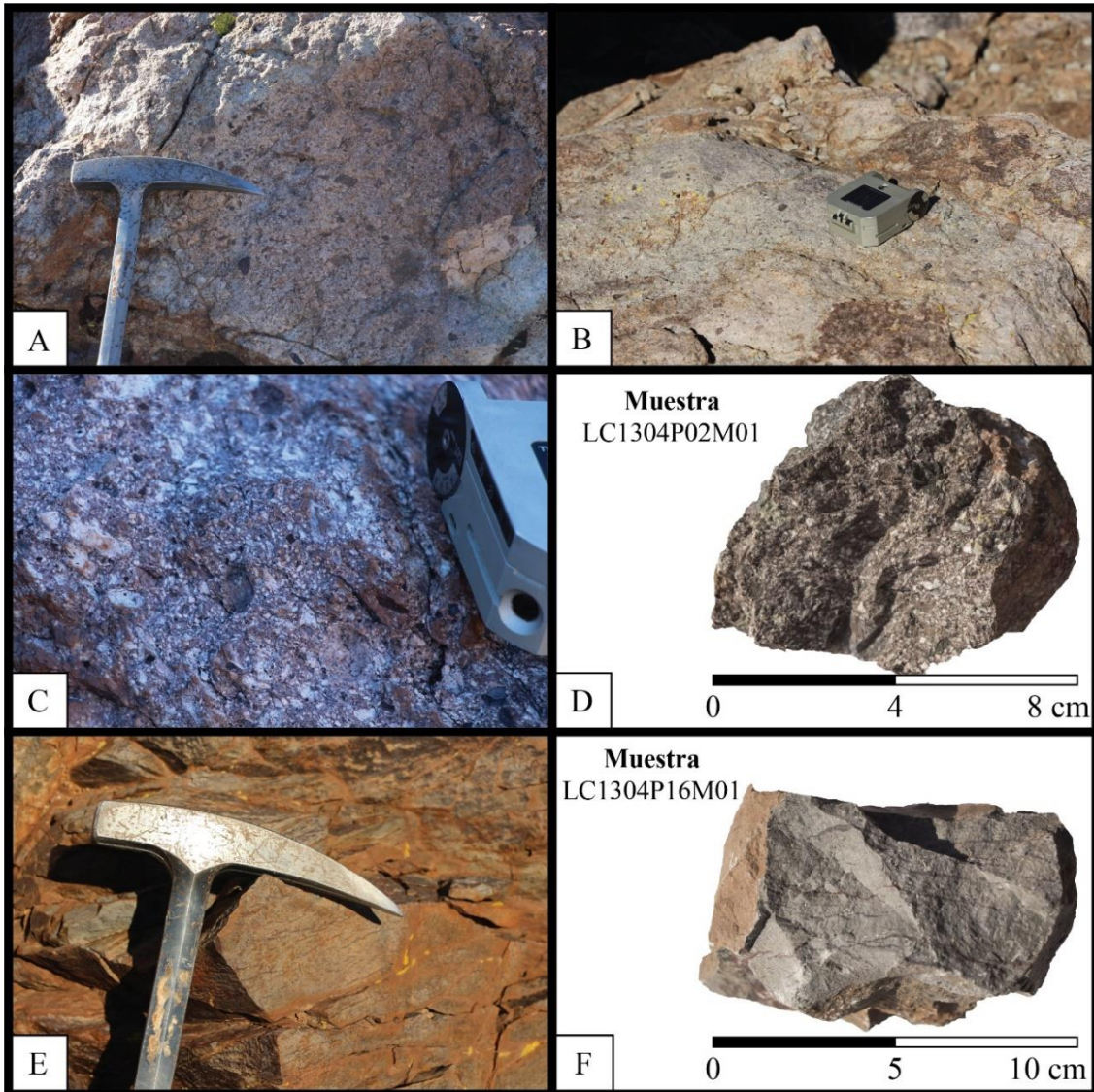


Fig. 5.22 – Niveles tobáceos del sector NE del valle de Las Cruces, ubicadas en la ruta de ascenso hacia la laguna del Sobrante. A y B) Tobas líticas de color blanquecino con líticos grises y pardos de hasta 2 cm. B y C) Nivel estratigráfico guía del sector de las cruces, constituido de una toba lítica rosa blanquecina con líticos pardos y grises, además de líticos pumíceos. D) Muestra de toba lítica de líticos grises, pardos y pumíceos, y cristales de plagioclasas de hasta 3 mm en una matriz de ceniza fina de color gris parduzco. E y F) Muestra y afloramiento característico de los niveles de tobas vítreas grises con fiamas.

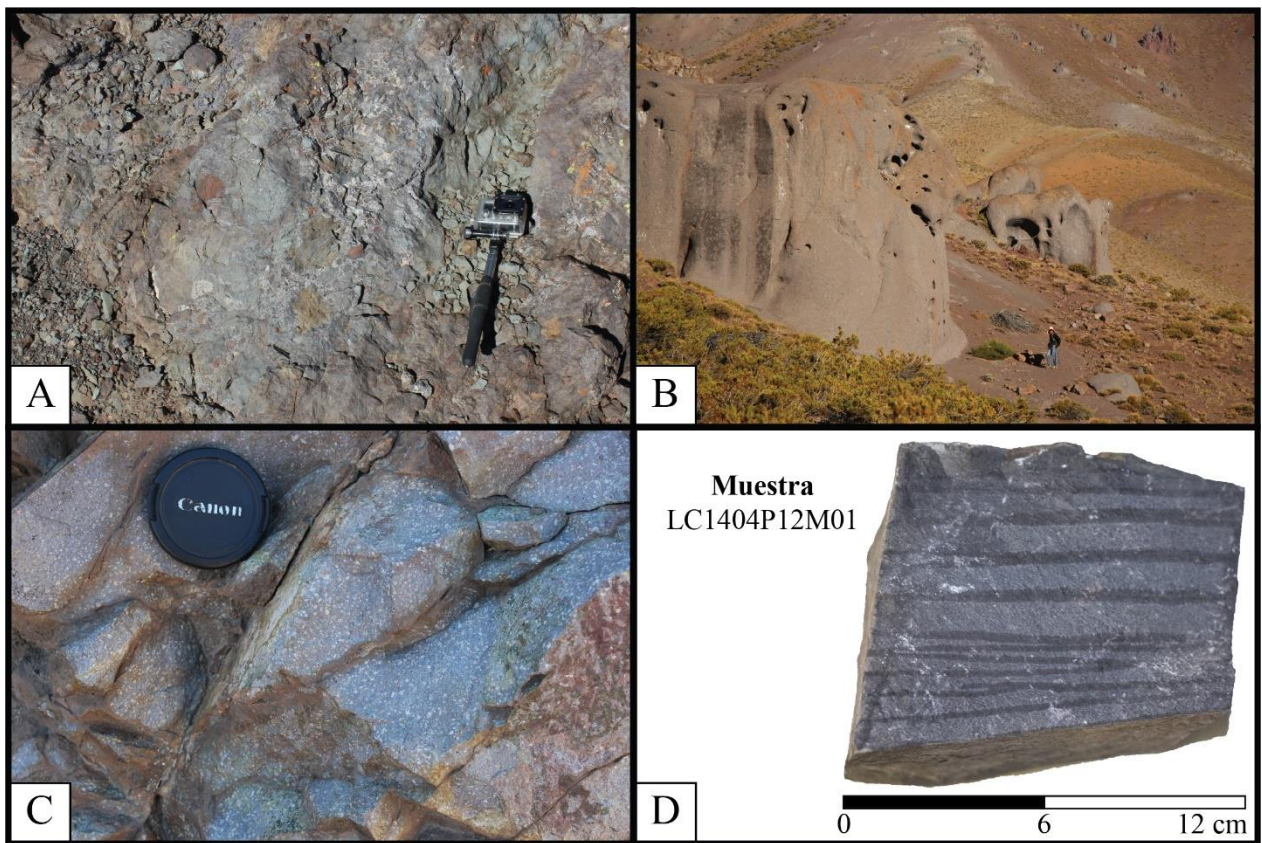


Fig. 5.23 – Niveles de brechas volcánicas, andesitas y areniscas finas del sector sur del valle de Las Cruces. A y B) Afloramiento de vista cercana y lejana de las brechas volcánicas con clastos volcánicos grises, pardos y marrones. C) Andesita con cristales de plagioclasas de hasta 5 mm, bien preservadas, subhedral e insertas en una masa fundamental gris azulada microcristalina.

#### 5.1.1.5. Unidad Las Cruces (Ol<sub>LC</sub>)

##### Definición y Relaciones de Contacto

La Unidad Las Cruces fue definida en función de su disposición estratigráfica discordante sobre la Unidad El Rancho y se estima un espesor de 300 m en el sector del mismo nombre. Esta unidad yace sobre la unidad Cerro Pila mediante una discordancia angular observada de existencia cuestionable (Fig. 5.24) y su techo lo comprende la actual superficie de erosión. Se desconoce su litología y su distribución espacial se extrapoló a partir del espectro electromagnético que realza en color verde claro la unidad (Fig. 5.25).



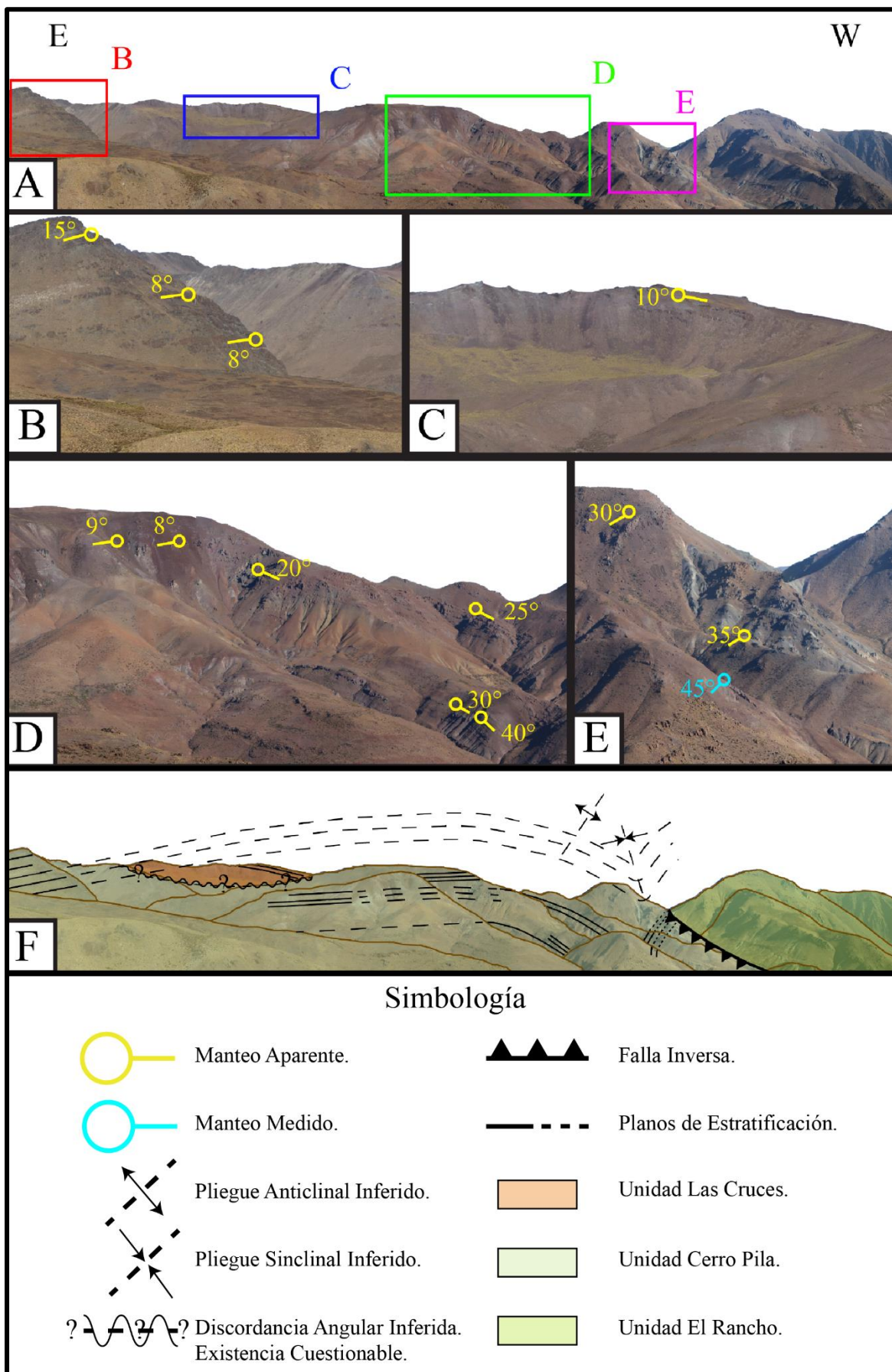


Fig. 5.24 – Interpretación estructural de la zona sur del valle Las Cruces. En la figura, tomada desde la ladera norte, se observan distintas secciones con los manetos aparentes y medidos. B) Ampliación de la zona este de la figura A, donde se observan los estratos manteando hacia el este. C) Ampliación de la zona centro-este de la figura A, donde se observan los estratos de la parte superior manteando hacia el oeste. D) Ampliación de la zona centro-oeste de la figura A, donde se observan los estratos inferiores manteando al W y los superiores manteando hacia el E. E) Ampliación de la zona oeste de la figura A, donde se observan los estratos manteando hacia el oeste. F) Interpretación del plegamiento y relaciones de contacto propuesto para el sector sur del valle de Las Cruces.

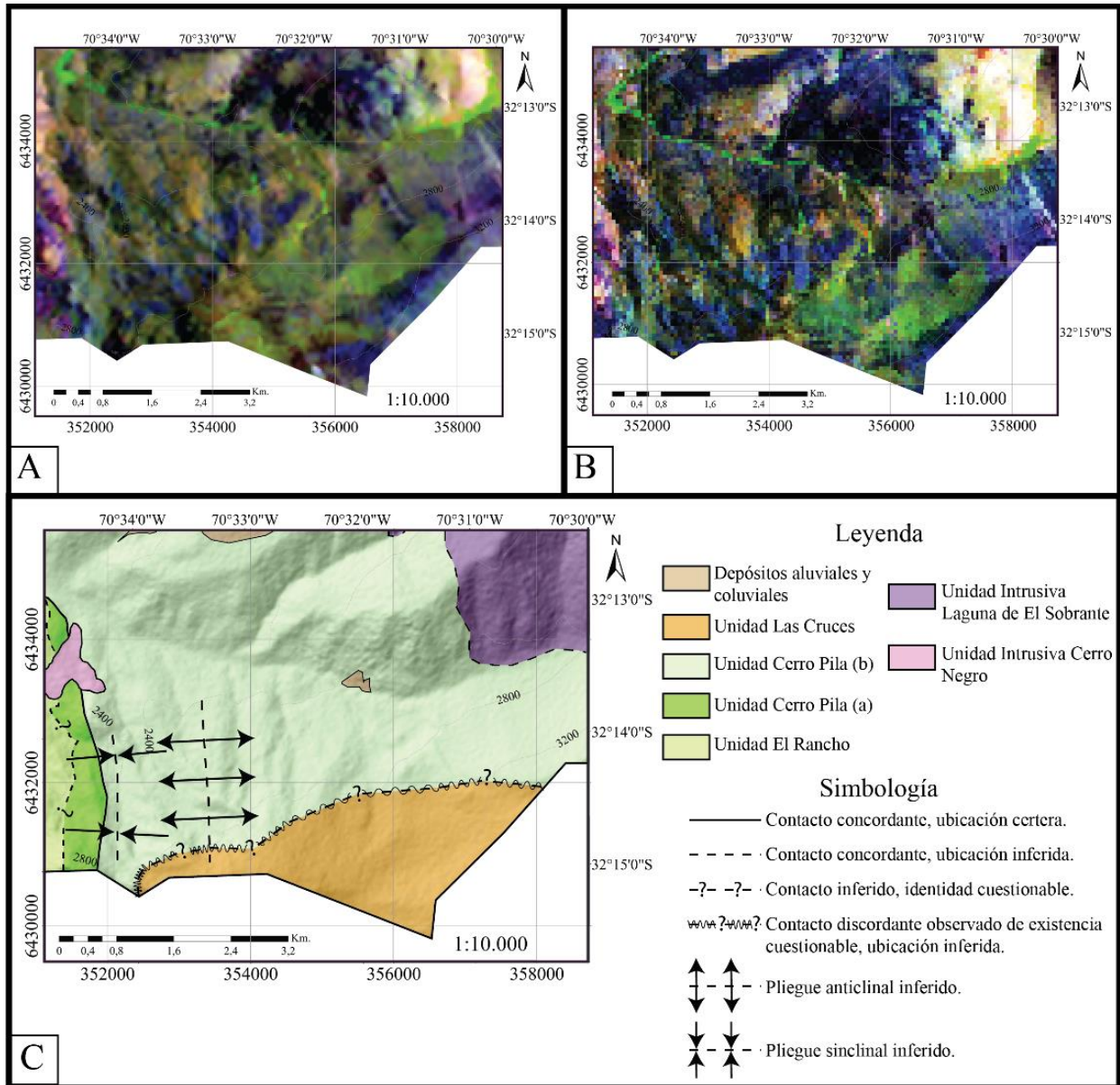


Fig. 5.25 – Discriminadores litológicos utilizados para la delimitación de la unidad Las Cruces. A) Discriminador litológico en base a la combinación de bandas R: SWIR-2, G: NIR y B: Azul para la imagen Landsat 8. B) Discriminador litológico en base a la combinación de bandas R: SWIR-2, G: NIR y B: Azul para la imagen Sentinel 2. C) Relaciones de contacto para las unidades El Rancho, Cerro Pila y Las Cruces, donde la última se representa en color naranja.



## 5.1.2. Unidades Intrusivas

### 5.1.2.1. Unidad Intrusiva Las Palmas (K<sub>LP</sub>)

#### Definición y Relaciones de Contacto

La unidad intrusiva Las Palmas corresponde a un complejo intrusivo de dimensiones batolíticas que aflora en el límite occidental de la comuna de Petorca (Fig. 5.2). Intruye a las rocas de la unidad Hierro Viejo-Pedernal, principalmente al miembro inferior. Litológicamente, el intrusivo se caracteriza por marcadas zonaciones, identificándose zonas con rocas graníticas, granodioríticas y tonalíticas, con enclaves y diques máficos syn- y post-plutónicos (Fig. 5.26).

#### Litología

El borde occidental de la comuna presenta granitoides de texturas faneríticas que varían entre tonalitas, granodioritas y granitos, descritas así a partir de su clasificación macroscópica en diagramas QAP (Fig. 5.26). Las tonalitas son más abundantes en la zona sur y poseen cristales de hornblenda y plagioclasas bien preservadas y cristales de cuarzo anhedrales, todos ellos de grano medio que le otorgan a la roca un índice de color mesocrático (Fig. 5.26. A). Los granitos abundan en el sector norte del cuerpo intrusivo, principalmente en el sector de Frutillar Bajo donde se encuentran intruidos por diques máficos microgranulares syn- y post-plutónicos (Fig. 5.26. E). Los granitos se presentan alterados a clorita, con cristales subhedrales de feldespato potásico y plagioclasas que varían de 2 a 4 mm, mientras que los cristales de anhedrales de cuarzo y subhedrales de biotita no superan los 3 mm (Fig. 5.26. B). Las granodioritas presentan un índice de color leucocrático con minerales máficos de hornblendas de hasta 3 mm, cristales de cuarzo anhedrales de tamaño de grano fino a medio, plagioclasas euhedrales alteradas a minerales de arcillas con tamaños de grano que varían de medio a fino y feldespatos potásicos subhedrales de grano medio que no superan el 10% de la normalización QAP (Fig. 5.26. C).

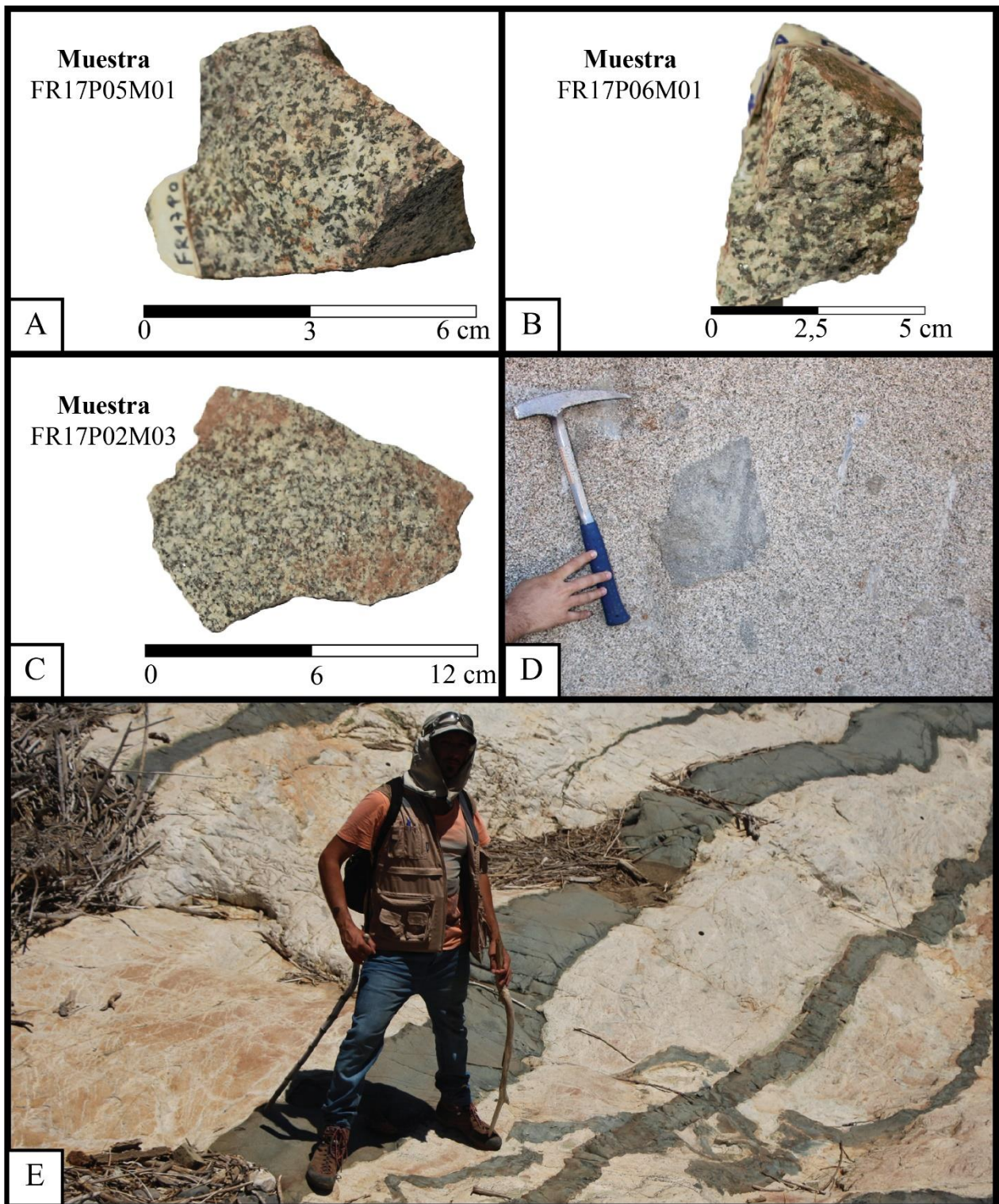


Fig. 5.26 – Rocas intrusivas de la unidad intrusiva Las Palmas, ubicadas en el borde occidental de la zona de estudio. A) Tonalita de hornblenda de textura fanerítica, con un 45% de Qz, 5% de Kfs y 50% de Plg, y un índice de color mesocrático. B) Granito de biotita del sector norte del valle de Las Palmas, con un 40% de Qz, 30% de Plg y 30% de Kfs. C) Granodiorita de hornblenda, con 70% de Qz, 25% de Plg y 5% de Kfs. D) Enclaves máficos microgranulares distribuidos a lo largo de la unidad intrusiva Las Palmas. E) Diques máficos syn- y post- plutónicos intruyendo las rocas graníticas del sector Frutillar Bajo. (Qz: Cuarzo, Kfs: Feldespato potásico, Plg: Plagioclasa).

### 5.1.2.2. Unidad Intrusiva Morro Hediondo ( $K_{SMH}$ )

#### Definición y Relaciones de Contacto

La unidad Intrusiva Morro Hediondo aflora en la zona central de la comuna, en torno a los  $70^{\circ}50'W$  y al norte de los  $32^{\circ}10'15''S$ , intruyendo a las rocas de las unidades Hierro Viejo – Pedernal, El Sobrante y El Rancho. Litológicamente, la unidad corresponde a pórfidos andesíticos grises verdosos, tonalíticos blanquecinos y dioríticos gris oscuro, y suelen presentar mineralización de óxidos de cobre (Fig. 5.27. D).

#### Litología

Las rocas intrusivas clasificadas mediante QAP como tonalitas son faneríticas, leucocráticas a mesocráticas y equigranulares de tamaño de grano fino a medio (Fig. 5.27. A). Las plagioclasas se presentan subhedrales, alteradas a minerales de arcillas, con tamaños de hasta 3 mm y su porcentaje varía entre el 55% y el 70%. Los cristales de cuarzo se presentan en cúmulos anhedrales y los feldespatos potásicos euhedrales, ambos se encuentran bien preservados y con tamaños menores a 1,5 mm. Los máficos son predominantemente hornblendas subhedrales de tamaños entre 1 y 3 mm. Las dioritas se presentan equigranulares de grano fino, magnéticas y en ocasiones forman parte de los enclaves en las rocas tonalíticas (Fig. 5.27. B y C). La mineralogía se compone principalmente por 85-95% de plagioclasas subhedrales bien preservadas y un 15-5% de cuarzo anhedral. Los minerales máficos más abundantes corresponden a anfíboles subhedrales con tamaños no superiores a 1 mm.

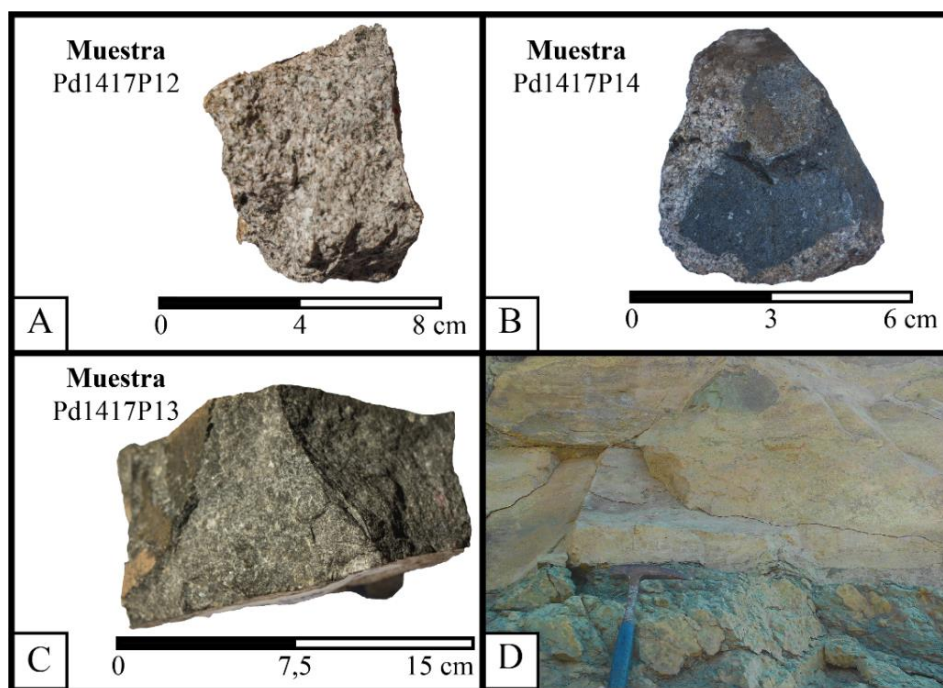


Fig. 5.27 – Rocas intrusivas de la unidad Morro Hediondo extraídas en el sector del valle de Pedernal, más específicamente en los predios de la ex mina Dulcinea. A) Tonalita de hornblenda blanquecina con tamaño de grano medio. B) Enclave diorítico gris oscuro en roca caja tonalítica blanquecina. C) Diorita equigranular de grano fino y color gris oscuro. D) Vetas con mineralización de óxidos de cobre (crisocola y malaquita) en tonalita.



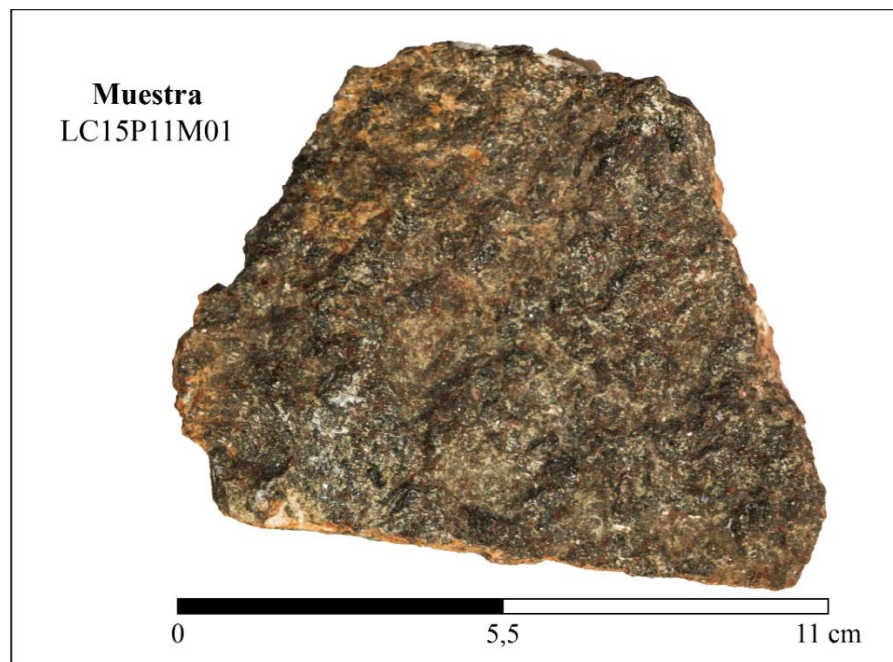
### 5.1.2.3. Unidad Intrusiva Cerro Negro (EOCN)

#### Definición y Relaciones de Contacto

La unidad intrusiva Cerro Negro aflora al este del valle que une Chicolco con Pedernal, intruyendo rocas de la unidad El Rancho y Cerro Pila (Fig. 5.2). Litológicamente, la unidad corresponde a andesitas y dioritas de piroxeno y hornblenda y gabros de piroxeno.

#### Litología

Los gabros de la unidad Cerro Negro se encuentran al este de la Falla Portezuelo (Fig. 5.2), presentándose como cuerpos masivos de color amarillento. Las rocas son melanocráticas, con plagioclasas subhedrales bien preservadas, de tamaños menores a 4 mm y que alcanzan un contenido al 95% en la normalización QAP (Fig. 5.28). Los piroxenos poseen tamaños menores a los 4 mm, y que constituyen más del 70% de los minerales máficos, pero además se pueden observar nódulos de olivino con agregados cristalinos de hasta 3 mm. Los gabros contienen además hematita y magnetismo, por lo que se infiere una presencia de magnetita martitizada.



*Fig. 5.28 – Gabro de piroxeno de la unidad intrusiva Cerro Negro que aflora en el sector sur del valle de Las Cruces. Los gabros de la zona presentan cristales con tamaño de grano medio a grueso, con plagioclasas que alcanzan un 95% (clasificación QAP).*

Las andesitas afloran en cuerpos intrusivos hipabisales y filones, observándose tanto al oeste como al este de la Falla Portezuelo (Fig. 5.2). Se caracterizan por exhibir afloramientos grises claros y amarillentos (Fig. 5.29. C). Poseen una textura porfírica con cristales de plagioclasas subhedrales alteradas a minerales de arcillas y tamaños menores a 2 mm, mientras que los cristales de cuarzo alcanzan aproximadamente el 8-10% de la normalización QAP, presentándose anhedrales, con poca alteración y de grano fino (Fig. 5.29. A). Los minerales máficos predominantes corresponden

a los piroxenos, los cuales son subhedrales, bien preservados y de tamaños que alcanzan los 5 mm, seguido de las hornblendas bien preservadas, subhedrales de tamaños de hasta 6 mm (Fig. 5.29. A). Los cristales se encuentran inmersos en una masa fundamental gris amarillenta-verdosa.

Las dioritas se presentan en cuerpos intrusivos de color amarillo (Fig. 5.29. C), ampliamente distribuidos y poseen una textura fanerítica equigranular con cristales de grano fino alotromórficos. Las plagioclasas se encuentran alteradas a minerales de arcillas, son subhedrales de tamaños menores a 0,8 mm y presentan una distribución homogénea. Los cristales de cuarzo no superan el 7% de la normalización QAP, y suelen presentarse en nódulos de tamaños inferiores a 1 mm (Fig. 5.29. B). A diferencia de las andesitas, los minerales máficos predominantes lo constituyen las hornblendas subhedrales bien preservadas, con tamaños de hasta 1 mm, seguido de los cristales de piroxenos subhedrales a anhedrales de tamaños inferiores a los 0,7 mm (Fig. 5.29. B).

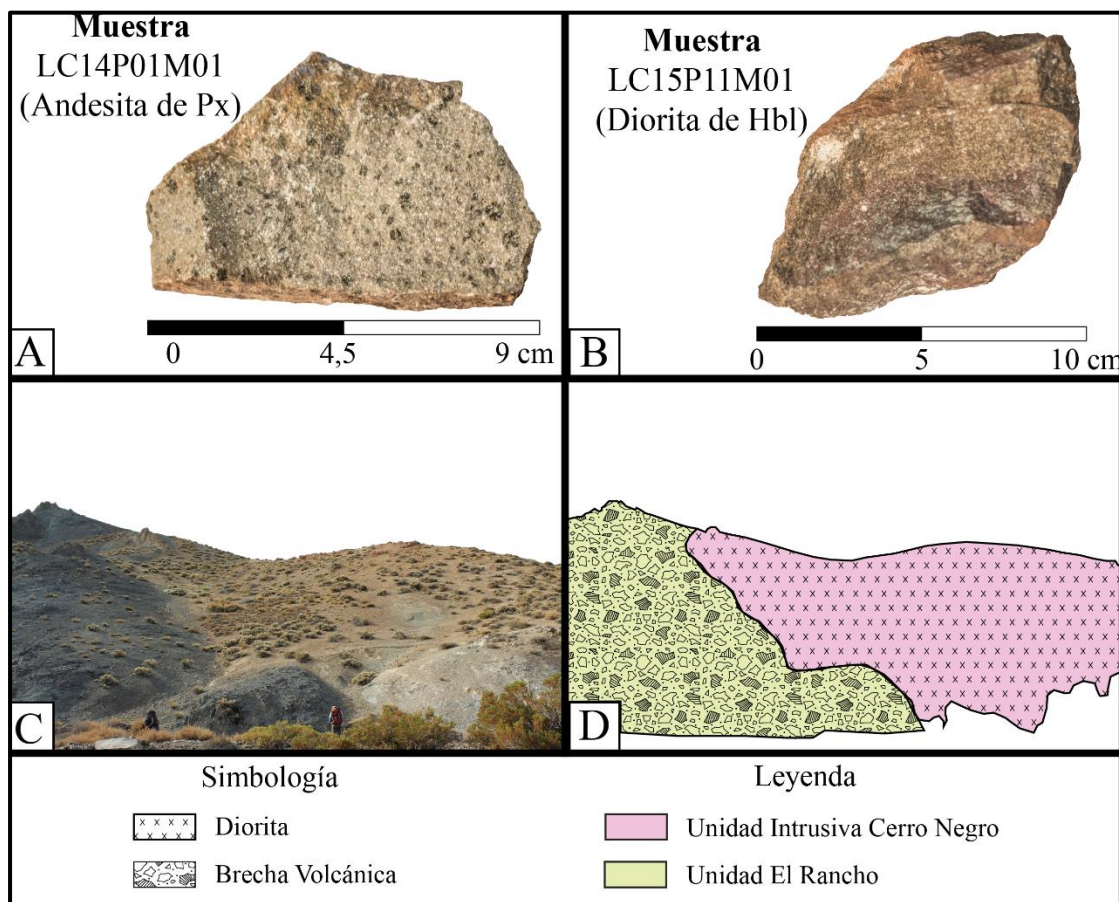


Fig. 5.29 – Afloramientos y muestras de las andesitas de piroxeno y las dioritas de hornblenda de la unidad intrusiva Cerro Negro. A) Muestra de andesita de piroxeno donde se observan los cristales de piroxenos de grano medio a grueso. B) Muestra de las dioritas de Hbl de grano fino, extraída del intrusivo de la imagen C. C) Intrusivo diorítico de hornblenda de color amarillo que intruye las brechas volcánicas grises de la unidad El Rancho. D) Representación esquemática del contacto descrito en C.

#### 5.1.2.4. Unidad Intrusiva Laguna del Sobrante (Mi<sub>LS0</sub>)

##### Definición y Relaciones de Contacto

La unidad intrusiva Laguna del Sobrante aflora en el límite oriental de la comuna, al este del valle de Las Cruces, intruyendo las rocas del miembro superior de la unidad Cerro Pila (Fig. 5.2). Corresponde a un cuerpo intrusivo de grandes dimensiones que, en la zona de estudio, alcanza una superficie de aproximadamente 17 km<sup>2</sup> y que litológicamente se clasifica como tonalitas de hornblenda y biotitas en base a la normalización QAP.

##### Litología

Las tonalitas de esta unidad se encuentran bien preservadas, son leucocráticas, equigranulares y poseen cristales de tamaño de grano medio homogéneamente distribuidos (Fig. 5.30). Los cristales de cuarzo son anhedrales, se distribuyen homogéneamente en la muestra y sus tamaños de grano varían entre 2 y 3 mm. Los cristales de plagioclasa son euhedrales, sin alteración y de tamaños de hasta 5 mm. Las hornblendas constituyen el mineral máfico predominante, se presentan bien preservadas, subhedrales y con tamaños de hasta 5 mm. Las biotitas corresponden al segundo máfico predominante, exhibiendo algunas caras propias, sin alteración y con tamaños de hasta 3 mm. Ocasionalmente se pueden observar cristales de moscovita tamaños menores a 2,5 mm.

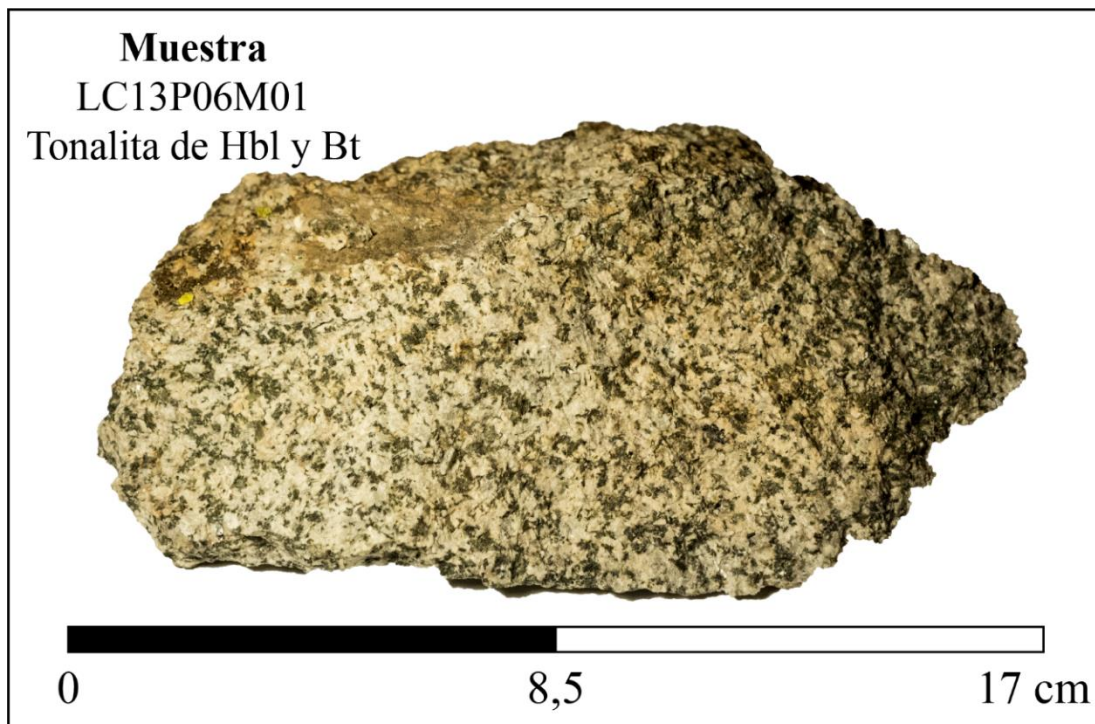


Fig. 5.30 – Tonalita de Hbl y Bt de la unidad intrusiva Laguna del Sobrante. La clasificación se realizó en base a la razón QAP, donde  $Qz = 35\%$ ,  $Kfs = 5\%$  y  $Plg = 60\%$ .



## 5.2. Estructuras

En este apartado se describen las principales estructuras observadas e inferidas de la zona de estudio. A nivel comunal, se identifican 2 dominios estructurales principales, uno ubicado en el sector occidental, aproximadamente entre los  $71^{\circ}0'15''$  W y los  $71^{\circ}50'15''$  W, y uno ubicado en el sector oriental, al este de los  $70^{\circ}30'45''$  W (Fig. 5.2).

### 5.2.1. Dominio Estructural Occidental

El dominio estructural occidental se delimita por el lineamiento Los Tornos por el oeste y el lineamiento Quebrada de Castro por el este (Fig. 4.1 y Fig. 5.33). El sector se caracteriza por la presencia de múltiples lineamientos y fallas menores, los cuales se agrupan en dos *sets*, uno de rumbo subparalelo a los lineamientos mayores y el otro con rumbos NNE, difiriendo así de los lineamientos mayores de rumbos NNW-NW.

El lineamiento Los Tornos posee un rumbo aproximado de  $N10^{\circ}W$  y cruza la localidad de Hierro Viejo, extendiéndose por 12 km (Fig. 5.2). Sobre este lineamiento se ubican las principales vetas mineralizadas del sector de la Quebrada los Tornos, las cuales poseen rumbos que varían entre NE y  $N45^{\circ}W$  (Fig. 13.2) y manteos de alto ángulo hacia el SW (Fig. 5.31).

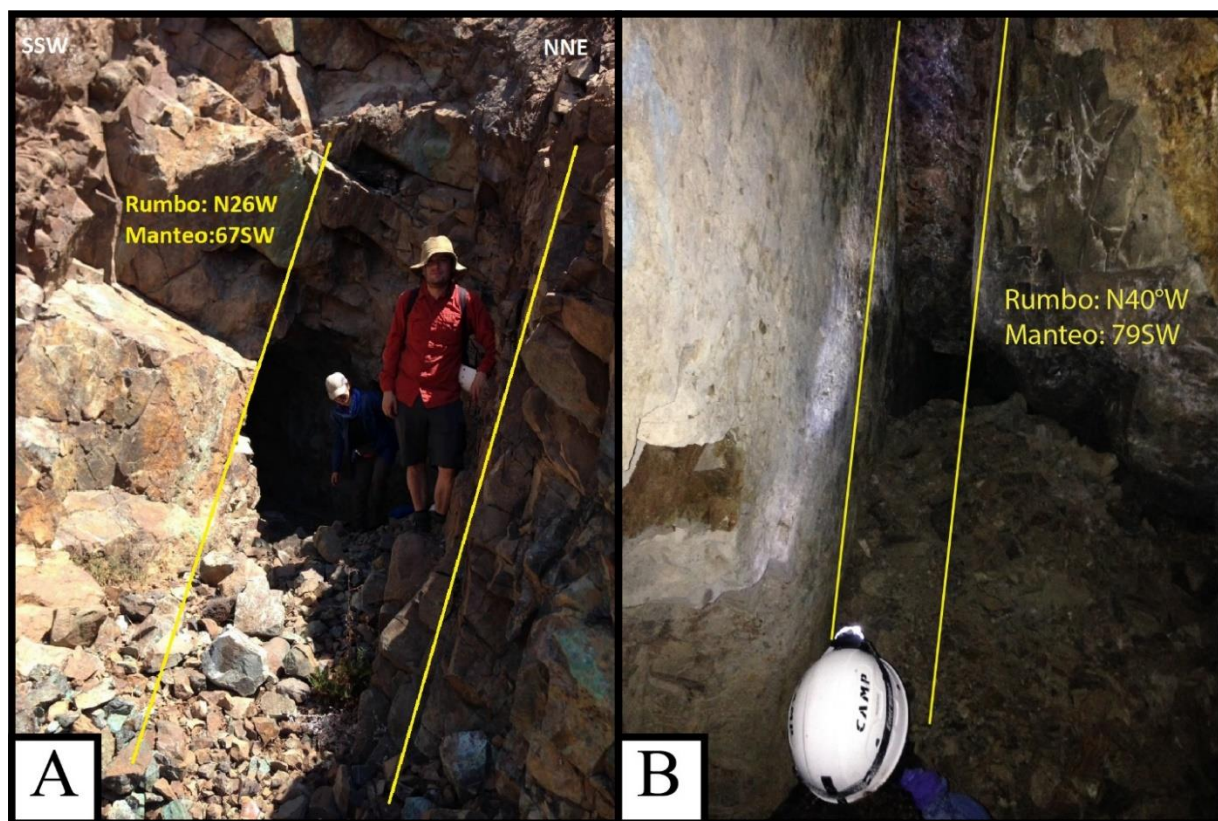


Fig. 5.31 – Vetas mineralizadas desarrolladas sobre lineamientos con manteos de alto ángulo hacia el SW. A) Veta mineralizada de óxidos de cobre, principalmente malaquita y crisocola de un pique abandonado de la Quebrada Los Tornos. B) Planos de falla y veta mineralizada de la mina La Esmeralda, con mineralización de bornita y oxidados de cobre.

El lineamiento Quebrada de Castro posee un rumbo aproximado de  $N45^{\circ}W$  y se extiende por casi 20 km (Fig. 5.2). Sobre la traza del lineamiento se desarrolla la Quebrada de Castro y una serie de fallas menores subparalelas a este. Además, existe una orientación preferencial de los diques andesíticos verdosos, exhibiendo direcciones de rumbo  $S45^{\circ}W$  y manteos subverticales.

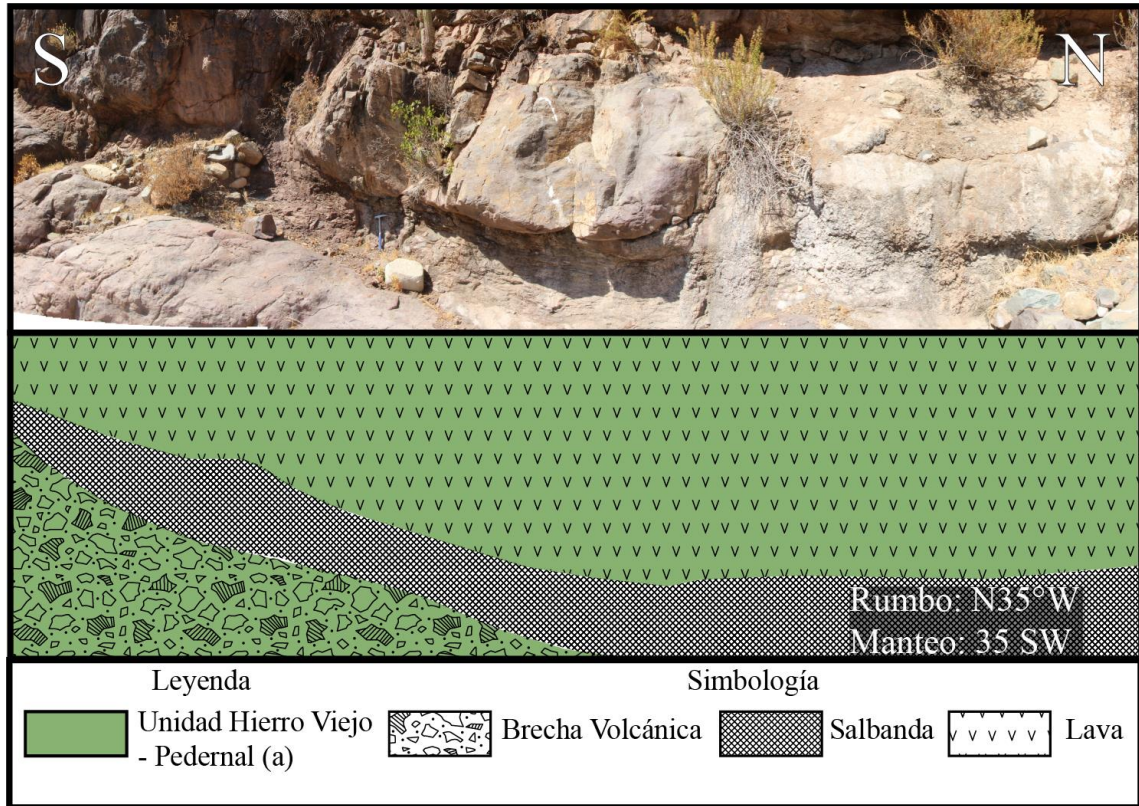


Fig. 5.32 – Trazas de falla menor subparalela al lineamiento Quebrada de Castro. En la imagen se observa la zona de salbanda en la traza de falla.



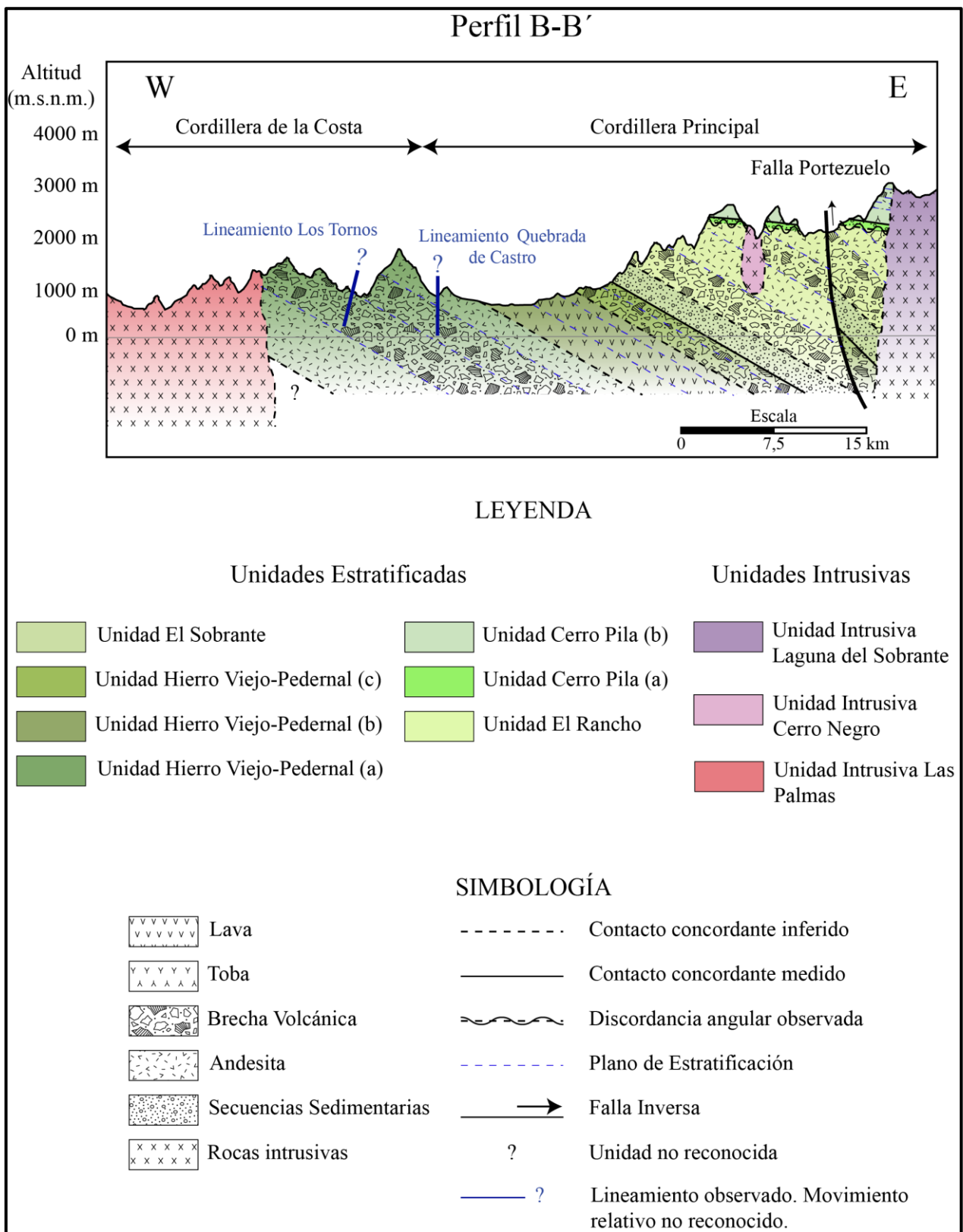


Fig. 5.33 – Perfil esquemático integrado de las unidades y estructuras de la zona de estudio. Las litologías corresponden a una generalización de las facies para las distintas unidades. La traza del perfil B-B' se detalla en la Fig. 5.2.

## 5.2.2. Dominio Estructural Oriental

El dominio estructural oriental se desarrolla en torno a la Falla Portezuelo, la cual cruza el borde oriental de la comuna con un rumbo NS, deformando en superficie rocas de las unidades El Rancho y Cerro Pila (Fig. 5.2). Al este de la falla, se reconoce un sistema de plegamiento que deforma las rocas de la unidad Cerro Pila (Fig. 5.24), mientras que al oeste se reconoce un lineamiento de movimiento relativo desconocido y que afecta a la unidad El Rancho (Fig. 5.36).

En base a la repetición de las secuencias volcánicas de la unidad El Rancho por sobre la unidad Cerro Pila, la Falla Portezuelo se interpreta como una falla inversa que alza el borde oriental del área de estudio, repitiendo las secuencias volcánicas de la unidad El Rancho por sobre la unidad Cerro Pila (Fig. 5.2, Fig. 5.33, Fig. 5.34 y Fig. 5.36). La zona de daño se extiende por al menos 400 m de ancho, presentando brechas de falla sobre su traza (Fig. 5.35).

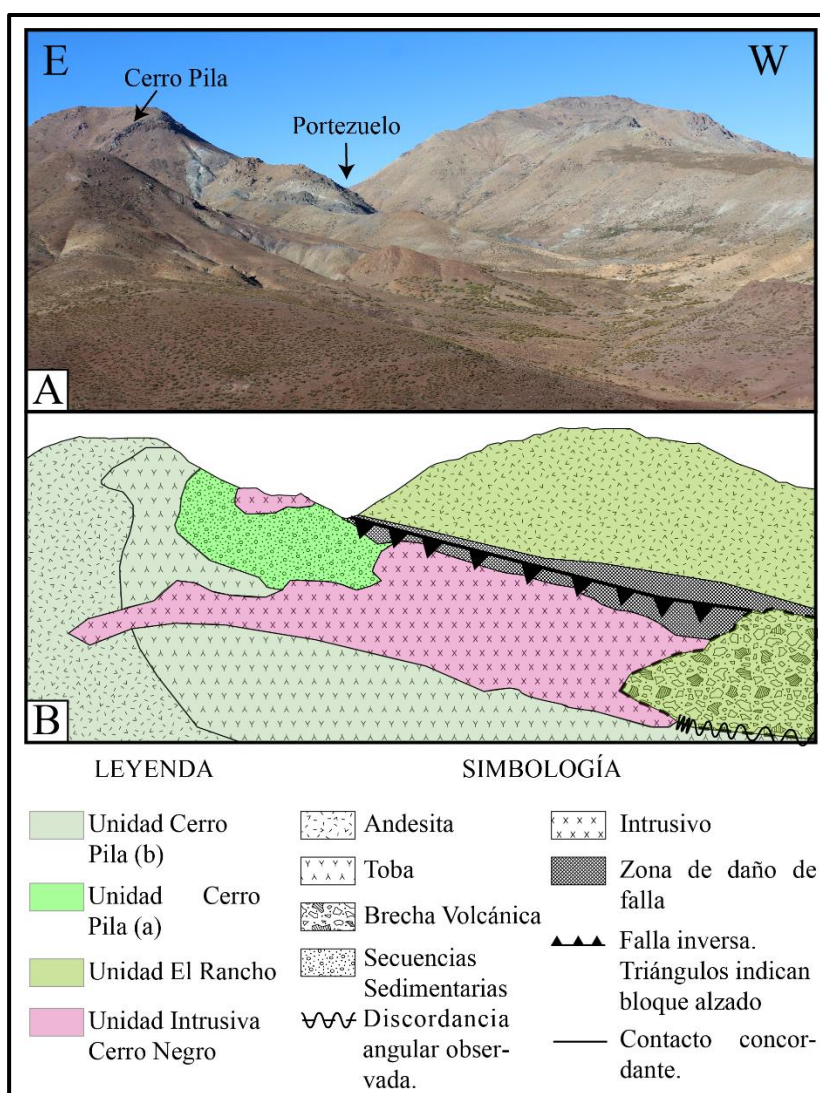


Fig. 5.34 – Traza de la Falla Portezuelo y la distribución de las unidades informales afectada por esta. A) Panorámica con vista hacia el sur del valle de Las Cruces. B) Interpretación de la zona de daño de la falla Portezuelo y las unidades informales de la imagen A.



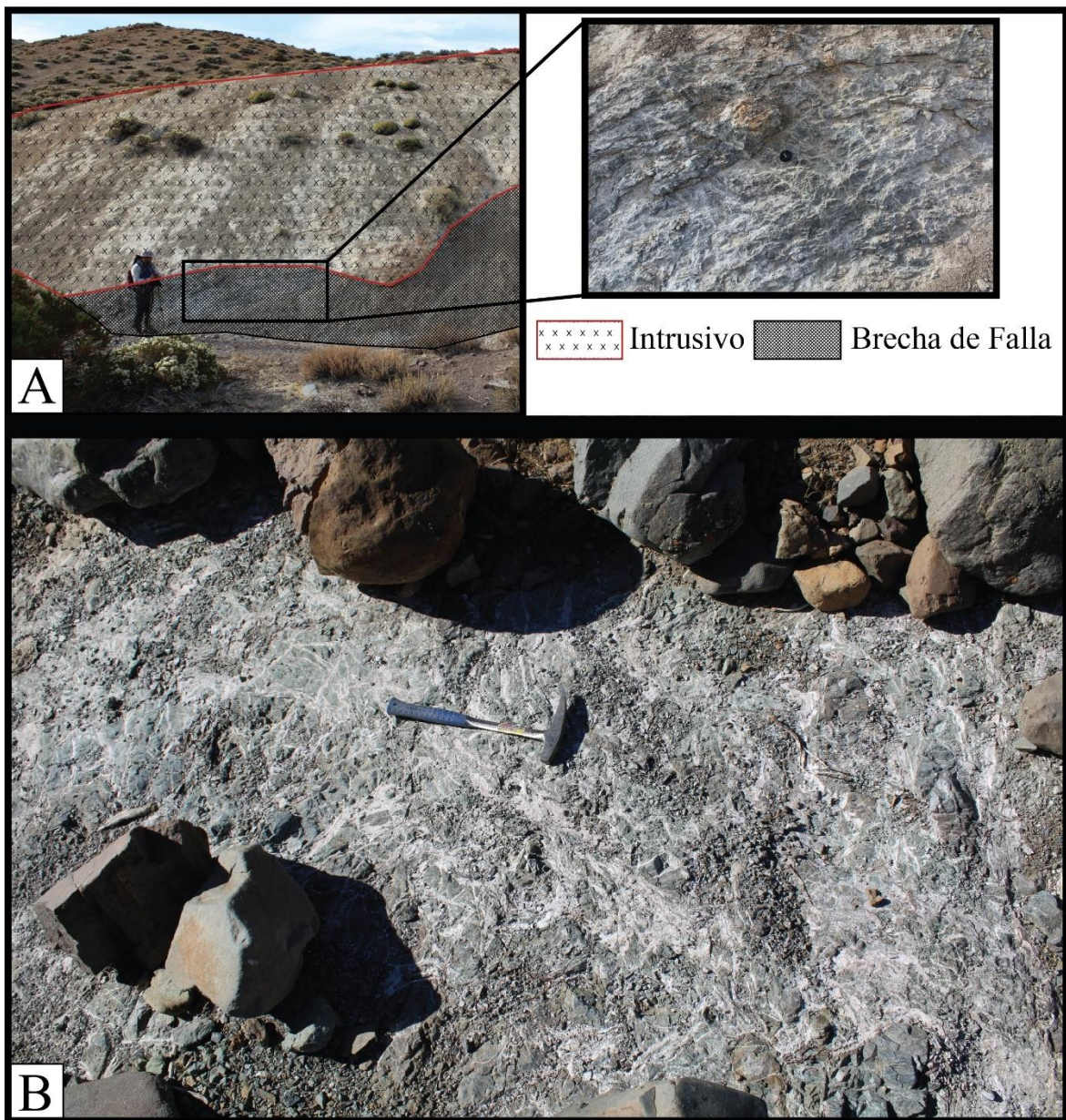


Fig. 5.35 – Brechas de falla de la Falla Portezuelo. A) Brechas de falla del borde oriental de la zona de daño. B) Brechas volcánicas de la zona norte del valle de Las Cruces, sobre la traza de la falla.

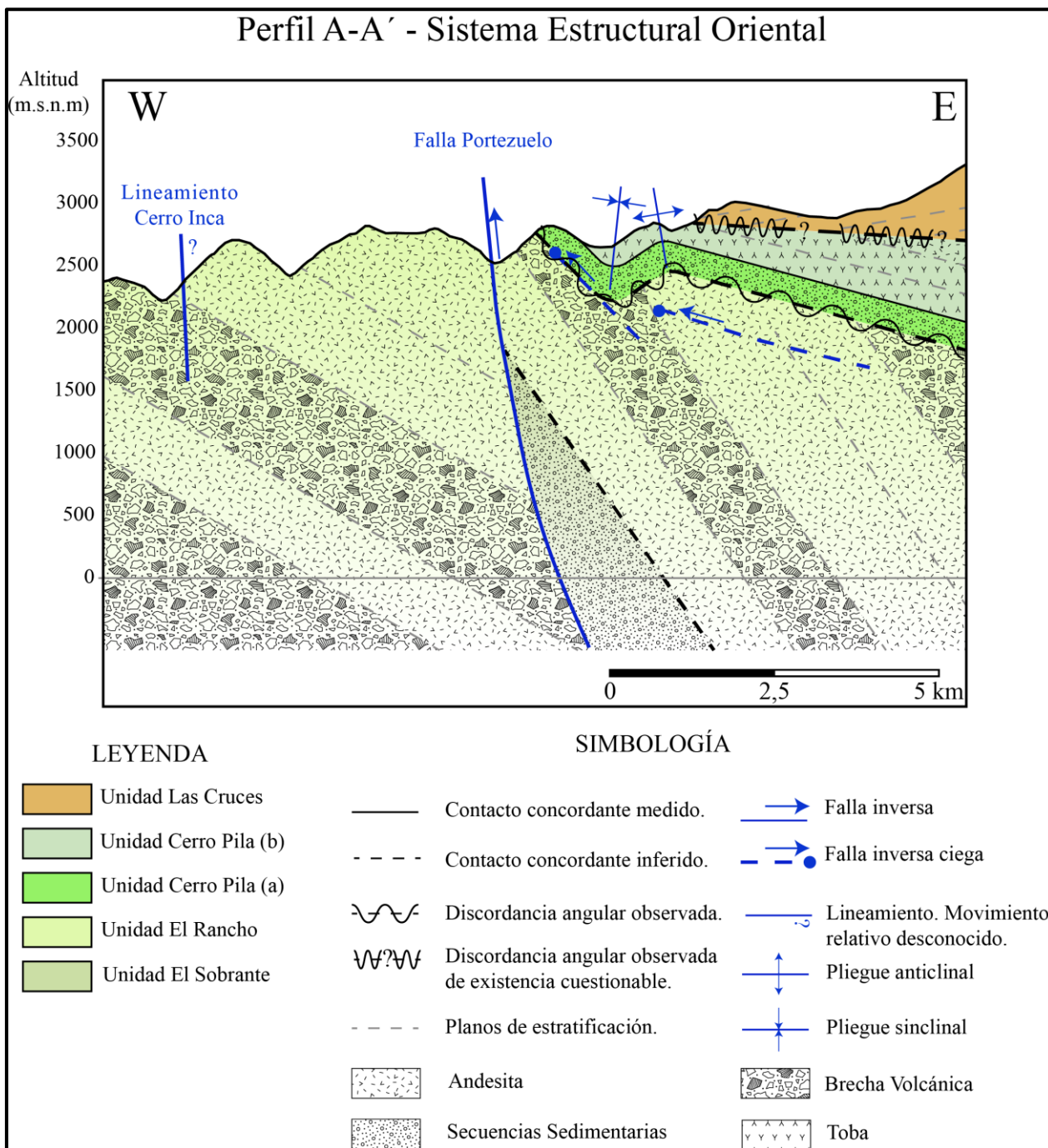


Fig. 5.36 – Perfil esquemático integrado de las unidades informales y estructuras del perfil A-A' (Fig. 5.2). El perfil de la imagen corresponde al sistema estructural oriental, donde se interpretan las principales estructuras de la zona, incluyendo las fallas que no afloran en superficie, pero determinan el sistema de plegamiento al este de la falla Portezuelo. Las litologías corresponden a una generalización de las facies para las distintas unidades definidas.



## 6. DISCUSION SOBRE LA GEOLOGÍA LOCAL

---

En este capítulo se discuten los resultados obtenidos en el capítulo 5. El primer apartado considera la interpretación de las unidades y estructuras geológicas informales definidas, y su correlación con las unidades bibliográficas. En el segundo apartado, se definen los contextos geológicos locales para la caracterización de los lugares de interés geológicos de la comuna, los cuales se definen en el capítulo 7.

### 6.1. Interpretación y correlaciones

#### 6.1.1. Unidades Estratificadas

A partir de las columnas estratigráficas levantadas para las distintas unidades estratificadas informales definidas (Fig. 5.3, Fig. 5.9, Fig. 5.16, Fig. 5.16, Fig. 5.21), se puede confeccionar un esquema estratigráfico comunal generalizado (Fig. 5.1). Los criterios utilizados para la división de las unidades estratigráficas y sus miembros se basan en las diferencias de facies litológicas exhibidas, además de sus relaciones de contacto.

##### 6.1.1.1. Unidad Hierro Viejo - Pedernal

La unidad inferior Hierro Viejo – Pedernal presenta tres segmentos principalmente volcánicos (Fig. 5.1), donde solamente el segmento intermedio posee intercalaciones de facies sedimentarias. La litología del nivel volcánico inferior, caracterizada por los niveles de brechas volcánicas y andesitas de grano medio a grueso, sugieren un ambiente volcánico proximal, donde episodios de alta energía habrían producido potentes niveles de brechas volcánicas. Aquel primer episodio volcánico de alta energía precede a otro de menor energía, caracterizado por los depósitos de lavas y niveles tobáceos, los cuales se intercalan con niveles sedimentarios. Los niveles andesíticos y de brechas volcánicas del segmento superior marcan una reactivación del proceso volcánico de alta energía en ambientes proximales.

Desde el punto de vista litológico, la unidad Hierro Viejo - Pedernal presenta similitudes con las facies descritas para la Formación Cerro Morado (Fig. 6.1) por Carter y Aliste (1962), Boyce (2015) y Machuca (2017). Las edades radiométricas disponibles en la zona de estudio, atribuidas espacialmente a la unidad Hierro Viejo-Pedernal en este trabajo (Fig. 5.2), reflejan un amplio rango de edades que van desde los  $109 \pm 4$  Ma a los  $63 \pm 2$  Ma. No obstante, la mayor parte de aquellas dataciones fueron realizadas por métodos K-Ar y Ar-Ar, por lo que las edades radiométricas podrían estar reflejando procesos de rejuvenecimiento. De ser correcta la correlación en base a la estratigrafía, la unidad Hierro Viejo – Pedernal correspondería a la Formación Cerro Morado y su depositación se habría efectuado en un ambiente de arco volcánico en el Albiano, entre los  $105,7 \pm 3,3$  Ma y  $97,9 \pm 2$  Ma según las edades U-Pb en circones detríticos obtenidas por Boyce (2015).



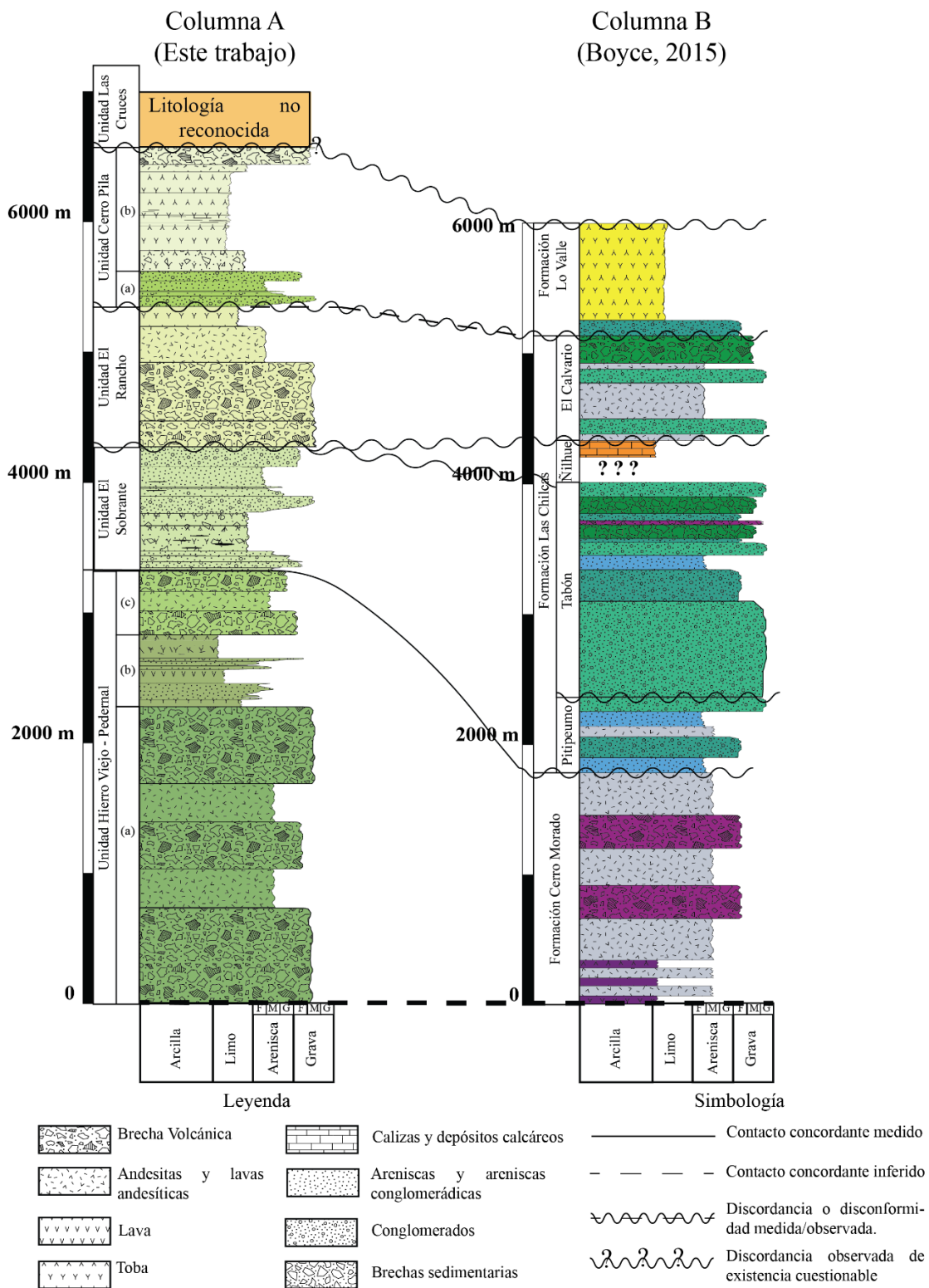


Fig. 6.1 – Columna estratigráfica generalizada para la zona de estudio, correlacionada con la estratigrafía generalizada levantada por Boyce (2015) al sur de la zona de estudio, entre los 32°30'S y 33°10'S. En base a la estratigrafía, la Unidad Hierro Viejo – Pedernal se correlaciona con la Formación Cerro Morado, la Unidad El Sobrante con los miembros Pitipeumo-Tabón (?) de la Formación Las Chilcas, la Unidad El Rancho con el Miembro El Calvario de la Formación Las Chilcas y la Unidad Cerro Pila con la Formación Lo Valle. En la zona de estudio no se reconocen los miembros Tabón y Nihue de la Formación Las Chilcas, descritos por Boyce (2015) al sur de la zona de estudio.

### 6.1.1.2. Unidad El Sobrante

Las facies sedimentarias continentales de la unidad El Sobrante (Fig. 5.1) evidencian intensas variaciones granulométricas, las cuales responderían a cambios en los procesos y niveles energéticos durante la depositación. El nivel conglomerádico basal evidencia procesos de sedimentación de alta energía.

Intercalado entre los eventos de alta energía se pueden encontrar una serie de secuencias granodecrecientes de conglomerados, areniscas conglomerádicas y areniscas, las que sugieren una disminución energética de los agentes de transporte, interpretándose la génesis de estas secuencias como depósitos fluviales. Estas secuencias se encuentran intercaladas con niveles tobáceos líticos y cristalinos, donde los primeros suelen presentar pipas de segregación, marcando eventos volcánicos de depósitos de caída y de flujos piroclásticos.

La estratigrafía identificada para la unidad El Sobrante presenta cierta correlación con los niveles sedimentarios del Miembro Pitipeumo de la Formación Las Chilcas descrito por Boyce (2015), donde los conglomerádicos de clastos redondeados de tamaños mayores a 15 cm en matriz de arena media a gruesa responderían a procesos aluviales de alta energía (Fig. 6.1). A diferencia con la estratigrafía descrita por Boyce (2015), la unidad El Sobrante carece de niveles basales calcáreos e intercalaciones de brechas volcánicas y andesitas. En su lugar, los depósitos volcánicos corresponden a depósitos tobáceos.

Al sur de la zona de estudio, Arias (en preparación) ha correlacionado secuencias sedimentarias similares a la unidad El Sobrante con los miembros Pitipeumo y Tabón de la Formación Las Chilcas, interpretándolas como una interdigitación entre ambos miembros. A diferencia de la estratigrafía caracterizada por Arias (en preparación), la unidad El Sobrante carece de niveles conglomerádicos de grano muy grueso, pero las similitudes entre las facies sedimentarias indicarían una correlación.

Considerando estos antecedentes, la unidad El Sobrante se correlacionaría con los miembros Pitipeumo y Tabón (?) caracterizado por Boyce (2015) y Arias (en preparación). De ser correcta esta correlación y en base a las facies aluviales y fluviales, la unidad El Sobrante se habría depositado en secciones proximales del antepaís, posiblemente en zonas distales a los centros volcánicos que originaron los depósitos de brechas volcánicas y andesitas descritas por Boyce (2015).

### 6.1.1.3. Unidad El Rancho

Posterior al evento de sedimentación de alta energía que habría formado los depósitos de la unidad El Sobrante, una reanudación de la actividad volcánica habría ocurrido generando los depósitos volcánicos de la unidad El Rancho. La litología de esta unidad, caracterizada principalmente por secuencias de brechas volcánicas y potentes niveles andesíticos, sugiere un ambiente de depositación proximal, marcado por un volcanismo de alta energía.

La estratigrafía descrita para la unidad El Rancho presenta una buena correlación con las potentes secuencias de brechas andesíticas descritas para la Formación Lo Valle por Carter y Aliste (1962)

y que fue posteriormente correlacionada con el Miembro El Calvario de la Formación Las Chilcas (Fig. 6.1 Fig. 6.1) por Boyce (2015). En el valle de El Sobrante, Jara y Charrier (2014) obtuvieron para la Formación Salamanca una edad U-Pb en circones de  $81,5 \pm 1,1$  Ma y  $87,7 \pm 1,2$  Ma para toba y lava respectivamente, coincidentes con las edades U-Pb obtenidas por Boyce (2015) para el Miembro El Calvario de  $82,7 \pm 5,7$  Ma y  $85,8 \pm 3$  Ma en arenisca y lava respectivamente.

De ser correcta la correlación de la unidad El Rancho con el Miembro El Calvario de la Formación Las Chilcas, esta unidad representaría el arco volcánico del Cretácico Superior que habría desarrollado los depósitos volcánicos que cubren a los depósitos sedimentarios continentales del antepaís.

#### 6.1.1.4. Unidad Cerro Pila

La unidad Cerro Pila se compone por un miembro inferior, cuyas facies sedimentarias continentales constituidas por conglomerados, areniscas conglomerádicas y areniscas, con lentes de areniscas, areniscas conglomerádicas y fangolitas, sugieren un ambiente de depositación fluvial. Sobre aquel nivel sedimentario, las potentes secuencias tobáceas indican un ambiente predominantemente volcánico, donde los centros volcánicos se habrían posicionado en zonas distales. Las secuencias volcánicas superiores de alta energía, a diferencia de las secuencias anteriores, representarían un desarrollo de centros eruptivos proximales.

La estratigrafía de la unidad Cerro Pila se ha descrito en el valle de Las Cruces, pero el espectro electromagnético de tonalidades rojizas característico permite extrapolar la unidad hacia las cumbres de los cerros a la longitud del valle de El Sobrante (Fig. 5.19). En el valle de El Sobrante, la unidad Cerro Pila yace de manera discordante sobre la unidad El Rancho (Fig. 5.15), correlacionada anteriormente con el Miembro El Calvario de la Formación Las Chilcas. Aquella discordancia ha sido para diversos autores (Thomas, 1958; Viteri, 1970; Gana y Wall, 1977; Boyce, 2015; entre otros) un criterio para definir el límite estratigráfico entre la sub yacente Formación Las Chilcas y la sobre yacente Formación Lo Valle.

La estratigrafía descrita en el sector del valle de Las Cruces (Fig. 5.21) presenta una marcada similitud con la estratigrafía de la Formación Lo Valle levantada en el cajón del mismo nombre por Boyce (2015), donde el autor reconoce una secuencia similar constituida por un nivel basal sedimentario continental yaciendo bajo niveles tobáceos púrpuras, rosas y blanquecinas, algunos de ellos soldados (Fig. 6.1).

De ser adecuada la correlación entre la unidad Cerro Pila con la Formación Lo Valle, las secuencias piroclásticas de esta unidad se habrían depositado en un ambiente de arco volcánico subsidente.

#### 6.1.1.5. Unidad Las Cruces

La unidad Las Cruces se separó de la unidad Cerro Pila sobre la base de una marcada discordancia angular observada en el valle del mismo nombre. La estratigrafía de la unidad no ha sido reconocida en las campañas de campo.

Además de la discordancia observada, la teledetección sugiere en base a las diferencias espectrales (Fig. 5.25) que esta unidad no correspondería a una facies de la Formación Lo Valle. Esta interpretación se condice con las edades radiométricas K-Ar en andesita de  $24,5 \pm 1,2$  Ma obtenida por Rivano *et al.* (1993) para la unidad Las Cruces.

Considerando la edad obtenida por Rivano *et al.* (1993), la unidad Las Cruces puede ser correlacionada con la Formación Abanico, cuyo contacto basal ha sido descrito como discordante sobre la Formación Lo Valle por Gana y Wall (1997) y Boyce (2015). De ser correcta la correlación entre la unidad Cerro Pila y la Formación Abanico, aquella unidad se habría depositado en una cuenca extensional de intraarco.

## 6.1.2. Unidades Intrusivas

### 6.1.2.1. Unidad Intrusiva Las Palmas

La unidad intrusiva Las Palmas presenta distintas zonaciones a lo largo de sus afloramientos, con rocas que varían entre tonalitas, granodioritas y granitos. Esta zonación ha sido identificada por diversos autores (Morata *et al.*, 2010; Hidalgo, 2011; Ferrando, 2014), quienes interpretaron el cuerpo de dimensiones batolíticas como un Complejo Intrusivo desarrollado en 4 pulsos.

La litología exhibida en el sector de Frutillar Bajo exhibe características propias de la Unidad Trondhjemítica (UT) descrita por Hidalgo (2011). Además, los sets de diques *syn-* y *post-* plutónicos de esta zona indicarían que eventos de mezcla y desmezcla de magmas ocurrieron durante las últimas etapas de cristalización de esta unidad.

De esta manera, la Unidad Intrusiva Las Palmas se correlacionaría con el Complejo Plutónico Illapel, donde el sector de Frutillar Bajo se correlaciona con la Unidad Trondhjemítica de esta unidad. De ser correcta esta correlación, la Unidad Intrusiva Las Palmas habría intruido las secuencias volcánicas de la Formación Cerro Morado y cristalizado en el Cretácico inferior, entre los  $110,4 \pm 1,2$  Ma y los  $86,9 \pm 1,2$  Ma.

### 6.1.2.2. Unidad Intrusiva Morro Hediondo

La Unidad Intrusiva Morro Hediondo fue definida en la zona de estudio por Rivano *et al.* (1985) como la Unidad San Lorenzo. La litología reconocida por el autor corresponde a pequeños cuerpos intrusivos dioríticos, pórfidos andesíticos y andesitas de grano fino de color gris verdoso (Rivano, 1996).

La litología reconocida en este trabajo se condice con los intrusivos andesíticos y dioríticos reconocidos por Rivano (1996), no obstante, además se reconocen cuerpos intrusivos tonalíticos que contienen enclaves máficos pertenecientes a los enclaves dioríticos, indicando una posible desmezcla de magmas durante su evolución.



De esta manera, es posible correlacionar la Unidad Intrusiva Morro Hediondo con la Unidad San Lorenzo. De ser correcta esta correlación, la Unidad Intrusiva Morro Hediondo habría intruido hacia fines del Cretácico superior a las Formaciones Cerro Morado y Las Chilcas, y cristalizando entre los  $86 \pm 3$  Ma y  $79 \pm 3$  Ma.

#### 6.1.2.3. Unidad Intrusiva Cerro Negro

Constituida de gabros de piroxenos, andesitas de piroxenos y dioritas de hornblenda, la Unidad Intrusiva Cerro Negro exhibe una litología característica de eventos magmáticos poco diferenciados y que no sufrieron una contaminación cortical considerable.

En la zona de estudio, la única unidad intrusiva reconocida que posee características litológicas similares a las descritas en este trabajo corresponde a la Unidad Fredes descritas por Rivano *et al.* (1985, 1993), quien identifica stocks de dioritas de piroxeno y hornblandas y cuarzodioritas de grano fino a medio.

De esta manera, la Unidad Intrusiva Cerro Negro se correlaciona con la Unidad Fredes, y de ser correcta esta correlación, la unidad habría intruido a las formaciones Las Chilcas y Lo Valle y cristalizado en el límite Paleoceno – Eoceno.

#### 6.1.2.4. Unidad Intrusiva Laguna del Sobrante

La litología exhibida por la Unidad Intrusiva Laguna del Sobrante corresponde principalmente a tonalitas y granodioritas de hornblenda. En la zona de estudio, Rivano *et al.* (1993) asigno este cuerpo intrusivo a la Unidad Río Cerro Blanco de la Superunidad Río Chicharra, la cual corresponde a monzodioritas, monzonitas cuarcíferas, monzogranitos y granodioritas.

De ser correcta la correlación espacial de las unidades intrusivas, la Unidad Intrusiva Laguna del Sobrante correspondería a las secciones más diferenciadas de la Unidad Río Cerro Blanco, y habría intruido las rocas de las formaciones Lo Valle y Abanico y cristalizado durante el Mioceno.

### 6.1.3. Estructuras

#### 6.1.3.1. Sistema Estructural Occidental

El Sistema Estructural Occidental carece de indicadores cinemáticos que permitan identificar el comportamiento de los lineamientos Los Tornos y Quebrada de Castro, pero su existencia se ha sido definido a partir de estructuras menores que se desarrollan en direcciones preferenciales y la interpretación mediante imágenes satelitales.

El límite occidental del sistema lo constituye el lineamiento Los Tornos el cual deforma rocas Cretácicas de la Formación Cerro Morado y controla mineralización de mena circundantes a la localidad de Hierro Viejo (Fig. 6.2). En base a su disposición y su control sobre la mineralización de la zona, el lineamiento Los Tornos se correlaciona con la Falla Petorca-El Durazno definida por Camus *et al.* (1986).

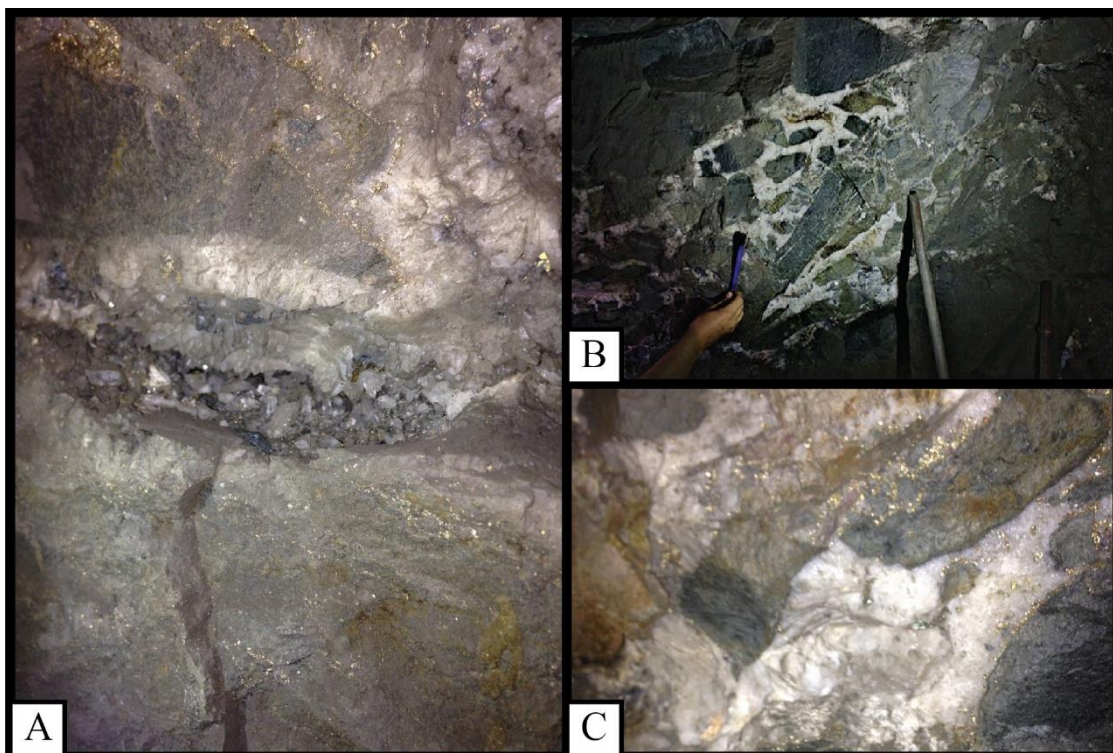


Fig. 6.2 – Mineralización de sulfuros de cobre en brechas hidrotermales de la mina Los Tornos. La roca caja corresponde a andesita, los minerales de mena los constituyen la calcopirita y la bornita, mientras que el cuarzo y la pirita son los principales minerales de ganga.

El límite oriental del sistema lo constituye el lineamiento Quebrada de Castro, el cual deforma rocas Cretácicas de la Formación Cerro Morado y controla la geomorfología de la quebrada del mismo nombre. La disposición del lineamiento identificado en imágenes satelitales Landsat 7 ETM+ y Landsat 8 OLI se correlaciona espacialmente con la Falla Quebrada de Castro descrita por Camus *et al.* (1991).

#### 6.1.3.2. Sistema Estructural Oriental

Al igual que en el Sistema Estructural Oriental, en la Falla Portezuelo no se identificaron indicadores cinemáticos que permitan vislumbrar el movimiento relativo de la falla. No obstante, la estratigrafía y distribución de las unidades geológicas definidas en este trabajo permiten inferir un movimiento relativo al menos inverso, el cual alza rocas de la Formación Las Chilcas por sobre la Formación Lo Valle.

En base a la traza de la Falla Portezuelo, esta se correlaciona con la Zona de Falla Pocuro, identificada en aquel valle por Rivano (1996) y Jara (2013). Rivano *et al.* (1993) reconoce en la zona sur del valle una serie de espejos de falla que permiten inferir un movimiento relativo de rumbo con componente extensional. Por otra parte, Jara (2013) identifica al sur del valle estructuras de arpon, interpretándose como una inversión de la ZFP. De esta manera, a partir de la estratigrafía se puede inferir un movimiento inverso, pero no se descarta una inversión de la Falla Pocuro.

Con respecto a la actividad de la falla, remociones en masa descritas al sur de la zona de estudio indicarían una actividad reciente (Estay, en preparación). En la zona de estudio, la avalancha de roca ubicada a 2 km de la Falla Pocuro se ha interpretado como un elemento geomorfológico resultante de movimientos recientes de la falla, siendo coherente con el estudio de neotectónica realizado por Estay (en preparación).

## 6.2. Definición de Contextos Geológicos Locales y su relación con los Contextos Geológicos Chilenos para la Caracterización del Patrimonio Geológico Nacional

En base a las correlaciones establecidas entre las unidades informales locales y las unidades formales de la bibliografía, se proponen 11 contextos geológicos (Tabla 6.1) para comprender la evolución geológica de la zona de estudio e identificar los lugares más singulares y de mayor representatividad de cada contexto. Los contextos se dividen en dos ejes temáticos: a) Evolución del magmatismo y el arco volcánico desde el Cretácico Inferior hasta la actualidad y b) Procesos geomorfológicos del Neógeno-Cuaternario (Tabla 6.1), cuyas distribuciones se detallan en la Fig. 6.3.

Tabla 6.1 – Definición de los 11 contextos geológicos locales definidos para la comuna de Petorca. Se incluye una sección comparativa para establecer la equivalencia con los contextos geológicos nacionales para la caracterización del patrimonio geológico nacional (Tabla 11.15) definida por Mourgues et al., (2012).

Eje	Contexto Geológico Local	Definición	Equivalencia con los Contextos Geológicos Chilenos definidos por Mourgues et al. (2012)
Procesos Geomorfológicos del Neógeno – Cuaternario	Procesos geomorfológicos fluviales y lacustres del Neógeno – Cuaternario	Geoformas y elementos sedimentológicos resultantes de los procesos fluviales y lacustres del Neógeno-Cuaternario. Incluye lagunas y sus sedimentos, terrazas fluviales, cascadas, tipos de ríos, entre otros.	Ambientes lacustres del Cuaternario y los Depósitos fluviales del Neógeno-Cuaternario.
	Remociones en masa del Neógeno-Cuaternario	Geoformas resultantes de los procesos de remociones en masa del Neógeno-Cuaternario. Incluye abanicos aluviales, coluviales y fluvio-aluviales, avalanchas de rocas, entre otros.	Depósitos fluvio-aluviales del Neógeno-Cuaternario.
Evolución del magmatismo y del arco volcánico	Magmatismo del Neógeno	Constituido por las rocas intrusivas de la Unidad Río Cerro Blanco.	Batolitos del Cenozoico y los grandes pórfidos cupríferos y depósitos de oro en Chile
	Arco Volcánico del Paleógeno - Neógeno	Representado por las secuencias volcánico-sedimentarias de la Formación Abanico	
	Magmatismo del Paleógeno	Corresponde a las rocas intrusivas de la Unidad Fredes.	Batolitos del Cenozoico y los grandes pórfidos cupríferos y depósitos de oro en Chile
	<i>Hiatus</i> estratigráfico del Campaniano – Maastrichtiano	Representado por la discordancia angular entre el miembro El Calvario de la Formación Las Chilcas y la Formación Lo Valle.	-
	Arco Volcánico del Cretácico Superior	Representado por las rocas volcánicas del miembro El Calvario de la Formación Las Chilcas y de la Formación Lo Valle.	Arco volcánico del Mesozoico.

Magmatismo del Cretácico Superior	Constituido por las rocas intrusivas de la Unidad San Lorenzo.	Batolitos y complejos plutónicos del Mesozoico.
Series Sedimentarias del Cretácico Inferior	Representado por las secuencias sedimentarias continentales de los miembros Pitipeumo y Tabón (?) de la Formación Las Chilcas. Nota: el miembro no posee fósiles.	Series continentales Mesozoicas y sus fósiles.
Arco Volcánico del Cretácico Inferior	Corresponde a las secuencias volcánicas de la Formación Cerro Morado.	Arco volcánico del Mesozoico.
Magmatismo del Cretácico Inferior	Constituido por las rocas intrusivas del Complejo Plutónico Illapel.	Batolitos y complejos plutónicos del Mesozoico.

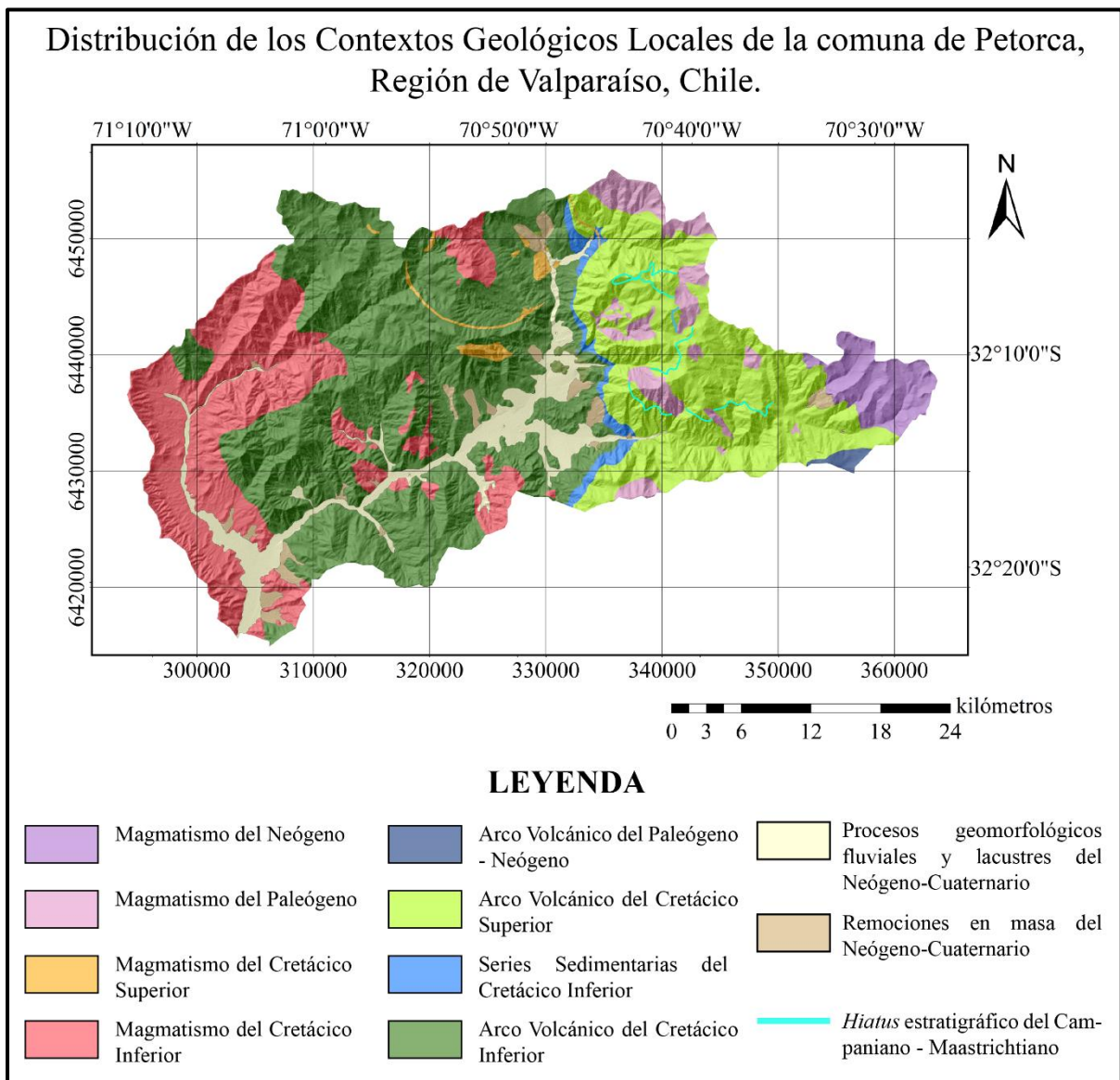


Fig. 6.3 – Distribución de los Contextos Geológicos Locales definidos para la zona de estudio.



## 7. INVENTARIO Y VALORACIÓN DE LOS LUGARES DE INTERÉS GEOLÓGICO PROPUESTOS

En este capítulo se presentan y caracterizan los lugares de interés geológico de la comuna de Petorca, seleccionados en base a su representatividad, singularidad de los contextos geológicos locales, definidos en el capítulo anterior, o en base a su interés cultural o escénico.

### 7.1. Selección y caracterización de Lugares de Interés Geológico

#### 7.1.1. Listado y Distribución de los Lugares de Interés Geológico identificados

En esta sección se detallan los lugares de interés geológicos identificados en la comuna de Petorca en base al trabajo de campo y la recopilación de sitios de interés indicados por la comunidad y agrupaciones como el Petorca *Trekking Running* y la Ruta Turística Petorca. En total se identifican 26 lugares de interés, de los cuales 12 de ellos son seleccionados para su caracterización y evaluación cuantitativa en función de su conocimiento científico, singularidad, integridad y representatividad de los contextos geológicos locales. Adicionalmente, en el caso de los LIGs Dique Escalera del Diablo y Mina de Pedernalita, el interés cultural fue utilizado como criterio de selección.

Tabla 7.1 – Listado y distribución de los lugares de interés geológico identificados en la comuna de Petorca.

N°	Nombre del LIG	Descripción	Contexto geológico representado	Interés actual	Interés propuesto	Sector
01	Diques de las Venas del Diablo	Diques máficos representativos de los procesos magmáticos del Complejo Plutónico Illapel	Magmatismo del Cretácico Inferior.	Recreativo.	Científico, turístico y educativo.	Frutillar Bajo
02	Dique Escalera del Diablo	Afloramiento de rocas volcánicas de la Formación Cerro Morado, intruida por un dique andesítico con forma de escalera.	Arco volcánico del Cretácico Inferior.	Turismo, cultural.	Turístico, educativo.	Hierro Viejo
03	Quebrada de Castro	Quebrada de origen tectónico y fluvial. Lugar más representativo de una morfología tipo cañón.	Procesos geomorfológicos fluviales y lacustres del Neógeno - Cuaternario.	Turismo.	Turístico, educativo.	Petorca
04	Portezuelo Altos del Carén	Alto topográfico de interés geomorfológico que permite interpretación de geoformas del valle Petorca y Pedernal	Procesos geomorfológicos fluviales y lacustres del Neógeno - Cuaternario.	Turismo/ <i>trekking</i> .	No visitado.	Altos del Carén
05	Zona de alteración hidrotermal de Calle Larga	Afloramiento masivo de color blanquecino con presencia de alteración hidrotermal e intensa silicificación.	Arco volcánico del Cretácico Inferior.	–	Turístico, educativo.	Calle Larga

06	Caldera Morro Hediondo	Dique anular dacítico de la Unidad	Magmatismo del Cretácico Superior.	Industria minera.	Científico, educativo.	El Arenal
07	Brechas volcánicas de El Arenal	Brechas volcánicas en afloramiento de 70 m de altura, que representa eventos volcánicos de alta energía de la Formación Cerro Morado.	Arco volcánico del Cretácico Inferior.	Turismo aventura.	Turístico, educativo.	El Arenal
08	Deslizamiento El Arenal	Flujo de detritos con bloques de mayores dimensiones hacia la cabecera, y en bloques inferiores hay presencia de petroglifos.	Remociones en masa del Neógeno - Cuaternario.	Turismo, cultural.	No caracterizado.	El Arenal
09	Piedra Colgada	Bloque rocoso de grandes dimensiones suspendido entre dos afloramientos. Interés educativo en torno a peligros geológicos.	Remociones en masa del Neógeno - Cuaternario.	Turismo.	Turístico y/o educativo.	Pedernal
10	Mina de Pedernalita	Afloramiento masivo de color blanquecino a rosa anaranjado con presencia de alteración hidrotermal e intensa silicificación.	Arco volcánico del Cretácico Inferior.	Artesanía	Turístico, educativo.	Pedernal
11	Ojos de Pedernal	Depósito volcánico de flujo tipo <i>block and ash</i> .	Arco volcánico del Cretácico Inferior.	-	Turístico.	Pedernal
12	Brechas volcánicas silicificadas de Pedernal	Nivel de brechas volcánicas de color marrón con intensa silicificación. Textura otorga un particular atractivo.	Arco volcánico del Cretácico Inferior.	-	Turístico y educativo.	Pedernal
13	Conglomerados rojos de Pedernal	Nivel sedimentario inferior de los miembros Pitipeumo-Tabón (?) de la Formación Las Chilcas.	Series sedimentarias del Cretácico Inferior.	-	Científico, turístico y educativo.	Pedernal
14	Saltos de Pedernal	No visitado.	Procesos geomorfológicos fluviales y lacustres del Neógeno-Cuaternario.	Turismo	Turístico, educativo.	Pedernal
15	Quebrada Monhuaca	Quebrada representativa de procesos fluviales. El sector presenta campos de petroglifos.	Procesos geomorfológicos fluviales y lacustres del Neógeno - Cuaternario.	Turismo, cultural.	No caracterizado.	Pedernal
16	Cerro Tongorito	Alto topográfico que permite apreciar las distintas geoformas de los valles de El Sobrante, Pedernal y Petorca. Prsencia petroglifos en la ruta.	Procesos geomorfológicos fluviales y lacustres del Neógeno - Cuaternario.	Turismo, cultural.	No caracterizado.	Chincolco-Pedernal

17	Cerro Negro	No visitado.	Magmatismo del Paleógeno.	Turismo, <i>trekking</i> .	No visitado.	Valle de El Sobrante
18	Conglomerados de El Sobrante	Nivel sedimentario constituido por conglomerados polimícticos de color gris. Representa el contacto entre las rocas volcánicas de la Formación Cerro Morado y las rocas sedimentarias de la Formación Las Chilcas.	Series sedimentarias del Cretácico Inferior.	–	Científico, educativo.	Valle de El Sobrante
19	Secuencias sedimentarias de El Sobrante	Niveles de areniscas, areniscas conglomerádicas y conglomerados que representan secuencias grano-crecientes y grano-decrecientes de los miembros Pitipeumo-Tabón(?) de la Formación Las Chilcas.	Series sedimentarias del Cretácico Inferior.	–	Científico, educativo.	Valle de El Sobrante
20	Discordancia Angular de El Rancho	Límite estratigráfico que pone en contacto el techo del miembro El Calvario de la Formación Las Chilcas con la base de la Formación Lo Valle mediante una discordancia angular.	<i>Hiatus</i> estratigráfico del Campaniano – Maastrichtiano	–	Científico, educativo.	El Rancho, Valle de El Sobrante
21	Valle de Las Cruces	Valle de orientación NS ubicado al este de la Zona de Falla Pocuro.	Procesos geomorfológicos fluviales y lacustres del Neógeno - Cuaternario.	Turismo.	Turístico, educativo.	Las Cruces, Valle de El Sobrante
22	Cerro Pila	Alto topográfico del sector de Las Cruces que permite apreciar tanto el valle de Las Cruces como el del Estero del Alicahue.	Procesos geomorfológicos fluviales y lacustres del Neógeno - Cuaternario.	Turismo, <i>trekking</i> .	No visitado.	Las Cruces, Valle de El Sobrante
23	Tobas líticas de Las Cruces	Nivel de toba lítica blanca con tonos rosa con afloramientos de hasta 15 m de potencia.	Arco volcánico del Cretácico Superior	–	Científico, turístico y educativo.	Las Cruces, Valle de El Sobrante
24	Laguna de El Sobrante	Laguna producida por el encauce del río de la Quebrada Sepo. El encauce se atribuye preliminarmente a una megaremolición	Procesos fluviales y lacustres del Neógeno-Cuaternario.	Turismo.	Científico, turístico y educativo.	Laguna de El Sobrante
25	Avalancha de roca de la laguna de El Sobrante	Avalancha de roca de gran volumen originada a partir de la desestabilización del Cerro Parado, el cual posee una altura aproximada de 500 m.	Remociones en masa del Neógeno-Cuaternario; Magmatismo del Neógeno	Turismo.	Científico, turístico y educativo.	Laguna de El Sobrante

26	Intrusivo Cerro Parado	Intrusivo de tonalita de Hbl y Bt que dio origen a la avalancha de roca.	Magmatismo del Neógeno.	Turismo.	Científico, turístico y educativo.	Laguna de El Sobrante
----	------------------------	--	-------------------------	----------	------------------------------------	-----------------------

### 7.1.2. Definición de los Lugares de Interés Geológico Seleccionados

Los 12 lugares de interés geológico seleccionados representan 9 de los 11 contextos geológicos locales definidos para la comuna. Esta sección resume los aspectos principales que justifican la selección de los LIGs propuestos. En el capítulo 13, secciones 1 y 2, se detallan los aspectos científicos, turísticos y educativos de los LIGs, además de las condiciones de uso, la relación con elementos de interés no geológicos y las condiciones de conservación.

En la Fig. 7.1 se detalla la distribución de los lugares de interés geológico propuestos y definidos en los siguientes apartados.

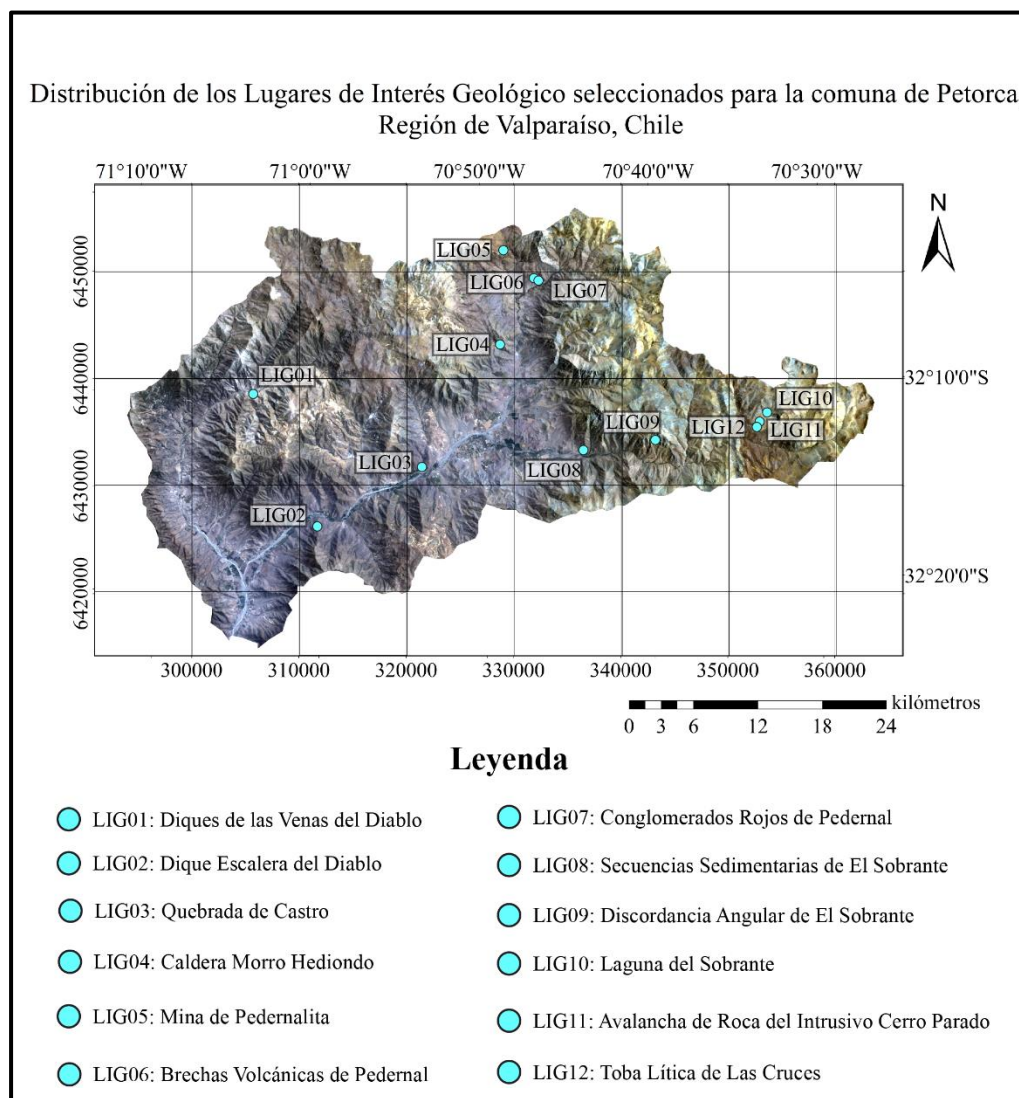


Fig. 7.1 – Distribución de los Lugares de Interés Geológico (LIGs) propuestos y caracterizados para el valle de Petorca, región de Valparaíso, Chile. Con puntos naranjas se indica la ubicación de los distintos LIGs con su respectivo código, el cual se especifica en la leyenda. (Imagen desarrollada en base a una imagen satelital Landsat 8 OLI).



#### 7.1.2.1. Lugar de Interés Geológico Diques de las Venas del Diablo (LIG01)

Ubicado en la localidad de Frutillar Bajo (Fig. 7.1), el lugar de interés de las Venas del Diablo posee un valor petrológico. Se desarrolla en la unidad morfoestructural de la Cordillera de la Costa, y representa el contexto geológico local del Magmatismo del Cretácico Inferior del Complejo Plutónico Illapel (CPI). Se encuentra en estado íntegro, y es la mejor representación de la comuna para apreciar, estudiar e interpretar los procesos de inmiscibilidad magmática del CPI.

El elemento principal corresponde a un singular enjambre de diques máficos (EDMF; Ferrando, 2014) que intruyen las rocas leucocráticas del CPI (Fig. 7.2). Trabajos anteriores han interpretado su origen como procesos syn- y post-plutónicos del CPI, representativos del efecto Bagnold, en el cual los diques presentan una zonificación en su cantidad de sílice (Hidalgo, 2011).

Asociado al elemento de interés principal, la zona cuenta con una geodiversidad que permite explicar procesos fluviales y de transporte de fluidos mineralizadores a través de vetillas. Además, el lugar se ubica en un núcleo de biodiversidad con especies protegidas tales como la palma chilena (*Jubaea chilensis*), que en la zona alcanza los 1.300 ejemplares (Youlton *et al.*, 2016).



Fig. 7.2 - Diques máficos del sitio de interés Venas del Diablo. La imagen muestra los sets de diques verde oscuro que intruyen el cuerpo leucocrático del CPI.

### 7.1.2.2. Lugar de Interés Geológico Dique Escalera del Diablo (LIG02)

Ubicado en la localidad de Hierro Viejo (Fig. 7.1), el LIG Dique Escalera del Diablo posee un valor geológico relacionado a la estratigrafía y procesos magmáticos. Se desarrolla en la unidad morfoestructural de la Cordillera de la Costa, y es representativo del contexto geológico local del Volcanismo del Cretácico Inferior. El lugar se encuentra íntegro y su acceso se realiza a través de senderismo por predios privados.

El elemento de interés es común en la zona de estudio, y corresponde a un dique afanítico de color gris verdoso (Fig. 7.3), el cual intruye las secuencias volcánicas de la Formación Cerro Morado. En este lugar, las rocas volcánicas ocurren en afloramientos de 30 m de espesor, y corresponden a andesitas púrpuras y grises de textura porfírica. La intrusión del dique fue promovida por la presencia de estructuras presentes en la roca caja, permitiendo su emplazamiento y enfriamiento. La erosión particular del dique se desarrolló perpendicular a la dirección de flujo, generando el desprendimiento de bloques rocosos pseudo-ortogonales que le otorgaron una forma de escalera.

Además del elemento de interés principal, la geodiversidad apreciada en la ruta hacia la escalera permite interpretar y explicar procesos geomorfológicos y de peligros geológicos que han modelado el valle, a partir de elementos tales como conos aluviales e incisiones fluviales.

La forma particular del dique ha sido identificada por la comunidad, desarrollándose relatos locales en torno a su origen. Junto al valor cultural actual, la ruta hacia el lugar de interés presenta un alto valor arqueológico dada la presencia de petroglifos atribuidos a culturas locales del periodo intermedio tardío (Vivanco, en preparación).



*Fig. 7.3 – Lugar de interés geológico Escalera del Diablo. La imagen muestra la forma particular del dique, con sus diaclasas pseudo-ortogonales desarrolladas de manera perpendicular al frente de enfriamiento.*



### 7.1.2.3. Lugar de Interés Geológico Quebrada de Castro (LIG03)

Ubicado en las cercanías de la localidad de Petorca (Fig. 7.1), el LIG Quebrada de Castro posee un valor científico en base a sus características geomorfológicas. El elemento principal presenta un interés geomorfológico al ser el mejor lugar conocido en la comuna para explicar la formación de quebradas a partir de eventos tectónicos y de erosión fluvial.

El elemento de interés geológico principal corresponde a una quebrada de aproximadamente 90 m de ancho, con afloramientos que alcanzan espesores de hasta 70 m, que le otorgan una singular morfología, similar a la de un cañón (Fig. 7.4). Asociado al elemento geológico principal, la geodiversidad de la quebrada permite interpretar procesos fluviales asociado a estructuras de marcas de agua o incisiones fluviales que dejaron al descubierto estructuras de paleocanales, y procesos volcánicos a partir de las secuencias volcánicas de la Formación Cerro Morado.

Desarrollado en el límite entre las unidades morfoestructurales de la Cordillera de la Costa y la Cordillera Principal, el origen del sitio Quebrada de Castro ha sido atribuido a procesos tectónicos, pero no existe un acuerdo en torno al tipo de estructura que lo controla, definiéndose tanto como una quebrada producida por un hundimiento del bloque occidental producto de fallas normales (Rivano *et al.*, 1993) o por los movimientos transcurrentes en un sector dominado por fallas tanto normales como dextrales (Camus *et al.*, 1991).



Fig. 7.4 – Panorámica de la Quebrada de Castro desde el punto de acceso más cercano. En la imagen se aprecian los afloramientos de potencia de hasta 70 m que definen la morfología de la quebrada.

#### 7.1.2.4. Lugar de Interés Geológico Caldera Morro Hediondo (LIG04)

Ubicado en el sector El Arenal del valle de Pedernal (Fig. 7.1), el lugar de interés geológico Caldera Morro Hediondo se desarrolla en la unidad morfoestructural de la Cordillera Principal y presenta un interés petrológico y vulcanológico al ser representativo del magmatismo y volcanismo del Cretácico Superior. El elemento principal corresponde a un dique con una forma anular poco común y de aproximadamente 15 km de longitud, pero que su punto de acceso más próximo se encuentra intervenido y degradado por la industria minera.

El dique anular de la caldera Morro Hediondo forma parte de un pórfido diorítico (Fig. 7.5. A, B y C) que controló la mineralización de la zona, permitiendo el desarrollo de industria minera de pequeña y mediana escala. El dique ha sido datado mediante K-Ar en Bt, obteniéndose una edad de  $80 \pm 3$  Ma, correlacionándose así con la unidad San Lorenzo (Rivano *et al.*, 1993).

Aparte del elemento de interés principal, la geodiversidad de la zona posee elementos que permiten explicar procesos de alteración y formación de depósitos minerales que han determinado la industria minera en el valle (Fig. 7.5. D). Además, el sitio se ubica en un alto topográfico que permite visualizar las distintas geoformas que conforman el valle de Pedernal.

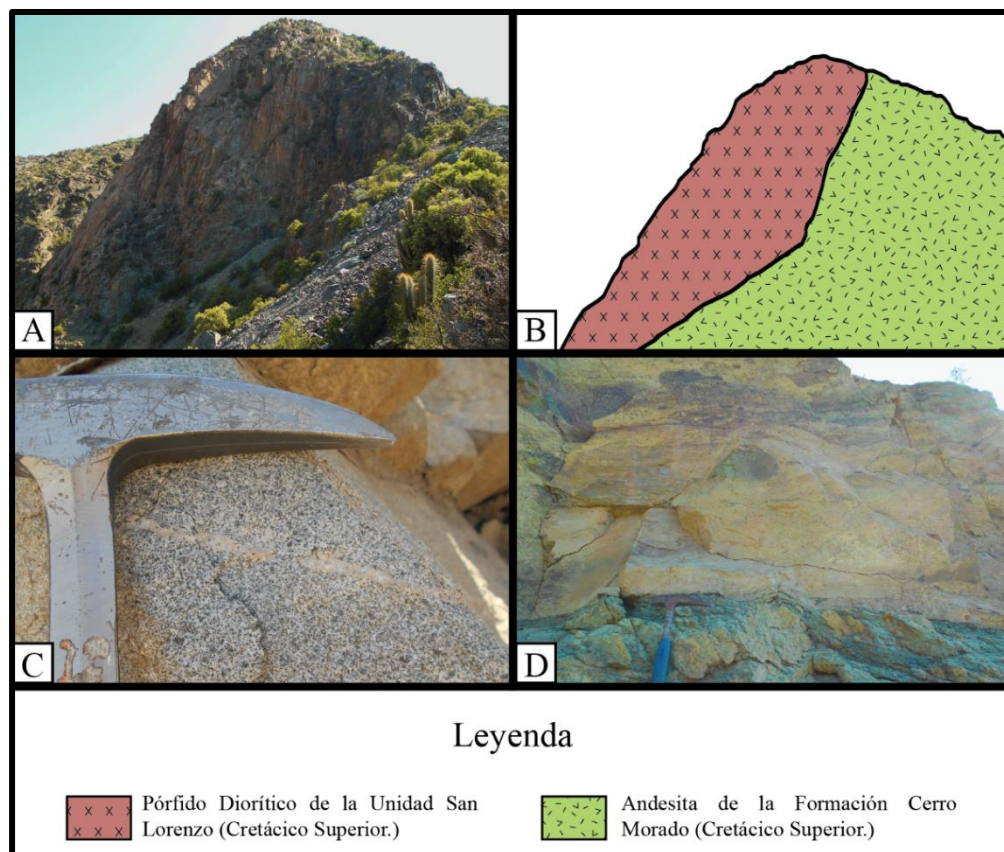


Fig. 7.5 – Principales elementos de la geodiversidad del lugar de interés geológico Caldera Morro Hediondo. A) Principal elemento de interés correspondiente al dique anular que delimita la caldera Morro Hediondo. B) Interpretación de las unidades geológicas de la imagen A. C) Litología del dique anular, correspondiente a una diorita de anfíbol de textura porfírica. D) Veta hidrotermal que controla la mineralización de crisocola en la zona, y altera la roca caja a minerales de arcilla y jarosita. (A, C y D, fotografías de Denisse de la Fuente).



### 7.1.2.5. Lugar de Interés Mina de Pedernalita (LIG05)

Ubicado en el sector norte del valle de Pedernal (Fig. 7.1), el LIG Mina de Pedernalita posee un interés petrológico. Se ubica en el borde occidental de la unidad morfoestructural de la Cordillera Principal y su origen corresponde a un proceso de alteración hidrotermal. El lugar se encuentra parcialmente íntegro, salvo por sectores de extracción de material para artesanía.

El elemento de interés principal corresponde a un afloramiento de 25 m de largo y 5 m de alto, de colores rosa, anaranjado y blanquecino producto de la alteración (Fig. 7.6. A). Los resultados de este trabajo indican que el protolito corresponde a rocas de la Formación Cerro Morado. La alta silicificación y deformación (Fig. 7.6. B y C) impiden apreciar las características principales de las rocas que definen a esta formación, pero los protolitos identificados corresponden a areniscas finas rojas y brechas volcánicas (Fig. 7.6. D y E), siendo representativas del contexto geológico local del Arco Volcánico del Cretácico Inferior. La zona de alteración se emplaza en un sector de brechas volcánicas monomíticas marrones, con clastos angulosos grises parduscos con tamaños de hasta 10 cm (Fig. 7.6. F).

La particular textura generada por la alteración ha desarrollado un interés por los habitantes del valle, denominando la roca como pedernalita. Esta roca ha sido utilizada por artesanas locales, adquiriendo una relevancia cultural y económica. La extracción de la roca como materia prima pone en riesgo la preservación del sitio, pese a que la cantidad necesaria para artesanía es baja.

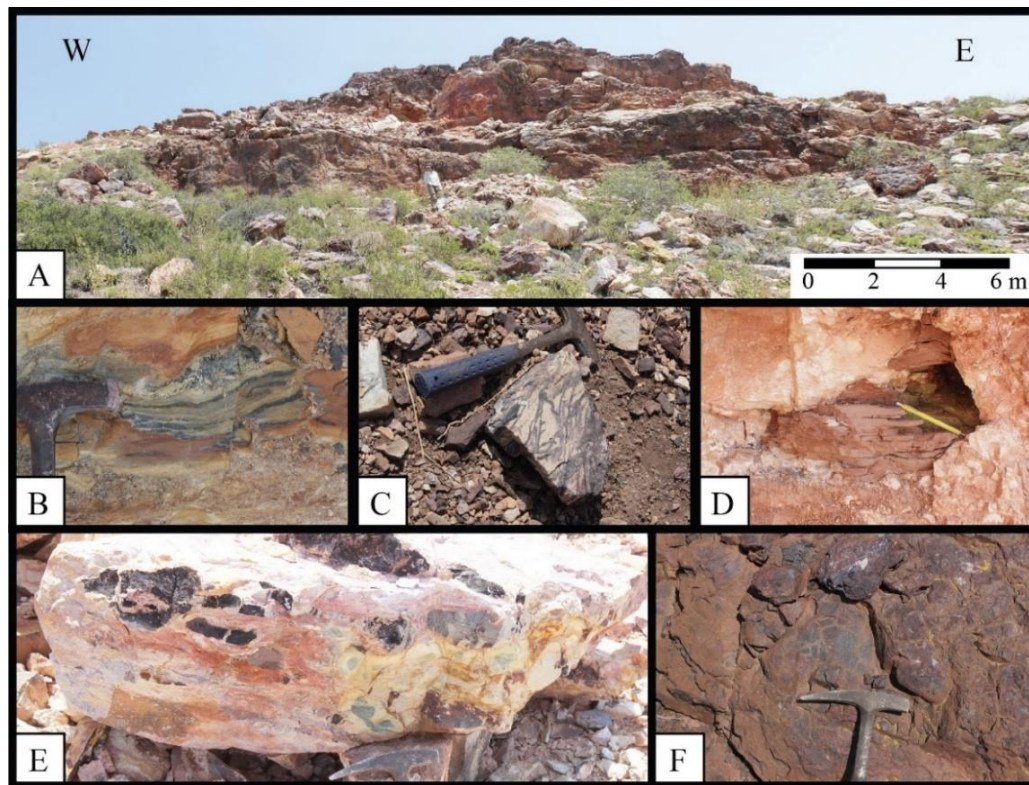


Fig. 7.6 – Afloramiento y litología del LIG Mina de Pedernalita. A) Afloramiento de la zona de alteración en el cual se encuentra la cantera de pedernalita. B y C) Texturas de alteración y deformación características que dan origen a la pedernalita. D) Protolito sedimentario del afloramiento, correspondiente a un lente de arenisca fina roja. E) Brecha volcánica silicificada, correspondiente al protolito volcánico. F) Brechas volcánicas aledañas al sector de la cantera.

#### 7.1.2.6. Lugar de Interés Brechas Volcánicas de Pedernal (LIG06)

Ubicado en la zona norte del valle de Pedernal (Fig. 7.1), el lugar de interés geológico Brechas Volcánicas de Pedernal posee un interés petrológico y vulcanológico al ser representativo de los procesos volcánicos de alta energía acontecidos durante el Cretácico Inferior. El lugar se encuentra íntegro, no posee uso actual y su acceso se debe realizar mediante senderismo.

El elemento de interés principal se ubica en la unidad morfoestructural de la Cordillera Principal, y corresponde a brechas volcánicas silicificadas de color marrón, las cuales presentan clastos angulosos de hasta 10 cm. La silicificación le ha otorgado una singular textura, similar a la de la pedernalita, pero difiere en su coloración y que la alteración no ha obliterado la roca original, permitiendo apreciar las características representativas de las rocas del sector. Estas brechas forman parte de las secuencias superiores de la Formación Cerro Morado, siendo la mejor representación conocida del contexto geológico local del Arco Volcánico del Cretácico Inferior.

El LIG carece de otros elementos de interés geológico en sus inmediaciones, pero a menos de 1 km se encuentra una secuencia de conglomerados rojos, seleccionados como el LIG07. En el sector tampoco se encuentran elementos de interés no geológicos, su estado de conservación permite apreciar la totalidad del lugar y carece de medidas de protección.

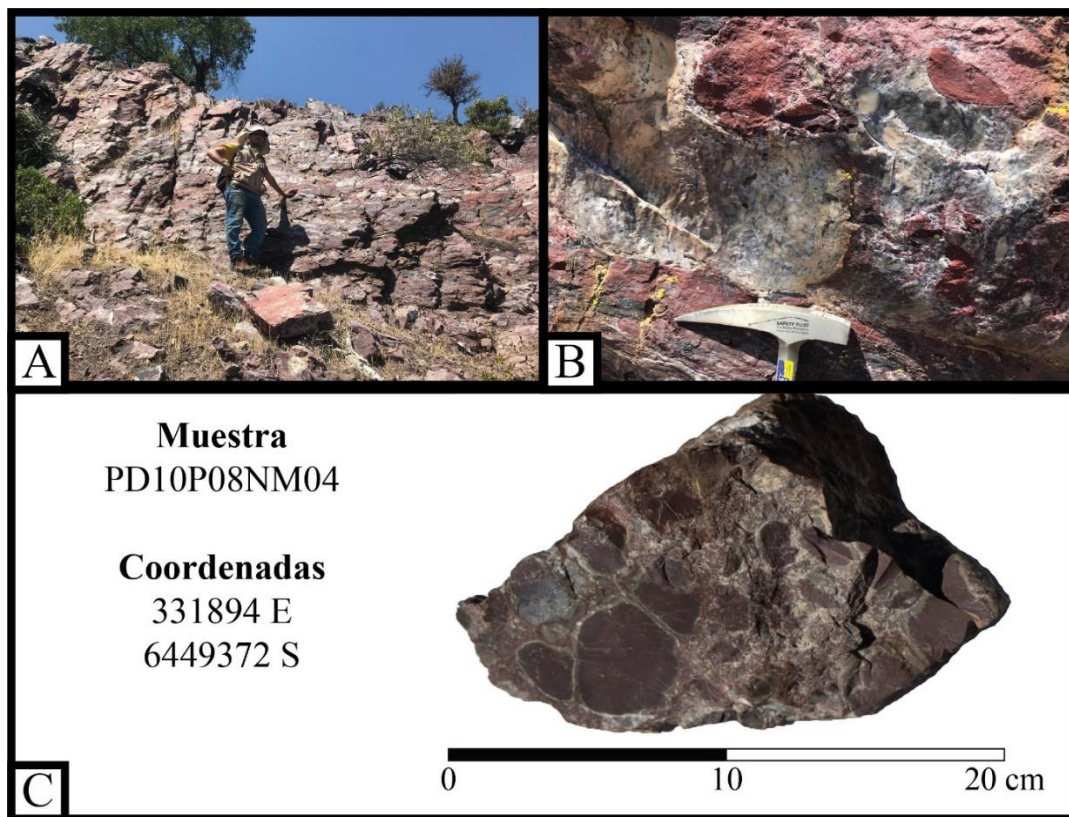


Fig. 7.7 – Afloramiento y muestra del LIG06, brechas volcánicas de Pedernal. A) Afloramiento de las brechas, el cual se encuentra bien preservado y con escasa alteración (fotografía de Vladimir Vicencio). B) Afloramiento de cerca de las brechas volcánicas, donde se aprecian zonas con mayor silicificación que le otorgan tonalidades blanquecinas y rojizas. C) Muestra del afloramiento de la imagen A, correspondiente a una brecha volcánica con clastos angulosos y monomícticos muy bien preservados.



### 7.1.2.7. Lugar de Interés Conglomerados Rojos de Pedernal (LIG07)

Ubicado en la zona norte del valle de Pedernal (Fig. 7.1), el LIG Conglomerados Rojos de Pedernal posee un interés geológico tanto sedimentológico como estratigráfico al ser representativo del nivel basal de las secuencias sedimentarias del Cretácico Inferior. El sitio carece uso actual que afecte su integridad y el acceso se debe realizar mediante senderismo.

El elemento de interés principal se emplaza en la unidad morfoestructural de la Cordillera Principal, y corresponde a conglomerados de color rojo, correlacionados en este trabajo al nivel basal de los miembros Pitipeumo – Tabón (?) de la Formación Las Chilcas. Los conglomerados se presentan polimícticos, mal seleccionados, con clastos que van desde los 7 cm a los 30 cm, en una matriz de arena fina y limo de color rojizo.

El sector carece de otros elementos de interés geológicos en sus inmediaciones, pero a menos de 1 km de distancia se encuentra el LIG06 de las brechas volcánicas de Pedernal. En las inmediaciones no existen elementos de interés no geológicos reconocidos, y los agentes de degradación naturales han alterado el lugar, dificultado la interpretación de los elementos de interés para el desarrollo de actividades didácticas.

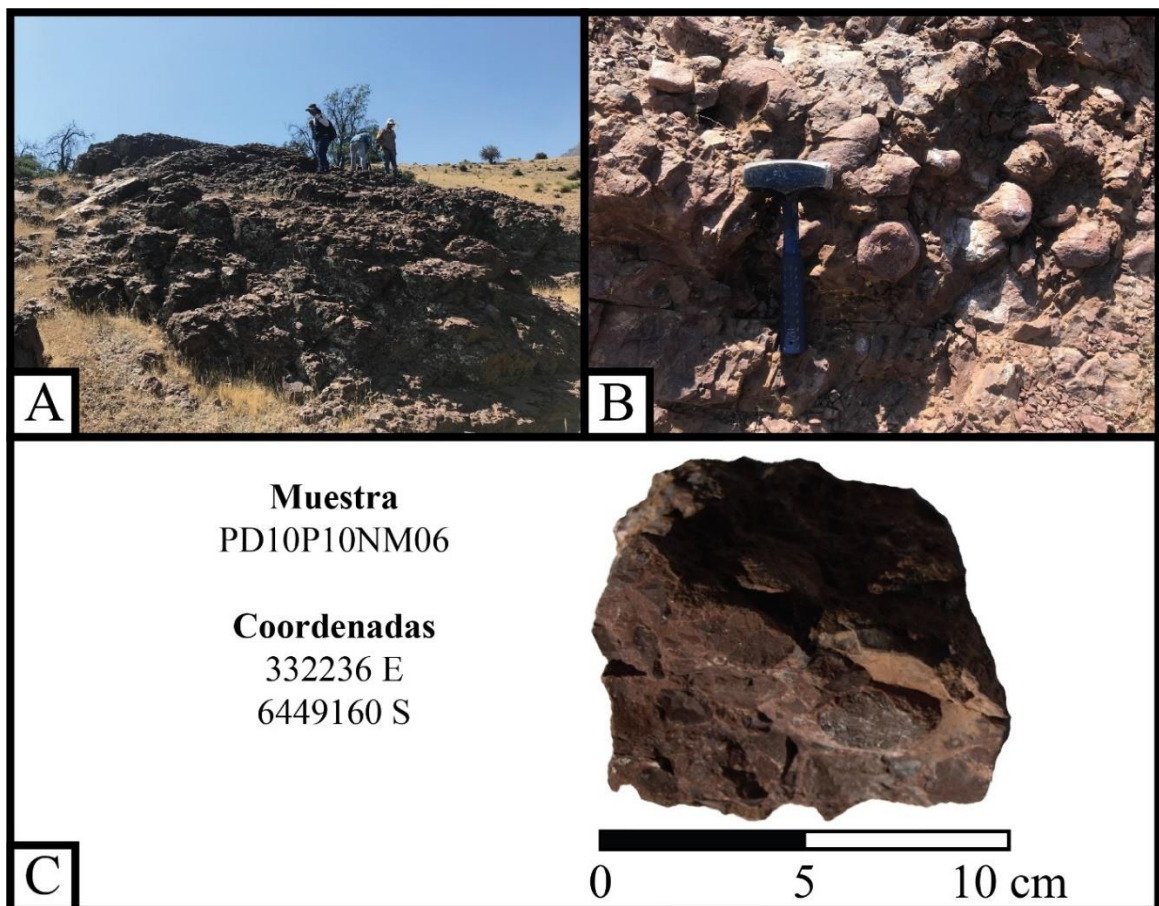


Fig. 7.8 – Afloramiento y muestra del LIG06, conglomerados rojos de Pedernal. A) Panorámica del afloramiento, el cual no posee más de 5 m de espesor (fotografía de Vladimir Vicencio). B) Conglomerados rojos donde se aprecian los tamaños de clastos redondeados. C) Muestra de los conglomerados, donde se pueden apreciar los clastos redondeados.

#### 7.1.2.8. Lugar de Interés Secuencias Sedimentarias de El Sobrante (LIG08)

Ubicado en el valle de El Sobrante (Fig. 7.1), el lugar de interés geológico Secuencias Sedimentarias de El Sobrante posee un valor geológico sedimentológico y estratigráfico, al ser representativo del contexto de las secuencias sedimentarias del Cretácico Inferior. El lugar se emplaza en la unidad morfoestructural de la Cordillera Principal, y los resultados de este trabajo indican que es una de las mejores representaciones de las variaciones de facies sedimentarias de los miembros Pitipeumo – Tabón (?) de la Formación Las Chilcas. El LIG se presenta íntegro y es el mejor sitio conocido en la zona de estudio para estudiar e interpretar procesos sedimentarios continentales.

El elemento de interés principal corresponde a un afloramiento sedimentario gris de aproximadamente 20 m de espesor. Las gradaciones exhibidas en el afloramiento se encuentran bien preservadas, permitiendo apreciar sucesivas intercalaciones de areniscas, areniscas conglomerádicas y conglomerados, evidenciando procesos sedimentarios con variaciones de energía (Fig. 7.9. A). El techo del afloramiento lo constituye la secuencia de conglomerados de mayor energía, con clastos polimícticos y redondeados de hasta 20 cm de diámetro (Fig. 7.9. B).

Asociado al elemento principal, a menos de 100 m a pie, es posible observar un nivel de toba lítica rosa, con líticos volcánicos angulosos, polimícticos y que forman estructuras de pipas de segregación. No existen elementos de interés no geológicos relevantes identificados, pero ocasionalmente aparecen zorros como elementos bióticos. El lugar se encuentra bien preservado pese a que no posee medidas de protección.

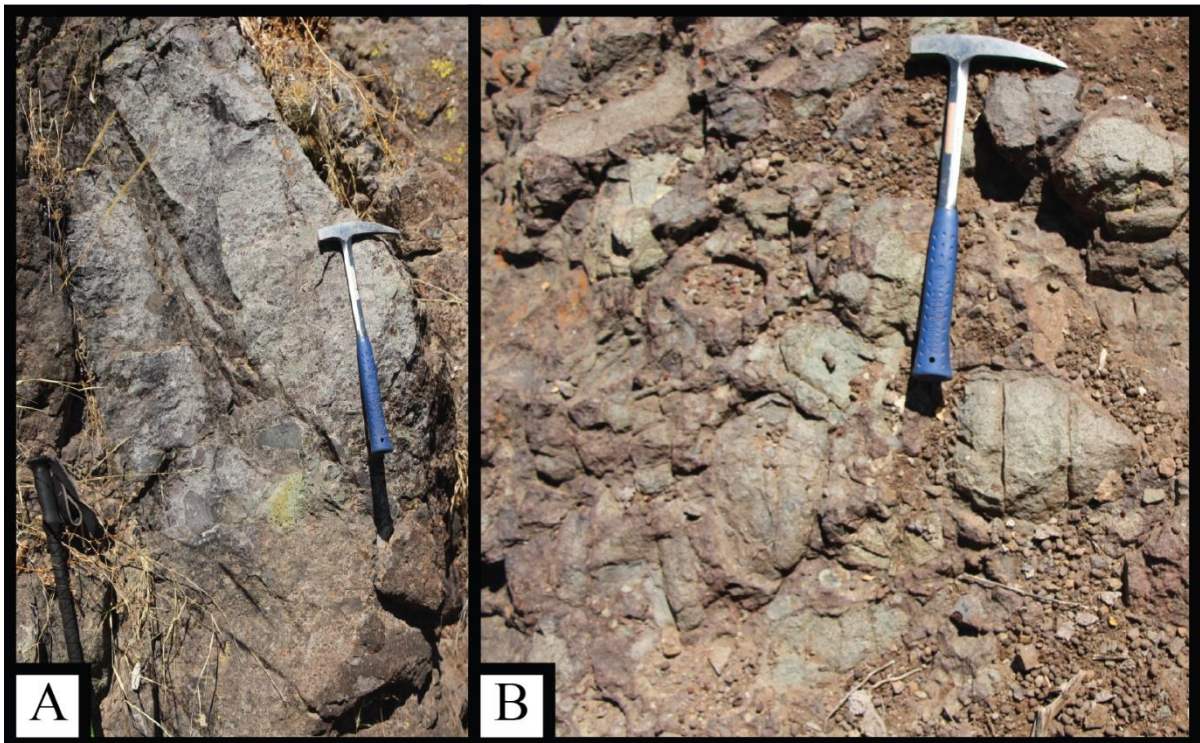


Fig. 7.9 – Afloramiento del LIG08, secuencias sedimentarias de El Sobrante. A) Variaciones granulométricas de la secuencia sedimentaria. B) Conglomerados de mayor energía, con clastos redondeados y polimícticos, y posicionados estratigráficamente en el techo de la secuencia.



### 7.1.2.9. Lugar de Interés Discordancia Angular de El Sobrante (LIG09)

Ubicado en el valle de El Sobrante (Fig. 7.1), el LIG posee un valor estratigráfico al ser la mejor representación conocida en la zona del *Hiatus* estratigráfico del Campaniano – Maastrichtiano. La discordancia se ubica en la unidad morfoestructural de la Cordillera Principal, y los resultados de este estudio indican que este elemento pone en contacto el miembro El Calvario de la Formación Las Chilcas con la Formación Lo Valle, siendo representativo del evento compresivo mayor conocido como Fase K-T o Fase Incaica I.

La baja accesibilidad al elemento y sus dimensiones han preservado de manera íntegra las características del elemento principal, permitiendo el estudio e interpretación de los procesos que dan origen a estos tipos de contactos.

Se desconoce si en las inmediaciones del lugar existen otros elementos de interés geológicos y no geológicos de relevancia, pero en la base de la ladera se encuentra el sector conocido como El Rancho, cerca del cual existen bloques de petroglifos de culturas prehispánicas.

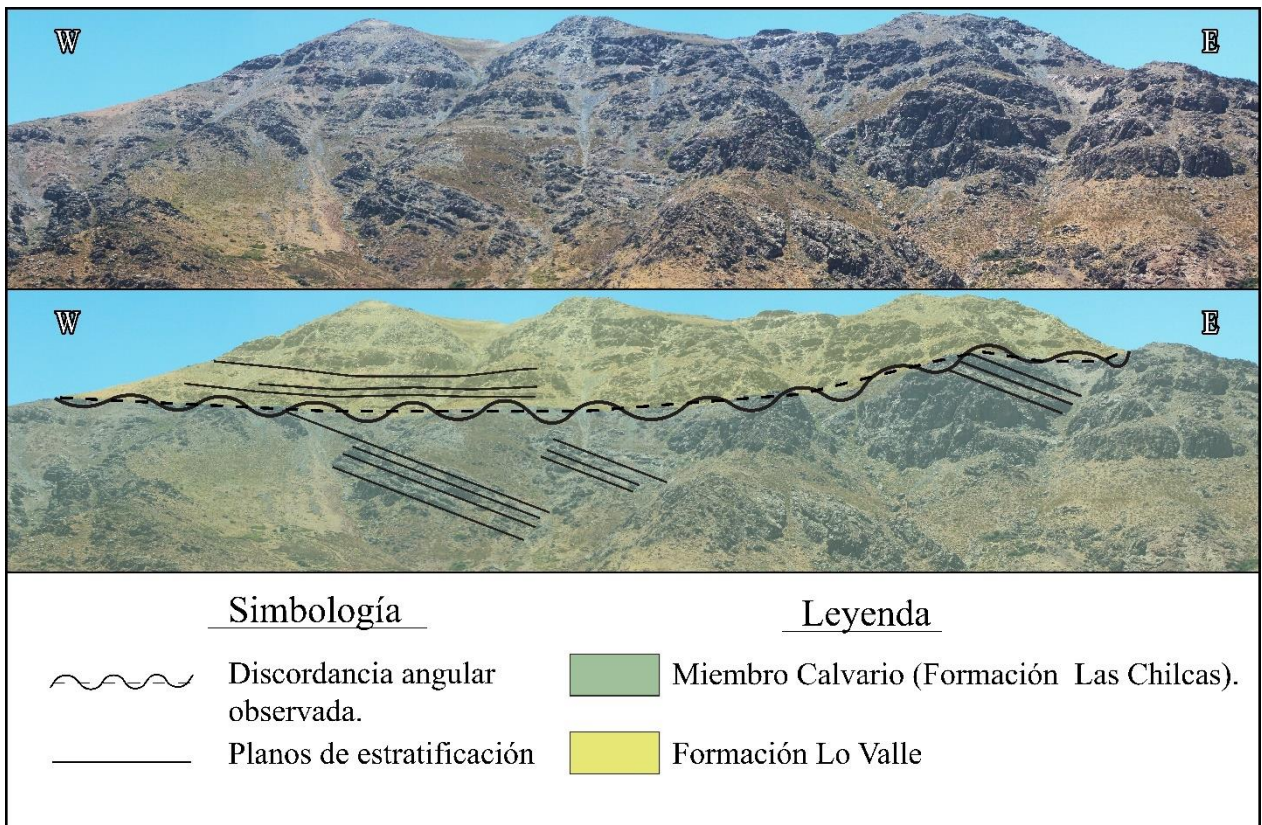


Fig. 7.10 – Discordancia angular observada desde la ladera sur del valle del Sobrante, a la altura del sector de El Rancho. La imagen superior corresponde a una panorámica con vista hacia el norte, mientras que la imagen inferior corresponde a la interpretación de las relaciones de contacto entre las formaciones Las Chilcas y Lo Valle.

#### 7.1.2.10. Lugar de Interés Laguna del Sobrante (LIG10)

Ubicado al oriente del valle de Las Cruces (Fig. 7.1), el LIG de la Laguna del Sobrante posee un valor geomorfológico e hidrogeológico, al ser el único elemento lacustre que actualmente existe en la comuna. El lugar se emplaza en la unidad morfoestructural de la Cordillera Principal y su origen es resultado del encauzamiento del río proveniente de la Quebrada Sepo, producto de una avalancha de rocas. El sitio se encuentra íntegro y es el mejor lugar conocido en la zona de estudio para comprender el origen de los sistemas lacustres generado por procesos de remociones en masa.

El elemento de interés principal corresponde a un cuerpo de agua de aproximadamente 300 m de diámetro originado por la avalancha de roca proveniente del intrusivo tonalítico aledaño (Fig. 7.11. A). Al encontrarse en un sector de alta cordillera sin intervención antrópica, el LIG posee un alto potencial científico para estudios asociados al cambio climático mediante análisis limnológicos.

Asociado al elemento de interés geológico principal, a menos de un 1 km de distancia, se encuentran la Avalancha de Roca del Intrusivo Cerro Parado y la Toba Lítica de Las Cruces, dos LIGs seleccionados y definidos en los apartados siguientes. Desde el punto de vista ecosistémico el lugar posee una gran significancia al ser el hábitat de patos (Fig. 7.11. B) y otros animales tales como los guanacos (Fig. 7.11. C).

Desde el punto de vista de la conservación, el LIG carece de medidas legales de protección, pero el restringido acceso y la inaccesibilidad en vehículo merman la masiva visita de turistas, reduciendo el impacto antrópico.

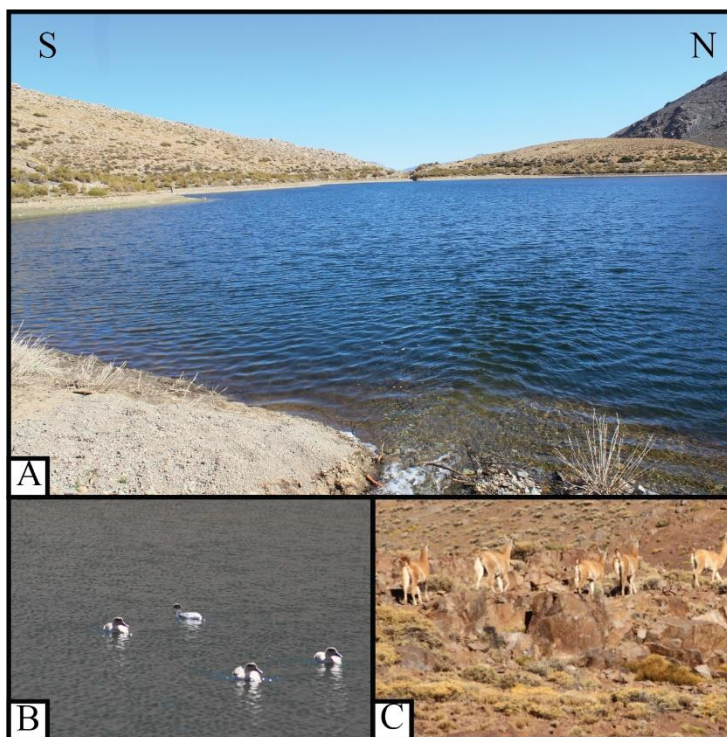


Fig. 7.11 – Elemento geológico principal y elementos de la biodiversidad asociados al LIG10, Laguna del Sobrante. A) Cuerpo de agua generado por el encauzamiento del río proveniente desde la Quebrada Sepo. B y C) Biodiversidad que habitan el LIG, patos y guanacos respectivamente.



#### 7.1.2.11. Lugar de Interés Geológico Avalancha de Roca del Intrusivo Cerro Parado (LIG11)

Ubicado al oriente del valle de Las Cruces (Fig. 7.1), el lugar de interés geológico propuesto posee un valor geomorfológico al ser la única avalancha de roca conocida en la zona de estudio. El LIG se emplaza en la unidad morfoestructural de la Cordillera Principal y es la mejor representación conocida en la comuna del contexto geológico local de las Remociones en Masa del Neógeno-Cuaternario. El lugar carece de medidas de protección, pero se encuentra íntegro y sin agentes que amenacen sus elementos de interés principales.

La avalancha de roca proviene del intrusivo tonalítico aledaño, en el cual se puede apreciar el escarpe de 500 m de altura (Fig. 7.12). Se desconoce la cantidad de eventos que dieron origen al depósito, pero conocer su proceso genético y edad es de relevancia para acotar la edad en que se originó la Laguna de El Sobrante. El depósito de la avalancha posee una superficie aproximada de 3 km<sup>2</sup> y cuenta con bloques que van aumentando en tamaño mientras más cerca del escarpe, llegando a medir más de 2-3 m de alto (Fig. 7.12). Los bloques se componen de tonalitas de hornblenda, provenientes de la Unidad Intrusiva Río Cerro Blanco, siendo elementos representativos del contexto geológico local del Magmatismo del Neógeno.

Asociado al elemento principal, se encuentra la laguna de El Sobrante, un elemento de interés geomorfológico, y la toba lítica de Las Cruces, de relevancia estratigráfica y que se define en el apartado siguiente. El sitio carece de elementos no geológicos de relevancia.

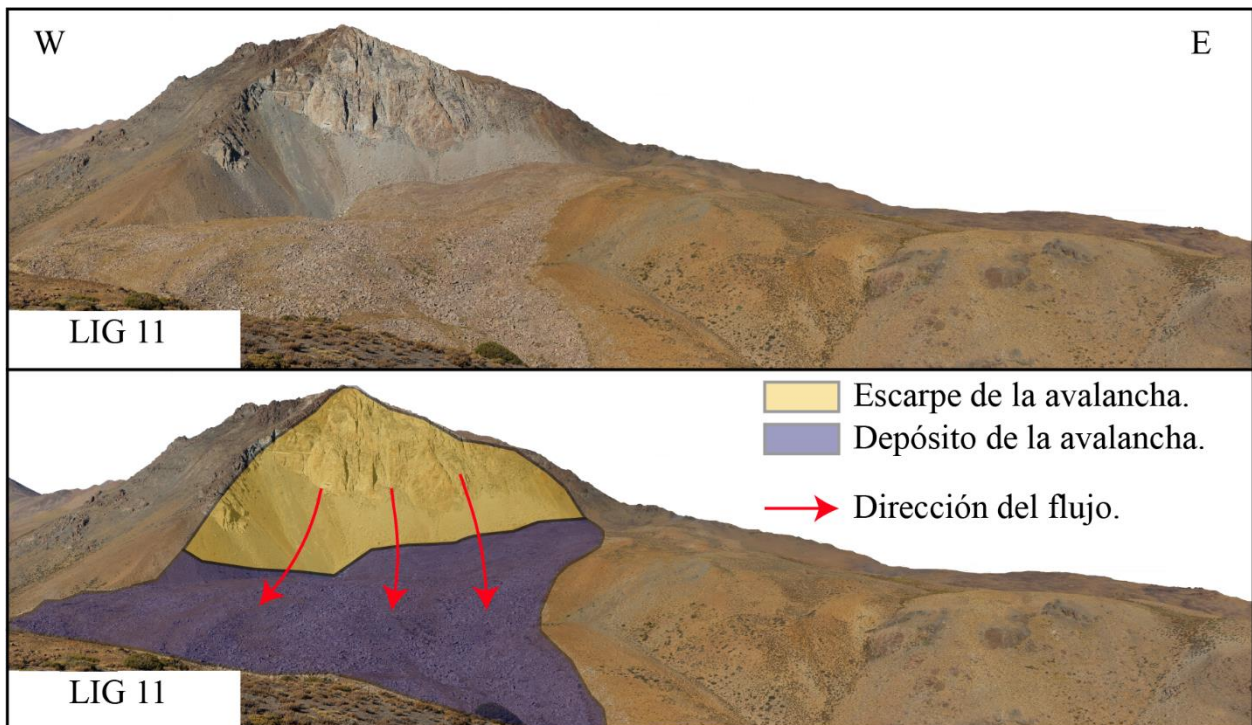


Fig. 7.12 – Panorámica del LIG11 Avalancha de Roca del Intrusivo Cerro Parado. La imagen superior corresponde a la panorámica, la cual se interpreta en la imagen inferior, destacándose el escarpe de la avalancha, el depósito de esta y su dirección de flujo.

### 7.1.2.12. Lugar de Interés Toba Lítica de Las Cruces (LIG12)

Ubicado en el sector de Las Cruces, camino a la laguna del Sobrante (Fig. 7.1), el LIG propuesto presenta un valor estratigráfico al ser un nivel guía estratigráfico que puede ser mapeado a escala 1:50.000 (Fig. 7.13. A y B). Emplazado en la unidad morfoestructural de la Cordillera Principal, la toba lítica de Las Cruces es un buen ejemplo del contexto geológico local del volcanismo acaecido durante el Cretácico Superior. El elemento de interés principal se encuentra íntegro pese a carecer de medidas de protección.

El elemento principal corresponde a uno de muchos niveles tobáceos del sector, pero difiere de los demás en su coloración blanquecina con tonos rosa (Fig. 7.13. A, B y C). Otra diferencia con las demás tobas de la zona es que este nivel tobáceo presenta líticos pumíceos, siendo así un nivel de alto valor científico potencial para determinar la edad geocronológica de la zona (Fig. 7.13. D).

Asociado al elemento de interés principal, a menos de 1 km de distancia, se encuentra la laguna del Sobrante y la avalancha de rocas, dos LIGs definidos anteriormente. El sector carece de elementos de interés no geológicos destacados, pero eventualmente se pueden observar fauna silvestre como guanacos, zorros o conejos.

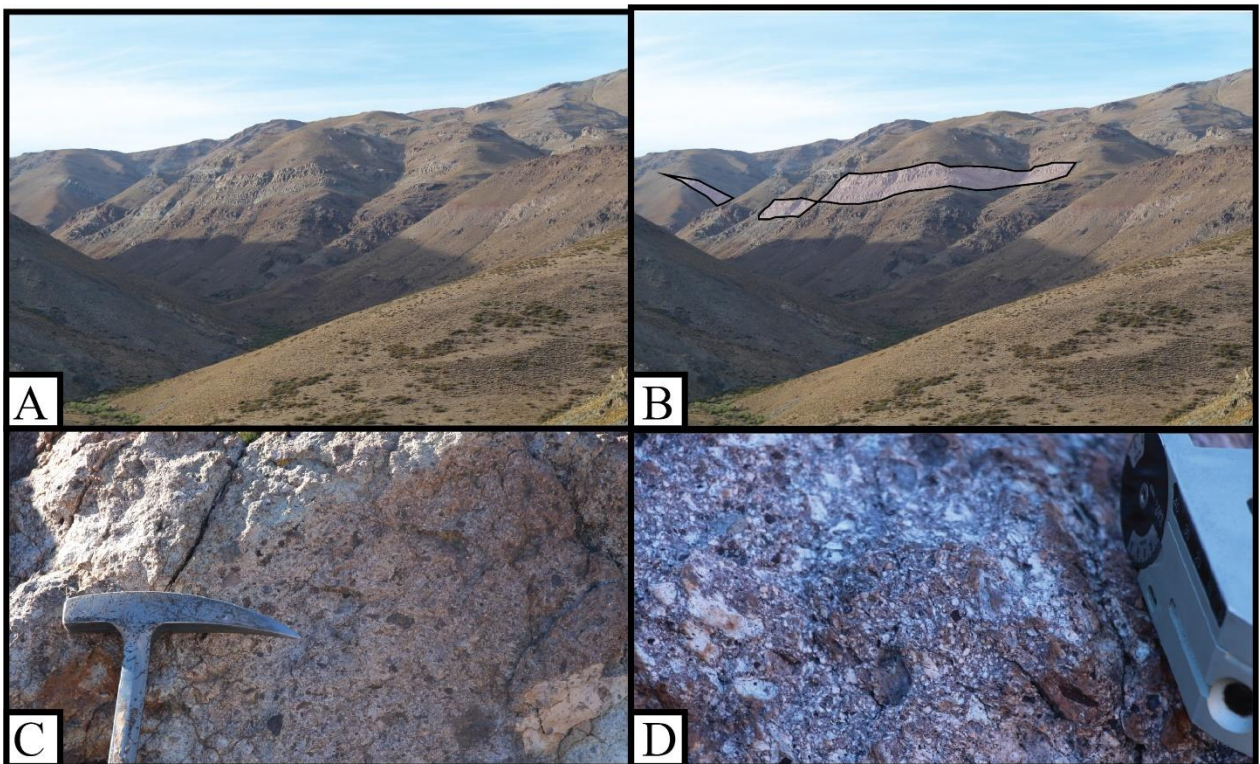


Fig. 7.13 – Elemento de interés principal del lugar de interés geológico Toba Lítica de Las Cruces. A) Panorámica del nivel guía tobáceo blanquecino, delimitado en B). C) Litología de la toba con líticos volcánicos angulosos de tonos pardos y grises. D) Detalle de los líticos pumíceos blanquecinos de la toba.



## 7.2. Valoración y Análisis Cuantitativo de los LIGs Seleccionados

### 7.2.1. Resultados cuantitativos obtenidos para los índices VC, PUT, PUE y RD

Si bien Brilha (2016) propone que los lugares de interés geológico inventariados deben ser caracterizados cualitativamente, el análisis cuantitativo de estos permite desarrollar de manera óptima y sistemática las estrategias de gestión.

La metodología de evaluación de Brilha (2016) considera 4 criterios de valoración, los cuales corresponden al Valor Científico (VC), Potencial de Uso Educativo (PUE), Potencial de Uso Turístico (PUT) y Riesgo de Degradación (RD). Mediante esta metodología, los 12 LIGs seleccionados y definidos anteriormente fueron evaluados (Tabla 7.2).

*Tabla 7.2 – Resultado de la evaluación cuantitativa del VC, PUE, PUT y RD para los 12 lugares de interés geológico seleccionados. El color rojo corresponde a las peores calificaciones, es decir, valores menores a 200 para el VC, PUE y PUT, y valores mayores a 301 para el RD. El color amarillo indica las calificaciones intermedias, es decir, entre 201 y 300 para el VC, PUE, PUT y RD. El color verde corresponde a las mejores calificaciones, es decir, mayor a 300 para el VC, PUE y PUT, y menor a 200 para el RD. El desglose de los parámetros específicos para el cálculo del VC, PUE, PUT y RD se encuentran en el apartado 11.3 de los anexos (Tabla 14.25, Tabla 14.26, Tabla 14.27 y Tabla 14.28)*

CRITERIOS DE VALORACIÓN CUANTITATIVA DE LOS LIGs	PUNTAJE PARA LOS LIGs PROPUESTOS											
	LIG 01	LIG 02	LIG 03	LIG 04	LIG 05	LIG 06	LIG 07	LIG 08	LIG 09	LIG 10	LIG 11	LIG 12
<b>VALOR CIENTÍFICO (VC)</b>	340	165	300	260	130	225	195	270	290	280	280	190
<b>POTENCIAL DE USO EDUCATIVO (PUE)</b>	260	290	300	255	170	230	230	240	240	240	220	200
<b>POTENCIAL DE USO TURÍSTICO (PUT)</b>	245	240	250	220	125	170	170	150	200	200	170	160
<b>RIESGO DE DEGRADACIÓN (RD)</b>	320	250	200	340	305	180	180	160	70	210	70	70

### 7.2.2. Análisis de los índices VC, PUT, PUE y RD para los distintos LIGs

Los resultados del análisis cuantitativo de los LIGs (Tabla 7.2) muestra que la mayoría de los sitios poseen un valor científico moderado a bajo, lo cual en general se relaciona al escaso conocimiento científico en la zona (Tabla 14.25). En el caso del PUE y PUT sucede algo similar (Tabla 7.2), donde los parámetros que más disminuyen el valor se relacionan principalmente a la accesibilidad, la baja densidad poblacional de la comuna y el no ser conocidos para el desarrollo de actividades educativas y turísticas (Tabla 14.26 y Tabla 14.27). En el caso del RD, se observa que la mayoría de los sitios de interés se encuentran con una baja vulnerabilidad (Tabla 7.2) lo que responde principalmente a la baja accesibilidad a estos y que no existen proyectos de actividades que degraden los elementos de interés (Tabla 14.28). A continuación, se analiza el lugar de interés geológico de mayor valor científico, mientras que el análisis individual de los 12 LIGs se detalla en Anexos D, apartado 4.

Los resultados del VC reflejan que el único LIG que posee un alto valor científico corresponde a los Diques de las Venas del Diablo. El alto valor de este lugar recae en su conocimiento científico, ya que es un referente en publicaciones indexadas en revistas internacionales, característica que no

existe en otros LIGs de la zona de estudio. Comparativamente, este lugar presenta la virtud de encontrarse a orillas del camino principal, adquiriendo un potencial turístico y educativo mayor al de otros LIGs. Con respecto a la especificidad requerida para entender sus conceptos, el elemento geológico principal presenta temáticas que permiten desarrollar un producto educativo e interpretativo para todo nivel, sean o no conocedores de la materia.

El RD de los Diques de las Venas del Diablo evidencia una alta vulnerabilidad debido a que proyectos de embalses hídricos por desarrollar en la zona afectan directamente la integridad de los elementos de interés principales. El alto valor científico del sitio establece un criterio de urgencia en el rápido actuar en estrategias de conservación para proteger su integridad. Dado que los elementos de interés del LIG01 se ubican en un núcleo de biodiversidad de palma chilena se propone la figura legal de Santuario de la Naturaleza, promoviendo la conservación integral del patrimonio (Tabla 14.29).

## **8. MODELO DE EVOLUCIÓN PALEOGEOGRÁFICO Y GENÉTICO DE DE LOS LIGs**

---

Los sucesivos procesos de *rifting* e inversión acontecidos desde el Cretácico Inferior en el borde occidental sudamericano, han determinado la geometría de las cuencas, las relaciones estratigráficas y las geofomas del relieve actual. Dado que los lugares de interés geológico son las mejores representaciones conocidas de aquella evolución, se hace relevante discutir acerca de la génesis de estos. De esta manera, en base a la información bibliográfica y la levantada en el presente trabajo, se presenta en los apartados siguientes el modelo de evolución paleogeográfico que contextualiza los estadios genéticos de los LIGs inventariados.

### **8.1. Cretácico Inferior (Aptiano Tardío – Albiano Temprano)**

Luego de la actividad extensional que desarrolló el arco volcánico de Lo Prado y la apertura de las cuencas extensionales de Lo Prado y Mendoza-Neuquén, se habrían depositado en el *post-rifting* las secuencias volcánicas de la Formación Cerro Morado (Boyce, 2015).

Los 3700 m de andesitas y brechas volcánicas de la Formación Cerro Morado se han interpretado como una secuencia estratigráfica que evidencia un ambiente volcánico proximal a los principales centros eruptivos (Fig. 8.1. A). La litología de esta formación ha sido ampliamente identificada en la mitad occidental de la comuna de Petorca, pero son los LIGs Dique Escalera del Diablo y Brechas Volcánicas de Pedernal (Fig. 8.1. A) los que registran de manera óptima sus características petrológicas.

Junto a los procesos volcánicos extrusivos que dieron origen a la Formación Cerro Morado, en profundidad cristalizó en 4 pulsos el Complejo Plutónico Illapel. Esta unidad intrusiva se caracteriza por sus marcadas zonaciones laterales y procesos *syn-* y *post-* plutónicos, representados por LIG Diques de las Venas del Diablo (Fig. 8.1. A).

### **8.2. Cretácico Inferior – Superior (Albiano Tardío - Cenomaniano)**

Con la disminución del ángulo de subducción en el Albiano Tardío, un cambio geodinámico habría generado un proceso de *syn*-inversión, desarrollando un relieve que facilitó la subsidencia tectónica y la depositación de sedimentos continentales de los miembros Pitipeumo-Tabón(?) de la Formación Las Chilcas (Boyce, 2015).

La estratigrafía caracterizada en este trabajo indicaría que los 400 m de secuencias predominantemente sedimentarias de los miembros Pitipeumo-Tabón(?) corresponderían a los depósitos más proximales del antepaís (Fig. 8.1. B). El LIG Conglomerados Rojos de Pedernal (Fig. 8.1. B) fue resultado de procesos sedimentarios de alta energía, posiblemente parte de los procesos aluviales descritos por Boyce (2015). Por otra parte, el LIG Secuencias Sedimentarias de El Sobrante (Fig. 8.1. B) evidencia procesos sedimentarios de menor energía, correlacionables con los procesos fluvio-aluviales interpretados por Boyce (2015).

### 8.3. Cretácico Superior (Coniaciano - Campaniano)

Desde el Coniaciano al Campaniano, el paleorelieve caracterizado por la sedimentación y erosión de los depósitos sedimentarios continentales del antepaís se habrían cubierto de secuencias volcánicas del Miembro El Calvario de la Formación Las Chilcas (Boyce, 2015).

La estratigrafía levantada en este trabajo indicaría una reactivación de la actividad volcánica de alta energía, esta vez ubicada al este del arco volcánico que se desarrolló durante el Cretácico Inferior. De esta manera, los 1500 m de brechas volcánicas y andesitas del Miembro El Calvario evidenciarían una migración del arco volcánico hacia el este (Fig. 8.1. C).

(a) Aptiano Tardío - Albiano Temprano (115? - 106? Ma)

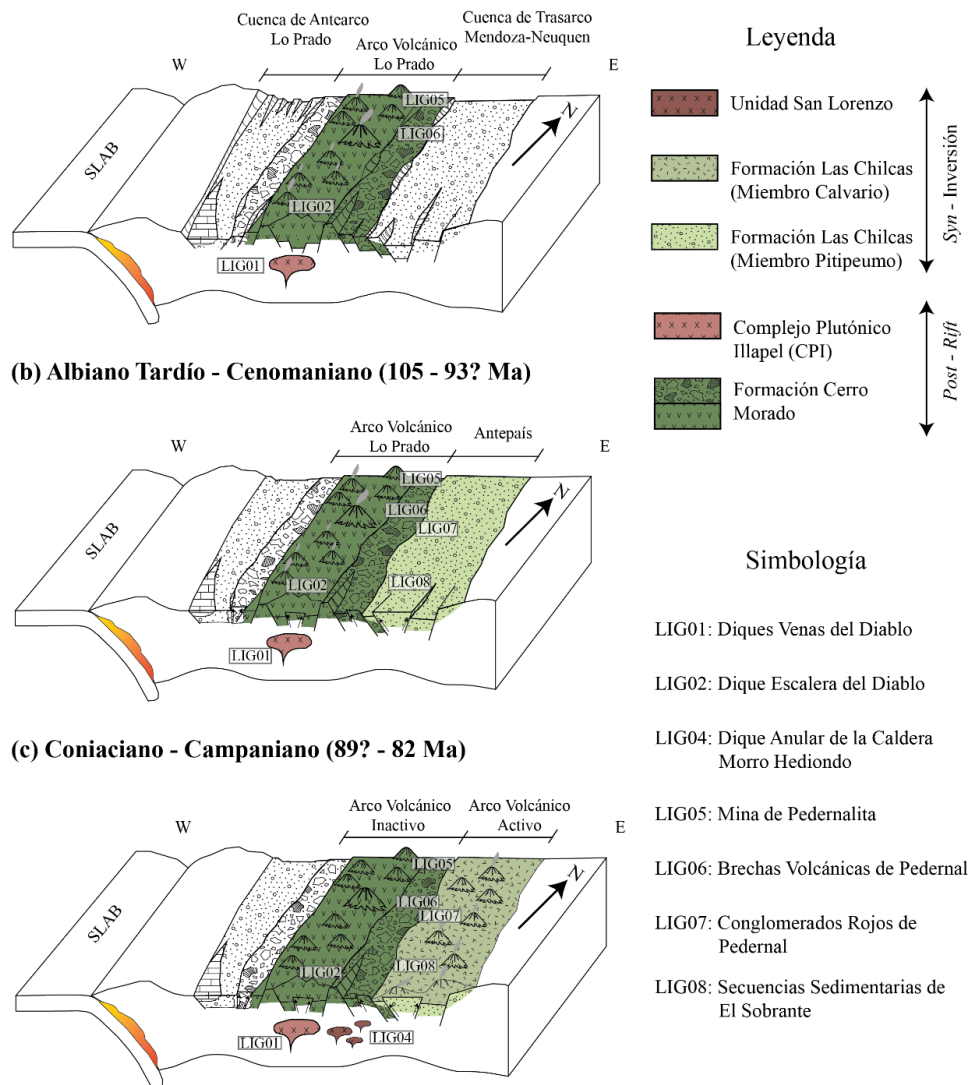


Fig. 8.1 – Modelo paleogeográfico y de evolución tectono-estratigráfica esquemático para el período comprendido entre el Aptiano Tardío y el Campaniano. En el esquema se detalla además la ubicación espacial y temporal relativa de los lugares de interés geológico seleccionados para el inventario comunal. a) Modelo paleogeográfico esquemático para el Aptiano Tardío – Albiano Temprano, donde el magmatismo del Complejo Plutónico Illapel y secuencias volcánicas de la Formación Cerro Morado se emplazaron en una cuenca de intraarco durante el post -



rift, proceso registrado por los LIGs 01, 02 05 y 06. b) Modelo paleogeográfico esquemático para el Albiano Tardío – Cenomaniano, donde comienza la *syn*-inversión y la depositación de secuencias sedimentarias de los miembros Pitipeumo-Tabón(?) de la Formación Las Chilcas, representado por los LIGs 07 y 08. c) Modelo paleogeográfico esquemático para el Coniaciano - Campaniano, donde la reactivación del volcanismo evidencia la migración hacia el este del arco volcánico.

#### **8.4. Maastrichtiano - Daniense**

El término del Cretácico se encuentra marcado por una inconformidad regional producida por un evento compresivo mayor (Fase K-T), separando los depósitos Mesozoicos de los Cenozoicos (Cornejo *et al.*, 2003; Charrier *et al.*, 2007; Jara, 2013).

Las imágenes satelitales y la estratigrafía descrita en este trabajo evidencian que la inconformidad en cuestión correspondería a una discordancia angular que pone en contacto las secuencias predominantemente volcánicas de la Formación Lo Valle por sobre las secuencias volcánicas del Miembro El Calvario de la Formación Las Chilcas, representado por el LIG 09 Discordancia Angular de El Sobrante (Fig. 8.2. A). Los 1100 m de rocas volcánicas y sedimentarias subordinadas de la Formación Lo Valle representarían el arco volcánico desarrollado sobre los depósitos del antepaís. En la zona de estudio, los potentes niveles tobáceos indicarían un ambiente volcánico distal, representado por el LIG 12 Toba Lítica de Las Cruces (Fig. 8.2. A).

#### **8.5. Eoceno Superior – Oligoceno Tardío**

A nivel regional, un hiato en el registro estratigráfico marca la división entre los depósitos del Paleoceno inferior de los depósitos del Eoceno superior, produciendo una discordancia regional entre la sub yacente Formación Lo Valle y la sobre yacente Formación Abanico.

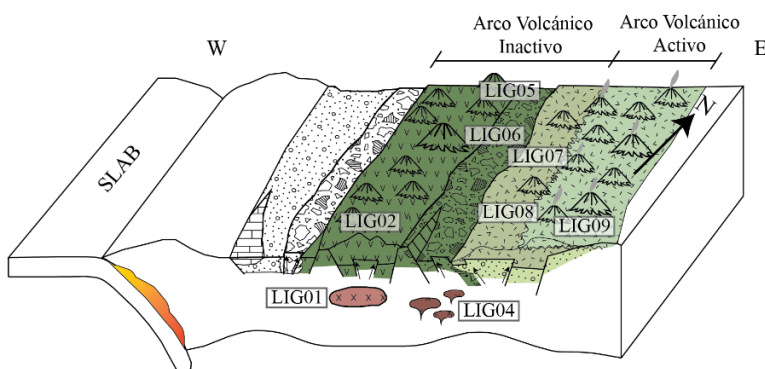
Luego del evento tectónico compresivo de la Fase Incaica Principal (o Fase Incaica II), un evento proceso extensional acaeció durante el Eoceno superior y se extendió hasta el Oligoceno Tardío – Mioceno inferior. Durante este proceso, se depositaron las secuencias volcanoclásticas de la Formación Abanico en una cuenca de intraarco ubicada al este del relieve relicto del arco volcánico Mesozoico (Fig. 8.2. B).

#### **8.6. Mioceno Temprano - Presente**

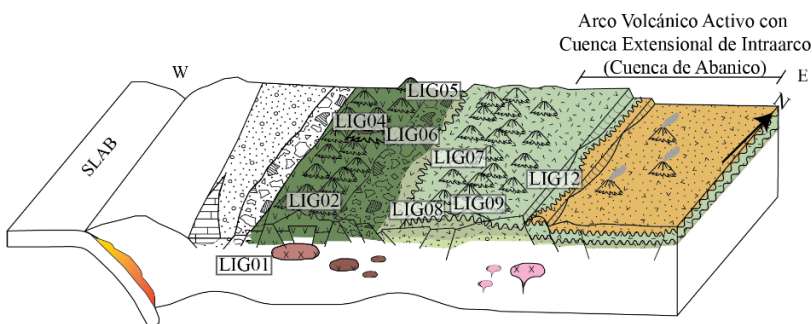
Finalmente, desde el Mioceno Temprano, el proceso *syn* – inversión generado por la subducción de la dorsal de Juan Fernández ha definido el actual relieve de la comuna de Petorca. La inversión de la cuenca de Abanico en el borde occidental evidencia la intensa actividad que se ha desarrollado en la Cordillera Principal en la posición del actual arco volcánico, y estructuras regionales como la Falla Pocuro son la clave para comprender la dinámica de este territorio (Fig. 8.2. C).

LIGs como la Quebrada de Castro, Laguna del Sobrante y Avalancha de Roca del Intrusivo Cerro Parado (Fig. 8.2. C), muestran el dinámico comportamiento de la zona de estudio, y permiten interpretar la posible actividad reciente de las estructuras mayores.

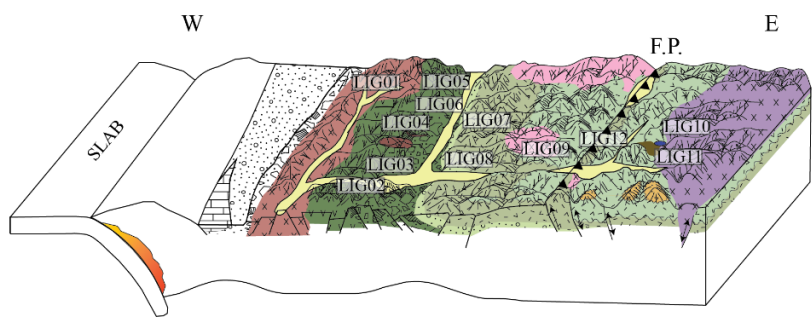
**(a) Maastrichtiano - Daniense (73 - 65 Ma)**



**(b) Eoceno Superior - Mioceno Inferior (34? - 19? Ma)**



**(c) Mioceno Inferior - Presente (19? Ma - Presente)**



**Leyenda**

- Depósitos no consolidados
- Unidad Río Cerro Blanco
- Formación Abanico
- Unidad Fredes
- Formación Lo Valle
- Unidad San Lorenzo
- Formación Las Chilcas (Miembro Calvario)
- Formación Las Chilcas (Miembro Pitipeumo)
- Complejo Plutónico Illapel
- Formación Cerro Morado

- ↑ Syn - Inversión
- ↓ Syn - Rift
- ↑ Syn - Rift?
- ↓ Post - Rift?
- ↑ Syn - Inversión
- ↓ Syn - Rift

**Simbología**

- LIG01: Diques Venas del Diablo
- LIG02: Dique Escalera del Diablo
- LIG03: Quebrada de Castro
- LIG04: Dique Anular de la Caldera Morro Hediondo
- LIG05: Mina de Pedernalita
- LIG06: Brechas Volcánicas de Pedernal
- LIG07: Conglomerados Rojos de Pedernal
- LIG08: Secuencias Sedimentarias de El Sobrante
- LIG09: Discordancia Angular de El Sobrante
- LIG10: Laguna del Sobrante
- LIG11: Avalancha de Roca del Intrusivo Cerro Parado
- LIG12: Toba Lítica de Las Cruces
- Discordancia Angular
- F.P. Falla Inversa (Falla Pucuro)

Fig. 8.2 - Modelo paleogeográfico y de evolución tectono-estratigráfica esquemático para el período comprendido entre el Maastrichtiano y el presente. En el esquema se detalla además la ubicación espacial y temporal relativa de los lugares de interés geológico seleccionados para el inventario comunal. a) Modelo paleogeográfico esquemático para el Maastrichtiano – Daniense, donde un hiatus en la secuencia estratigráfica, asociado al evento compresivo Fase K-T, puso en discordancia las rocas de la Formación Lo Valle por sobre las rocas de la Formación Las Chilcas, proceso evidenciado por el LIG 09. b) Modelo paleogeográfico esquemático para el Eoceno Superior – Mioceno Inferior, caracterizado por los procesos extensionales que permitieron la apertura de la cuenca de Abanico y la depositación de la Formación Abanico. c) Modelo paleogeográfico esquemático para el Mioceno Inferior - Presente, donde se representa la syn – inversión que, junto a los procesos erosivos, han modelado el actual relieve, cuya actividad reciente se refleja en los LIGs 03, 10 y 11.

## **9. CONCLUSIONES**

---

A continuación, se detallan las principales conclusiones del presente trabajo de título, indicándose las principales limitaciones del estudio, las conclusiones generales y las recomendaciones para profundizar la información, tanto geológica como del inventario del patrimonio geológico comunal.

### **9.1. Limitaciones del Estudio**

El estudio en terreno de la comuna de Petorca presenta una serie de limitaciones asociadas principalmente a su geografía y la accesibilidad a los predios, dificultando tanto el estudio de la geología local como la identificación y caracterización de los lugares de interés geológicos.

#### **9.1.1. Respecto a la Geología Local**

Debido a que la zona de estudio se emplaza en las unidades morfoestructurales de la Cordillera de la Costa y la Cordillera Principal, gran parte de los afloramientos se ubican en zonas de escasa accesibilidad, mermando la distribución de los puntos de control para el levantamiento geológico. Pese a aquello, la extrapolación mediante los puntos de control disponibles y el análisis de imágenes satelitales utilizando principios de teledetección, permitieron el desarrollo preciso del mapa geológico local a escala 1:100.000.

Con relación al estudio estratigráfico y petrológico de las muestras descritas en este trabajo (Anexo C, subsección 3), los tiempos destinados para una memoria de pregrado dificultan la realización de estudios más profundos tales como cortes transparentes y dataciones radiométricas.

#### **9.1.2. Respecto al Patrimonio Geológico**

Al igual que para el estudio de la geología local, la distribución de los afloramientos y su inaccesibilidad menguan la identificación de lugares de interés geológicos, lo cual se evidencia en que no fue factible inventariar LIGs para 2 de los 11 contextos geológicos locales definidos en este trabajo.

La valorización de los LIGs como insumo para el desarrollo de estrategias de gestión posee el conflicto de que a nivel nacional no existe una metodología unificada de cuantificación de criterios, razón por la cual los LIGs fueron valorizados mediante la metodología de Brilha (2016). Esta metodología posee criterios cuya asignación de puntajes requiere ciertas correcciones de ajuste que debiesen realizarse a nivel nacional.

## 9.2. Conclusiones Generales

### 9.2.1. Con respecto a la Geología Local

Las unidades geológicas estratificadas definidas en este trabajo son correlacionables, en base a las disposiciones estratigráficas y las asociaciones de facies, a las formaciones Cerro Morado, Las Chilcas, Lo Valle y Abanico, representando los diversos procesos de *syn-* y *post -rift*, además de las *syn-* y *post-* inversiones acaecidas durante el primer y segundo período del Ciclo Andino. En la zona de estudio solamente afloran los miembros Pitipeumo, Tabón y El Calvario de la Formación Las Chilcas, evidenciando la fuerte zonación lateral de esta formación al perderse el miembro Ñilhue del registro estratigráfico.

La Falla Pocuro, principal estructura regional que define el proceso de inversión de la Cuenca de Abanico, carece en la comuna de Petorca estructuras que evidencien procesos de inversión tectónica. Por otra parte, la estratigrafía levantada en este trabajo refleja que la Falla Pocuro posee un carácter inverso al alzar las secuencias del Miembro El Calvario de la Formación Las Chilcas por sobre las rocas de la Formación Lo Valle. De esta forma, es posible interpretar un desplazamiento inverso de esta falla a estas latitudes, correlacionándose con la actividad diacrónica identificada por Machuca (2017) entre los 32°30'S y los 33°S. Finalmente, la estratigrafía levantada a ambos lados de la Falla Pocuro muestra que la falla no controlaría, necesariamente, la disposición de los depósitos de la Formación Abanico, debido a que las rocas de Meso-Cenozoicas de la Formación Lo Valle afloran a ambos lados de la zona de falla, difiriendo de las interpretaciones de Jara (2013).

De esta manera, la geología identificada en la comuna de Petorca evidencia que la mayor parte de sus depósitos representan la evolución del arco volcánico del Mesozoico, el cual presentó una migración hacia el este debido a los cambios geodinámicos regionales, mientras que la actividad volcánica y magmática del Cenozoico se representa principalmente por los cuerpos intrusivos de la Unidad Fredes y la Unidad Río Cerro Blanco.

### 9.2.2. Con respecto al Patrimonio Geológico

La comuna de Petorca cuenta con 11 contextos geológicos locales reconocibles que permiten explicar la evolución geológica de la comuna desde el Cretácico Inferior hasta la actualidad, divididos en 2 ejes con el fin de comprender tanto los procesos recientes que modelan y definen la geografía actual y los procesos que definieron la paleogeografía de la zona de estudio.

Los LIGs inventariados y valorizados en este trabajo representan 9 de los 11 contextos geológicos locales definidos. Estos se caracterizan por estar ampliamente distribuidos en la comuna de Petorca, pero su mejor interpretación se consigue al estudiarlos de oeste a este, permitiendo comprender la evolución geológica del territorio.

La valorización de los LIGs evidencia que la mayoría carece de relevancia científica lo cual radica principalmente al desconocimiento científico que existe en la zona. Con respecto al potencial para



actividades educativas y turísticas, la baja accesibilidad y la escasa oferta de bienes y servicios son los principales factores que merman su gestión. Los lugares en general se presentan medianamente íntegros, con un bajo riesgo de degradación por actividad antrópica salvo por el LIG Diques de las Venas del Diablo, el cual presenta el mayor valor científico y se encuentra más amenazado por proyectos hídricos.

### **9.3. Recomendaciones**

#### **9.3.1. Con respecto al estudio de la Geología Local**

La estratigrafía desarrollada en este trabajo requiere una profundización que verifique las correlaciones entre las unidades geológicas definidas informalmente con las bibliográficas. Se recomienda realizar estudios de dataciones, para lo cual se han identificado niveles tobáceos en los miembros Pitipeumo-El Tabón (?) de la Formación Las Chilcas y en la Formación Lo Valle. Estos niveles tobáceos presentan la particularidad de concentrar líticos de pómez, por lo que se recomienda realizar cortes transparentes para determinar un conteo modal de circones y evaluar el potencial para datar las unidades mediante U-Pb en circones. Adicionalmente, se recomienda realizar estudios de proveniencia para identificar las direcciones del aporte sedimentario.

En relación con el nivel basal sedimentario de la Formación Lo Valle, se recomienda seguir investigando las facies sedimentarias para clarificar de manera más precisa el ambiente de depositación. A su vez, para verificar la extrapolación de esta formación, se propone caracterizar la estratigrafía bajo y sobre la discordancia angular identificada en el valle del Sobrante.

La Formación Abanico, interpretada remotamente en este trabajo y en base a una discordancia angular de existencia cuestionable, requiere un estudio estratigráfico detallado en el valle de Las Cruces, ya que de aquello depende la existencia de uno de los contextos geológicos locales definidos. Se recomienda complementar aquella información con análisis de proveniencia.

#### **9.3.2. Con respecto al Patrimonio Geológico y los Lugares de Interés Geológico**

Dado que en este trabajo solo 9 de los 11 contextos geológicos fueron representados, se recomienda continuar la identificación de potenciales LIGs para incluir en el inventario comunal. Para ello, se proponen como lugares a caracterizar el intrusivo gabrónico en el valle de Las Cruces para incluir el contexto local del Magmatismo del Paleógeno, mientras que para el Arco Volcánico del Paleógeno-Neógeno se recomienda un estudio de campo en los sectores correlacionados con la Formación Abanico.

Con relación al potencial de aprovechamiento del patrimonio geológico identificado, se propone utilizar los análisis cuantitativos de este trabajo como punto de partida para la gestión de los LIGs. Pese a ello, se concluye que urge desarrollar una metodología de evaluación cuantitativa que facilite la gestión; tarea que debemos abordar de manera interdisciplinaria.

## 10. BIBLIOGRAFÍA

Åberg, G.; Aguirre, L.; Levi, B.; Nyström, J. O. 1984. Spreading-subsidence and generation of ensialic marginal basins: an example from the early Cretaceous of central Chile. Geological Society, London, Special Publications, 16(1), 185-193.

Aguirre, L. 1960. Geología de los Andes de Chile Central, provincia de Aconcagua. Instituto de Investigaciones Geológicas, Boletín 9: 70 p. Santiago.

Aguirre, L.; Féraud, G.; Morata, D.; Vergara, M.; Robinson, D. 1999. Time interval between volcanism and burial metamorphism and rate of basin subsidence in a Cretaceous Andean extensional setting. Tectonophysics, 313(4), 433-447.

Anabalón, G. 2006. Impactos espaciales producidos por la proliferación de la fruticultura: comuna de Petorca, V región de Valparaíso. Memoria para optar al título de geógrafo. Departamento de Geografía. Universidad de Chile.

Andrasanu, A. 2007. Basic concepts in geoconservation. Mesozoic and Cenozoic vertebrates and Paleoenvironments-Tributes to the career of Dan Grigorescu. Ars Docendi, Bucharest, 37-41.

Beck, Jr.; M. E.; Burmester, R.; Garcia, A.; Rivano, S. 1990. Paleomagnetic results from Cretaceous rocks in the Llaillay-San Felipe-Putendo region: implications for block rotations in the Andean forearc. Andean Geology, 17(2), 115-130.

Benado, J. 2013. Patrimonio geológico del proyecto Geoparque Cajón del Maipo (Región Metropolitana - Chile). Tesis de magister, Universidade do Minho, Portugal.

Biblioteca del Congreso Nacional de Chile 2015. Biblioteca del Congreso Nacional de Chile, Reportes estadísticos comunales, v. 1, 27 p.

Boyce, D. 2015. Modelo de evolución tectónica y paleogeográfica del margen andino en Chile Central durante el Cretácico Medio-Tardío: El registro estructural y sedimentario en la Formación Las Chilcas. Tesis para optar al grado de Magister en Ciencias, Mención Geología. Departamento de Geología. Universidad de Chile.

Brilha, J. 2005. Património Geológico e Geoconservação: a conservação da natureza na sua vertente geológica. Repositorio Universidad de Minho, Campus de Gualtar, Braga.

Brilha, J. 2016. Inventory and quantitative assessment of geosites and geodiversity sites: a review. Journal of Geoheritage, 8(2): 119-134. doi. 10.1007/s12371-014-0139-3.

Brock, M.; Semeniuk, V. 2007. Geoheritage and geoconservation-history, definition, scope and scale. Journal of the Royal Society of Western Australia, 90(2): 53-87.

- Campbell, D. 2005. Termocronología del sector comprendido entre los ríos Rocín y Aconcagua: Implicancias en la evolución meso-cenozoica de la zona. Memoria de título, Departamento de Geología, Universidad de Chile: 113 p.
- Camus, F.; Boric, R.; Skewes, M. A. 1986. El distrito de oro El Bronce y su relación con la caldera Morro Hediondo, Región de Valparaíso, Chile. *Revista Geológica de Chile*, (28-29), 95-101.
- Camus, F.; Boric, R.; Skewes, M. A.; Castelli, J. C.; Reichhard, E.; Mestre, A. 1991. Geologic, structural, and fluid inclusion studies of El Bronce epithermal vein system, Petorca, central Chile. *Economic Geology*, 86(6), 1317-1345.
- Carcavilla, L. 2006. Patrimonio geológico y geodiversidad: investigación, conservación, gestión y relación con los espacios naturales protegidos. Tesis doctoral, repositorio Universidad Autónoma de Madrid, Departamento de Química Agrícola, Geología y Geoquímica.
- Carcavilla, L.; López Martínez, J.; Durán, J.J. 2007. Patrimonio geológico y geodiversidad: investigación, conservación, gestión y relación con los espacios naturales protegidos. Madrid: Instituto Geológico y Minero de España, 2007.
- Carcavilla, L.; Durán, J. J.; López-Martínez, J. 2008. Geodiversidad: concepto y relación con el patrimonio geológico. *Geo-Temas*, 10, 1299-1303.
- Carcavilla, L.; Delvene, G.; Díaz-Martínez, E.; García-Cortés, A., Lozano, G.; Rábano, I.; Vegas, J. 2012. Geodiversidad y patrimonio geológico. Instituto Geológico y Minero de España, v.1.
- Carcavilla, L. 2014. Guía práctica para entender el patrimonio geológico. *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, 22(1), 5.
- Carter, W.; Aguirre, L. 1965. Structural Geology of Aconcagua province and its relationship to the central Valley Graben, Chile. *Geological Society of America*, 76, 651-664.
- Cendrero, A. 1996. El patrimonio geológico. Ideas para su protección, conservación y utilización. MOPTMA. En: *El Patrimonio Geológico. Bases para su valoración, protección, conservación y utilización*, Ministerio de Obras Públicas, Transportes y Medio Ambiente, Madrid: 17-38.
- Cendrero, A. 2000. Patrimonio Geológico: diagnóstico, clasificación y valoración. In *Jornadas sobre Patrimonio Geológico y Desarrollo Sostenible*. Ministerio de Medio Ambiente, Madrid: 23-37.
- Charrier, R. 1973. Geología de las Provincias O'Higgins y Colchagua. Instituto de Investigación de Recursos Naturales (IREN), Publicación 7: 69 p. Santiago.
- Charrier, R. 1984. Áreas subsidentes en el borde occidental de la cuenca tras-arco jurásico-cretácica. Cordillera Principal Chilena entre 34° y 34°30'S. In *Congreso Geológico Argentino*, No. 9, Actas 2: 107-124. Buenos Aires.

Charrier, R.; Pinto, L.; Rodríguez, M. P. 2007. Tectonostratigraphic evolution of the Andean Orogen in Chile. In *The Geology of Chile*. Chapter 3 (Moreno, T.; Gibbons, W.; editors). The Geological Society, Special Publication: 21-116. London.

Corvalán, J.; Vergara, M. 2010. Presencia de fósiles marinos en las calizas de Polpaico. Implicaciones paleoecológicas y paleogeográficas. *Andean Geology*, (10).

Díaz-Martínez, E.; Guillén, F.; Mata, J. M.; Muñoz, P.; Nieto, L. N.; Pérez, L.; Santisteban, C. 2008. New Spanish legislation for the protection of nature and for rural development: implications for the conservation and management of geological heritage and geodiversity. *Geo-Temas*, 10, 1311-1314.

Del Ramo, A.; Guillén, F.; Faz, A. 2004. Difusión del patrimonio geológico en la sociedad: aplicación al municipio de Molina de Segura (Murcia). *El Patrimonio Geológico: Cultura, Turismo y Medio Ambiente*. Universidad de Murcia, Murcia, España, 155-162.

Drake, R. E.; Curtis, G.; Vergara, M. 1976. Potassium-argon dating of igneous activity in the central Chilean Andes—Latitude 33 S. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 1(3), 285-295.

Durán, J. J.; Carcavilla, L.; López-Martínez, J. 2005. Patrimonio geológico: una panorámica de los últimos 30 años en España. *Boletín de la Real Sociedad Española de Historia Natural. Sección Geológica*, 100(1-4), 277-287.

Elízaga, E.; Palacio, J. 1996. Valoración de puntos y/o lugares de interés geológico. En: *El Patrimonio Geológico. Bases para su valoración, protección, conservación y utilización*. Ministerio de Obras Públicas, Transportes y Medio Ambiente, Madrid: 61-79.

Estay, J. En preparación. Tectónica activa en el borde occidental de la Cordillera Principal de Chile Central (29° -36°S). Tesis para optar al título de Magister en Geología. Departamento de Geología, Universidad de Chile.

Fernández, J. 2007. Identificación y evaluación de Geositios en el Parque Nacional Torres del Paine. Memoria para optar al Título de Geólogo, Universidad de Chile, Departamento de Geología, 72.

Fock, A.; Charrier, R.; Farías, M.; Muñoz, M. 2006a. 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, Publicación Especial 6*: 48-55.

Fock, A.; Charrier, R.; Makshev, V.; Farías, M.; Álvarez, P. 2006b. Evolución cenozoica de los Andes de Chile Central (33°-34°S). In *Congreso Geológico Chileno, No. 11, Actas 2*: 205-208. Antofagasta.



- Fuentes, F.; Féraud, G.; Aguirre, L.; Morata, D. 2005. 40 Ar/39 Ar dating of volcanism and subsequent very low-grade metamorphism in a subsiding basin: example of the Cretaceous lava series from central Chile. *Chemical Geology*, 214(1), 157-177.
- Gana, P.; Wall, R. 1997. Evidencias geocronológicas 40Ar/39Ar y K-Ar de un hiatus cretácico superior-eoceno en Chile central (33-33° 30'S). *Andean Geology*, 24(2), 145-163.
- Godoy, E. 1982. Geología del área de Montenegro, Cuesta de Chacabuco, Región Metropolitana. El problema de la Formación Lo Valle. *Congr. Geol. Chileno*, (3), A124-146.
- Godoy, E.; Loske, W. 1988. Tectonismo sinplutónico de dioritas jurásicas al sur de Valparaíso: datos U-Pb sobre la 'Fase Quintay'. *Andean Geology*, 15(2), 119-127.
- Godoy, E. 1991. El Corrimiento del Fierro reemplaza a la discordancia intrasenoniana en el río Cachapoal, Chile central. In *Congreso Geológico Chileno* (No. 6, pp. 635-639).
- Godoy, E.; Lara, L. 1994. Segmentación estructural andina a los 33-34: nuevos datos en la Cordillera Principal. In *Congreso Geológico Chileno* (No. 7, pp. 1344-1348).
- Gray, M. 2004. Geodiversity: Valuing and conserving Abiotic Nature. En: Brilha, J. B. 2005. Património geológico e geoconservação: a conservação da natureza na sua vertente geológica. 33 pp.
- Henriques, M. H.; Dos Reis, R.; Brilha, J.; Mota, T. 2011. Geoconservation as an emerging geoscience. *Geoheritage*, 3(2), 117-128.
- Henriques, M. H.; Brilha, J. 2017. UNESCO Global Geoparks: a strategy towards global understanding and sustainability. *IUGS*, 40(4), 349-355. DOI: 10.18814/epiugs/2017/v40i4/017036
- Hidalgo, C. 2011. Aproximación a la Dirección de Flujo Magmático y Variaciones Composicionales, Mineralógicas y Texturales de Diques Máficos del Complejo Plutónico Illapel. Memoria de Título. Departamento de Geología, Universidad de Chile.
- Jara, P. 2013. Tectónica Meso-Cenozoica en la Cordillera Principal de Chile Central entre 32 y 33 S. Análisis a partir de nuevos antecedentes de campo y modelamiento analógico (Doctoral dissertation, Ph. D. Thesis (Unpublished), Departamento de Geología, Universidad de Chile: 277 p.[Links]).
- Jara, P.; Charrier, R. 2014. Nuevos antecedentes estratigráficos y geocronológicos para el Meso-Cenozoico de la Cordillera Principal de Chile entre 32 y 32 30'S: Implicancias estructurales y paleogeográficas. *Andean geology*, 41(1), 174-209.
- Kay, S. M.; Mpodozis, C. 2002. Magmatism as a probe to the Neogene shallowing of the Nazca plate beneath the modern Chilean flat-slab. *Journal of South American Earth Sciences*, 15(1), 39-57.
- Kent, D.; Gradstein, F. 1985. A Cretaceous and Jurassic geochronology. *Geological Society of America Bulletin*, 96(11), 1419-1427.

Klohn, C. 1960. Geología de la Cordillera de los Andes de Chile Central, Provincia de Santiago, Colchagua y Curicó. Instituto de Investigaciones Geológicas, Boletín 8: 95 p. Santiago.

Knepper, D. 2010. Distribution of Potential Hydrothermally Altered Rocks in Central Colorado Derived From Landsat Thematic Mapper Data: A Geographic Information System Data Set. U.S. Geological Survey, (2010-1076), doi: 10.3133/ofr20101076

Kojima, S. 1999. Some Aspects Regarding the Tectonic Setting of High- and Low-sulfidation Epithermal Gold Deposits of Chile. *Resource Geology*, 49 (3): 175-181. doi: 10.1111/j.1751-3928.1999.tb00044.x

Kozłowski, S. 2004. Geodiversity. The concept and scope of geodiversity. *Przeład Geologiczny*, v. 52, 8(2), 833-837.

Levi, B.; Aguirre, L. 1981. Ensisalic spreading-subsidence in the Mesozoic and Palaeogene Andes of central Chile. *Journal of the Geological Society*, 138(1), 75-81.

Levi, B., Nystrom, J. O., Thiele, R.; Aberg, G. (1988). Facies de alteración regional en las secuencias volcánicas mesozoicas y cenozoicas de Chile central. *Revista Geológica de Chile*, 15(1), 83-88.

Machuca, C. 2017. Estratigrafía y estructuras de la Zona de Falla Pocuro entre los 32°30' y los 33°S. Memoria para optar al título de geólogo. Departamento de Geología. Universidad de Chile

Martínez-Pardo, R.; Gallego, A.; Martínez-Guzmán, R. (1994). Middle Albian marine planktonic microfossils from the Santiago basin, central Chile: their depositional and paleogeographic meaning. *Andean Geology*, 21(2), 173-187.

Martínez, P. (2010). Identificación, Caracterización y Cuantificación de Geositos, para la Creación del I Geoparque en Chile, en Torno al Parque Nacional Conguillío. Memoria para optar al Título de Geólogo, Universidad de Chile, Chile.

Martínez, T. (2017). Nuevas perspectivas para el desarrollo regional: valoración de la geodiversidad entre los 41° - 41°30'S. Memoria para optar al Título de Geólogo, Universidad de Chile, Chile.

Morata, D.; Féraud, G.; Schärer, U.; Aguirre, L.; Belmar, M.; Cosca, M. (2006). A new geochronological framework for Lower Cretaceous magmatism in the Coastal Range of central Chile. In *Congreso Geológico Chileno* (No. 11, p. 2).

Morata, D.; Varas, M.; Higgins, M.; Valencia, V.; Verhoort, J. (2010). Episodic emplacement of the Illapel Plutonic Complex (Coastal Cordillera, central Chile): Sr and Nd isotopic, and zircon U-Pb geochronological constraints. In *VII SSAGI South American Symposium on Isotope Geology*, Brasília.

- Moscoso, R.; Padilla, H.; Rivano, S. 1982. Hoja Los Andes, Región de Valparaíso. Servicio Nacional de Geología y Minería, Carta Geológica de Chile (52) 67 p.
- Mourgues, F. A.; Schilling, M.; Castro, C. 2012. Propuesta de definición de los Contextos Geológicos Chilenos para la caracterización del patrimonio geológico nacional. Resumen XIII Congreso Geol. Chileno, Antofagasta: 890-892.
- Mpodozis, C.; Ramos, V. 1989. The Andes of Chile and Argentina. In *Geology of the Andes and its Relation to Hydrocarbon and Mineral Resources* (Ericksen, G., Cañas-Pinochet, M., Reinemund, J., editors). Earth Sciences Series, Circum-Pacific Council for Energy and Mineral Resources (11), 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, 3-21.
- Muñoz, M.; Núñez, H.; Yáñez, J. 1996. Libro rojo de los sitios prioritarios para la conservación de la diversidad biológica en Chile. Santiago, Chile. Ministerio de Agricultura, Corporación Nacional Forestal. *BOSQUE*, 37(3), pp. 501-507. DOI: 10.4067/S0717-92002016000300007
- Mwaniki, M.; Matthias, M.; Schellmann, G. 2015. Application of remote sensing technologies to map the structural geology of central Region of Kenya. *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, 8(4), 1855-1867. Doi: 10.1109/JSTARS.2015.2395094
- Nasi, C. 1981. Estratigrafía del Jurásico y Cretácico de la Cordillera de la Costa al sureste de Melipilla (Chile Central). Memoria de título (inédito), Universidad de Chile, Departamento de Geología.
- Nasi, C.; Thiele, R. 1982. Estratigrafía del Jurásico y Cretácico de la Cordillera de la Costa, al sur del Río Maipo, entre Melipilla y Laguna de Aculeo (Chile Central). *Revista Geológica de Chile*, No.15, 81-99.
- Nieto, L. M. 2001. Geodiversidad: propuesta de una definición integradora. *Boletín Geológico y Minero*, 112(2), 3-11.
- Nyström, J.O.; Vergara, M.; Morata, D.; Levi, B. 2003. Tertiary volcanism during extension in the Andean foothills of central Chile (33°15'-33°45'S). *Geological Society of America, Bulletin* 115 (12): 1523-1537.
- Parada, M. A.; Rivano, S.; Sepúlveda, P.; Hervé, M.; Hervé, F.; Puig, A.; Munizaga, F.; Brook, M.; Pankhurst, R.; Snelling, N. 1988. Mesozoic and Cenozoic plutonic development in the Andes of central Chile (30°30'-32°30' S). *Journal of South American Earth Sciences*, 1(3), 249-260.

Parada, M. A.; Nyström, J. O.; Levi, B. 1999. Multiple sources for the Coastal Batholith of central Chile (31–34 S): geochemical and Sr–Nd isotopic evidence and tectonic implications. *Lithos*, 46(3), 505-521.

Parada, M. A.; Féraud, G.; Fuentes, F.; Aguirre, L.; Morata, D.; Larrondo, P. 2005. Ages and cooling history of the Early Cretaceous Caleu pluton: testimony of a switch from a rifted to a compressional continental margin in central Chile. *Journal of the Geological Society*, 162(2), 273-287.

Parada, M. A.; Roperch, P.; Guiresse, C.; Ramírez, E. 2005. Magnetic fabrics and compositional evidence for the construction of the Caleu pluton by multiple injections, Coastal Range of central Chile. *Tectonophysics*, 399(1), 399-420.

Partarrieu, D. 2013. Inventario de geositios en la comuna de Lonquimay, para la creación del Geoparque Kütralkura, IX Región de la Araucanía. Memoria para optar al Título de Geólogo, Universidad de Chile, Chile.

Pérez, C., Muñoz, A. 2006. Teledetección: nociones y aplicaciones. Universidad de Salamanca, 1(1), p. 359, ISBN 8461116135, 9788461116133.

Piracés, R. 1976. Geología de la Cordillera de la Costa entre Catapilco y Limache, Región de Aconcagua. Memoria de Titulo (Inédito). Universidad de Chile, Departamento de Geología.

Rauld, R.; Vargas, G.; Armijo, R.; Ormeño, A., Valderas, C.; Campos, J. 2006. Cuantificación de escarpes de falla y deformación reciente en el frente cordillerano de Santiago. In Congreso Geológico Chileno (No. 11, pp. 447-450).

Rauld, R. A. 2011. Deformación cortical y peligro sísmico asociado a la falla San Ramón en el frente cordillerano de Santiago, Chile Central (33 S).

Rivano, S.; Sepúlveda, P.; Herve, M.; Puig, A. 1985. Cronología K-Ar de las rocas intrusivas entre los 31–32 S, Chile. *Rev. Geol. Chile*, 63-74.

Rivano, S.; Sepúlveda, P. 1986. Mapa de la Hoja Illapel, Región de Coquimbo. Servicio Nacional de Geología y Minería, Carta Geológica de Chile, (69), 1.

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* 17 (2): 205-214.

Rivano, S.; Sepúlveda, P. 1991. Hoja Illapel, Región de Coquimbo. Servicio Nacional de Geología y Minería. Carta Geológica de Chile, No. 69 (escala 1:250.000). Santiago.

Rivano, S.; Sepúlveda, P.; Boric, R.; Espiñeira, D. (1993). Hojas Quillota y Portillo, V Región. Servicio Nacional de Geología y Minería. Carta Geológica de Chile, 73(1).



Rivano, S. 1996. Geología de la Hojas Quillota y Portillo. 1: 250.000. Servicio Nacional de Geología y Minería. 191 p.

Rojas, J. 2005. Los desafíos del estudio de la geodiversidad. *Revista Geográfica Venezolana*, 46(1), 143-152.

Selles, D., Hinojosa, L. F. 1997. Niveles sedimentarios y paleofloras del Oligoceno superior-Mioceno inferior en la Formación Abanico, noreste de Santiago. In Congreso Geológico Chileno (No. 8, pp. 580-584).

Serrano, E.; Ruíz-Flaño, P. 2007. Geodiversidad: concepto, evaluación y aplicación territorial: el caso de Tiernes Caracena (Soria). *Boletín de la asociación de geógrafos españoles*, (45), 79-98.

Servicio Nacional de Geología y Minería. 2012. Atlas de Faenas Mineras, Regiones de Valparaíso, del Libertador General Bernardo O'Higgins y Metropolitana de Santiago (Versión Actualizada). Servicio Nacional de Geología y Minería, Mapas y Estadísticas de Faenas Mineras de Chile, v. 9: 177 p.

Sharples, C. 1995a. Geoconservation in forest management principles and procedures. *TASFORESTS-HOBART*, 7, 37-50.

Sharples, C. 2002. Concepts and principles of geoconservation. *Tasmanian Parks & Wildlife Service, Hobart*, v. 3.

Skewes, M. A.; Camus, F. 1986. Inclusiones fluidas y mecanismos de precipitación de metales preciosos en el yacimiento epitermal El Bronce de Petorca, Chile. *Revista Geológica de Chile*, v. 15, no. 1: 31-39. doi: 10.5027/andgeoV15n1-a03.

Thiele, R. 1980. Hoja Santiago, Región Metropolitana. Servicio Nacional de Geología y Minería, *Carta Geológica de Chile* (29) 21 p.

Thomas, H. 2015. Geología de la Cordillera de la Costa entre el Valle de La Ligua y la Cuesta Barriga. Instituto de Investigaciones Geológicas, *Boletín No. 2*, 86 p. Santiago.

Troncoso, M.; Pinto, L.; Vargas, G. 2012. Geomorfología de un posible escarpe cuaternario en la Zona de Falla Pocuro al sureste de la ciudad de Los Andes, Región de Valparaíso. In Congreso Geológico Chileno (No. 13, pp. 308-310).

Varas, M. I.; Morata, D.; Arriagada, C.; Ferrando, R.; Higgins, M. 2009. Distribución y características morfológicas de los enclaves máficos del borde sur del Complejo Plutónico Illapel (CPI). In Congreso Geológico Chileno (No. 12).

Varas, M. I. 2011. Naturaleza, distribución espacial e implicaciones Petrogenéticas de los enclaves máficos microgranulares del complejo plutónico Illapel, cordillera de la costa, Chile central. Tesis de Magister en Ciencias, Mención Geología. Departamento de Geología, Universidad de Chile.

Vargas, G., Rebolledo, S. 2012. Paleosismología de la Falla San Ramón e implicancias para el peligro sísmico de Santiago. In Congreso Geológico Chileno (No. 13, pp. 851-853).

Vergara, M.; Charrier, R.; Munizaga, F.; Rivano, S.; Sepúlveda, P.; Thiele, R.; Drake, R. 1988. Miocene volcanism in the central Chilean Andes (31 30' S–34 35' S). *Journal of South American Earth Sciences*, 1(2), 199-209.

Vergara, M.; Levi, B.; Nyström, J. O.; Cancino, A. 1995. Jurassic and Early Cretaceous island arc volcanism, extension, and subsidence in the Coast Range of central Chile. *Geological Society of America Bulletin*, 107(12), 1427-1440.

Vicencio, V.; De la Fuente, D.; Martínez, T.; Bergoeing, J.P.; Bravo, C.; Pérez, R.; Quezada, S.; Stefani, E.; Plaza, S.; Rybertt, J., Bassi, M.; Pérez, F.; Gallardo, M.; Vivanco, S.; Iriarte, C. (inédito). Inventario de geodiversidad de la comuna de Petorca. Primera etapa del Proyecto Geoparque del Valle de Petorca, Exploración de la Geodiversidad de la Comuna de Petorca.

Vicuna Mackena, B. 1881. La edad del oro en Chile. *Catálogo Biblioteca Nacional de Chile*, v.1, no. 1: 489 p.

Vivanco, S. En preparación. Arte Rupestre en el Valle de Petorca: flujos de información visual en la zona centro-norte durante los períodos Intermedio Tardío y Tardío. Chile, Región de Valparaíso. Memoria para optar al grado de Licenciado en Antropología con mención en Arqueología. Departamento de Antropología, Universidad de Chile.

Wall, R.; Gana, P.; Gutiérrez, P. 1996. Mapa geológico del área de San Antonio-Melipilla, Regiones de Valparaíso, Metropolitana y del Libertador General Bernardo O'Higgins. Servicio Nacional de Geología y Minería, Mapas Geológicos, No. 11 (escala 1:100.000). Santiago.

Wall, R.; Sellés, D.; Gana, P. 1999. Mapa Geológico del Área Til-Til-Santiago. Servicio Nacional de Geología y Minería, Mapas Geológicos No. 11, 17 p.

Wilson, N. S. F.; Zentilli, M.; Reynolds, P. H.; Boric, R. 2003. Age of mineralization by basinal fluids at the El Soldado manto-type copper deposit, Chile: 40 Ar/39 Ar geochronology of K-feldspar. *Chemical Geology*, 197(1), 161-176.

Wimbledon, W. A.; Ishchenko, A.; Gerasimenko, N.; Karis, L.; Suominen, V.; Johansson, C.; Freden, C. 2000a. Geosites- an IUGS initiative: science supported by conservation. In: Barrettino, D., Wimbledon, W.A.P., Gallego, E. (eds). *Geological Heritage: Its Conservation and Management*. ITGE, Madrid, 73, 69-94.

Wyss, A.R., Flynn, J.J., Norell, M.A., Swisher, C.C. III, Novacek, M.J. McKenna, M.C., Charrier, R. 1994. Paleogene Mammals from the Andes of Central Chile: A preliminary taxonomic, biostratigraphic and geochronologic assessment. American Museum Novitates, No. 3098, 31 p.

Youlton, C.; Hormazabal, C.; Schiappacasse, I.; Contreras, P.; Poblete-Echeverría, C. 2016. Distribución, tamaño y estructura poblacional de *Jubaea chilensis* en "Las Palmas", comuna de Petorca, región de Valparaíso - Chile. Bosque (Valdivia), 37(3), 501-507. <https://dx.doi.org/10.4067/S0717-92002016000300007>

## 11. ANEXO A: Metodología

### 11.1. Anexos Metodológicos para el Inventario de la Geodiversidad

#### 11.1.1. Fichas de Caracterización en Terreno para Lugares de Interés Geológico

Tabla 11.1 - Ficha de caracterización en terreno para lugares de interés geológico (Martínez, 2017).

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



Características Intrínsecas Uso Educativo/Turístico

Belleza/Atractivo :

Particularidad/Rasgos distintivos :

Condiciones de observación :

Potencial didáctico/interpretativo :

Cantidad de elementos geológicos diferentes con potencial didáctico/turístico:  
1  2  3 ó +  ¿Cuales?:

Riesgo de Degradación

Actividad humana  :

Proceso natural  :

Situación legal de protección actual :

Observaciones Generales

Esquema/Columna

Tabla 11.2 – Formato tipo para la caracterización en terreno de los sitios de interés geológicos. La estructura considera características de uso, científicas, potencial educativo y turístico y del riesgo de degradación. Estos parámetros tienen como fin ser un insumo para la evaluación cuantitativa según la metodología propuesta por Brilha (2016).

CÓDIGO		NOMBRE DEL GEOSITIO					
		Estructura recomendada: Elemento de interés + Ubicación/Sector					
DISTRIBUCIÓN GEOGRÁFICA							
REGIÓN	VALPARAÍSO			COMUNA	PETORCA		
PROVINCIA	PETORCA			LOCALIDAD			
INFORMACIÓN GPS				POBLADOS MÁS PRÓXIMOS			
UTM N	UTM E	ALTITUD		POBLADO	DISTANCIA (km)		
HUSO	DATUM						
CARACTERÍSTICAS DE USO							
DOMINIO		INSTALACIONES CERCANAS (m)					
PÚBLICO		ALOJAMIENTO		ALIMENTACIÓN		BAÑO	
PRIVADO		OTRA					
DUEÑO		DISTANCIA A PUNTO DE ACCESO MÁS PRÓXIMO (m)					
		AUTOMOVIL		4 X 4		BUS	
ASOCIACIÓN CON OTROS ELEMENTOS PATRIMONIALES DE ÍNDOLE							
NATURAL	CULTURAL		HISTÓRICO		ÉTNICO		OTRO
Se especifica brevemente el elemento no geológico de interés asociado.							
ZONAS RECREATIVAS CERCANAS	Incluye tanto actividades turísticas de intereses especiales como de ocio.						
FACTORES DE RIESGO	Corresponde a los factores de riesgo para quienes accedan al LIG.						
LIMITACIONES PARA SU USO	Impedimentos legales y físicos que impidan acceder al LIG o miradores.						
OBSERVACIONES	Incluye información adicional, referente al uso y acceso, no contemplada anteriormente.						
CARACTERÍSTICAS INTRÍNECAS DE USO CIENTÍFICO							
CONTEXTOS(s) GEOLÓGICO(s) REPRESENTADO(s)	Contexto geológico local representado por el LIG						
TIPO DE VALOR CIENTÍFICO	Según área de conocimiento de la geología. e.g. geomorfología, estratigrafía, hidrogeología, sedimentología, entre otros.						
CARACTERÍSTICA MÁS RELEVANTE	Elemento de interés geológico de mayor relevancia científica.						
ESTADO DE CONSERVACIÓN	Referente a cuan íntegro se encuentra el sitio de interés, permitiendo la apreciación de los elementos geológicos de interés primarios y secundarios.						
CANTIDAD DE ELEMENTOS GEOLÓGICOS DE INTERÉS CIENTÍFICO							
1		¿CUÁLES?	Elementos de la geodiversidad con valor científico asociado espacialmente al elemento de interés principal.				
2							
3 o más							
LOCALIDAD TIPO/MODELO	SI		SECUNDARIA		NO		
PUBLICACIONES QUE LO INCLUYEN							
Estudios científicos que hacen referencia al LIG. Las referencias incluyen tanto las publicaciones nacionales como las internacionales.							
INVESTIGACIONES A REALIZAR							
Recomendaciones de estudios que aumentarán el valor científico del elemento de interés y/o promuevan su gestión.							

CARACTERÍSTICAS INTRÍNECAS DE USO EDUCATIVO/TURÍSTICO		
<b>BELLEZA/ATRACTIVO</b>	Reconocimiento del lugar de interés geológico en base a su espectacularidad.	
<b>PARTICULARIDAD/RASGOS DISTINTIVOS</b>	Características intrínsecas del elemento que lo hacen único o escaso. Corresponde al elemento geológico de interés principal.	
<b>CONDICIONES DE OBSERVACIÓN</b>	Capacidad de observar el sitio en su totalidad o algunos de los elementos principales. Incluye elementos como árboles, edificaciones u otros que impidan la interpretación de los elementos, tanto primario como secundarios.	
<b>POTENCIAL DIDÁCTICO/INTERPRETATIVO</b>	Potencial para desarrollar un relato educativo que permita interpretar el origen y evolución del lugar o lugares análogos.	
CANTIDAD DE ELEMENTOS GEOLÓGICOS DE INTERÉS EDUCATIVO/TURÍSTICO		
<b>1</b>		<b>¿CUÁLES?</b> Elementos asociados al elemento principal que presenten un valor para actividades turísticas y educativas. Se debe considerar la factibilidad de divulgar la información en función de su dificultad y equipo necesario.
<b>2</b>		
<b>3 o más</b>		
RIESGO DE DEGRADACIÓN		
<b>ACTIVIDAD HUMANA</b>	Actividades antrópicas que ponen en riesgo la integridad del LIG. Incluyen aquellos factores que atentan contra las propiedades características intrínsecas del LIG como aquellas que afectan su valor estético.	
<b>PROCESO NATURAL</b>	Procesos naturales que degradan el LIG, modificando sus características intrínsecas o su potencial de aprovechamiento.	
<b>SITUACIÓN LEGAL DE PROTECCIÓN ACTUAL</b>	Figuras legales o estrategias de gestión que promuevan la conservación de los elementos de interés geológicos, tanto principal como secundarios.	
OBSERVACIONES GENERALES		
Aspectos adicionales no incluidos en las secciones anteriores y/o breve resumen del potencial de aprovechamiento del LIG.		

### 11.1.2. Ficha de Descripción para Lugares de Interés Geológico

Tabla 11.3 - Ficha de descripción de los lugares de interés geológico. El segmento presentado narra la evolución del lugar de interés geológico y como este se relaciona con los elementos culturales y de la biodiversidad (elaboración propia).

<b>CÓDIGO DEL LIG</b>	<b>NOMBRE DEL LIG</b>		
<b>Datum/Huso</b>	<b>Coordenada Este</b>	<b>Coordenada Sur</b>	<b>Altitud</b>
<b>Propiedad del Terreno</b>	<b>Comuna</b>		<b>Localidad más cercana</b>
Estatual o Privada			
<b>Características generales</b>			
Justificación del porqué se ha seleccionado el sitio de interés. Se explicita el tipo de interés geológico principal (petrológico, geomorfológico, estratigráfico, sedimentario, entre otros) y el contexto geológico local que representa. Además, se resume brevemente el estado de conservación del sitio, su potencial de uso (científico, turístico o educativo/didáctico) y de ser pertinente, si existe relación con elementos de interés no geológicos.			
<b>Imagen o esquema</b>			

Imagen o esquema representativo del elemento de interés principal, indicando las características de este.

### **Descripción general**

Se describen las condiciones de accesibilidad y observación, uso actual, uso potencial y peligro geológico asociado al sitio de interés. De existir, se adjunta una propuesta de ruta turístico-educativa que incluya elementos de interés tanto geológicos como no geológicos.

### **Aspectos geológicos relevantes**

Se describe la geodiversidad representativa del sector, haciéndose énfasis en el elemento de relevancia principal que justifica la gestión y protección de este. Esta sección incluye:

- Descripción del LIG:
  - Elemento(s) principal(es) del sitio de interés.
  - Dimensiones.
  - Cantidad de elementos de la geodiversidad asociados al elemento principal.
  - Unidad morfoestructural y unidades geológicas en las que se emplaza.
- Detalle del LIG:
  - Descripción paleontológica, litológica, geomorfológica, entre otras. Se recomienda adjuntar fotografías de los elementos de interés específicos.
  - Descripción de los procesos de deformación o erosión del LIG.
  - Edad e interpretación del proceso de formación.
- Breve descripción de los elementos de la geodiversidad asociados al elemento principal.

### **Aspectos no geológicos relevantes**

Descripción de los elementos de interés no geológicos asociados espacialmente al LIG, los cuales aumenten su valor científico, turístico, educativo o patrimonial. Se deben adjuntar referencias pertinentes.

### **Estado de conservación**

Descripción del estado actual de protección del LIG, incluyendo si posee o no una figura legal de protección. Tanto para el elemento de interés principal como para el área que lo rodea, se incluye el uso (turístico, educativo, científico, industrial, entre otros) actual o potencial, y los agentes de degradación antrópicos y naturales.

Se adjunta una propuesta de polígono de protección que delimite los elementos principales y que facilite las medidas de gestión.

### **Propuesta de estudios científicos**

Posibles estudios científicos que complementen la información actual del sitio de interés, aumentando el valor científico de este. Por e.g. cortes transparentes, dataciones, estudios geomorfológicos, estudios geofísicos, entre otros.



Se recomienda complementar con estudios de peligro geológico como aporte a la gestión del LIG.
Publicaciones que incluyen los elementos del sitio de interés, tanto los geológicos como los no geológicos.

### 11.1.3. Valoración Cuantitativa para Lugares de Interés Geológico

#### 11.1.3.1. Evaluación cuantitativa del valor científico (VC)

*Tabla 11.4 - Descripción de los criterios de evaluación del valor científico (Brilha, 2016).*

CRITERIOS	DESCRIPCIÓN
A. Representatividad	Capacidad de un lugar de interés geológico para ilustrar elementos o procesos geológicos (si es aplicable, relacionado al contexto geológico en consideración).
B. Localidad Tipo	Importancia de un lugar de interés geológico como referencia o modelo para la estratigrafía, paleontología, mineralogía, entre otros.
C. Conocimiento Científico	Existencia de estudios científicos publicados con relación al lugar de interés geológico (si es aplicable, relacionado al contexto geológico en consideración), reflejando el valor que tiene el sitio para la comunidad geocientífica.
D. Integridad	Estado de conservación de los principales elementos geológicos (si es aplicable, relacionado al contexto geológico representado). A mayor integridad, mayor el VC.
E. Diversidad Geológica	El mayor número de elementos geológicos diferentes con interés científico (si es aplicable, relacionado al contexto geológico en consideración). Implica mayor VC.
F. Singularidad/Rareza	Un menor número de lugares de interés geológico similares en el área de estudio incrementa el VC (si es aplicable, relacionado al contexto geológico en consideración).
G. Limitaciones de Uso	Existencia de obstáculos que pueden generar una problemática para su uso científico tiene impactos negativos en el VC.

Tabla 11.5 - Asignación de los puntajes para los criterios de cuantificación del valor científico (Brilha, 2016). Si alguna descripción no aplica, es decir, no contiene alguno de los elementos asignados al puntaje unitario, se considera puntaje nulo.

<b>CRITERIOS</b>	<b>PUNTAJE</b>
<b>A. Representatividad</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• El lugar de interés geológico es el mejor ejemplo en el área de estudio para ilustrar elementos o procesos geológicos (si es aplicable, relacionado al contexto geológico en consideración).</li> <li>• El lugar de interés geológico es un buen ejemplo en el área de estudio para ilustrar elementos o procesos geológicos (si es aplicable, relacionado al contexto geológico en consideración).</li> <li>• El lugar de interés geológico es un ejemplo que ilustra razonablemente elementos o procesos geológicos en el área de estudio (si es aplicable, relacionado al contexto geológico en consideración).</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 4 puntos</li> <li>• 2 puntos</li> <li>• 1 punto</li> </ul>
<b>B. Localidad Tipo</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• El lugar de interés geológico es reconocido como un GSSP o ASSP por la IUGS o, es un sitio de referencia IMA</li> <li>• El lugar de interés geológico es usado por la ciencia internacional (si es aplicable, relacionado al contexto geológico en consideración).</li> <li>• El sitio es usado por la ciencia nacional (si es aplicable, relacionado al contexto geológico en consideración).</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 4 puntos</li> <li>• 2 puntos</li> <li>• 1 punto</li> </ul>
<b>C. Conocimiento Científico</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Hay publicaciones en revistas internacionales acerca de este lugar de interés geológico (si es aplicable, relacionado al contexto geológico en consideración).</li> <li>• Hay papers en publicaciones científicas nacionales acerca de este lugar de interés geológico (si es aplicable, relacionado al contexto geológico en consideración).</li> <li>• Hay abstract presentados en eventos científicos internacionales acerca de este lugar de interés geológico (si es aplicable, relacionado al contexto geológico en consideración).</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 4 puntos</li> <li>• 2 puntos</li> <li>• 1 punto</li> </ul>
<b>D. Integridad</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Los elementos geológicos principales están muy bien preservados (si es aplicable, relacionado al contexto geológico en consideración).</li> <li>• El lugar de interés geológico no está muy bien preservado, pero los elementos geológicos principales (si es aplicable, relacionado al contexto geológico en consideración) están aún preservados.</li> <li>• El lugar de interés geológico con problemas de preservación y con parte de los elementos principales (si es aplicable, relacionado al contexto geológico en consideración) algo alterados o modificados.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 4 puntos</li> <li>• 2 puntos</li> <li>• 1 punto</li> </ul>
<b>E. Diversidad Geológica</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Lugares de interés geológico con más de tres tipos distintos de características geológicas con relevancia científica.</li> <li>• Existen 3 tipos de características geológicas con relevancia científica.</li> <li>• Existen menos de 3 tipos de características geológicas con relevancia científica.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 4 puntos</li> <li>• 2 puntos</li> <li>• 1 punto</li> </ul>

<b>F. Singularidad/Rareza</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• El lugar de interés geológico es el único ejemplo de este tipo para el área de estudio (si es aplicable, relacionado al contexto geológico en consideración).</li> </ul>	• 4 puntos
<ul style="list-style-type: none"> <li>• En el área de estudio existen 2 o 3 ejemplos de este tipo de (si es aplicable, relacionado al contexto geológico en consideración).</li> </ul>	• 2 puntos
<ul style="list-style-type: none"> <li>• En el área de estudio existen 4 o 5 ejemplos de este tipo de lugar de interés geológico (si es aplicable, relacionado al contexto geológico en consideración).</li> </ul>	• 1 punto
<b>G. Limitaciones de Uso</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• El lugar de interés geológico no tiene limitaciones en su uso (permisos legales, barreras, entre otros) para tomar muestras o trabajar en campo.</li> </ul>	• 4 puntos
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Es posible tomar muestras y/o hacer trabajo de campo después de superar limitaciones.</li> </ul>	• 2 puntos
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Hacer trabajo de campo o muestreo es muy arduo de hacer o tiene limitaciones legales difíciles de superar.</li> </ul>	• 1 punto

*Tabla 11.6 - Ponderación de los criterios utilizados para cuantificar el valor científico (Brilha, 2016).*

<b>CRITERIO</b>	<b>PONDERACIÓN</b>
A. Representatividad	30
B. Localidad tipo	20
C. Conocimiento científico	5
D. Integridad	15
E. Diversidad geológica	5
F. Singularidad	15
G. Limitaciones de uso	10
<b>TOTAL</b>	<b>100</b>

### 11.1.3.2. Evaluación cuantitativa del potencial de uso educativo (PUE) y del potencial de uso turístico (PUT)

*Tabla 11.7 - Descripción de los criterios comunes para la evaluación del PUE y el PUT (Brilha, 2016).*

<b>CRITERIOS</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>
A. Vulnerabilidad	La existencia de elementos geológicos que puedan ser destruidos o degradados por los estudiantes (turistas) disminuye el PUE (PUT) del sitio.

B. Accesibilidad	Mientras más fácil y expedita la caminata luego del transporte principal por parte de los estudiantes (turistas), aumentara el PUE (PUT).
C. Limitaciones de uso	La existencia de obstáculos que puedan ser problemáticos para el desarrollo de actividades educativas (turísticas) tiene un impacto negativo en el PUE (PUT).
D. Seguridad	Cuando una actividad de terreno puede ser llevada con bajo riesgo para los estudiantes (turistas), aumenta el PUE (PUT).
E. Logística	La existencia de instalaciones para recibir a estudiantes (turistas), como alojamiento, comida, baños aumenta el PUE (PUT).
F. Densidad de población	La existencia de población cercana al sitio que sea fuente de estudiantes (turistas) a los sitios, aumenta el PUE (PUT).
G. Asociación con otros valores	La existencia de otros valores culturales y/o naturales que estén asociados al sitio pueden incrementar los potenciales estudiantes (turistas), y con ello, el PUE (PUT).
H. Escenario	Representa la belleza de elementos geológicos que pueda estimular el interés de los estudiantes (turistas) por el sitio, incrementando el PUE (PUT).
I. Singularidad	Rasgos distintivos y raros (exóticos) de los elementos de la geodiversidad que pueden generar interés en los estudiantes (turistas), incrementando el PUE (PUT).
J. Condiciones de observación.	Mientras mejores son las condiciones de observación de los elementos de la geodiversidad en el sitio, mayor es su PUE (PUT)

Tabla 11.8 - Descripción de los criterios específicos para la evaluación del PUE y el PUT (Brilha, 2016).

POTENCIAL DE USO EDUCATIVO (PUE)		POTENCIAL DE USO TURÍSTICO (PUT)	
CRITERIO	DESCRIPCIÓN	CRITERIO	DESCRIPCIÓN
K. Potencial didáctico	El uso por estudiantes de distintos niveles educacionales incrementa el PUE del sitio.	<b>K. Potencial interpretativo</b>	Relativo a la capacidad que tengan las características geológicas de ser fácilmente entendidas por personas sin conocimiento geológico previo, es decir, por el público general.
L. Diversidad geológica	A mayor número de elementos geológicos diferentes con potencial didáctico, mayor el PUE del sitio.	<b>L. Nivel Económico</b>	El mayor nivel de ingresos de la población cercana al sitio sugiere una mayor probabilidad de ser visitado
		<b>M. Proximidad a áreas recreativas</b>	La visita de turistas al sitio se ve beneficiada por la existencia de otras áreas turísticas ya reconocidas en el área.



Tabla 11.9 - Asignación de los puntajes para los criterios comunes de cuantificación del PUT y PUE (Brilha, 2016). Si alguna descripción no aplica, es decir, no contiene alguno de los elementos asignados al puntaje unitario, se considera puntaje nulo.

<b>CRITERIOS</b>	<b>PUNTAJE</b>
<b>A. Vulnerabilidad</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Los elementos geológicos del lugar de interés geológico no presentan posible deterioro por actividades antrópicas.</li> <li>• Existe una posibilidad de deterioro de elementos geológicos secundarios por actividad antrópica.</li> <li>• Existe la posibilidad de deterioro de los elementos geológicos principales por actividad antrópica.</li> <li>• Existe la posibilidad de deterioro de todos los elementos geológicos por actividad antrópica.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 4 puntos</li> <li>• 3 puntos</li> <li>• 2 puntos</li> <li>• 1 punto</li> </ul>
<b>B. Accesibilidad</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• El sitio se ubica a menos de 100 m de un camino pavimentado con estacionamiento para un bus.</li> <li>• El sitio se localiza a menos de 500 m de un camino pavimentado.</li> <li>• El sitio es accesible por bus, pero mediante un camino de grava,</li> <li>• El sitio no cuenta con acceso directo por un camino, pero se encuentra a menos de 1 km de un camino accesible por bus.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 4 puntos</li> <li>• 3 puntos</li> <li>• 2 puntos</li> <li>• 1 punto</li> </ul>
<b>C. Limitaciones de uso</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• El sitio no posee limitaciones de uso.</li> <li>• El sitio puede ser utilizado solo de forma ocasional.</li> <li>• El sitio puede ser usado solo tras sortear limitaciones (legales, permisos, físicas, entre otros).</li> <li>• Es muy difícil acceder al sitio producto de las limitaciones.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 4 puntos</li> <li>• 3 puntos</li> <li>• 2 puntos</li> <li>• 1 punto</li> </ul>
<b>D. Seguridad</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Sitio con facilidades de seguridad (barandas, escaleras, pasamanos, entre otros), cobertura celular y se localiza a menos de 5 km de un servicio de emergencias.</li> <li>• Sitio con facilidades de seguridad (barandas, escaleras, pasamanos, entre otros), cobertura celular y se localiza a menos de 25 km de un servicio de emergencias.</li> <li>• Sitio sin facilidades de seguridad, pero con cobertura celular y se localiza a menos de 50 km de un servicio de emergencias.</li> <li>• Sitio sin facilidades de ni cobertura celular, y se localiza a más de 50 km de un servicio de emergencias.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 4 puntos</li> <li>• 3 puntos</li> <li>• 2 punto</li> <li>• 1 punto</li> </ul>
<b>E. Logística</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Hospedaje y restaurantes para grupos de 50 personas a menos de 15 km del sitio.</li> <li>• Hospedaje y restaurantes para grupos de 50 personas a menos de 50 km del sitio.</li> <li>• Hospedaje y restaurantes para grupos de 50 personas a menos de 100 km del sitio.</li> <li>• Hospedaje y restaurantes para grupos menores a 25 personas, y a menos de 50 km del sitio.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 4 puntos</li> <li>• 3 puntos</li> <li>• 2 punto</li> <li>• 1 punto</li> </ul>

<b>F. Densidad de población</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Sitio localizado en una municipalidad con más de 1000 habitantes/km<sup>2</sup>.</li> <li>• Sitio localizado en una municipalidad con 250-1000 habitantes/km<sup>2</sup>.</li> <li>• Sitio localizado en una municipalidad con 100-250 habitantes/km<sup>2</sup>.</li> <li>• Sitio localizado en una municipalidad con menos de 100 habitantes/km<sup>2</sup>.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 4 puntos</li> <li>• 3 puntos</li> <li>• 2 punto</li> <li>• 1 punto</li> </ul>
<b>G. Asociación con otros valores</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ocurrencia de muchos elementos de valor ecológico y cultural a menos de 5 km del sitio.</li> <li>• Ocurrencia de muchos elementos de valor ecológico y cultural a menos de 10 km del sitio.</li> <li>• Ocurrencia de un elemento de valor ecológico y un elemento de valor cultural a menos de 10 km del sitio.</li> <li>• Ocurrencia de un elemento de valor ecológico o cultural a menos de 10 km del sitio.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 4 puntos</li> <li>• 3 puntos</li> <li>• 2 punto</li> <li>• 1 punto</li> </ul>
<b>H. Escenario</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Sitio nacionalmente utilizado como destino educativo o turístico.</li> <li>• Sitio ocasionalmente utilizado como destino educativo o turístico en campañas nacionales.</li> <li>• Sitio localmente utilizado como destino educativo o turístico.</li> <li>• Sitio ocasionalmente utilizado como destino educativo o turístico en campañas locales.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 4 puntos</li> <li>• 3 puntos</li> <li>• 2 punto</li> <li>• 1 punto</li> </ul>
<b>I. Singularidad</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• El sitio muestra singularidades y elementos poco comunes en comparación a los países vecinos.</li> <li>• El sitio muestra singularidades y elementos poco comunes en comparación con el resto de la nación.</li> <li>• El sitio muestra elementos comunes en la región, pero poco comunes con respecto a otras regiones del país.</li> <li>• El sitio presenta elementos comunes en todo el país.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 4 puntos</li> <li>• 3 puntos</li> <li>• 2 punto</li> <li>• 1 punto</li> </ul>
<b>J. Condiciones de observación</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Todos los elementos geológicos se observan en buenas condiciones.</li> <li>• Existen algunos obstáculos que dificultan la observación de algunos elementos geológicos.</li> <li>• Existen algunos obstáculos que dificultan la observación de los elementos geológicos principales.</li> <li>• Existen algunos obstáculos que casi obstruyen la observación de los elementos geológicos principales</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 4 puntos</li> <li>• 3 puntos</li> <li>• 2 punto</li> <li>• 1 punto</li> </ul>

Tabla 11.10 - Asignación de los puntajes para los criterios específicos de cuantificación del PUT y PUE (Brilha, 2016). Si alguna descripción no aplica, es decir, no contiene alguno de los elementos asignados al puntaje unitario, se considera puntaje nulo.

<b>POTENCIAL DE USO EDUCATIVO (PUE)</b>		<b>POTENCIAL DE USO TURÍSTICO (PUT)</b>	
<b>K. Potencial didáctico</b>	<b>PUNTAJE</b>	<b>K. Potencial interpretativo</b>	<b>PUNTAJE</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• El sitio presenta elementos geológicos que pueden ser comprendidos por personas de todo nivel educativo.</li> <li>• El sitio presenta elementos geológicos que pueden ser comprendidos por personas con educación básica.</li> <li>• El sitio presenta elementos geológicos que pueden ser comprendidos por personas con educación media.</li> <li>• El sitio presenta elementos geológicos que pueden ser comprendidos por personas con educación universitaria.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 4 puntos</li> <li>• 3 puntos</li> <li>• 2 puntos</li> <li>• 1 punto</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• El sitio presenta elementos geológicos cuya interpretación es clara y entendible por el público general.</li> <li>• El sitio presenta elementos geológicos cuya interpretación puede ser entendida con un conocimiento geológico básico.</li> <li>• El sitio presenta elementos geológicos cuya interpretación es entendible por público con conocimiento geológico robusto.</li> <li>• El sitio presenta elementos geológicos cuya interpretación es entendible por público especializado.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 4 puntos</li> <li>• 3 puntos</li> <li>• 2 puntos</li> <li>• 1 punto</li> </ul>
<b>L. Diversidad geológica</b>	<b>PUNTAJE</b>	<b>L. Nivel económico</b>	<b>PUNTAJE</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Más de 3 tipos de elementos de la geodiversidad se encuentran en el sitio.</li> <li>• 3 tipos de elementos de la geodiversidad se encuentran en el sitio.</li> <li>• 2 tipos de elementos de la geodiversidad se encuentran en el sitio.</li> <li>• 1 tipo de elemento de la geodiversidad se encuentran en el sitio</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 4 puntos</li> <li>• 3 puntos</li> <li>• 2 puntos</li> <li>• 1 punto</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• El sitio está localizado en una provincia cuyo presupuesto per cápita es al menos el doble del promedio nacional.</li> <li>• El sitio está localizado en una provincia cuyo presupuesto per cápita es mayor al promedio nacional.</li> <li>• El sitio está localizado en una provincia cuyo presupuesto per cápita es similar al promedio nacional.</li> <li>• El sitio está localizado en una provincia cuyo presupuesto per cápita es menor al promedio nacional.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 4 puntos</li> <li>• 3 puntos</li> <li>• 2 puntos</li> <li>• 1 punto</li> </ul>
		<b>M. Cercanía a áreas de recreación</b>	<b>PUNTAJE</b>

		<ul style="list-style-type: none"> <li>• El sitio está localizado a menos de 5km de un área recreacional o una atracción turística.</li> <li>• El sitio está localizado a menos de 10km de un área recreacional o una atracción turística.</li> <li>• El sitio está localizado a menos de 15km de un área recreacional o una atracción turística.</li> <li>• El sitio está localizado a menos de 20km de un área recreacional o una atracción turística.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 4 puntos</li> <li>• 3 puntos</li> <li>• 2 puntos</li> <li>• 1 punto</li> </ul>
--	--	---	---

Tabla 11.11 - Ponderación de los criterios utilizados para cuantificar el PUE y el PUT (Brilha, 2016).

POTENCIAL DE USO EDUCATIVO (PUE)		POTENCIAL DE USO TURÍSTICO (PUT)	
CRITERIO	PONDERACIÓN	CRITERIO	PONDERACIÓN
A. Vulnerabilidad	10	A. Vulnerabilidad	10
B. Accesibilidad	10	B. Accesibilidad	10
C. Limitaciones de uso	5	C. Limitaciones de uso	5
D. Seguridad	10	D. Seguridad	10
E. Logística	5	E. Logística	5
F. Densidad de población	5	F. Densidad de población	5
G. Asociación con otros valores	5	G. Asociación con otros valores	5
H. Escenario	5	H. Escenario	15
I. Singularidad	5	I. Singularidad	10
J. Condiciones de observación	10	J. Condiciones de observación	5
K. Potencial didáctico	20	K. Potencial interpretativo	10
L. Diversidad geológica	10	L. Nivel económico	5
		M. Cercanía a áreas de recreación	5
TOTAL	100	TOTAL	100



### 11.1.3.3. Evaluación cuantitativa del riesgo de degradación (RD)

Tabla 11.12 - Descripción de los criterios de evaluación del riesgo de degradación (Brilha, 2016).

CRITERIOS	DESCRIPCIÓN
A. Deterioro de elementos geológicos	Refleja la posibilidad de perder los elementos de interés geológico debido a: i) su fragilidad intrínseca (tamaño del elemento geológico, la facilidad de obtener muestras, la resistencia de la roca, entre otros) y su fragilidad natural (suceptibilidad a la erosión, intensidad de los agentes erosivos, entre otros), y ii) su vulnerabilidad por acción antrópica (turismo, agricultura, desarrollo urbano, vandalismo, entre otros).
B. Proximidad a áreas/actividades con el potencial de producir degradación	Posibilidad de degradación producto de minería, agricultura, industria, áreas recreativas, caminos, áreas urbanas, entre otros.
C. Protección legal	Relacionado a la ubicación del sitio en un área con protección legal de cualquier tipo (directa o indirecta). El acceso restringido incluye también restricciones de dueño (cercas, pago de entradas, actividades mineras).
D. Accesibilidad	Condición de acceso por un público general. Un sitio con mayor acceso presenta un mayor riesgo de degradación por parte de los visitantes.
E. Densidad de población	Número de personas que viven cerca del sitio de interés, y que pueden causar un deterioro potencial producto de un uso inapropiado.

Tabla 11.13 - Asignación de los puntajes para los criterios de cuantificación del valor científico (Brilha, 2016). A mayor puntaje, mayor el riesgo de degradación. Si alguna descripción no aplica, es decir, no contiene alguno de los elementos asignados al puntaje unitario, se considera puntaje nulo.

CRITERIOS	PUNTAJE
<b>A. Deterioro de elementos geológicos</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Posibilidad de deterioro de todos los elementos geológicos.</li> <li>• Posibilidad de deterioro de los elementos geológicos principales.</li> <li>• Posibilidad de deterioro de los elementos geológicos secundarios.</li> <li>• Menor posibilidad de deterioro de los elementos geológicos secundarios</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 4 puntos</li> <li>• 3 puntos</li> <li>• 2 puntos</li> <li>• 1 punto</li> </ul>
<b>B. Proximidad a áreas/actividades con el potencial de producir degradación</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• El sitio se ubica a menos de 50 m de un área/actividad de potencial degradación.</li> <li>• El sitio se ubica a menos de 200 m de un área/actividad de potencial degradación.</li> <li>• El sitio se ubica a menos de 500 m de un área/actividad de potencial degradación.</li> <li>• El sitio se ubica a menos de 1 km de un área/actividad de potencial degradación.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 4 puntos</li> <li>• 3 puntos</li> <li>• 2 puntos</li> <li>• 1 punto</li> </ul>
<b>C. Protección legal</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Sitio localizado en un área sin protección legal ni control de acceso.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 4 puntos</li> </ul>

<ul style="list-style-type: none"> <li>• Sitio localizado en un área sin protección legal, pero con control de acceso.</li> <li>• Sitio localizado en un área con protección legal, pero sin control de acceso.</li> <li>• Sitio localizado en un área con protección legal y control de acceso.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 3 puntos</li> <li>• 2 puntos</li> <li>• 1 punto</li> </ul>
<b>D. Accesibilidad</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Sitio localizado a menos de 100 m de un camino pavimentado y con estacionamiento para un bus.</li> <li>• Sitio localizado a menos de 500 m de un camino pavimentado.</li> <li>• Sitio accesible en bus, pero por camino de grava.</li> <li>• Sitio sin acceso directo por un camino, pero localizado a menos de 1 km de un camino accesible en bus.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 4 puntos</li> <li>• 3 puntos</li> <li>• 2 puntos</li> <li>• 1 punto</li> </ul>
<b>E. Densidad de población</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Sitio localizado en una municipalidad con más de 1000 habitantes/km<sup>2</sup>.</li> <li>• Sitio localizado en una municipalidad con 250-1000 habitantes/km<sup>2</sup>.</li> <li>• Sitio localizado en una municipalidad con 100-250 habitantes/km<sup>2</sup>.</li> <li>• Sitio localizado en una municipalidad con menos de 100 habitantes/km<sup>2</sup>.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 4 puntos</li> <li>• 3 puntos</li> <li>• 2 puntos</li> <li>• 1 punto</li> </ul>

Tabla 11.14 - Ponderación de los criterios utilizados para cuantificar el riesgo de degradación (Brilha, 2016).

<b>CRITERIO</b>	<b>PONDERACIÓN</b>
A. Deterioro de elementos geológicos	35
B. Proximidad a áreas/actividades con el potencial de producir degradación	20
C. Protección legal	20
D. Accesibilidad	15
E. Densidad de población	10
<b>TOTAL</b>	<b>100</b>

#### 11.1.4. Contextos Geológicos Chilenos para la Caracterización del Patrimonio Geológico Nacional

Tabla 11.15 – Contextos geológicos nacionales para la caracterización del patrimonio geológico. Los contextos permiten unificar los geositiros para el desarrollo de un inventario de patrimonio geológico nacional. (Mourgues et al., 2012).

<b>CONTEXTO GEOLÓGICO</b>	<b>DESCRIPCIÓN Y EJEMPLOS</b>
<b>Complejos de Acreción de Chile</b>	Corresponde a los prismas de acreción del Paleozoico y complejos metamórficos del Precámbrico y Paleozoico. Destacan el Complejo Metamórfico de la Cordillera de Darwin, la Isla Madre de Dios, la Ofiolita de

	Taitao del Mioceno Superior-Plioceno, entre otros. Posee valor ornamental, como es el caso de la Piedra Cruz de Laraquete.
<b>Series sedimentarias del Paleozoico</b>	Agrupar las series sedimentarias fosilíferas del Paleozoico. Destacan las sucesiones marinas con graptolites del Ordovícico que afloran en Agua de la Perdiz, Poquis, entre otras localidades del norte de Chile, la Formación El Toco en Antofagasta, las Formaciones Arrayán y Huentelauquén, y el Paleozoico de Caleta Buil en Chiloé Continental.
<b>Batolitos del Paleozoico Superior (Carbonífero-Pérmico)</b>	Agrupar los batolitos de Elqui-Limarí, Precordillera entre los 28°30'S y 31°S, y el Batolito de la Costa (33°S-38°S). Destaca el área protegida de la Piedra del Águila, dentro del Parque Nacional Nahuelbuta.
<b>Batolitos y Complejos Plutónicos del Mesozoico</b>	Agrupar el Batolito Patagónico, Complejo Plutónico Galletué, Complejo Plutónico Alhué, Complejo Intrusivo Punta Negra (Iquique), depósitos de óxidos de Fe, cobre y oro (IOCG) de la Falla de Atacama.
<b>Arco volcánico del Mesozoico</b>	Rocas volcánicas del Triásico, Jurásico y Cretácico, expuestas en general en la Cordillera de la Costa del Norte de Chile (formaciones La Negra y Punta del Cobre), y en Aysén, la Formación Ibáñez y las facies sedimentarias intercaladas con fósiles de distintas edades.
<b>Series continentales Mesozoicas y sus fósiles</b>	Agrupar las formaciones sedimentarias continentales como Quebrada Monardes, Cerrillos, Quebrada Marquesa, Chacarilla, Hornitos, Viñita. Estas tres últimas contienen huellas y huesos de dinosaurios, así como troncos fósiles en la última.
<b>Ciclos marinos del Triásico – Jurásico</b>	Este contexto intenta reunir los Geositios o áreas de interés geopatrimonial cuyo valor principal es el registro estratigráfico compuesto por las series marinas del Triásico Superior – Jurásico Inferior de las regiones de Tarapacá, Antofagasta, Atacama, Coquimbo y del Maule; el Jurásico Superior – Cretácico Inferior de Chile central.
<b>Cuencas y depósitos marinos del Cretácico Inferior de Chile</b>	Agrupar las cuencas de Chañarcillo, en Atacama–Coquimbo, y El Way, en Antofagasta, y las sedimentitas de la Formación Blanco, al norte de Pisagua, y las Formaciones Lo Valdés y Calizas de La Mina (Maule). En la Cuenca de Aysén incluye a las Formaciones Katterfeld y Apeleg.
<b>El Cretácico Superior marino de Magallanes y Chile Central</b>	Agrupar las areniscas y conglomerados de Algarrobo, Topocalma, Loanco y Quiriquina. También la cuenca de Magallanes.
<b>Batolitos del Cenozoico y los grandes pórfidos cupríferos y depósitos de oro en Chile</b>	Agrupar los intrusivos como las Torres del Paine, la tonalita orbicular de Caldera (Santuario de la Naturaleza), Sill de Punta Lobos (Geositio SGCh). Incluye a los grandes pórfidos cupríferos de Chuquicamata, y El Teniente.
<b>Depósitos continentales Cenozoicos y sus fósiles vertebrados</b>	Corresponde a los depósitos de sedimentitas y volcano-sedimentitas continentales con fósiles de vertebrados. Incluye a las formaciones Chucal, Abanico, Cura Mallín, Río Frías, entre otras.
<b>Cenozoico marino y sus fósiles</b>	Agrupar las formaciones La Portada, en Antofagasta, Bahía Inglesa, en Atacama, Coquimbo, Horcón, Navidad, Arauco–Lebu, Chiloé, Isla Ipún, etc.
<b>Volcanismo Cuaternario</b>	Este contexto reúne los procesos, productos, y morfologías asociados a los volcanes del Cuaternario.
<b>Mega-estructuras y neotectónica de Chile</b>	Corresponde a las grandes fallas y estructuras activas tal como Liquiñe -Ofqui (LOFZ), de Atacama, Domeyko y San Ramón.

<b>Borde costero</b>	Costas tectónicas de abrasión (Norte): Mega acantilados por fallas. Costas de abrasión – acumulación (centro-sur): Costas rocosas, erosión diferencial; Acantilados vivos con estratos sedimentarios (como la Portada, Atacama). Sistemas de dunas costeras y paleodunas (Concon, Ritoque). Costas tectónicas de fiordos (Patagonia). Marismas mareales de Chiloé.
<b>Geoformas y depósitos glaciales del centro y sur de Chile</b>	Morrenas y valles glaciales de Chile central (Cascada de Las Ánimas en el valle del Maipo; paleoplayas, morrenas y terrazas en la laguna del Maule). Lagos y paisajes aborregados la Patagonia (lago General Carrera).
<b>Ambientes lacustres del Cuaternario</b>	Sedimentos lacustres del Cuaternario (paleoclima, polen): antigua laguna de San Vicente Tagua Tagua, con megafauna y restos arqueológicos. Laguna de Aculeo. Lagunas costeras del norte del Maule (Vichuquen, Tilicura). Lagos de la Región de Los Lagos.
<b>Campos de Hielo e Inlandsis Antártico</b>	Calotas de hielo, morfología glacial actual en Patagonia (por ejemplo, en Campos de Hielo y Torres del Paine) y Antártica.
<b>Desierto de Atacama</b>	Depresiones salinas del Norte Grande (Salares de la antepuna) y cuencas endorreicas. Dunas desérticas continentales. Salares. Valles fluviales del Norte Grande como los del Loa y río Salado. Desembocaduras de ríos como las de Camarones y del Loa. Humedal del Lauca.
<b>Los karsts del sur de Chile</b>	Agrupación la diversidad de formas kársticas en los mármoles de Isla Madre de Dios y la Catedral de Mármol, en el lago General Carrera.
<b>Ambientes fluvio-aluviales del Neógeno-Cuaternario</b>	Conjuntos fluvio-marinos de Chile. Llanuras de sedimentación y conformación de terrazas marinas coalescentes con terrazas fluviales. Terrazas fluviales.
<b>Islas oceánicas</b>	Agrupación el archipiélago de Juan Fernández, la Isla de Pascua, los islotes Sala y Gómez, etc. Presentan valores como geomorfología litoral asociada con productos volcánicos.

## 12. ANEXO B: Marco Conceptual de la Geodiversidad y el Patrimonio Geológico

### 12.1. Objetivos de la Red Global de Geoparques

Tabla 12.1 – Objetivos de la Red Global de Geoparques para promover el desarrollo económico sostenible. (Martínez, 2017<sup>3</sup>)

Nº	OBJETIVOS DE LA RED GLOBAL DE GEOPARQUES
1	Promover el establecimiento geográficamente equitativo, el desarrollo y la gestión profesional de los Geoparques Globales.
2	Avanzar en el conocimiento y la comprensión de la naturaleza, la función y el papel de los Geoparques Mundiales.
3	Ayudar a las comunidades locales a valorar su patrimonio natural y cultural.
4	Preservar el patrimonio de la Tierra para las generaciones presentes y futuras.
5	Educar y enseñar al gran público acerca de los problemas en los geo-ciencias y su relación con los temas ambientales y los riesgos naturales.
6	Asegurar el desarrollo socio-económico y cultural sostenible basado en un sistema natural (o geológico).
7	Fomentar las relaciones multiculturales entre el patrimonio, la conservación y el mantenimiento de la diversidad geológica y cultural, utilizando esquemas participativos en asociaciones y gestión.
8	Estimular la investigación cuando sea apropiado.
9	Promocionar iniciativas conjuntas entre la GGN (ej: de comunicación, publicaciones, intercambio de información, de asistencia recíproca).

<sup>3</sup> Traducido desde el *website* de la Global Geopark Network (GGN). Disponible en [http://globalgeoparksnetwork.org/?page\\_id=5](http://globalgeoparksnetwork.org/?page_id=5)



# 13. ANEXO C: Geología Local

## 13.1. Edades Radiométricas de la comuna de Petorca

Tabla 13.1 – Edades radiométricas de la comuna de Petorca. Datos corresponden a una compilación a partir de la bibliografía disponible para la zona de estudio.

Muestra	Coordenada E	Coordenada S	Edad (Ma)	Metodo	Litología	Referencia	Unidad Formal según autor	Unidad Informal
CS-3	340953	6432237	81,5±1,1	U-Pb en circones	Toba	Jara y Charrier, 2014	Fm. Sakmanca	Unidad El Rancho
-	305707	6438569	110,4±1,8 Ma - 109,7±1,5 Ma	U-Pb en circones	Trondhjemitita	Morata et al., 2010	Complejo Plutónico Ilapel	Unidad Intrusiva Las Palmas
-	305707	6438569	99,2 ± 0,6 Ma	U-Pb en titanita	Tonalita	Morata et al., 2006	Complejo Plutónico Ilapel	Unidad Intrusiva Las Palmas
MR19	305707	6438569	113,4 ± 0,2 Ma	Ar-Ar en Anf	Gabro	Ferrando et al., 2014	Complejo Plutónico Ilapel	Unidad Intrusiva Las Palmas
MR23	305707	6438569	107,9±0,1 Ma - 98,2±0,1 Ma	Ar-Ar en Bt	-	Ferrando et al., 2014	Complejo Plutónico Ilapel	Unidad Intrusiva Las Palmas
MR31	305707	6438569	107,9 ± 0,1 Ma	Ar-Ar en Bt	Granito	Ferrando et al., 2014	Complejo Plutónico Ilapel	Unidad Intrusiva Las Palmas
MR47	305707	6438569	107,5 ± 0,1 Ma	Ar-Ar en Bt	Granodiorita	Ferrando et al., 2014	Complejo Plutónico Ilapel	Unidad Intrusiva Las Palmas
MR08	305707	6438569	100,8 ± 0,1 Ma	Ar-Ar en Bt	Tonalita	Ferrando et al., 2014	Complejo Plutónico Ilapel	Unidad Intrusiva Las Palmas
EB-60	323832	6448617	86 ± 3 Ma	K-Ar en Bt	Toba dacítica de lapilli	Camus et al., 1986	Secuencia Intracaldera	Unidad Hierro Viejo-Pedernal
RB-6	320925	6432054	86 ± 3 Ma	K-Ar en Bt	Granodiorita	Camus et al., 1986	Pórfido Petorca	Unidad Intrusiva Las Palmas
RB-149	318921	6450472	80 ± 3 Ma	K-Ar en Bt	Dacita	Camus et al., 1986	Unidad San Lorenzo	Unidad Intrusiva Morro Hediondo
RB-157	318987	6446746	79 ± 3 Ma	K-Ar	Monzodiorita	Camus et al., 1986	Unidad San Lorenzo	Unidad Intrusiva Morro Hediondo
RB-502	320633	6448562	81 ± 14 Ma	K-Ar	Roca argilizada	Camus et al., 1986	Zona de alteración Morro Hediondo	Zona de Alteración
RB-126	320604	6448715	82 ± 9 Ma	K-Ar	Toba argilizada	Camus et al., 1986	Zona de alteración Morro Hediondo	Zona de Alteración
RB-91	312969	6437456	109 ± 4 Ma	K-Ar	Toba argilizada y silicificada	Camus et al., 1991	Zona de alteración El Durazno	Zona de Alteración
SD-316	317295	6437319	79 ± 3 Ma	K-Ar	Sericita	Camus et al., 1991	Zona de alteración Rosario III	Zona de Alteración
1011-S	301056	6435584	106 ± 3 Ma	K-Ar en Bt	Tonalita de Hbl y Anf	Rivano et al., 1993	Unidad Chalinga (CPI)	Unidad Intrusiva Las Palmas
1009-S	300586	6434898	105 ± 3 Ma	K-Ar en Bt	Granodiorita de Bt	Rivano et al., 1993	Unidad Chalinga (CPI)	Unidad Intrusiva Las Palmas
1014-S	296795	6438699	103 ± 3 Ma	K-Ar en Bt	Tonalita de Hbl y Anf	Rivano et al., 1993	Unidad Chalinga (CPI)	Unidad Intrusiva Las Palmas
1006-S	298971	6426378	102 ± 5 Ma	K-Ar en Abf	Tonalita de Hbl y Anf	Rivano et al., 1993	Unidad Chalinga (CPI)	Unidad Intrusiva Las Palmas
-	303389	6420128	123 ± 20 Ma	Pb-g	-	Rivano et al., 1993	Unidad Chalinga (CPI)	Unidad Intrusiva Las Palmas
A-3800	307594	6418484	88 ± 7 Ma	K-Ar en Anf	Granodiorita de Hbl	Rivano et al., 1993	Unidad Chalinga (CPI)	Unidad Intrusiva Las Palmas
-	329456	6429745	63 ± 2 Ma	K-Ar en par Plig-Anf	-	Rivano et al., 1993	Fm. Las Chilcas	Unidad Hierro Viejo-Pedernal
-	329456	6429745	84 ± 5 Ma	K-Ar en par Plig-Anf	-	Rivano et al., 1993	Fm. Las Chilcas	Unidad Hierro Viejo-Pedernal
-	312410	6436571	109 ± 4 Ma	K-Ar en Bt	-	Rivano et al., 1993	Alteración Hidrotermal	Unidad Hierro Viejo-Pedernal
-	320566	6430951	86 ± 3 Ma	K-Ar en Bt	-	Rivano et al., 1993	Unidad Chalinga (CPI)	Unidad Intrusiva Las Palmas
322450	6435021	12,9 ± 3,4 Ma	K-Ar en roca total	-	Rivano et al., 1993	Alteración Hidrotermal	Zona de Alteración	
RB-149	317772	6448674	80 ± 3 Ma	K-Ar en roca total	Diorita	Rivano et al., 1993	Unidad San Lorenzo	Unidad Intrusiva Morro Hediondo
RB-157	317984	6445308	79 ± 3 Ma	K-Ar en Kfs	Diorita	Rivano et al., 1993	Unidad San Lorenzo	Unidad Intrusiva Morro Hediondo
-	320355	6447001	81 ± 14 Ma	K-Ar en Bt	-	Rivano et al., 1993	Alteración Hidrotermal	Zona de Alteración
-	320058	6447933	82 ± 9 Ma	K-Ar en Bt	-	Rivano et al., 1993	Alteración Hidrotermal	Zona de Alteración
323784	6447382	86 ± 2 Ma	K-Ar en Bt	Monzogranito de Bt	-	Rivano et al., 1993	Unidad Chalinga (CPI)	Unidad Intrusiva Las Palmas
6B-50	320947	6443974	128 ± 9 Ma	K-Ar en Plig	Andesita	Camus et al., 1986	Fm. Sakmanca	Unidad Hierro Viejo-Pedernal
-	329127	6454051	125 ± 9 Ma	K-Ar en roca total	-	Rivano et al., 1993	Fm. Las Chilcas	Unidad Hierro Viejo-Pedernal
961-R	355784	6431366	18 ± 1,2 Ma	K-Ar en roca total	Pórfido Andesítico	Rivano et al., 1993	Fm. Farellones	Unidad Las Cruces
958-R	352621	6430680	24,5 ± 1,2 Ma	K-Ar en roca total	Andesita de Px	Rivano et al., 1993	Fm. Farellones	Unidad Las Cruces
2017-S	358806	6434439	15 ± 0,8 Ma	K-Ar en Bt	Tonalita de Bt	Rivano et al., 1993	Unidad Río Cerro Blanco	Unidad Intrusiva Laguna del Sobreante
963-R	360948	6436530	15,2 ± 0,9 Ma	K-Ar en Bt	Monzogranito de Bt	Rivano et al., 1993	Unidad Río Cerro Blanco	Unidad Intrusiva Laguna del Sobreante
1072-S	338838	6432857	45,5 ± 1,2 Ma	K-Ar en Bt	Granodiorita de Bt	Rivano et al., 1993	Unidad Froles	Unidad Intrusiva Cerro Negro

## 13.2. Distribución de las columnas estratigráficas de la comuna de Petorca

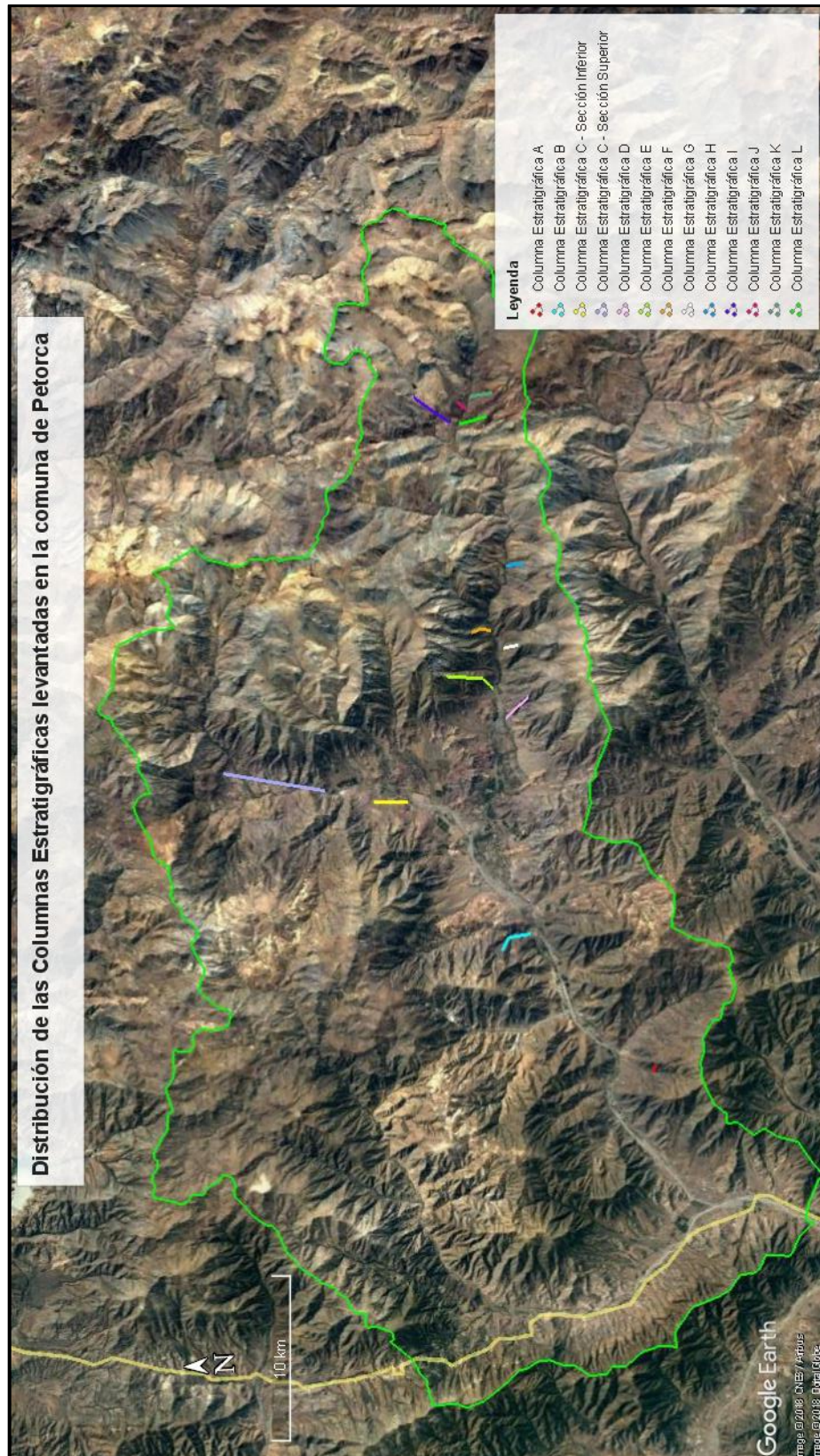

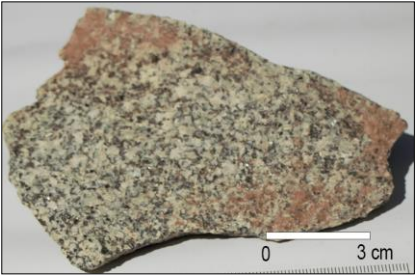




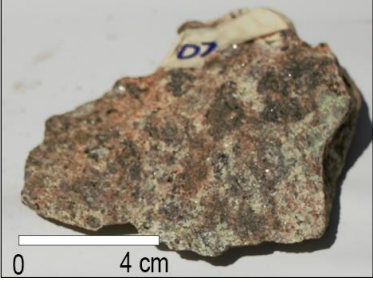

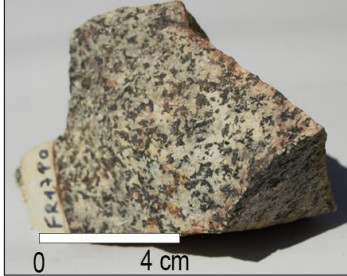
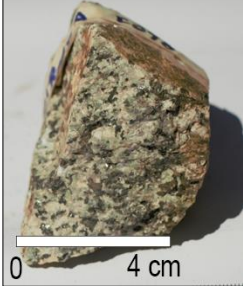
Fig. 13.1 - Distribución de las columnas estratigráficas levantadas de oeste a este en la comuna de Petorca.






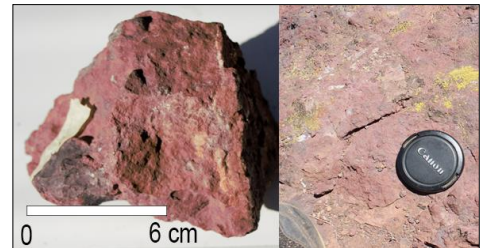
### 13.3. Puntos de Control y Descripción Macroscópica de Muestras

#### 13.3.1. Sector Las Palmas – Frutillar Bajo


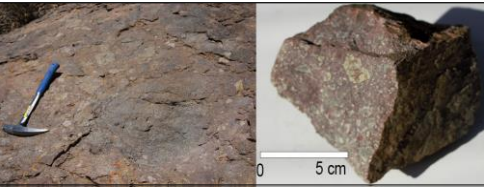


NOMBRE DE LA ROCA: Granitoide de Hbl rico en Qz CÓDIGO DE LA MUESTRA: LP17P02M01		COORDENADAS UTM					
		LOCALIDAD	DATUM	HUSO	C. NORTE	C. ESTE	ALTITUD
		Valle de Las Palmas	WGS84	19H	64227903	299376	421 m
		<b>AFLORAMIENTO</b>	Afloramiento gris blanquecino de geometría masiva. Presenta fracturamiento irregular.				
		<b>LITOLOGÍA</b>	Roca intrusiva holocristalina de textura fanerítica, inequigranular con tamaño de grano medio a grueso. Los cristales de Qz (70%) se presentan anhedral y en cúmulos de hasta 0,5 cm. Las plagioclasas (25%) y los Kfs (5%) se presentan subhedral con tamaños de grano medio. El mineral máfico predominante lo constituye la Hbl subhedral, seguido de los cristales de Bt subhedral.				
		<b>ALTERACIÓN</b>	S/N				
NOMBRE DE LA ROCA: Granitoide de Hbl rico en Qz CÓDIGO DE LA MUESTRA: LP17P02M03		COORDENADAS UTM					
		LOCALIDAD	DATUM	HUSO	C. NORTE	C. ESTE	ALTITUD
		Valle de Las Palmas	WGS84	19H	64227903	299376	421 m
		<b>AFLORAMIENTO</b>	Afloramiento gris blanquecino de geometría masiva. Presenta fracturamiento irregular.				
		<b>LITOLOGÍA</b>	Roca intrusiva holocristalina de textura fanerítica, inequigranular con tamaño de grano medio a grueso. Los cristales de Qz (65%) se presentan anhedral y en cúmulos de hasta 0,5 cm. Las plagioclasas (30%) y los Kfs (5%) se presentan subhedral con tamaños de grano medio. El mineral máfico predominante lo constituye la Hbl subhedral, seguido de los cristales de Bt subhedral.				
		<b>ALTERACIÓN</b>	S/N				
NOMBRE DE LA ROCA: Andesita de Hbl CÓDIGO DE LA MUESTRA: FR17P03M01		COORDENADAS UTM					
		LOCALIDAD	DATUM	HUSO	C. NORTE	C. ESTE	ALTITUD
		Valle de Las Palmas	WGS84	19H	6434440	299494	555 m
		<b>AFLORAMIENTO</b>	Afloramiento gris pardusco de geometría masiva. Corresponde a un talud al borde del camino que deja expuesto el afloramiento y las vetillas de cuarzo que lo cortan.				
		<b>LITOLOGÍA</b>	Roca extrusiva hipocristalina, de textura porfírica, inequigranular con tamaños de grano grueso. La plagioclasa corresponde al mineral predominante (90%) y se presentan euhedral con tamaños de hasta 0,4 cm. El cuarzo (10%) se presenta anhedral con tamaño de grano medio. El mineral máfico predominante corresponde a la Hbl, la cual se expresa subhedral con tamaños de grano fino a medio.				
		<b>ALTERACIÓN</b>	Alteración selectiva de epidota hacia los máficos. Pátinas de arcilla. Cuarzo en vetillas.				
NOMBRE DE LA ROCA: Andesita de Hbl CÓDIGO DE LA MUESTRA: FR17P04M01		COORDENADAS UTM					
		LOCALIDAD	DATUM	HUSO	C. NORTE	C. ESTE	ALTITUD
		Valle de Las Palmas	WGS84	19H	6434285	299426	551
		<b>AFLORAMIENTO</b>	Afloramiento gris pardusco de geometría masiva. Corresponde a un talud al borde del camino.				
		<b>LITOLOGÍA</b>	Roca extrusiva hipocristalina de textura porfírica, inequigranular y con tamaño de grano fino a grueso. En la roca predominan los cristales de plagioclasas (90%), los cuales se presentan subhedral y de tamaños de hasta 0,4 cm, mientras que el cuarzo (10%) se presenta anhedral y de tamaños inferiores a los 0,2 cm. El mineral máfico predominante lo constituye la Hbl, la cual posee tamaño de grano fino a medio y se encuentra alterada selectivamente a epidota.				
		<b>ALTERACIÓN</b>	Máficos alterados de selectivamente a epidota. Pátinas de óxidos de Fe. Presenta magnetismo.				





NOMBRE DE LA ROCA: Granodiorita de Hbl CÓDIGO DE LA MUESTRA: FR17P04M02		COORDENADAS UTM					
		LOCALIDAD	DATUM	HUSO	C. NORTE	C. ESTE	ALTITUD
		Valle de Las Palmas	WGS84	19H	6434285	299426	551
		<b>AFLORAMIENTO</b>	Afloramiento gris blanquecino de geometría masiva. Corresponde a un talud al borde del camino.				
		<b>LITOLOGÍA</b>	Roca intrusiva holocristalina de textura fanerítica, inequigranular y con tamaño de granos finos a gruesos. Las plagioclasas (30%) se presentan euhedrales y con tamaños de grano medio a grueso. Los cristales de Kfs (10%) se presentan subhedrales, alterados a minerales de arcilla y con tamaño de grano medio. El cuarzo (60%) se presenta anhedral y en agregados de tamaños finos a medios. El mineral máfico predominante lo constituye la Hbl de tamaño de grano medio, subhedrales y alterada selectivamente a Ep. de grano grueso subhedrales y máficos anhedrales. Intrusivo con cristales plagioclasas, Hornblenda y cuarzo de grano medio a grueso subhedrales				
		<b>ALTERACIÓN</b>	Plagioclasas alteradas a minerales de arcilla.				
NOMBRE DE LA ROCA: Andesita de Hbl CÓDIGO DE LA MUESTRA: FR17P04M03		COORDENADAS UTM					
		LOCALIDAD	DATUM	HUSO	C. NORTE	C. ESTE	ALTITUD
		Valle de Las Palmas	WGS84	19H	6434285	299426	551
		<b>AFLORAMIENTO</b>	Afloramiento gris pardusco de geometría masiva. Corresponde a un talud al borde del camino.				
		<b>LITOLOGÍA</b>	Roca extrusiva hipocristalina de textura porfírica, inequigranular y con tamaño de grano fino a grueso. En la roca predominan los cristales de plagioclasas (88%), los cuales se presentan subhedrales y de tamaños de hasta 0,4 cm, mientras que el cuarzo (10%) y el Kfs (2%) se presentan anhedrales y de tamaños inferiores a los 0,2 cm. El mineral máfico predominante lo constituye la Hbl, la cual posee tamaño de grano fino a medio y se encuentra alterada selectivamente a epidota.				
		<b>ALTERACIÓN</b>	Máficos alterados de selectivamente a epidota. Pátinas de óxidos de Fe. Presenta magnetismo.				
NOMBRE DE LA ROCA: TONALITA DE Hbl CÓDIGO DE LA MUESTRA: FR17P05M01		COORDENADAS UTM					
		LOCALIDAD	DATUM	HUSO	C. NORTE	C. ESTE	ALTITUD
		Frutillar Bajo	WGS84	19H	6438777	305010	671 m
		<b>AFLORAMIENTO</b>	Afloramiento gris blanquecino de geometría masiva. Corresponde a un talud al borde del camino.				
		<b>LITOLOGÍA</b>	Roca intrusiva holocristalina de textura fanerítica, inequigranular y con tamaño de grano medio. Los cristales con cristales de cuarzo (45%) se presentan anhedrales al igual que los de los Kfs (5%), mientras que la plagioclasa (50%) se expresa euhedral con tamaños inferiores a los 0,3 cm. Con un índice de color mesocrático, el mineral máfico predominante lo constituyen las Hbl subhedrales con tamaños de hasta 0,2 cm.				
		<b>ALTERACIÓN</b>	Alteración de clorita-epidota diseminada. Óxidos de Fe en pátinas y diseminado.				
NOMBRE DE LA ROCA: Granito de Bt CÓDIGO DE LA MUESTRA: FR17P06M01		COORDENADAS UTM					
		LOCALIDAD	DATUM	HUSO	C. NORTE	C. ESTE	ALTITUD
		Frutillar Bajo	WGS84	19H	6440452	308700	815 m
		<b>AFLORAMIENTO</b>	Afloramiento gris blanquecino de geometría masiva. Corresponde a un talud al borde del camino.				
		<b>LITOLOGÍA</b>	Roca intrusiva holocristalina de textura fanerítica, equigranular, con tamaño de grano medio (aproximadamente 0,2 cm). Los cristales de plagioclasas con cristales de plagioclasas (30%) se presentan subhedrales, al igual que los cristales de Kfs (30%). Los cristales de cuarzo son anhedrales (40%) y suelen presentarse como agregados. El mineral máfico predominante corresponde a la biotita, la cual se presenta subhedral con tamaños de grano medio.				
		<b>ALTERACIÓN</b>	Actinolitización de Hbl				



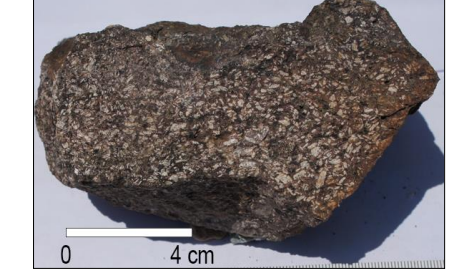
### 13.3.2. Sector La Ñipa, Hierro Viejo y Los Tornos

NOMBRE DE LA ROCA: BRECHA VOLCÁNICA		COORDENADAS UTM					
CÓDIGO DE LA MUESTRA: ÑP06P02.EM02		LOCALIDAD	DATUM	HUSO	C. NORTE	C. ESTE	ALTITUD
		La Ñipa	WGS84	19H	6425685	313352	582 m
		<b>AFLORAMIENTO</b>	Afloramiento gris de geometría masiva, altamente meteorizado y de dimensiones 5 m x 10 m.				
		<b>LITOLOGÍA</b>	Roca volcánica de textura brechosa constituida por clastos volcánicos angulosos, insertos en una masa fundamental hipocristalina de color gris. La masa fundamental presenta cristales subhedrales de Plg (70%) y Kfs (10%), y cristales anhedrales de Qz (20%); todos ellos de tamaños de grano fino (< 2 mm). Los clastos volcánicos son angulosos y monomicticos, con un tamaño de grano grueso de hasta 25 cm.				
		<b>ALTERACIÓN</b>	Clorización de clastos volcánicos. Masa fundamental presenta alteración selectiva minerales carbonáticos.				
NOMBRE DE LA ROCA: BRECHA VOLCÁNICA		COORDENADAS UTM					
CÓDIGO DE LA MUESTRA: ÑP06M03.EM01		LOCALIDAD	DATUM	HUSO	C. NORTE	C. ESTE	ALTITUD
		La Ñipa	WGS84	19H	6425650	313316	616 m
		<b>AFLORAMIENTO</b>	Afloramiento grisáceo de geometría masiva y con múltiples fracturas (al menos 6 sets reconocibles)				
		<b>LITOLOGÍA</b>	Roca volcánica de textura brechosa, matriz soportado, con clastos volcánicos inmersos en una masa fundamental hipocristalina. La masa fundamental hipocristalina posee textura porfírica, con cristales subhedrales de plagioclasas (60%) y anhedrales de Qz (40%), ambos con tamaños de grano fino (< 1 mm). Los clastos volcánicos son monomicticos, angulosos a subangulosos, mal seleccionados y con tamaños de desde los 4 cm hasta los 30 cm.				
		<b>ALTERACIÓN</b>	Alteración de Qz y Epidota en vetillas de 15 cm de ancho				
NOMBRE DE LA ROCA: BRECHA VOLCÁNICA		COORDENADAS UTM					
CÓDIGO DE LA MUESTRA: ÑP06M03.EM02		LOCALIDAD	DATUM	HUSO	C. NORTE	C. ESTE	ALTITUD
		La Ñipa	WGS84	19H	6425650	313316	616 m
		<b>AFLORAMIENTO</b>	Afloramiento grisáceo de geometría masiva y con múltiples fracturas (al menos 6 sets reconocibles)				
		<b>LITOLOGÍA</b>	Roca volcánica de textura brechosa, matriz soportado, con clastos volcánicos inmersos en una masa fundamental hipocristalina. La masa fundamental hipocristalina posee textura porfírica, con cristales subhedrales de plagioclasas (60%) y anhedrales de Qz (40%), ambos con tamaños de grano fino (< 1 mm). Los clastos volcánicos son monomicticos, angulosos a subangulosos, mal seleccionados y con tamaños de desde los 4 cm hasta los 30 cm.				
		<b>ALTERACIÓN</b>	Alteración de Qz y Epidota en vetillas de 15 cm de ancho				
NOMBRE DE LA ROCA: BRECHA VOLCÁNICA		COORDENADAS UTM					
CÓDIGO DE LA MUESTRA: ÑP06P04.EM01		LOCALIDAD	DATUM	HUSO	C. NORTE	C. ESTE	ALTITUD
		La Ñipa	WGS84	19H	6425416	313640	786 m
		<b>AFLORAMIENTO</b>	Afloramiento rojizo de geometría masiva y 4 m de altura.				
		<b>LITOLOGÍA</b>	Roca volcánica de textura brechosa, matriz soportada, con clastos volcánicos angulosos, polimicticos y gruesos (hasta 25 mm), insertos en una masa fundamental rojiza afanítica.				
		<b>ALTERACIÓN</b>	Pátinas carbonáticas.				

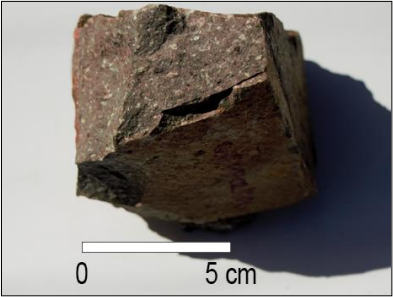

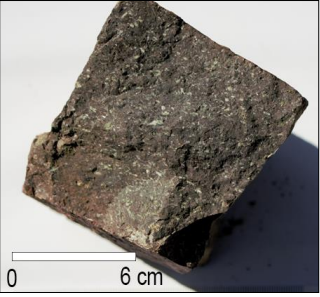
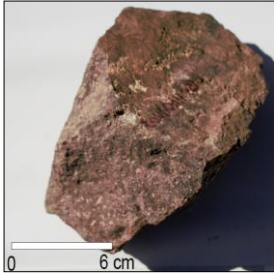


NOMBRE DE LA ROCA: BRECHA VOLCÁNICA CÓDIGO DE LA MUESTRA: ÑP06P07.EM01		COORDENADAS UTM				
LOCALIDAD	DATUM	HUSO	C. NORTE	C. ESTE	ALTITUD	
La Ñipa	WGS84	19H	6424632	313530	963 m	
	<b>AFLORAMIENTO</b>	Afloramiento gris pardusco de geometría masiva.				
	<b>LITOLOGÍA</b>	Roca volcánica de textura brechosa, con clastos volcánicos insertos en una masa fundamental holohialina inequigranular. La masa fundamental de color gris posee cristales plagioclasas (100%) menores a 1 mm, clasificándose macroscópicamente como andesítica. Los clastos volcánicos poseen tamaños de 2-3 cm, son angulosos y se componen de lavas andesíticas y tobas cristalinas rojizas.				
	<b>ALTERACIÓN</b>	S/N				
NOMBRE DE LA ROCA: BRECHA VOLCÁNICA CÓDIGO DE LA MUESTRA: ÑP06P01.WM01		COORDENADAS UTM				
LOCALIDAD	DATUM	HUSO	C. NORTE	C. ESTE	ALTITUD	
La Ñipa	WGS84	19H	6424559	312886	773 m	
	<b>AFLORAMIENTO</b>	Afloramiento gris pardusco de geometría masiva-lobular.				
	<b>LITOLOGÍA</b>	Roca volcánica de textura brechosa, matriz soportada, con clastos volcánicos angulosos inmersos en una masa fundamental hipocristalina de color grisáceo. La masa fundamental posee textura porfírica, con cristales de plagioclasas (70%) euhedrales a subhedrales de grano fino a medio, y cristales de cuarzo (30%) anhedral de grano fino. Los clastos volcánicos se dividen en dos grupos donde el primero posee color pardo, son angulosos y con tamaños de 1 a 10 cm. El segundo grupo de clastos son menos abundantes, poseen tamaños de hasta 30 cm, son angulosos y poseen un color gris azulado.				
	<b>ALTERACIÓN</b>	Epidotización selectiva a clastos pardos. Pátina de arcilla.				
NOMBRE DE LA ROCA: BRECHA VOLCÁNICA CÓDIGO DE LA MUESTRA: ÑP06P02.WM04		COORDENADAS UTM				
LOCALIDAD	DATUM	HUSO	C. NORTE	C. ESTE	ALTITUD	
La Ñipa	WGS84	19H	6424559	312886	773 m	
	<b>AFLORAMIENTO</b>	Afloramiento gris azulado de geometría masiva. Posee fracturamiento subparalelo, oblicuo, continuo y recto. Las fracturas presentan relleno de arcilla y un relleno de color negro no determinado.				
	<b>LITOLOGÍA</b>	Roca volcánica de textura brechosa, matriz soportada, con clastos volcánicos angulosos inmersos en una masa fundamental hipocristalina de color gris azulado. La masa fundamental presenta cristales inequigranulares de Qz anhedral (20%) y Plg (80%) con tamaños de grano fino a medio. Los clastos volcánicos presentan mala selección, son monomórficos, angulosos y con tamaños entre 1 y 15 cm.				
	<b>ALTERACIÓN</b>	Epidotización selectiva a algunos clastos, pátina de arcilla.				
NOMBRE DE LA ROCA: ANDESITA CÓDIGO DE LA MUESTRA: HV-C2-100117-1		COORDENADAS UTM				
LOCALIDAD	DATUM	HUSO	C. NORTE	C. ESTE	ALTITUD	
Los Tornos	WGS84	19H	6426209	311675	829 m	
	<b>AFLORAMIENTO</b>	Afloramiento gris verdoso de geometría tabular recto.				
	<b>LITOLOGÍA</b>	Roca volcánica de textura porfírica, hipocristalina y con cristales inequigranulares. La masa fundamental posee un color gris azulado. La alteración pervasiva de clorita-epidota impide identificar la mineralogía máfica. Los cristales félsicos corresponden a plagioclasas euhedrales epidotizadas.				
	<b>ALTERACIÓN</b>	Alteración pervasiva a clorita-epidota.				



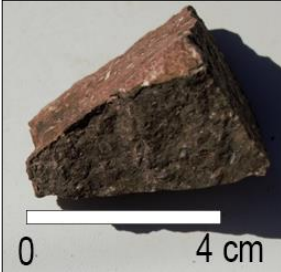


NOMBRE DE LA ROCA: ANDESITA		COORDENADAS UTM					
CÓDIGO DE LA MUESTRA: HV-C2-170117-B01		LOCALIDAD	DATUM	HUSO	C. NORTE	C. ESTE	ALTITUD
	Hierro Viejo	WGS84	19H	6426689	311287	491 m	
	AFLORAMIENTO	Afloramiento gris oscuros de geometría masiva					
	LITOLOGÍA	Roca volcánica de textura porfírica, con cristales de plagioclasas inmersos en una matriz vítrea gris azulada. Los cristales de plagioclasas corresponden a la totalidad de cristales félsicos y se presentan subhedrales con tamaños menores a 2 mm. No se reconocen los cristales máficos.					
	ALTERACIÓN	S/N					
NOMBRE DE LA ROCA: ANDESITA TIPO "OCOITA"		COORDENADAS UTM					
CÓDIGO DE LA MUESTRA: HV-C2-170117-B02		LOCALIDAD	DATUM	HUSO	C. NORTE	C. ESTE	ALTITUD
	Hierro Viejo	WGS84	19H	6426551	311381	537 m	
	AFLORAMIENTO	Afloramiento gris pardusco de geometría masiva.					
	LITOLOGÍA	Roca volcánica de textura porfírica con cristales inequigranulares de plagioclasas euhedrales bien preservadas de hasta 7 mm, inmersos en una masa fundamental vítrea de color gris púrpura.					
	ALTERACIÓN	S/N					
NOMBRE DE LA ROCA: ANDESITA TIPO "OCOITA"		COORDENADAS UTM					
CÓDIGO DE LA MUESTRA: HV-C2-170117-B03		LOCALIDAD	DATUM	HUSO	C. NORTE	C. ESTE	ALTITUD
	Hierro Viejo	WGS84	19H	6426551	311381	537 m	
	AFLORAMIENTO	Afloramiento pardusco de geometría tabular.					
	LITOLOGÍA	Roca volcánica de textura porfírica con cristales inequigranulares de plagioclasas subhedrales alteradas a minerales de arcilla y tamaños de hasta 4 mm, inmersos en una masa fundamental de color gris azulado claro.					
	ALTERACIÓN	Alteración selectiva de plagioclasas a minerales de arcilla.					
NOMBRE DE LA ROCA: LAVA AFANÍTICA		COORDENADAS UTM					
CÓDIGO DE LA MUESTRA: HV-C2-170117-B04		LOCALIDAD	DATUM	HUSO	C. NORTE	C. ESTE	ALTITUD
	Hierro Viejo	WGS84	19H	6426551	311381	537 m	
	AFLORAMIENTO	Afloramiento gris claro de 20 m de espesor y 10 m de largo. Presenta geometría tabular con fracturas perpendiculares a la estratificación.					
	LITOLOGÍA	Roca volcánica de textura afanítica. Corresponde a una lava holocristalina con microcristales no reconocibles a muestra de mano.					
	ALTERACIÓN	S/N					

NOMBRE DE LA ROCA: ANDESITA TIPO "OCOITA"		COORDENADAS UTM					
CÓDIGO DE LA MUESTRA: HV-C2-170117-B08		LOCALIDAD	DATUM	HUSO	C. NORTE	C. ESTE	ALTITUD
	Hierro Viejo	WGS84	19H	6426378	311527	656 m	
	AFLORAMIENTO	Afloramiento gris oscuro de geometría tabular.					
	LITOLOGÍA	Roca volcánica de textura porfírica con cristales inequigranulares de plagioclasas euhedrales bien preservadas de hasta 5 mm, inmersos en una masa fundamental vítrea de color púrpura.					
	ALTERACIÓN	Cloritización selectiva de algunos cristales de Plg.					
NOMBRE DE LA ROCA: ANDESITA TIPO "OCOITA"		COORDENADAS UTM					
CÓDIGO DE LA MUESTRA: HV-C2-170117-B09		LOCALIDAD	DATUM	HUSO	C. NORTE	C. ESTE	ALTITUD
	Hierro Viejo	WGS84	19H	6426327	311768	789 m	
	AFLORAMIENTO	Afloramiento pardusco con geometría masiva.					
	LITOLOGÍA	Roca volcánica de textura porfírica con cristales inequigranulares de plagioclasas subhedrales regularmente preservadas de hasta 5 mm, inmersos en una masa fundamental de color gris púrpura oscuro.					
	ALTERACIÓN	Plagioclasas alteradas selectivamente a minerales de arcilla.					
NOMBRE DE LA ROCA: ANDESITA TIPO "OCOITA"		COORDENADAS UTM					
CÓDIGO DE LA MUESTRA: HV-C2-170117-B11		LOCALIDAD	DATUM	HUSO	C. NORTE	C. ESTE	ALTITUD
	Hierro Viejo	WGS84	19H	6426759	312192	560 m	
	AFLORAMIENTO	Afloramiento gris de geometría tabular a masiva.					
	LITOLOGÍA	Roca volcánica de textura porfírica con cristales inequigranulares de plagioclasas subhedrales bien preservadas de hasta 5 mm, inmersos en una masa fundamental vítrea de color gris pardusca. Las plagioclasas alcanzan el 50% de la totalidad de la roca, presentando mayor abundancia que en los puntos de control anteriores. En los planos de exfoliación se presentan cristales de biotitas subhedrales.					
	ALTERACIÓN	Biotita alterada selectivamente a clorita. Alteración selectiva de plagioclasas a minerales de arcilla. Pátinas de minerales de arcilla y óxidos de Fe.					

### 13.3.3. Sector Quebrada de Castro


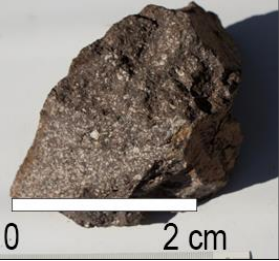

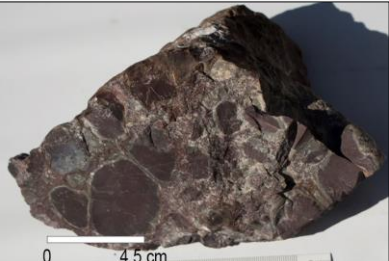
NOMBRE DE LA ROCA: ANDESITA DE HORNBLENDA		COORDENADAS UTM					
CÓDIGO DE LA MUESTRA: QC11P02.WM01		LOCALIDAD	DATUM	HUSO	C. NORTE	C. ESTE	ALTITUD
	Quebrada de Castro	19H	WGS84	6431760	321470	609 m	
	<b>AFLORAMIENTO</b>	Afloramiento gris parduzco de geometría masiva e intenso fracturamiento en al menos 4 direcciones.					
	<b>LITOLOGÍA</b>	Rocas hipocristalina de textura porfírica con cristales inequigranulares en una masa fundamental gris pardusca. Presenta cristales de plagioclasa (85%) subhedrales a euhedrales de hasta 0,4 cm, cristales de anhedrales de cuarzo (10%) y subhedrales de feldespato (5%) de hasta 0,3 cm y cristales subhedrales a euhedrales de hornblenda de 0,3 cm. Presencia de magnetismo moderado a fuerte.					
	<b>ALTERACIÓN</b>	Epidota selectiva a minerales de Hbl y en vetillas, jaspe diseminado y vetillas de calcita. Pátinas de arcillas y óxidos de Fe.					
NOMBRE DE LA ROCA: ANDESITA DE HORNBLENDA		COORDENADAS UTM					
CÓDIGO DE LA MUESTRA: QC11P03.WM01		LOCALIDAD	DATUM	HUSO	C. NORTE	C. ESTE	ALTITUD
	Quebrada de Castro	19H	WGS84	6432562	321430	703 m	
	<b>AFLORAMIENTO</b>	Afloramiento gris pardusco de geometría masiva y fracturas en 2 direcciones preferenciales.					
	<b>LITOLOGÍA</b>	Rocas hipocristalina de textura porfírica con cristales inequigranulares en una masa fundamental gris pardusca. Presenta cristales de plagioclasa (85%) subhedrales a euhedrales de hasta 0,4 cm, cristales de anhedrales de cuarzo (10%) y subhedrales de feldespato (5%) de hasta 0,3 cm y cristales subhedrales a euhedrales de hornblenda de 0,3 cm. Presencia de magnetismo moderado a fuerte.					
	<b>ALTERACIÓN</b>	Alteración selectiva de epidota en minerales máficos y pátinas de color marrón (posibles óxidos de Hierro)					
NOMBRE DE LA ROCA: LAVA ANDESÍTICA		COORDENADAS UTM					
CÓDIGO DE LA MUESTRA: QC11P04.WM01		LOCALIDAD	DATUM	HUSO	C. NORTE	C. ESTE	ALTITUD
	Quebrada de Castro	19H	WGS84	6432900	321332	721	
	<b>AFLORAMIENTO</b>	Afloramiento grisáceo de geometría tabular dispuesto en contacto por falla sobre litología de la muestra QC11P04.WM02. El afloramiento presenta fracturamiento subvertical en una dirección preferencial.					
	<b>LITOLOGÍA</b>	Roca hipocristalina de textura porfírica con cristales inequigranulares de tamaños de grano fino a medio. Los cristales de plagioclasas (90%) subhedrales a euhedrales presentan tamaños de hasta 0,5 cm, mientras que los cristales de cuarzo anhedral (5%) y Kfs subhedral (5%) poseen tamaños menores a 0,3 cm. El máfico predominante lo constituye la Hbl anhedral alterada a epidota. Presenta leve magnetismo.					
	<b>ALTERACIÓN</b>	Alteración de epidota selectiva a minerales máficos y calcita en cúmulos.					
NOMBRE DE LA ROCA: BRECHA VOLCÁNICA		COORDENADAS UTM					
CÓDIGO DE LA MUESTRA: QC11P04.WM02		LOCALIDAD	DATUM	HUSO	C. NORTE	C. ESTE	ALTITUD
	Quebrada de Castro	19H	WGS84	6432900	321332	721	
	<b>AFLORAMIENTO</b>	Afloramiento rojizo de geometría masiva dispuesto en contacto por falla bajo la litología de la muestra QC11P04.WM01					
	<b>LITOLOGÍA</b>	Roca volcánica de textura clástica con clastos volcánicos angulosos, polimícticos y mal seleccionados, con tamaños de clastos de hasta 60 cm y matriz soportado. Se observan cristales de plagioclasa en la matriz, euhedrales y subhedrales, y con tamaños de hasta 0,5 cm. Los clastos volcánicos presentan cristales de plagioclasa en una masa fundamental gris, parda y marrón.					
	<b>ALTERACIÓN</b>	Alteración de epidota diseminada.					


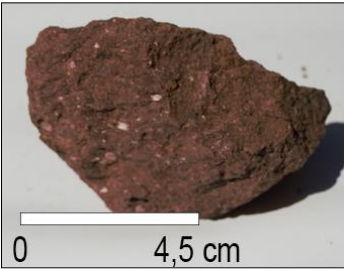
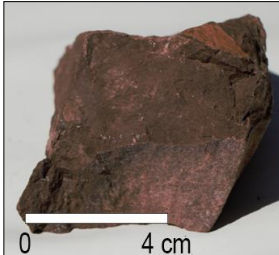
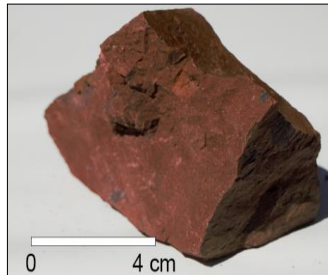



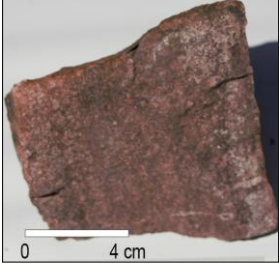
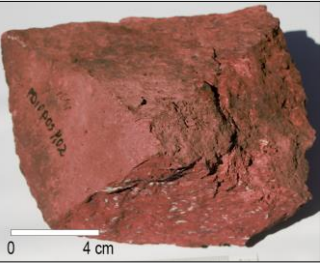
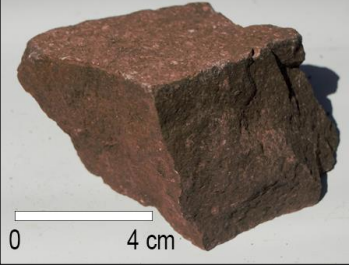
NOMBRE DE LA ROCA: ANDESITA DE HORNBLENDA		COORDENADAS UTM					
CÓDIGO DE LA MUESTRA: QC11P05.WM01		LOCALIDAD	DATUM	HUSO	C. NORTE	C. ESTE	ALTITUD
	Quebrada de Castro	19H	WGS84	6432957	320993	839 m	
	<b>AFLORAMIENTO</b>	Afloramiento gris rojizo de geometría masiva, muy fracturado en 4 direcciones preferenciales y con diaclasamiento sinuoso.					
	<b>LITOLOGÍA</b>	Roca hipocristalina de textura porfírica con cristales inequigranulares de tamaños de grano fino a medio en una masa fundamental gris. Las plagioclasas anhedrales a subhedrales (90%) de hasta 4 mm se encuentran alteradas a minerales de arcilla, al igual que los cristales de Kfs (5%). Los cristales de cuarzo anhedral (5%) se presentan en cúmulos con tamaños menores a 0,2 cm. Los minerales máficos anhedrales se encuentran alterados a epidota. No presenta magnetismo.					
	<b>ALTERACIÓN</b>	Alteración de jaspe y calcita. Epidota selectiva en minerales máficos.					
NOMBRE DE LA ROCA: DACITA		COORDENADAS UTM					
CÓDIGO DE LA MUESTRA: QC11P03.EM01		LOCALIDAD	DATUM	HUSO	C. NORTE	C. ESTE	ALTITUD
	Quebrada de Castro	19H	WGS84	6431376	321846	581 m	
	<b>AFLORAMIENTO</b>	Afloramiento gris oscuro con geometría masiva y fracturamiento subhorizontal, continuas y discontinuas.					
	<b>LITOLOGÍA</b>	Roca hipocristalina de textura porfírica con cristales inequigranulares de tamaño de grano fino a medio. Cristales de plagioclasas ehedrales (75%) y cuarzo anhedral (25%) de tamaños hasta 2 mm. Presenta clastos volcánicos granocrecientes oscuros, escasos y menores a 1 cm.					
	<b>ALTERACIÓN</b>	S/N					
NOMBRE DE LA ROCA: DACITA DE ANFÍBOL		COORDENADAS UTM					
CÓDIGO DE LA MUESTRA: QC11P10.EM02		LOCALIDAD	DATUM	HUSO	C. NORTE	C. ESTE	ALTITUD
	Quebrada de Castro	19H	WGS84	6431719	322059	735 m	
	<b>AFLORAMIENTO</b>	Afloramiento gris oscuro de geometría masiva, fracturado en 3 planos principales con relleno de minerales de arcilla.					
	<b>LITOLOGÍA</b>	Roca hipocristalina de textura porfírica con cristales de tamaño de grano fino a medio, insertos en una masa fundamental gris pardusca. Los cristales de plagioclasas ehedrales (70%) se encuentran orientadas hacia el noreste, mientras que los cuarzo anhedrales (30%) se presentan en cúmulos de tamaños menores a 2 mm. Los máficos predominantes corresponden a anfíboles de grano fino, alterados a clorita.					
	<b>ALTERACIÓN</b>	Pátinas de arcillas y óxidos de manganeso. Clorización de anfíboles.					
NOMBRE DE LA ROCA: BRECHA VOLCÁNICA		COORDENADAS UTM					
CÓDIGO DE LA MUESTRA: QC11P16.EM03		LOCALIDAD	DATUM	HUSO	C. NORTE	C. ESTE	ALTITUD
	Quebrada de Castro	19H	WGS84	6432665	322118	877 m	
	<b>AFLORAMIENTO</b>	Afloramiento gris claro con geometría lobular y fracturamiento subparalelo.					
	<b>LITOLOGÍA</b>	Roca volcánica de textura clásica matriz soportada, con clastos monomícticos, subangulosos y mal seleccionados, inmersos en una matriz gris oscura con cristales de plagioclasas ehedrales, inequigranulares de tamaños de grano fino a medio. Los clastos son de carácter volcánico y se presentan granocrecientes con tamaños de hasta 10 cm en la porción inferior y hasta 70 cm en la porción superior.					
	<b>ALTERACIÓN</b>	Arcillas y epidota diseminada y en vetillas.					
NOMBRE DE LA ROCA: CUARZODIORITA DE ANF y PX		COORDENADAS UTM					
CÓDIGO DE LA MUESTRA: QC11P18.EM04		LOCALIDAD	DATUM	HUSO	C. NORTE	C. ESTE	ALTITUD
	Quebrada de Castro	19H	WGS84	6432855	322083	886 m	
	<b>AFLORAMIENTO</b>	Dique de color verdoso de geometría tabular, con orientación N10°E y espesor de 1,5 m.					
	<b>LITOLOGÍA</b>	Roca hipocristalina de textura fanerítica, inequigranular de tamaño de grano fino a muy fino. Las plagioclasas ehedrales constituyen el 85% de la normalización QAP, mientras que el cuarzo constituye el 15% restante. Los minerales máficos predominantes corresponden a los anfíboles y piroxenos subhedrales. Presenta mineralización masiva de magnetita.					
	<b>ALTERACIÓN</b>	Alteración pervasiva de clorita.					

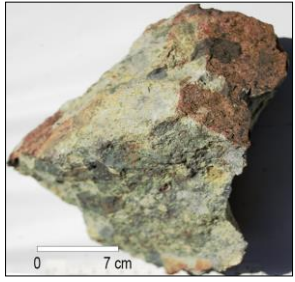

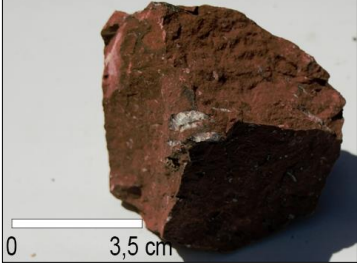

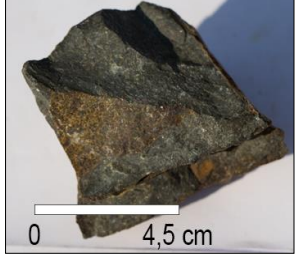


### 13.3.4. Sector Valle de Pedernal

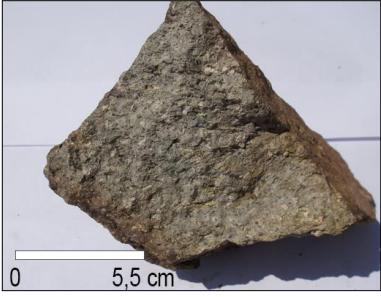




NOMBRE DE LA ROCA: AUTOBRECHA DACÍTICA		COORDENADAS UTM					
CÓDIGO DE LA MUESTRA: PD10P04.NM01		LOCALIDAD	DATUM	HUSO	C. NORTE	C. ESTE	ALTITUD
	Valle de Pedernal Norte	WGS84	19H	6448798	331580	1194 m	
	<b>AFLORAMIENTO</b>	Afloramiento gris de 10 m de potencia, con geometría masiva y fracturamiento subvertical con relleno de arcilla.					
	<b>LITOLOGÍA</b>	Roca extrusiva de textura brechosa (autobrecha) con clastos volcánicos y cristales inequigranulares, inmersos en una masa fundamental gris pardusca. La matriz porfírica hipocristalina se compone de una masa fundamental vítrea y cristales de grano medio constituidos de Plg euhedral (60%), Kfs subhedral (15%) y cuarzo anhedral (25%), además de anfíboles subhedrales. Los clastos son monomícticos de hasta 6 cm, y se componen de la misma litología que su matriz, interpretándose como una autobrecha.					
	<b>ALTERACIÓN</b>	Plagioclasas alteradas selectivamente a minerales de arcilla.					
NOMBRE DE LA ROCA: DACITA DE HORNBLENDA		COORDENADAS UTM					
CÓDIGO DE LA MUESTRA: PD10P05.NM02		LOCALIDAD	DATUM	HUSO	C. NORTE	C. ESTE	ALTITUD
	Valle de Pedernal Norte	WGS84	19H	6449050	331700	1269 m	
	<b>AFLORAMIENTO</b>	Afloramiento gris de 6 m x 4 m, de geometría masiva y con fracturamiento subhorizontal y subvertical discontinuo.					
	<b>LITOLOGÍA</b>	Roca extrusiva de textura porfírica compuesta de cristales inequigranulares de grano medio, inmersos en una masa fundamental de color gris. Las plagioclasas se presentan euhedrales (65%), el cuarzo anhedral (30%) y los feldespatos subhedrales mal preservados (5%). Las hornblendas son subhedrales y escasas, representando menos del 5% de la roca total, lo que le otorga un índice de color leucocrático.					
	<b>ALTERACIÓN</b>	S/N					
NOMBRE DE LA ROCA: LAVA ANDESÍTICA		COORDENADAS UTM					
CÓDIGO DE LA MUESTRA: PD10P06.NM03		LOCALIDAD	DATUM	HUSO	C. NORTE	C. ESTE	ALTITUD
	Valle de Pedernal Norte	WGS84	19H	6449264	331814	1340 m	
	<b>AFLORAMIENTO</b>	Afloramiento gris oscuro de 4 m de alto y 6 de ancho, de geometría tabular y con fracturamiento vertical con aperturas entre 1 y 2 mm.					
	<b>LITOLOGÍA</b>	Roca extrusiva hipocristalina de textura porfírica compuesta de cristales equigranulares de grano fino, inmersos en una masa fundamental de color gris marrón. Las plagioclasas se presentan subhedrales mal preservadas (90%), mientras que el cuarzo se presenta anhedral en cúmulos (10%). No se identifican minerales máficos.					
	<b>ALTERACIÓN</b>	Plagioclasas alteradas selectivamente a minerales de arcilla. Pátinas de óxidos de Fe. Minerales carbonáticos microcristalinos.					
NOMBRE DE LA ROCA: BRECHA VOLCÁNICA		COORDENADAS UTM					
CÓDIGO DE LA MUESTRA: PD10P08.NM04		LOCALIDAD	DATUM	HUSO	C. NORTE	C. ESTE	ALTITUD
	Valle de Pedernal Norte	WGS84	19H	6449372	331894	1411 m	
	<b>AFLORAMIENTO</b>	Afloramiento rojizo a grisáceo de 15 m de espesor, de geometría masiva y con fracturamiento subhorizontal con espaciamiento de hasta 1 cm.					
	<b>LITOLOGÍA</b>	Roca volcánica de textura brechosa, con clastos volcánicos monomícticos inmersos en una masa fundamental rojiza a grisácea silicificada. La roca es matriz soportada, con clastos volcánicos, monomícticos y angulosos, con tamaños de hasta 15 cm. La silicificación no permite determinar características de la masa fundamental.					
	<b>ALTERACIÓN</b>	Silicificación.					

NOMBRE DE LA ROCA: CONGLOMERADO ARENOSO CÓDIGO DE LA MUESTRA: PD10P10.NM06		COORDENADAS UTM					
		LOCALIDAD	DATUM	HUSO	C. NORTE	C. ESTE	ALTITUD
	Valle de Pedernal Norte	WGS84	19H	6449160	332236	1364 m	
	<b>AFLORAMIENTO</b>	Afloramiento rojizo de geometría masiva y con fracturamiento oblicuo.					
	<b>LITOLOGÍA</b>	Roca sedimentaria rojiza de textura clástica, matriz soportada, mal seleccionada, de esfericidad baja, y con madurez textural y química media. Los clastos son redondeados y oblatos, y presentan una granulometría de tamaño gravajiarro (45%) y arena muy gruesa (55%). La matriz de arena fina constituye el 55% de la roca.					
	<b>ALTERACIÓN</b>	S/N					
NOMBRE DE LA ROCA: ARENISCA LÍTICA GRAVOSA CÓDIGO DE LA MUESTRA: PD10P01.SM01		COORDENADAS UTM					
		LOCALIDAD	DATUM	HUSO	C. NORTE	C. ESTE	ALTITUD
	Calle Larga	WGS84	19H	6438631	329349	796 m	
	<b>AFLORAMIENTO</b>	Afloramiento rojizo de geometría masiva lobular.					
	<b>LITOLOGÍA</b>	Roca sedimentaria de textura clástica, granulometría de arena gruesa, pobre selección, polimictica, de madurez textural y composicional baja y redondeamiento medio. Los clastos se componen de un 5% de líticos morados, grises y negros, 10% de cuarzo blanquecino. La matriz corresponde a líticos grises, morados y rojos (65%) y cuarzo (20%). No se observa el cemento.					
	<b>ALTERACIÓN</b>	Alteración mecánica. La roca se encuentra altamente alterada y se disgrega con facilidad.					
NOMBRE DE LA ROCA: TOBA VÍTREA CÓDIGO DE LA MUESTRA: PD10P02.SM02		COORDENADAS UTM					
		LOCALIDAD	DATUM	HUSO	C. NORTE	C. ESTE	ALTITUD
	Calle Larga	WGS84	19H	6438592	329875	801 m	
	<b>AFLORAMIENTO</b>	Afloramiento marrón rojizo de geometría masiva.					
	<b>LITOLOGÍA</b>	Roca piroclástica constituida por cristales gris traslucidos y blanquecinos inmersos en una matriz de ceniza rojiza. La matriz constituye el 95% de la roca, se compone de ceniza fina a media. Presenta juveniles de escoria (2%), cristales de sílice amorfo (3%) de tamaño ceniza gruesa a lapilli fino. Se observan fiames de sílice.					
	<b>ALTERACIÓN</b>	Pátinas de arcillas y óxidos de Fe.					
NOMBRE DE LA ROCA: TOBA VÍTREA CÓDIGO DE LA MUESTRA: PD10P03.SM01		COORDENADAS UTM					
		LOCALIDAD	DATUM	HUSO	C. NORTE	C. ESTE	ALTITUD
	Calle Larga	WGS84	19H	6438615	329292	813 m	
	<b>AFLORAMIENTO</b>	Afloramiento rojizo de geometría masiva.					
	<b>LITOLOGÍA</b>	Roca piroclástica constituida por cristales blanquecinos y líticos grises oscuros inmersos en una matriz de ceniza rojiza. La matriz constituye el 82% de la roca y se compone de ceniza fina a media. Presenta líticos accesorios (15%) de tamaño ceniza gruesa a lapilli medio, subangulosos a subredondeados y algunos son equidimensionales. Los cristales plagioclasas euhedrales (3%) se presentan con tamaños de lapilli fino.					
	<b>ALTERACIÓN</b>	Pátinas de arcilla y óxidos de Fe.					

NOMBRE DE LA ROCA: CORNEANA DE CUARZO CÓDIGO DE LA MUESTRA: PD10P04.SM01		COORDENADAS UTM					
		LOCALIDAD	DATUM	HUSO	C. NORTE	C. ESTE	ALTITUD
		Calle Larga	WGS84	19H	6438782	329066	852 m
		AFLORAMIENTO	Afloramiento color rosa blanquecino con leves tonos parduscos y de geometría masiva a lobular.				
		LITOLOGÍA	Corresponde a una roca de metamorfismo de contacto, de fábrica isotrópica, estructura masiva y compuesta por sílice anhedral (amorfo?). El protolito no es reconocible dada la silicificación pervasiva.				
		ALTERACIÓN	Silicificación pervasiva. Mineral negro anhedral (óxidos de manganeso?)				
NOMBRE DE LA ROCA: ARENISCA LÍTICA CÓDIGO DE LA MUESTRA: PD10P05.SM01		COORDENADAS UTM					
		LOCALIDAD	DATUM	HUSO	C. NORTE	C. ESTE	ALTITUD
		Calle Larga	WGS84	19H	6440119	329743	825 m
		AFLORAMIENTO	Afloramiento rojizo de geometría tabular y estratificación cruzada.				
		LITOLOGÍA	Roca sedimentaria de textura clástica, granulometría de arena gruesa a muy gruesa, buena selección, polimictica, de madurez textural y composicional baja a moderada y redondeamiento bajo. Los clastos se componen de un 70% de líticos morados y rojizos, y 20% de cuarzo blanquecino. La matriz corresponde al 10% de la roca, con líticos grises y rojos (8%) y cuarzo (2%). No se observa el cemento.				
		ALTERACIÓN	Pátinas de sílice amorfo				
NOMBRE DE LA ROCA: TOBA VÍTREA CÓDIGO DE LA MUESTRA: PD10P05.SM02		COORDENADAS UTM					
		LOCALIDAD	DATUM	HUSO	C. NORTE	C. ESTE	ALTITUD
		Calle Larga	WGS84	19H	6440119	329743	825 m
		AFLORAMIENTO	Afloramiento rojizo de geometría tabular estratificado con intenso plegamiento				
		LITOLOGÍA	Roca piroclástica con piroclastos de tamaño de grano lapilli fino, constituidos de cristales de sílice amorfo (8%) y fiames de sílice (25%) inmersos en una matriz rojiza de ceniza fina a media (67%). La roca presenta vesículas alargadas y orientadas de hasta 1 cm.				
		ALTERACIÓN	Pátinas de minerales de arcilla.				
NOMBRE DE LA ROCA: TOBA VÍTREA DE LAPILLI CÓDIGO DE LA MUESTRA: PD10P06.SM01		COORDENADAS UTM					
		LOCALIDAD	DATUM	HUSO	C. NORTE	C. ESTE	ALTITUD
		Calle Larga	WGS84	19H	6440129	329684	793 m
		AFLORAMIENTO	Afloramiento gris púrpura de geometría masiva.				
		LITOLOGÍA	Roca piroclástica con piroclastos de tamaño de grano ceniza gruesa a lapilli fino, constituidos de cristales subhedrales máficos (15%) y plagioclasas (20%), inmersos en una matriz rojiza de ceniza fina (65%).				
		ALTERACIÓN	Arcillas y calcita en vetillas.				


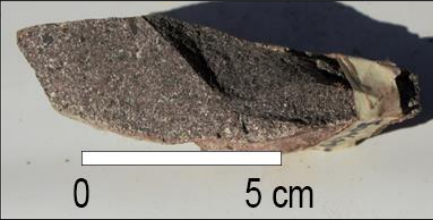
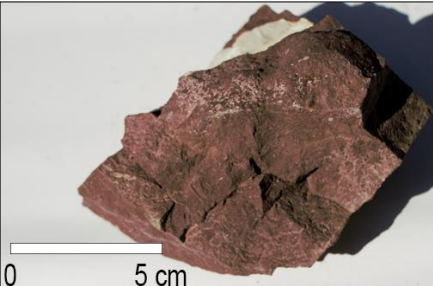
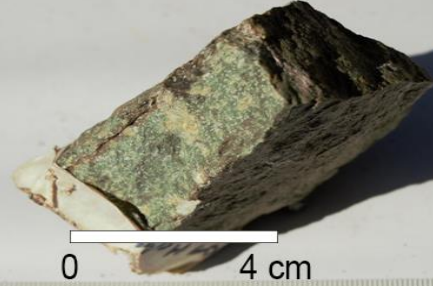
NOMBRE DE LA ROCA: BRECHA VOLCÁNICA		COORDENADAS UTM					
CÓDIGO DE LA MUESTRA: PD10P07.SM01		LOCALIDAD	DATUM	HUSO	C. NORTE	C. ESTE	ALTITUD
	Valle de Pedernal Sur	WGS84	19H	6443568	330459	897 m	
	<b>AFLORAMIENTO</b>	Afloramiento gris con tonos verdosos de geometría tabular.					
	<b>LITOLOGÍA</b>	Roca volcánica de textura brechosa con clasto volcánicos medios a muy gruesos inmersos en una masa fundamental hipocristalina de color gris. La masa fundamental posee cristales de plagioclasas subhedrales (80%) y cuarzo anhedral (20%) de hasta 0,4 cm. Los clastos volcánicos son angulosos, polimícticos de 3 tipos y poseen tamaños que varían entre los 0,3 y 4 cm					
	<b>ALTERACIÓN</b>	Epidota en cúmulos y diseminada. Máficos cloritizados que impiden identificación. Masa fundamental alterada selectivamente a epidota.					
NOMBRE DE LA ROCA: TOBA VÍTREA		COORDENADAS UTM					
CÓDIGO DE LA MUESTRA: PD10P09.SM01		LOCALIDAD	DATUM	HUSO	C. NORTE	C. ESTE	ALTITUD
	El Chalaco	WGS84	19H	6439469	330788	837 m	
	<b>AFLORAMIENTO</b>	Afloramiento rojizo de geometría tabular con intenso plegamiento.					
	<b>LITOLOGÍA</b>	Roca piroclástica con piroclastos de tamaño de grano ceniza gruesa, constituidos de cristales subhedrales de plagioclasas (5%), inmersos en una matriz gris marrón verdosa de ceniza fina (95%).					
	<b>ALTERACIÓN</b>	Arcilla en vetillas.					
NOMBRE DE LA ROCA: TOBA VÍTREA		COORDENADAS UTM					
CÓDIGO DE LA MUESTRA: PD10P01.SM02		LOCALIDAD	DATUM	HUSO	C. NORTE	C. ESTE	ALTITUD
	El Chalaco	WGS84	19H	6439469	330788	837 m	
	<b>AFLORAMIENTO</b>	Afloramiento marrón de geometría tabular.					
	<b>LITOLOGÍA</b>	Roca piroclástica con piroclastos de tamaño de grano ceniza gruesa a lapilli medio, constituidos de cristales euhedrales de plagioclasas (5%) fiamas (10%) y líticos accesorios angulosos (3%), inmersos en una matriz rojiza de ceniza fina (82%).					
	<b>ALTERACIÓN</b>	Vetillas de cuarzo					
NOMBRE DE LA ROCA: DIORITA DE PIROXENO		COORDENADAS UTM					
CÓDIGO DE LA MUESTRA: PD-A4-140117-2		LOCALIDAD	DATUM	HUSO	C. NORTE	C. ESTE	ALTITUD
	Ex Mina Dulcinea	WGS84	19H	6443170	328732	1314 m	
	<b>AFLORAMIENTO</b>	Dique pardo verdoso de geometría tabular sinuosa.					
	<b>LITOLOGÍA</b>	Roca intrusiva de textura porfírica, con fenocristales inequigranulares de plagioclasas euhedrales de grano medio y piroxenos subhedrales de grano medio, inmersos en una masa fundamental microrcristalina de color gris azulada.					
	<b>ALTERACIÓN</b>	Alteración clorítica diseminada y poco pervasiva le otorga una leve tonalidad verdosa.					
NOMBRE DE LA ROCA: LAVA PORFÍRICA		COORDENADAS UTM					
CÓDIGO DE LA MUESTRA: PD-A4-140117-4		LOCALIDAD	DATUM	HUSO	C. NORTE	C. ESTE	ALTITUD
	Ex Mina Dulcinea	WGS84	19H	6443242	328986	1385 m	
	<b>AFLORAMIENTO</b>	Afloramiento gris pardusco oscuro de geometría tabular y fracturas subverticales.					
	<b>LITOLOGÍA</b>	Roca volcánica hipocristalina de textura porfírica y fábrica isotropa, con cristales equigranulares de plagioclasas y magnetitas alotrópicas de tamaños menores a 1 cm.					
	<b>ALTERACIÓN</b>	S/N					

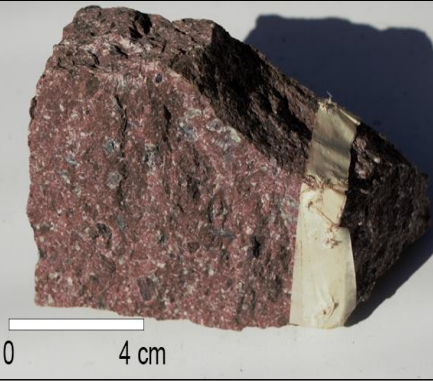





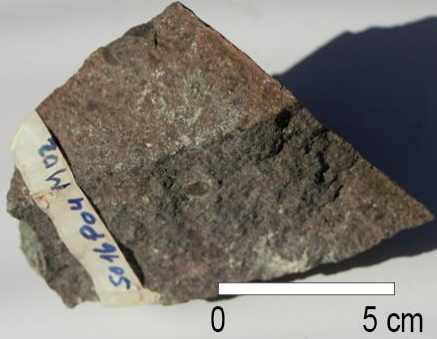

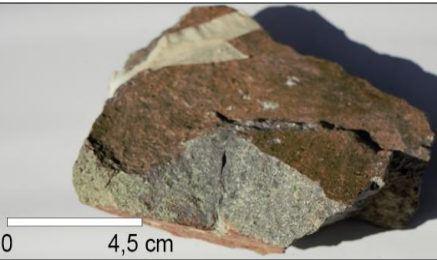

NOMBRE DE LA ROCA: ANDESITA CÓDIGO DE LA MUESTRA: PD-A4-140117-6		COORDENADAS UTM					
		LOCALIDAD	DATUM	HUSO	C. NORTE	C. ESTE	ALTITUD
		Ex Mina Dulcinea	WGS84	19H	6443572	329094	1537 m
		<b>AFLORAMIENTO</b>	Afloramiento grisáceo de geometría masiva. Aparentemente, correspondería un intrusivo hipabisal.				
		<b>LITOLOGÍA</b>	Roca intrusiva, hipocristalina de textura porfírica, estructura masiva, fábrica isotrópica y de color gris verdoso, con cristales inequigranulares de tamaños finos, inmersos en una masa fundamental microcristalina de color gris pardusca. La mineralogía félsica corresponde a cristales de cuarzo anhedral (25%), plagioclasas subhedrales bien preservadas (70%) y feldespatos subhedrales alterados a arcillas (5%). Tamaños de minerales máficos microcristalinos impiden su descripción a muestra de mano.				
		<b>ALTERACIÓN</b>	Epidota rellenando cavidades, clorita alterando selectivamente la masa fundamental y rellenando cavidades, y pátinas de arcilla y sericita.				
NOMBRE DE LA ROCA: ANDESITA CÓDIGO DE LA MUESTRA: PD-A4-140117-7		COORDENADAS UTM					
		LOCALIDAD	DATUM	HUSO	C. NORTE	C. ESTE	ALTITUD
		Ex Mina Dulcinea	WGS84	19H	6443572	329094	1537 m
		<b>AFLORAMIENTO</b>	Afloramiento grisáceo de geometría masiva. Aparentemente, correspondería un intrusivo hipabisal.				
		<b>LITOLOGÍA</b>	Roca intrusiva, hipocristalina de textura porfírica, estructura masiva, fábrica isotrópica y de color gris verdoso, con cristales inequigranulares de tamaños finos a medios, inmersos en una masa fundamental microcristalina de color gris pardusca. La mineralogía félsica corresponde a cristales de cuarzo anhedral (20%), plagioclasas subhedrales bien preservadas (70%) y feldespatos subhedrales alterados a arcillas (10%).				
		<b>ALTERACIÓN</b>	Plagioclasas alteradas selectivamente a sericita y clorización de la masa fundamental.				
NOMBRE DE LA ROCA: DIORITA CÓDIGO DE LA MUESTRA: PD-A4-140117-9		COORDENADAS UTM					
		LOCALIDAD	DATUM	HUSO	C. NORTE	C. ESTE	ALTITUD
		Ex Mina Dulcinea	WGS84	19H	6443160	329253	1325 m
		<b>AFLORAMIENTO</b>	Afloramiento gris oscuro de geometría masiva.				
		<b>LITOLOGÍA</b>	Roca intrusiva hipocristalina de textura fanerítica, con cristales de grano fino inmersos en una masa fundamental de color gris oscuro con tonos verdosos. Los cristales de plagioclasa constituyen el 70% de la mineralogía, y se presentan tabulares y bien preservadas, y algunas forman cúmulos de hasta 3 mm. Los máficos corresponden al 30% de la muestra, y se constituyen mayoritariamente de piroxenos subhedrales de tamaño de grano fino a muy fino.				
		<b>ALTERACIÓN</b>	Oxidación de minerales máficos.				
NOMBRE DE LA ROCA: TONALITA DE HORNBLENDA CÓDIGO DE LA MUESTRA: PD-A4-140117-12		COORDENADAS UTM					
		LOCALIDAD	DATUM	HUSO	C. NORTE	C. ESTE	ALTITUD
		Ex Mina Dulcinea	WGS84	19H	6443160	329253	1325 m
		<b>AFLORAMIENTO</b>	Afloramiento blanco grisáceo de geometría masiva				
		<b>LITOLOGÍA</b>	Roca intrusiva holocristalina de textura fanerítica, con cristales equigranulares de tamaño de grano fino a medio. Los cristales son panidiomórficos con un porcentaje QAP de 55% Plg, 45% Qz y 10% Kfs. Se observan cristales subhedrales de hornblenda y magnetita.				
		<b>ALTERACIÓN</b>	S/N				
NOMBRE DE LA ROCA: LAVA AFANÍTICA CÓDIGO DE LA MUESTRA: PD-A4-140117-13		COORDENADAS UTM					
		LOCALIDAD	DATUM	HUSO	C. NORTE	C. ESTE	ALTITUD
		Ex Mina Dulcinea	WGS84	19H			
		<b>AFLORAMIENTO</b>	Afloramiento verdoso de geometría tabular y fracturamiento subvertical.				
		<b>LITOLOGÍA</b>	Roca volcánica afanítica, con una masa fundamental microcristalina. Tamaño de los cristales impide identificar la mineralogía.				
		<b>ALTERACIÓN</b>	S/N				






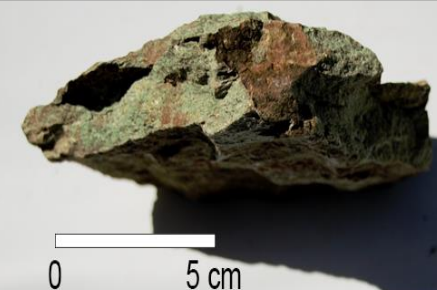
### 13.3.5. Sector Valle de El Sobrante



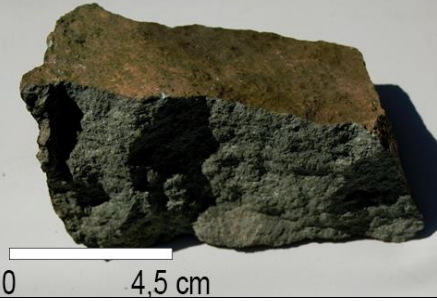
NOMBRE DE LA ROCA: ARENISCA LÍTICA GRAVOSA CÓDIGO DE LA MUESTRA: SO16P01.SM01		COORDENADAS UTM					
		LOCALIDAD	DATUM	HUSO	C. NORTE	C. ESTE	ALTITUD
		Valle de El Sobrante	WGS84	19H	6433220	336353	1070 m
	<b>AFLORAMIENTO</b>	Afloramiento marrón rojizo de geometría tabular, de sucesiones de grano decrecientes y con fracturas discontinuas, rectas y sinuosas.					
	<b>LITOLOGÍA</b>	Roca sedimentaria de textura clástica, mal seleccionada, con redondeamiento subredondeado a redondeado, de buena madurez textural y química, clasto soportado y de color gris marrón. Los clastos son de tamaños arena gruesa a grava fina, polimícticos, esféricos, de colores rojos, verdes, marrones y grises, y constituyen el 60% de la roca. La matriz rojiza constituye el 30% de la roca, con una granulometría de tamaño arena fina. El cemento (10%) es de color rojizo y corresponde a óxidos de fe.					
	<b>ALTERACIÓN</b>	S/N					
NOMBRE DE LA ROCA: ARENISCA LÍTICA CÓDIGO DE LA MUESTRA: SO16P01.SM02		COORDENADAS UTM					
		LOCALIDAD	DATUM	HUSO	C. NORTE	C. ESTE	ALTITUD
		Valle de El Sobrante	WGS84	19H	6433220	336353	1070 m
	<b>AFLORAMIENTO</b>	Afloramiento marrón rojizo de geometría tabular, de sucesiones de grano decrecientes y con fracturas discontinuas, rectas y sinuosas.					
	<b>LITOLOGÍA</b>	Roca sedimentaria de textura clástica, moderadamente seleccionada, subredondeado, de regular a buena madurez textural y química, clasto soportado y de color gris oscuro a marrón. Los clastos son de tamaños arena media a gruesa, polimícticos, esféricos, de colores rojos, verdes, marrones y grises, y constituyen el 60% de la roca. La matriz grisácea constituye el 40% de la roca, con una granulometría de tamaño arena fina.					
	<b>ALTERACIÓN</b>	S/N					
NOMBRE DE LA ROCA: ARENISCA LÍTICA CÓDIGO DE LA MUESTRA: SO16P01.SM03		COORDENADAS UTM					
		LOCALIDAD	DATUM	HUSO	C. NORTE	C. ESTE	ALTITUD
		Valle de El Sobrante	WGS84	19H	6433220	336353	1070 m
	<b>AFLORAMIENTO</b>	Afloramiento marrón rojizo de geometría tabular, de sucesiones de grano decrecientes y con fracturas discontinuas, rectas y sinuosas.					
	<b>LITOLOGÍA</b>	Roca sedimentaria de textura clástica, con buena selección, redondeada, de regular madurez textural y química, matriz soportado y de color rojo. Los clastos son de tamaños arena gruesa, polimícticos, de colores grises y blanquecinos, y constituyen el 10% de la roca. La matriz rojiza constituye el 90% de la roca, con una granulometría de tamaño arena fina a limo.					
	<b>ALTERACIÓN</b>	Pátinas carbonáticas y de arcillas.					
NOMBRE DE LA ROCA: DACITA CÓDIGO DE LA MUESTRA: SO16P01.SM04		COORDENADAS UTM					
		LOCALIDAD	DATUM	HUSO	C. NORTE	C. ESTE	ALTITUD
		Valle de El Sobrante	WGS84	19H	6433220	336353	1070 m
	<b>AFLORAMIENTO</b>	Afloramiento gris verdoso oscuro de geometría tabular que intruye las secuencias sedimentarias.					
	<b>LITOLOGÍA</b>	Roca extrusiva holocristalina de textura porfírica de grano fino, con cresitales equigranulares anhedralas inmersos en una masa fundamental verde pardusca. Los cristales félsicos se componen de Plg (60%) alteradas selectivamente a epidota y Qz (40%) de grano fino. La masa fundamental se presenta intensamente cloritizada.					
	<b>ALTERACIÓN</b>	Plagioclasas alteradas selectivamente a epidota.					

NOMBRE DE LA ROCA: TOBA VÍTREA		COORDENADAS UTM					
CÓDIGO DE LA MUESTRA: SO16P02.SM01		LOCALIDAD	DATUM	HUSO	C. NORTE	C. ESTE	ALTITUD
	Valle de El Sobrante	WGS84	19H	6433249	336400	1085 m	
	AFLORAMIENTO	Afloramiento gris rojizo de geometría tabular con presencia de fracturas discontinuas, rectas y sinuosas. Se observan pipas de segregación.					
	LITOLOGÍA	Roca piroclástica de color rojizo, constituido por piroclastos (40%) de líticos, cristales y fiames, inmersos en una matriz rojiza de ceniza fina (60%). Los líticos son polimícticos, de colores oscuros verdosos a rojizos, angulosos y de tamaño lapilli fino, constituyendo el 20% de los piroclastos. Los fiames silíceos constituyen el 10% de los piroclastos y se presentan orientados paralelamente en tamaños de lapilli fino. Los cristales representan el 70% restante de los piroclastos, siendo la mineralogía principal cuarzo y plagioclasa de tamaño de grano de ceniza gruesa.					
	ALTERACIÓN	Minerales de arcilla.					
NOMBRE DE LA ROCA: TOBA VÍTREA		COORDENADAS UTM					
CÓDIGO DE LA MUESTRA: SO16P03.SM01		LOCALIDAD	DATUM	HUSO	C. NORTE	C. ESTE	ALTITUD
	Valle de El Sobrante	WGS84	19H	6433256	336374	1092 m	
	AFLORAMIENTO	Afloramiento gris pardusco de geometría masiva. Presenta niveles estratificados en su base y un diaclasamiento discontinuo y sinuoso.					
	LITOLOGÍA	Roca piroclástica de color marrón rojizo con pátinas blanquecinas, constituido por piroclastos (40%) de cristales y líticos polimícticos, inmersos en una matriz rojo grisáceo de ceniza fina. Los líticos son angulosos de tamaños de grano lapilli fino a medio, constituyendo el 20% de los piroclastos. Los cristales representan el 80% de los piroclastos, siendo los cristales de cuarzo anhedral y plagioclasa euhedral de grano ceniza gruesa los principales.					
	ALTERACIÓN	Alteración de arcillas y epidota.					
NOMBRE DE LA ROCA: TOBA VÍTREA		COORDENADAS UTM					
CÓDIGO DE LA MUESTRA: SO16P03.SM02		LOCALIDAD	DATUM	HUSO	C. NORTE	C. ESTE	ALTITUD
	Valle de El Sobrante	WGS84	19H	6433256	336374	1092 m	
	AFLORAMIENTO	Afloramiento gris pardusco de geometría masiva. Presenta niveles estratificados en su base y un diaclasamiento discontinuo y sinuoso.					
	LITOLOGÍA	Roca piroclástica de color rojizo, constituido por piroclastos (30%) de líticos, cristales y fiames, inmersos en una matriz rojiza de ceniza fina (70%). Los líticos son polimícticos, de colores oscuros verdosos a rojizos, angulosos y de tamaño lapilli fino, siendo el 20% de los piroclastos. Los cristales representan el 70% de los piroclastos, siendo la plagioclasa y cuarzo de grano ceniza gruesa la principal mineralogía. Los fiames se presentan orientados de manera paralela a la estratificación y poseen tamaños de grano de lapilli fino.					
	ALTERACIÓN	Alteración de arcillas y epidota.					
NOMBRE DE LA ROCA: TOBA VÍTREA		COORDENADAS UTM					
CÓDIGO DE LA MUESTRA: SO16P04.SM01		LOCALIDAD	DATUM	HUSO	C. NORTE	C. ESTE	ALTITUD
	Valle de El Sobrante	WGS84	19H	6433300	336387	1115 m	
	AFLORAMIENTO	Afloramiento gris marrón de geometría masiva con presencia de fracturas rectas y discontinuas.					
	LITOLOGÍA	Roca piroclástica de color rojizo, constituida de líticos (38%) polimícticos, angulosos, de grano lapilli fino y de colores negros, rojizos y verdosos, cristales (17%) de plagioclasas euhedrales y cuarzo anhedral de grano ceniza gruesa, inmersos en una matriz (45%) rojiza de ceniza fina.					
	ALTERACIÓN	S/N					

NOMBRE DE LA ROCA: TOBA VÍTREA CÓDIGO DE LA MUESTRA: SO16P04.SM02		COORDENADAS UTM				
LOCALIDAD		DATUM	HUSO	C. NORTE	C. ESTE	ALTITUD
Valle de El Sobrante		WGS84	19H	6433300	336387	1115 m
	<b>AFLORAMIENTO</b>	Afloramiento gris marrón de geometría masiva con presencia de fracturas rectas y discontinuas.				
	<b>LITOLOGÍA</b>	Roca piroclástica de color pardo, con piroclastos (40%) de fragmentos líticos y cristales, inmersos en una matriz (60%) parda de ceniza fina. Los fragmentos líticos corresponden al 40% de los piroclastos, son monomícticos, subangulosos, de tamaño ceniza gruesa a lapilli fino y de color negro rojizo. Los cristales corresponden al 60% de los piroclastos, y se componen de cuarzo anhedral y plagioclasa euhedral de tamaño de grano ceniza fina a gruesa.				
	<b>ALTERACIÓN</b>	S/N				
NOMBRE DE LA ROCA: CÓDIGO DE LA MUESTRA: SO16P04.SM03		COORDENADAS UTM				
LOCALIDAD		DATUM	HUSO	C. NORTE	C. ESTE	ALTITUD
Valle de El Sobrante		WGS84	19H	6433300	336387	1115 m
	<b>AFLORAMIENTO</b>	Afloramiento gris verdoso de geometría masiva con presencia de fracturas rectas y discontinuas.				
	<b>LITOLOGÍA</b>	Roca sedimentaria clasto soportada de textura clástica con clastos polimícticos, mal seleccionados, de granulometría tamaño grava a guijarro, subredondeados a redondeados y de forma oblata. La matriz gris verdosa posee tamaño de grano de arena media, evidenciando una baja madurez textural y química.				
	<b>ALTERACIÓN</b>	Clastos alterados selectivamente a epidota.				
NOMBRE DE LA ROCA: TOBA CRISTALINA CÓDIGO DE LA MUESTRA: SO16P06.SM01		COORDENADAS UTM				
LOCALIDAD		DATUM	HUSO	C. NORTE	C. ESTE	ALTITUD
Valle de El Sobrante		WGS84	19H	6433559	336499	1256 m
	<b>AFLORAMIENTO</b>	Afloramiento gris blanquecino de geometría tabular y con 3 sets de fracturas, 2 subverticales y una horizontal.				
	<b>LITOLOGÍA</b>	Roca piroclástica de color gris, constituida de piroclastos (60%) de fragmentos líticos y cristales, inmersos en una matriz gris claro de ceniza fina. Los fragmentos líticos angulosos poseen tamaños de ceniza fina, son de colores oscuros y constituyen el 5% de los piroclastos. Los cristales corresponden al 95% de los piroclastos, y se componen de plagioclasas euhedrales de tamaño ceniza gruesa, y cuarzo y máficos anhedrales de tamaños de grano ceniza fina a media.				
	<b>ALTERACIÓN</b>	S/N				
NOMBRE DE LA ROCA: TOBA CRISTALINA CÓDIGO DE LA MUESTRA: SO16P06.SM02		COORDENADAS UTM				
LOCALIDAD		DATUM	HUSO	C. NORTE	C. ESTE	ALTITUD
Valle de El Sobrante		WGS84	19H	6433559	336499	1256 m
	<b>AFLORAMIENTO</b>	Afloramiento gris blanquecino de geometría tabular y con 3 sets de fracturas, 2 subverticales y una horizontal.				
	<b>LITOLOGÍA</b>	Roca piroclástica de color marrón, constituida de piroclastos (70%) de fragmentos líticos y cristales, inmersos en una matriz marrón de ceniza fina a gruesa. Los fragmentos líticos angulosos poseen tamaños de ceniza gruesa a lapilli fino, son de colores oscuros y constituyen el 5% de los piroclastos. Los cristales corresponden al 95% de los piroclastos, y se componen de plagioclasas euhedrales de tamaño ceniza gruesa, y cuarzo y máficos anhedrales de tamaños de grano ceniza media.				
	<b>ALTERACIÓN</b>	S/N				









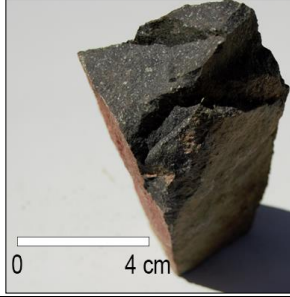

NOMBRE DE LA ROCA: TOBA LÍTICA DE LAPILLI		COORDENADAS UTM					
CÓDIGO DE LA MUESTRA: SO16P02.NM01		LOCALIDAD	DATUM	HUSO	C. NORTE	C. ESTE	ALTITUD
	Valle de El Sobrante	WGS84	19H	6434856	336689	1731 M	
	AFLORAMIENTO	Afloramiento gris pardusco de geometría masiva y dimensiones de 8 m de largo y 3 m de potencia.					
	LITOLOGÍA	Roca piroclástica de color verde, constituida de piroclastos (70%) de fragmentos líticos y cristales, inmersos en una matriz (30%) verdosa de ceniza fina. Los fragmentos líticos corresponden al 35% de la muestra y se dividen en 2 familias, una de color marrón y una de color grisáceo, ambos de origen volcánico, de tamaños de grano de hasta 5 cm y forma angulosa a subangulosa. Los cristales representan el 35% de la roca, presentando granulometría de tamaño ceniza fina, y se componen de plagioclasas subhedrales y cuarzos anhedrales.					
	ALTERACIÓN	Arcillas en pátinas y clorita pervasiva.					
NOMBRE DE LA ROCA: TOBA VÍTREA		COORDENADAS UTM					
CÓDIGO DE LA MUESTRA: SO16P03.NM02		LOCALIDAD	DATUM	HUSO	C. NORTE	C. ESTE	ALTITUD
	Valle de El Sobrante	WGS84	19H	6435048	336789	1774 m	
	AFLORAMIENTO	Afloramiento gris rojizo de geometría masiva, con dimensiones de 2,5m de largo y 2 m de potencia.					
	LITOLOGÍA	Roca piroclástica de color verde grisáceo, constituida de piroclastos (30%) inmersos en una matriz (70%) verde grisácea de ceniza fina. Los cristales constituyen la totalidad de los piroclastos, y se componen de plagioclasas subhedrales y euhedrales, cuarzo anhedral y máficos anhedrales, todos ellos con tamaños de ceniza gruesa a lapilli fino, predominando los tamaños de 1 mm. La roca presenta además nódulos de epidota.					
	ALTERACIÓN	Plagioclasas epidotizadas.					
NOMBRE DE LA ROCA: DACITA DE HORNBLENDA		COORDENADAS UTM					
CÓDIGO DE LA MUESTRA: SO16P04.NM01		LOCALIDAD	DATUM	HUSO	C. NORTE	C. ESTE	ALTITUD
	Valle de El Sobrante	WGS84	19H	6435188	336820	1818 m	
	AFLORAMIENTO	Afloramiento de geometría masiva con dos unidades, una de color gris y otra de color verdosa.					
	LITOLOGÍA	La unidad gris corresponde a una roca extrusiva hipocristalina de textura porfírica con cristales inequigranulares inmersos en una masa fundamental gris de fábrica isotropa y estructura homogénea. Los cristales félsicos corresponden a plagioclasas (40%) euhedrales de hasta 4 mm cuarzo (60%) anhedral de hasta 1,8 cm. El mineral máfico predominante lo constituye la hornblenda euhedral a subhedral que alcanzan tamaños de hasta 4 cm.					
	ALTERACIÓN	Epidotización pervasiva y pátinas de arcillas.					
NOMBRE DE LA ROCA: TOBA VÍTREA		COORDENADAS UTM					
CÓDIGO DE LA MUESTRA: SO16P04.NM02		LOCALIDAD	DATUM	HUSO	C. NORTE	C. ESTE	ALTITUD
	Valle de El Sobrante	WGS84	19H	6435188	336820	1818 m	
	AFLORAMIENTO	Afloramiento de geometría masiva con dos unidades, una de color gris y otra de color verdosa.					
	LITOLOGÍA	La unidad verdosa corresponde a una roca piroclástica verde constituida por piroclastos (20%) cristalinos, inmersos en una matriz (80%) verdosa de ceniza fina. Los cristales corresponden a plagioclasas euhedrales de hasta 3 mm y máficos anhedrales de tamaños menores a 1 mm.					
	ALTERACIÓN	Plagioclasas epidotizadas.					

NOMBRE DE LA ROCA: TOBA VÍTREA		COORDENADAS UTM					
CÓDIGO DE LA MUESTRA: SO16P05.NM01		LOCALIDAD	DATUM	HUSO	C. NORTE	C. ESTE	ALTITUD
	Valle de El Sobrante	WGS84	19H	6435367	336840	1853 m	
	<b>AFLORAMIENTO</b>	Afloramiento gris verdoso de geometría masiva y dimensiones de 30 m de largo y 40 m de potencia.					
	<b>LITOLÓGÍA</b>	Roca piroclástica de color verdosa constituida de piroclastos (25%) cristalinos, inmersos en una matriz (75%) verdosa de ceniza fina. Los cristales corresponden a plagioclasas subhedrales de hasta 3 mm, mientras que los máficos poseen tamaños de hasta 2 mm y se presentan anhedrales.					
	<b>ALTERACIÓN</b>	Epidota en cúmulos y diseminada.					
NOMBRE DE LA ROCA: TOBA VÍTREA		COORDENADAS UTM					
CÓDIGO DE LA MUESTRA: SO16P06.NM01		LOCALIDAD	DATUM	HUSO	C. NORTE	C. ESTE	ALTITUD
	Valle de El Sobrante	WGS84	19H	6435717	336872	1908 m	
	<b>AFLORAMIENTO</b>	Afloramiento gris verdoso de geometría masiva y dimensiones de 5 m de potencia y 10 m de largo.					
	<b>LITOLÓGÍA</b>	Roca piroclástica de color verde, constituida de piroclastos (20%) cristalinos inmersos en una matriz (80%) verde de ceniza fina. Los cristales corresponden a plagioclasas subhedrales de tamaño de grano lapilli fino y cristales máficos anhedrales de tamaño de grano ceniza gruesa.					
	<b>ALTERACIÓN</b>	Epidotización de plagioclasas.					
NOMBRE DE LA ROCA: TOBA VÍTREA		COORDENADAS UTM					
CÓDIGO DE LA MUESTRA: SO16P07.NM01		LOCALIDAD	DATUM	HUSO	C. NORTE	C. ESTE	ALTITUD
	Valle de El Sobrante	WGS84	19H	6435717	336872	2006 m	
	<b>AFLORAMIENTO</b>	Afloramiento gris verdoso de geometría masiva.					
	<b>LITOLÓGÍA</b>	Roca piroclástica de color verde grisáceo, constituida de piroclastos (15%) cristalinos inmersos en una matriz (85%) verde grisácea de ceniza fina. Los cristales constituyen la totalidad de los piroclastos, y se componen de plagioclasas euhedrales, cuarzo anhedral y máficos anhedrales, todos ellos con tamaño de grano de ceniza gruesa.					
	<b>ALTERACIÓN</b>	Plagioclasas epidotizadas.					


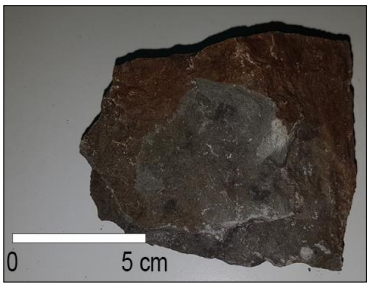




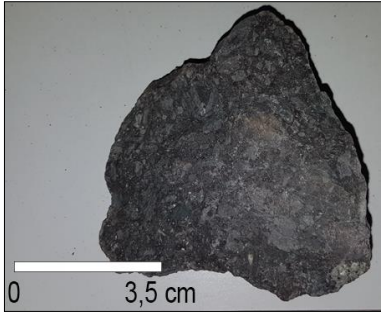
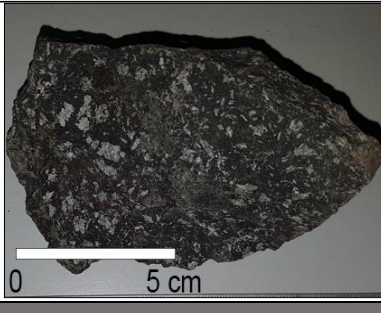

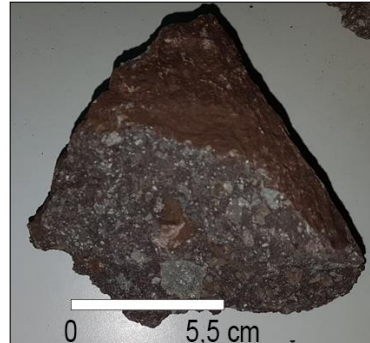
### 13.3.6. Sector de El Rancho

NOMBRE DE LA ROCA: LAVA		COORDENADAS UTM					
CÓDIGO DE LA MUESTRA: ER27P01M01		LOCALIDAD	DATUM	HUSO	C. NORTE	C. ESTE	ALTITUD
	El Rancho	WGS84	19H	6430252	343394	1564 m	
	AFLORAMIENTO	Afloramiento gris oscuro a marrón, de geometría masiva, con diaclasas rectas y sinuosas, subverticales y discontinuas.					
	LITOLOGÍA	Roca volcánica parda de textura afanítica con grado de cristalinidad holohialina y microcristales equigranulares.					
	ALTERACIÓN	Epidota diseminada. Pátinas de arcilla y óxidos de Fe y Mn					
NOMBRE DE LA ROCA: LAVA		COORDENADAS UTM					
CÓDIGO DE LA MUESTRA: ER27P02M01		LOCALIDAD	DATUM	HUSO	C. NORTE	C. ESTE	ALTITUD
	El Rancho	WGS84	19H	6431922	343324	1624 m	
	AFLORAMIENTO	Afloramiento gris pardusco de geometría tabular, muy fracturado en direcciones preferenciales subverticales, con diaclasas rectas y discontinuas					
	LITOLOGÍA	Roca volcánica gris pardusca de textura afanítica con grado de cristalinidad holohialina y microcristales equigranulares.					
	ALTERACIÓN	Epidota en cúmulos y diseminada					
NOMBRE DE LA ROCA: ANDESITA		COORDENADAS UTM					
CÓDIGO DE LA MUESTRA: ER27P03M01		LOCALIDAD	DATUM	HUSO	C. NORTE	C. ESTE	ALTITUD
	El Rancho	WGS84	19H	6432691	343233	1758 m	
	AFLORAMIENTO	Afloramiento gris de geometría masiva y dimensiones de 6 m x 10 m. Presenta fracturas verticales con relleno de arcilla.					
	LITOLOGÍA	Roca extrusiva de textura porfírica, con cristales inequigranulares de plagioclasas euhedrales de hasta 4 mm, inmersos en una masa fundamental gris. Presenta máficos anhedrales de hasta 2 mm, selectivamente epidotizados que impiden describir macroscópicamente la mineralogía.					
	ALTERACIÓN	Pátinas de arcilla y epidota.					
NOMBRE DE LA ROCA: ANDESITA		COORDENADAS UTM					
CÓDIGO DE LA MUESTRA: ER27P04M01		LOCALIDAD	DATUM	HUSO	C. NORTE	C. ESTE	ALTITUD
	El Rancho	WGS84	19H	6431326	343208	1901 m	
	AFLORAMIENTO	Afloramiento gris pardusco de geometría masiva y con fracturamiento subvertical continuo.					
	LITOLOGÍA	Roca extrusiva de textura porfírica, con cristales inequigranulares de plagioclasas subhedrales de hasta 3 mm, inmersos en una masa fundamental gris verdosa. Presenta máficos anhedrales de hasta 2 mm.					
	ALTERACIÓN	Pátinas de arcilla.					

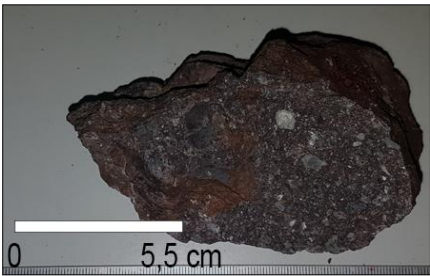



NOMBRE DE LA ROCA: ANDESITA		COORDENADAS UTM					
CÓDIGO DE LA MUESTRA: ER28P01M01		LOCALIDAD	DATUM	HUSO	C. NORTE	C. ESTE	ALTITUD
	El Rancho	WGS84	19H	6432209	343938	1600 m	
	<b>AFLORAMIENTO</b>	Afloramiento gris pardusco de geometría masiva y dimensiones de 5 m de espesor y 12 m de largo. Presenta 3 sets de fracturas, dos subverticales y una subhorizontal.					
	<b>LITOLOGÍA</b>	Roca extrusiva hipocristalina de textura porfírica, con cristales inequigranulares de plagioclasas subhedrales de hasta 1,5 mm, inmersos en una masa fundamental gris azulada. Presenta máficos anhedrales de hasta 1 mm y pirita diseminada.					
	<b>ALTERACIÓN</b>	Pátinas de oxidación con minerales máficos epidotizados.					
NOMBRE DE LA ROCA: ALTERACIÓN HIDROTHERMAL		COORDENADAS UTM					
CÓDIGO DE LA MUESTRA: S/N		LOCALIDAD	DATUM	HUSO	C. NORTE	C. ESTE	ALTITUD
	El Rancho	WGS84	19H	6432250	344271	1607 m	
	<b>AFLORAMIENTO</b>	Afloramiento rojizo de geometría masiva irregular de potencia aproximada de 100 m. Posee 3 sets de fracturas, 1 subvertical y 2 oblicuas, rectas y continuas.					
	<b>LITOLOGÍA</b>	Roca de alteración hidrotermal obliterada, con protolito no reconocible.					
	<b>ALTERACIÓN</b>	Presencia de sílice amorfo, jarosita, hematita, goethita, arcillas, oligisto. Presencia de boxwork, stockwork de minerías de arcilla. Vetillas de azufre y hematita.					
NOMBRE DE LA ROCA: ANDESITA		COORDENADAS UTM					
CÓDIGO DE LA MUESTRA: ER28P03M01		LOCALIDAD	DATUM	HUSO	C. NORTE	C. ESTE	ALTITUD
	El Rancho	WGS84	19H	6432205	344554	1630 m	
	<b>AFLORAMIENTO</b>	Afloramiento gris pardusco de geometría tabular y dimensiones de 5 m de potencia y 15 m de largo. Presenta 3 sets de fracturas cuasi ortogonales, rectas, continuas y lisas.					
	<b>LITOLOGÍA</b>	Roca extrusiva hipocristalina de textura porfírica, con cristales inequigranulares de plagioclasas subhedrales de hasta 2 mm, inmersos en una masa fundamental gris. Presenta escasos máficos anhedrales de hasta 3 mm.					
	<b>ALTERACIÓN</b>	Epidota en vetillas y cúmulos.					
NOMBRE DE LA ROCA: ANDESITA		COORDENADAS UTM					
CÓDIGO DE LA MUESTRA: ER28P04M01		LOCALIDAD	DATUM	HUSO	C. NORTE	C. ESTE	ALTITUD
	El Rancho	WGS84	19H	6432145	343931	1570 m	
	<b>AFLORAMIENTO</b>	Afloramiento gris blanquecino de geometría masiva.					
	<b>LITOLOGÍA</b>	Roca extrusiva hipocristalina de textura porfírica, con cristales inequigranulares de plagioclasas euhedrales de hasta 2 mm, inmersos en una masa fundamental gris azulada. Presenta máficos anhedrales de hasta 2 mm y pirita diseminada y en vetillas.					
	<b>ALTERACIÓN</b>	Actinolitización de máficos.					

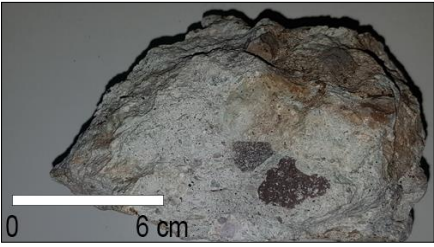
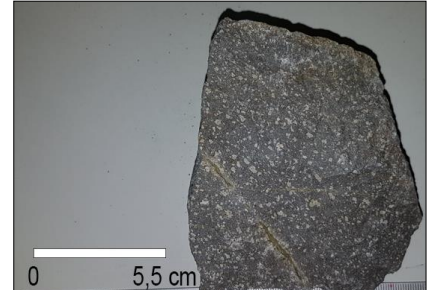


### 13.3.7. Sector Valle de Las Cruces

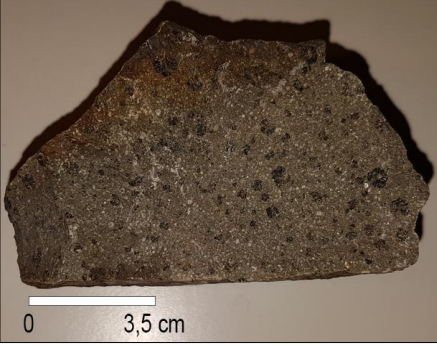
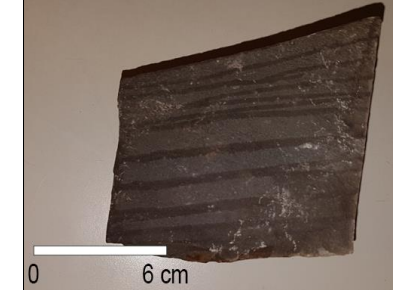
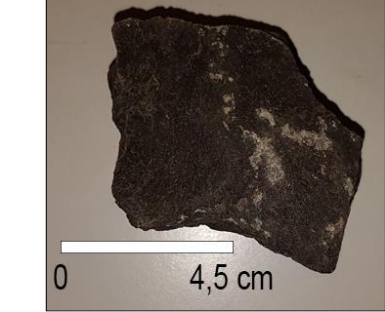

NOMBRE DE LA ROCA: LAVA AFANÍTICA CÓDIGO DE LA MUESTRA: LC1404P2M01		COORDENADAS UTM					
		LOCALIDAD	DATUM	HUSO	C. NORTE	C. ESTE	ALTITUD
		Las Cruces	WGS84	19H	6434381	352220	2213 m
		AFLORAMIENTO	Afloramiento gris púrpura de geometría tabular que presenta diaclasamiento subvertical, recto y continuo.				
		LITOLÓGIA	Roca volcánica de textura afanítica y color gris púrpura. No se identifica la mineralogía, pero dadas las características del afloramiento se le asigna como lava.				
		ALTERACIÓN	S/N				
NOMBRE DE LA ROCA: LAVA PORFÍRICA CÓDIGO DE LA MUESTRA: LC1404P2M02		COORDENADAS UTM					
		LOCALIDAD	DATUM	HUSO	C. NORTE	C. ESTE	ALTITUD
		Las Cruces	WGS84	19H	6434381	352220	2213 m
		AFLORAMIENTO	Afloramiento gris de geometría tabular, el cual se dispone estratigráficamente sobre la lava de la M01. Presenta diaclasamiento subvertical, recto y continuo.				
		LITOLÓGIA	Roca volcánica de textura porfírica, con cristales de plagioclasas de grano muy fino inmersos en una masa fundamental de color gris. Se identifican cristales de plagioclasas euhedrales, bien preservadas y de tamaños de hasta 0,4 mm. Dadas las características del afloramiento se le asigna como lava.				
		ALTERACIÓN	S/N				
NOMBRE DE LA ROCA: TOBA LÍTICA DE PÓMEZ CÓDIGO DE LA MUESTRA: LC1404P4M01		COORDENADAS UTM					
		LOCALIDAD	DATUM	HUSO	C. NORTE	C. ESTE	ALTITUD
		Las Cruces	WGS84	19H	6434529	352423	2235 m
		AFLORAMIENTO	Afloramiento rosa blanquecino con leves tonos púrpuras y de geometría tabular. Se presenta bien preservado con diaclasamiento subvertical recto y continuo.				
		LITOLÓGIA	Roca piroclástica de color rosa blanquecida con tonos púrpuras, constituida por piroclastos (70%) de líticos, inmersos en una matriz rosa de ceniza fina (30%). Los líticos son volcánicos, polimícticos, de colores grisáceos, verdosos y blancos, de geometría angulosa y de tamaño ceniza media a lapilli fino. Los líticos blanquecinos corresponden a líticos de pómez, los cuales constituyen el 80% de los líticos y sus tamaños varían entre ceniza media y ceniza gruesa.				
		ALTERACIÓN	S/N				
NOMBRE DE LA ROCA: TOBA LÍTICA DE LAPILLI CÓDIGO DE LA MUESTRA: LC1404P8M01		COORDENADAS UTM					
		LOCALIDAD	DATUM	HUSO	C. NORTE	C. ESTE	ALTITUD
		Las Cruces	WGS84	19H	6434381	352220	2213 m
		AFLORAMIENTO	Afloramiento gris púrpura de 15 m de espesor y geometría masiva.				
		LITOLÓGIA	Roca piroclástica de color púrpura, constituida por piroclastos (40%) de líticos, inmersos en una matriz púrpura de ceniza fina (60%). Los líticos son volcánicos, polimícticos, de colores grisáceos, verdosos y pardos, de geometría angulosa y de tamaño lapilli fino a grueso.				
		ALTERACIÓN	Líticos alterados selectivamente a epidota.				

NOMBRE DE LA ROCA: TOBA VÍTREA CÓDIGO DE LA MUESTRA: LC1409P4M01		COORDENADAS UTM					
		LOCALIDAD	DATUM	HUSO	C. NORTE	C. ESTE	ALTITUD
		Las Cruces	WGS84	19H	6433786	353074	2196 m
		AFLORAMIENTO	Afloramiento gris azulado de 5 m de espesor y geometría masiva.				
		LITOLOGÍA	Roca piroclástica de color gris azulado, constituida por piroclastos (40%) de líticos y cristales, inmersos en una matriz gris púrpura con tonos azulados de ceniza fina (60%). Los líticos constituyen el 80% de los piroclastos son volcánicos, polimícticos, de colores grisáceos y verdosos, de geometría angulosa y de tamaño lapilli fino. Los cristales representan el 20% de los piroclastos y se componen en su totalidad de plagioclasas euhedrales s subhedrales de tamaños de hasta 3 mm.				
		ALTERACIÓN	Líticos alterados selectivamente a epidota.				
NOMBRE DE LA ROCA: ANDESITA CÓDIGO DE LA MUESTRA: LC1404P11M01		COORDENADAS UTM					
		LOCALIDAD	DATUM	HUSO	C. NORTE	C. ESTE	ALTITUD
		Las Cruces	WGS84	19H	352922	6433687	2250 m
		AFLORAMIENTO	Afloramiento gris oscuro de geometría masiva con un espesor de 20 m. Presenta fracturamiento subvertical recto y subhorizontal sinuoso.				
		LITOLOGÍA	Roca extrusiva de color gris oscuro con tonos marrones, de textura porfírica y con cristales de plagioclasas inmersos en una masa fundamental vítrea de color marrón. Los cristales de plagioclasas se presentan en cúmulos y poseen formas euhedrales a subhedrales. Los cúmulos poseen tamaños de hasta 0,8 mm, mientras que los cristales individuales poseen tamaños de hasta 0,6 mm.				
		ALTERACIÓN	S/N				
NOMBRE DE LA ROCA: TOBA VÍTREA CÓDIGO DE LA MUESTRA: LC1304P2M01		COORDENADAS UTM					
		LOCALIDAD	DATUM	HUSO	C. NORTE	C. ESTE	ALTITUD
		Las Cruces	WGS84	19H	6434896	351865	2199 m
		AFLORAMIENTO	Afloramiento gris blanquecino de 30 m de espesor y geometría masiva. Se encuentra intruido por un set de diques porfíricos andesíticos de color verdoso.				
		LITOLOGÍA	Roca piroclástica granocreciente de color gris blanquecina, constituida por piroclastos (40%) de líticos y cristales, inmersos en una matriz gris blanquecina con tonos verde claro de ceniza fina (60%). Los líticos constituyen el 70% de los piroclastos, son volcánicos, polimícticos, de colores grisáceos, pardos, blanquecinos y verdosos, de geometrías subredondeadas a angulosas y de tamaño lapilli fino. Los cristales representan el 30% de los piroclastos y se componen en su totalidad de plagioclasas euhedrales s subhedrales de tamaños de hasta 1,5 mm.				
		ALTERACIÓN	Líticos alterados selectivamente a epidota. Alteración selectiva de la matriz a clorita.				
NOMBRE DE LA ROCA: TOBA LÍTICA CÓDIGO DE LA MUESTRA: LC1304P3M01		COORDENADAS UTM					
		LOCALIDAD	DATUM	HUSO	C. NORTE	C. ESTE	ALTITUD
		Las Cruces	WGS84	19H	6435311	352146	2215 m
		AFLORAMIENTO	Afloramiento púrpura marrón de 5 m de espesor y geometría masiva. Se encuentra altamente meteorizado, presentando al menos 6 sets distintos de fracturas.				
		LITOLOGÍA	Roca piroclástica de color gris púrpura marrón, constituida por piroclastos (65%) de líticos y cristales, inmersos en una matriz marrón con púrpura de ceniza fina (35%). Los líticos constituyen el 80% de los piroclastos, son volcánicos, polimícticos, de colores grisáceos, pardos, rojizos y verdosos, de geometría angulosa y de tamaño lapilli fino a grueso. Los cristales representan el 20% de los piroclastos y se componen en su totalidad de plagioclasas subhedrales de tamaños de hasta 2 mm.				
		ALTERACIÓN	S/N				



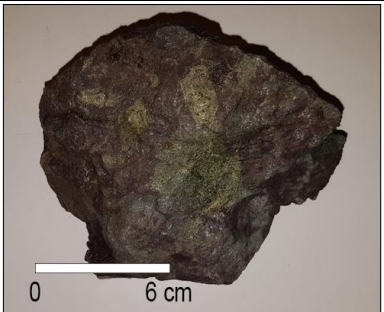



NOMBRE DE LA ROCA: TOBA LÍTICA CÓDIGO DE LA MUESTRA: LC1304P3M02		COORDENADAS UTM				
LOCALIDAD		DATUM	HUSO	C. NORTE	C. ESTE	ALTITUD
Las Cruces		WGS84	19H	6435311	352146	2215 m
	<b>AFLORAMIENTO</b>	Afloramiento púrpura marrón de 5 m de espesor y geometría masiva. Se encuentra altamente meteorizado, presentando al menos 6 sets distintos de fracturas.				
	<b>LITOLOGÍA</b>	Roca piroclástica de color gris púrpura marrón, constituida por piroclastos (60%) de líticos y cristales, inmersos en una matriz marrón con púrpura de ceniza fina (40%). Los líticos constituyen el 70% de los piroclastos, son volcánicos, polimícticos, de colores grisáceos, pardos, rojizos y verdosos, de geometría angulosa y de tamaño lapilli fino. Los cristales representan el 30% de los piroclastos y se componen en su totalidad de plagioclasas subhedrales de tamaños de hasta 2 mm.				
	<b>ALTERACIÓN</b>	S/N				
NOMBRE DE LA ROCA: TOBA LÍTICA CÓDIGO DE LA MUESTRA: LC1304P4M01		COORDENADAS UTM				
LOCALIDAD		DATUM	HUSO	C. NORTE	C. ESTE	ALTITUD
Las Cruces		WGS84	19H	6435542	352691	2346 m
	<b>AFLORAMIENTO</b>	Afloramiento rosa blanquecino con leves tonos púrpuras y de geometría tabular. Presenta escasas diaclasas que carecen de orientación preferencial.				
	<b>LITOLOGÍA</b>	Roca piroclástica de color rosa blanquecina con tonos púrpuras, constituida por piroclastos (70%) de líticos y cristales, inmersos en una matriz rosa púrpura de ceniza fina (30%). Los líticos constituyen el 95% de los piroclastos, son volcánicos, polimícticos, de colores grisáceos, verdosos y blancos, de geometría angulosa y de tamaño ceniza media a lapilli medio. Los líticos blanquecinos corresponden a líticos de pómez, los cuales constituyen el 80% de los líticos y sus tamaños varían entre ceniza media y ceniza gruesa. Los cristales representan el 5% de los piroclastos y corresponden a plagioclasas euhedrales bien preservadas de hasta 0,5 mm.				
	<b>ALTERACIÓN</b>	S/N				
NOMBRE DE LA ROCA: LAVA AFANÍTICA CÓDIGO DE LA MUESTRA: LC1304P8M01		COORDENADAS UTM				
LOCALIDAD		DATUM	HUSO	C. NORTE	C. ESTE	ALTITUD
Las Cruces		WGS84	19H	6437115	353835	2538 m
	<b>AFLORAMIENTO</b>	Afloramiento gris parduzco de geometría tabular y dimensiones de 20 m de espesor y 40 m de largo. Presenta fracturamiento subvertical, recto y continuo.				
	<b>LITOLOGÍA</b>	Roca volcánica de textura afanítica y color gris oscuro. La geometría, fracturamiento y disposición estratigráfica permiten interpretarla como una lava.				
	<b>ALTERACIÓN</b>	S/N				
NOMBRE DE LA ROCA: ANDESITA DE HORNBLENDA CÓDIGO DE LA MUESTRA: LC1304P10M01		COORDENADAS UTM				
LOCALIDAD		DATUM	HUSO	C. NORTE	C. ESTE	ALTITUD
Las Cruces		WGS84	19H	6437149	353676	2539 m
	<b>AFLORAMIENTO</b>	Afloramiento pardo grisáceo de geometría masiva y dimensiones de 50 m de espesor y 70 m de largo.				
	<b>LITOLOGÍA</b>	Roca intrusiva hipabisal de color gris azulado, de textura porfírica y holocristalina, con cristales equigranulares de hornblenda y plagioclasas inmersos en una masa fundamental microcristalina de color gris. Los cristales de plagioclasas se presentan bien preservados, euhedrales y con tamaños que alcanzan los 2 mm. Las hornblendas se presentan subhedrales y de tamaños que varían entre 1 y 3 mm, pero ocasionalmente se presentan en cúmulos de hasta 5 mm.				
	<b>ALTERACIÓN</b>	S/N				

NOMBRE DE LA ROCA: TOBA VÍTREA CÓDIGO DE LA MUESTRA: LC1304P9M01		COORDENADAS UTM				
LOCALIDAD		DATUM	HUSO	C. NORTE	C. ESTE	ALTITUD
Las Cruces		WGS84	19H	6436940	353349	2531 m
	<b>AFLORAMIENTO</b>	Afloramiento blanco verdoso de geometría masiva y dimensiones de 4 m de espesor y 12 m de ancho.				
	<b>LITOLOGÍA</b>	Roca piroclástica de color blanquecina con tonos verdosos, constituida por piroclastos (30%) de líticos y cristales, inmersos en una matriz blanquecina de ceniza fina (70%). Los líticos constituyen el 60% de los piroclastos, son volcánicos, polimícticos, de colores marrones, pardo claro y verdosos, de geometría angulosa y de tamaño lapilli fino a lapilli grueso. Los cristales representan el 40% de los piroclastos y corresponden a plagioclasas euherdrales bien preservadas de hasta 0,4 mm.				
	<b>ALTERACIÓN</b>	Clorización.				
NOMBRE DE LA ROCA: ANDESITA CÓDIGO DE LA MUESTRA: LC1304P10M01		COORDENADAS UTM				
LOCALIDAD		DATUM	HUSO	C. NORTE	C. ESTE	ALTITUD
Las Cruces		WGS84	19H	6436803	353047	2549 m
	<b>AFLORAMIENTO</b>	Afloramiento gris parduzco de geometría masiva y dimensiones de 8 m de ancho y 5 m de espesor.				
	<b>LITOLOGÍA</b>	Roca extrusiva de color gris azulado y textura porfírica, con cristales de plagioclasas inmersos en una masa fundamental gris. Los cristales de plagioclasas se presentan subhedrales, alterados a minerales de arcilla e inequigranulares con tamaño de grano que varía entre los 0,5 y 3 mm.				
	<b>ALTERACIÓN</b>	Vetillas de epidota.				
NOMBRE DE LA ROCA: TOBA VÍTREA CÓDIGO DE LA MUESTRA: LC1304P12M01		COORDENADAS UTM				
LOCALIDAD		DATUM	HUSO	C. NORTE	C. ESTE	ALTITUD
Las Cruces		WGS84	19H	6435806	351793	2385 m
	<b>AFLORAMIENTO</b>	Afloramiento tabular de color naranja rojizo con fracturamiento subvertical y subhorizontal, recto y continuo.				
	<b>LITOLOGÍA</b>	Roca piroclástica de color gris oscuro, constituida por piroclastos (15%) de líticos y cristales, inmersos en una matriz gris de ceniza fina (85%). Los líticos constituyen el 60% de los piroclastos, son volcánicos, polimícticos, y corresponden a un grupo de color blanquecino, angulosos y tamaño ceniza media y otro grupo constituido por fiames. Los cristales representan el 40% de los piroclastos y corresponden a plagioclasas subhedrales de hasta 0,2 mm.				
	<b>ALTERACIÓN</b>	Pátinas de óxidos de Fe.				
NOMBRE DE LA ROCA: TOBA LÍTICA DE PÓMEZ CÓDIGO DE LA MUESTRA: LC1304P12M02		COORDENADAS UTM				
LOCALIDAD		DATUM	HUSO	C. NORTE	C. ESTE	ALTITUD
Las Cruces		WGS84	19H			
	<b>AFLORAMIENTO</b>	Afloramiento gris anaranjado de geometría masiva.				
	<b>LITOLOGÍA</b>	Roca piroclástica de color gris verdosa con tonos blanquecinos, constituida por piroclastos (70%) de líticos y cristales, inmersos en una matriz gris verdosa de ceniza fina (30%). Los líticos constituyen el 95% de los piroclastos, son volcánicos, polimícticos, de colores grisáceos, pardos, verdosos y blancos, de geometría angulosa y de tamaño ceniza gruesa a lapilli fino. Los líticos blanquecinos corresponden a líticos de pómez, los cuales constituyen el 80% de los líticos y sus tamaños varían entre ceniza media y ceniza gruesa. Los cristales representan el 5% de los piroclastos y corresponden a plagioclasas euherdrales alteradas a arcillas y con tamaños de hasta 0,5 mm.				
	<b>ALTERACIÓN</b>	Pátinas de óxidos de Fe.				

NOMBRE DE LA ROCA: ANDESITA DE PIROXENO CÓDIGO DE LA MUESTRA: LC1404P1M01		COORDENADAS UTM				
	LOCALIDAD	DATUM	HUSO	C. NORTE	C. ESTE	ALTITUD
	Las Cruces	WGS84	19H	6434511	351941	2146 m
	AFLORAMIENTO	Afloramiento tabular de 5 m de espesor, de color gris y con set de diaclasas en 6 direcciones. El fracturamiento se presenta recto y mayormente sin relleno salvo por escasas pátas de oxidación.				
	LITOLOGÍA	Roca extrusiva hipocristalina de color gris y textura porfírica, constituida por cristales de piroxenos, anfíboles y plagioclasas, inmersos en una masa fundamental gris. Las plagioclasas corresponden al único mineral félsico, y se presenta en dos familias euhedrales; la primera corresponde a los cristales blanco lechoso de tamaños que varían entre 2 y 5 mm, mientras que la segunda corresponde a cristales translúcidos bien preservados y equigranulares con tamaños de 2 mm. Los minerales máficos predominantes corresponden a piroxeno, los cuales se presentan subhedrales a euhedrales con tamaños de hasta 3 mm. Los anfíboles son subhedrales y con tamaños de hasta 1 mm.				
ALTERACIÓN	Pátinas de oxidación a nivel de afloramiento.					
NOMBRE DE LA ROCA: ARENISCA FINA CÓDIGO DE LA MUESTRA: LC1404P12M01		COORDENADAS UTM				
	LOCALIDAD	DATUM	HUSO	C. NORTE	C. ESTE	ALTITUD
	Las Cruces	WGS84	19H	6433668	352907	2254 m
	AFLORAMIENTO	Afloramiento tabular de 7 m de espesor y de color gris pardusco.				
	LITOLOGÍA	Roca sedimentaria continental de textura clástica, constituida por arenisca fina de color gris, con intercalaciones de limo marrón. La arenisca posee tamaño de grano fino, con clastos polimícticos bien redondeados, presenta buena selección y madurez química y textural. Las intercalaciones de limo se constituyen de clastos bien seleccionados y redondeados, alta madurez química y textural.				
ALTERACIÓN	Pátinas de oxidación.					
NOMBRE DE LA ROCA: BASALTO DE PIROXENO CÓDIGO DE LA MUESTRA: LC1504P2M01		COORDENADAS UTM				
	LOCALIDAD	DATUM	HUSO	C. NORTE	C. ESTE	ALTITUD
	Las Cruces	WGS84	19H	6433877	351539	2153 m
	AFLORAMIENTO	Afloramiento masivo (intrusivo hipabisal?) de 8 m de espesor y color pardo anaranjado. Se presenta altamente meteorizado y disgregado y se posiciona sobre el afloramiento de la muestra LC1504P2M02.				
	LITOLOGÍA	Roca intrusiva hipabisal, hipocristalina de textura porfírica con cristales equigranulares de grano muy fino, inmersos en una masa fundamental negra grisácea. La mineralogía félsica se compone en su totalidad de cristales de plagioclasas subhedrales translúcidas, de tamaño de grano de hasta 0,4 mm. Los piroxenos constituyen el único mineral máfico de la roca, y se presentan subhedrales con tamaños de hasta 0,3 mm.				
ALTERACIÓN	Pátinas de oxidación.					
NOMBRE DE LA ROCA: GABRO DE PIROXENO CÓDIGO DE LA MUESTRA: LC15P2M02		COORDENADAS UTM				
	LOCALIDAD	DATUM	HUSO	C. NORTE	C. ESTE	ALTITUD
	Las Cruces	WGS84	19H	6433877	351539	2153 m
	AFLORAMIENTO	Afloramiento masivo de 5 m de espesor y color pardo anaranjado. A diferencia de la sección superior (muestra LC1504P2M01), se presenta mejor preservado y competente, con fracturamiento ortogonal en dos direcciones y con relleno de óxidos de Fe.				
	LITOLOGÍA	Roca intrusiva de color negro y textura fanerítica, con cristales equigranulares de grano grueso. Las plagioclasas constituyen el único mineral félsico, y se presentan euhedrales de color translúcido, con cristales de tamaños de hasta 3 mm. El mineral máfico predominante lo constituyen los piroxenos subhedrales de tamaños de hasta 2,5 mm. Se observa la presencia de magnetita anhedral, la cual se encuentra parcialmente martitizada.				
ALTERACIÓN	Pátinas de oxidación. Martitización de magnetita.					



NOMBRE DE LA ROCA: GABRO DE PIROXENO		COORDENADAS UTM					
CÓDIGO DE LA MUESTRA: LC1504P11M01		LOCALIDAD	DATUM	HUSO	C. NORTE	C. ESTE	ALTITUD
		Las Cruces	WGS84	19H	6433403	351311	2213 m
		AFLORAMIENTO	Afloramiento de color amarillo, de 20 m de potencia y geometría masiva.				
		LITOLÓGIA	Roca intrusiva de color pardo amarillento, holocristalina y con textura fanerítica con cristales equigranulares de grano fino. Las plagioclasas constituyen la totalidad de los minerales felsicos, presentandose con tamaños de granos de hasta 0,6 mm, subhedrales y mal preservadas. El mineral máfico predominante lo constituye el piroxeno, el cual se encuentra epidotizado, subhedral y con tamaños de hasta 0,5 mm. Se aprecia mineralización de sulfuros de Cu, constituidos por Cpy y bornita, los cuales localmente se encuentran oxidados.				
		ALTERACIÓN	Mineralización de óxidos y sulfuros de cobre.				
NOMBRE DE LA ROCA: ANDESÍTICA		COORDENADAS UTM					
CÓDIGO DE LA MUESTRA: LC1504P12M01		LOCALIDAD	DATUM	HUSO	C. NORTE	C. ESTE	ALTITUD
		Las Cruces	WGS84	19H	6433300	350897	2178 m
		AFLORAMIENTO	Afloramiento gris de geometría masiva. Se encuentra en contacto con el intrusivo de la muestra LC1504P11M01. Este afloramiento se ubica en el borde oriental de la Falla Pocuro.				
		LITOLÓGIA	Roca extrusiva holocristalina de color gris, con textura porfírica, constituida por cristales equigranulares de grano fino inmersos en una masa fundamental gris. La plagioclasa corresponde al mineral félsico predominante (90%) y se presenta subhedral con tamaños que alcanzan los 0,6 mm, mientras que los cristales anhedrales de cuarzo (10%) exhiben tamaños menores a los 0,4 mm.				
		ALTERACIÓN	S/N				
NOMBRE DE LA ROCA: BRECHA VOLCÁNICA		COORDENADAS UTM					
CÓDIGO DE LA MUESTRA: LC1504P13M01		LOCALIDAD	DATUM	HUSO	C. NORTE	C. ESTE	ALTITUD
		Las Cruces	WGS84	19H	6433315	350745	2168 m
		AFLORAMIENTO	Afloramiento pardo con tonalidades púrpuras, de geometría masiva y potencia de 30 m. Afloramiento ubicado en el borde oriental de la Falla Pocuro.				
		LITOLÓGIA	Roca volcánica de color marrón, constituida por clastos volcánicos cloritizados, polimicticos, angulosos y con tamaños que fluctúan entre los 7 mm y 5 cm. La masa fundamental holocristalina posee una coloración marrón y ocasionalmente presenta cristales de plagioclasas de hasta 2 mm, constituyendo menos del 10% de la masa fundamental.				
		ALTERACIÓN	Alteración selectiva de los clastos a clorita.				
NOMBRE DE LA ROCA: ANDESITA DE ANFÍBOL		COORDENADAS UTM					
CÓDIGO DE LA MUESTRA: LC1504P14M01		LOCALIDAD	DATUM	HUSO	C. NORTE	C. ESTE	ALTITUD
		Las Cruces	WGS84	19H	6434707	350777	2067 m
		AFLORAMIENTO	Afloramiento ubicado en la traza de la falla pocuro, de color gris y geometría masiva.				
		LITOLÓGIA	Roca extrusiva holocristalina de color gris, de textura fanerítica con cristales inequigranulares de plagioclasas y anfíboles, inmersos en una masa fundamental vítrea de color gris. Los cristales de plagioclasas mal preservados exhiben alteración a sericita, y presentan tamaños entre 2 y 5 mm. Los anfíboles se presentan subhedrales y con tamaños de hasta 3 mm.				
		ALTERACIÓN	Vetillas de calcita y arcillas.				



### 13.4. Datos estructurales del Sistema Estructural Occidental

Tabla 13.2 – Datos estructurales del borde occidental del Sistema Estructural Occidental.

SECTOR	TIPO DE ESTRUCTURA	DISPOSICIÓN	LITOLOGÍA	UNIDAD	COORDENADA E	COORDENADA S
Qda. Los Tornos	Veta mineralizada	N27°E/30SE	Porfido andesítico	Hierro Viejo - Pedernal	309899	6428404
Qda. Los Tornos	Veta mineralizada	N65°E/65SW	Porfido andesítico	Hierro Viejo - Pedernal	309899	6428404
Qda. Los Tornos	Falla	N30°W/68SW	Porfido andesítico	Hierro Viejo - Pedernal	309892	6428475
Qda. Los Tornos	Diaclasamiento	N14°W/40NE	Porfido andesítico	Hierro Viejo - Pedernal	309809	6428553
Qda. Los Tornos	Falla	N3°E/41SE	Porfido andesítico	Hierro Viejo - Pedernal	308054	6427970
Qda. Los Tornos	Falla	N30°E/91SE	Porfido andesítico	Hierro Viejo - Pedernal	308054	6427970
Qda. Los Tornos	Diaclasamiento	N8°W/52SW	Brecha volcánica polimíctica	Hierro Viejo - Pedernal	308008	6430664
Qda. Los Tornos	Diaclasamiento	N35°E/60NW	Brecha volcánica polimíctica	Hierro Viejo - Pedernal	307321	6429961
Qda. Los Tornos	Diaclasamiento	N20°E/88SW	Brecha volcánica polimíctica	Hierro Viejo - Pedernal	307321	6429961
Qda. Los Tornos	Diaclasamiento	N12E/62NW	Brecha volcánica polimíctica	Hierro Viejo - Pedernal	309848	6428517
Qda. Los Tornos	Diaclasamiento	N26°W/67SW	Brecha volcánica polimíctica	Hierro Viejo - Pedernal	309848	6428517
Escalera del Diablo	Diaclasamiento	N5°W/90 W	Andesita Porfírica	Hierro Viejo - Pedernal	311239	6426868
Escalera del Diablo	Veta mineralizada	N13W/90	Andesita Porfírica	Hierro Viejo - Pedernal	312229	6427163

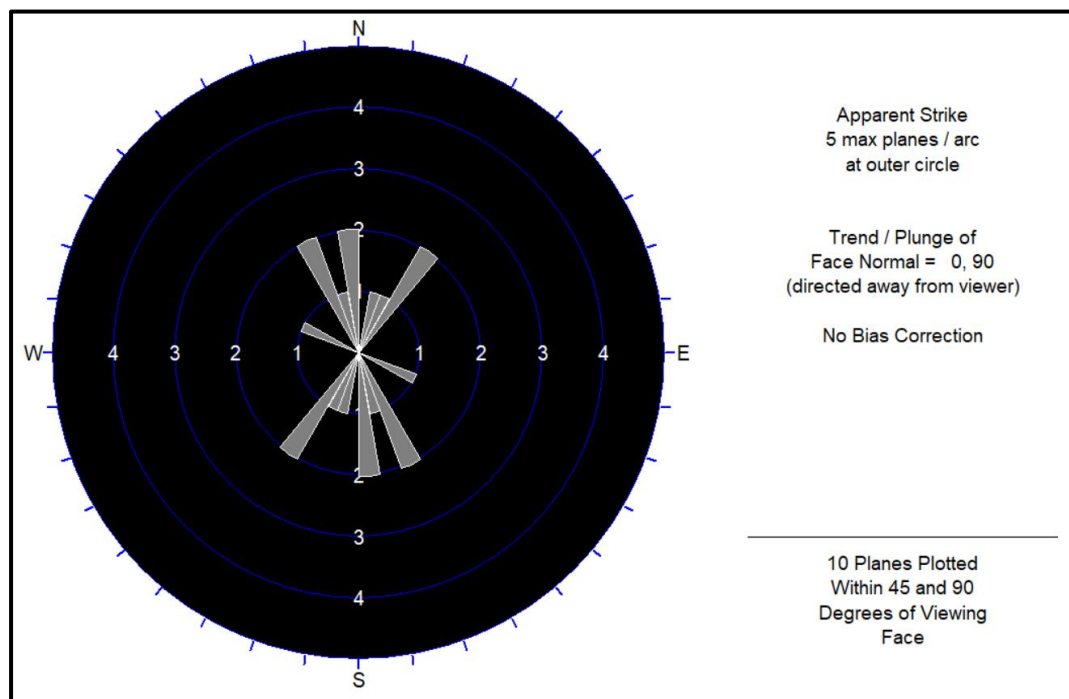


Fig. 13.2 – Diagrama de roseta del borde occidental del Sistema Estructural Oriental. El diagrama refleja la dirección preferencial de los datos estructurales de la Tabla 13.2, siendo aproximadamente el rumbo N10°W el que concentra la mayor parte de los datos.

## 14. ANEXO D: Inventario de Geodiversidad

### 14.1. Fichas de Caracterización en Terreno de los Sitios de Interés Geológico

Tabla 14.1 – Ficha de caracterización en terreno del LIG01, Diques Venas del Diablo.

CÓDIGO		NOMBRE DEL GEOSITIO					
LIG01		DIQUES VENAS DEL DIABLO					
DISTRIBUCIÓN GEOGRÁFICA							
REGIÓN		VALPARAÍSO		COMUNA		PETORCA	
PROVINCIA		PETORCA		LOCALIDAD		FRUTILLAR BAJO	
INFORMACIÓN GPS				POBLADOS MÁS PRÓXIMOS			
UTM N		UTM E		POBLADO		DISTANCIA (Km)	
6438569		305706		Frutillar Bajo		3,5	
ALTITUD		568 msnm		Las Palmas		7,5	
HUSO		DATUM					
19H		WGS84					
CARACTERÍSTICAS DE USO							
DOMINIO		INSTALACIONES CERCANAS (m)					
PÚBLICO		X		ALOJAMIENTO		S/N	
PRIVADO				ALIMENTACIÓN		S/N	
DUEÑO				BAÑO		S/N	
				OTRA			
		DISTANCIA A PUNTO DE ACCESO MÁS PRÓXIMO (m)					
		AUTOMOVIL		5		4 X 4	
				5		BUS	
ASOCIACIÓN CON OTROS ELEMENTOS PATRIMONIALES DE ÍNDOLE							
NATURAL		X		CULTURAL		HISTÓRICO	
				ÉTNICO		OTRO	
		Núcleo de biodiversidad de palmas chilenas ( <i>Jubaea chilensis</i> )					
ZONAS RECREATIVAS CERCANAS		Cauce del río forma pozones naturales aptos para el baño.					
FACTORES DE RIESGO		No presenta factores de riesgo evidentes.					
LIMITACIONES PARA SU USO		No existen limitaciones para su uso.					
OBSERVACIONES		El sector carece de zona de estacionamiento, dificultado el acceso.					
CARACTERÍSTICAS INTRÍNECAS DE USO CIENTÍFICO							
CONTEXTOS(s) GEOLÓGICO(s) REPRESENTADO(s)		Magmatismo del Cretácico Inferior					
TIPO DE VALOR CIENTÍFICO		Petroológico-Magmático					
CARACTERÍSTICA MÁS RELEVANTE		Diques máficos syn- y post-plutónicos con enclaves esferoidales microgranulares que intruyen una roca caja intrusiva leucocrática.					
ESTADO DE CONSERVACIÓN		Íntegro. Todos los elementos relevantes bien preservados.					
CANTIDAD DE ELEMENTOS GEOLÓGICOS DE INTERÉS CIENTÍFICO							
1				¿CUÁLES? Diques máficos syn- y post-plutónicos, enclaves esferoidales microgranulares, morfologías de erosión fluvial, vetillas de mineralización de epidota.			
2							
3 o más		X					
LOCALIDAD TIPO		SI		SECUNDARIA		NO	
						X	
PUBLICACIONES QUE LO INCLUYEN							
<ul style="list-style-type: none"> <li>● FERNANDO, R (2014). Estudio Paleomagnético del Complejo Plutónico Illapel 31°25' -32°30'S: Implicancias acerca de sus mecanismos de emplazamiento su relación con la evolución tectónica regional. Tesis para optar al Grado de Magister en Ciencias, Mención Geología, Repositorio Universidad de Chile.</li> <li>● HIDALGO, C (2011). Aproximación a la dirección del flujo magmático y variaciones composicionales, mineralógicas y texturales de diques máficos del Complejo Plutónico Illapel. Memoria para optar al título de Geólogo, Repositorio Universidad de Chile.</li> <li>● VARAS, M (2011). Naturaleza, distribución e implicaciones petrogenéticas de los enclaves máficos microgranulares del Complejo Plutónico Illapel, Cordillera de la Costa, Chile Central. Tesis para optar al Grado de Magister en Ciencias, Mención Geología, Repositorio Universidad de Chile.</li> <li>● FERNANDO, R., ARRIAGADA, C., MORATA, D., CÓRDOBA, L., VARAS, M.L. (2009). Fábricas petro-magmáticas en el Complejo Plutónico Illapel: Implicancias en el mecanismo de emplazamiento de plutones. XII Congreso Geológico Chileno.</li> <li>● RIVANO, S., SEPÚLVEDA, P., BORIC, R., &amp; ESPÍNEIRA, D. (1993). Hojas Quillota y Portillo, V Región. Servicio Nacional de Geología y Minería. Carta Geológica de Chile, 73(1).</li> </ul>							

INVESTIGACIONES A REALIZAR			
Estudio de flujos magmáticos de inmiscibilidad. Caracterización de morfologías fluviales y evolución del río. Relación espacial con la flora y fauna del sector.			
CARACTERÍSTICAS INTRÍNECAS DE USO EDUCATIVO/TURÍSTICO			
BELLEZA/ATRACTIVO	Diques y morfologías fluviales (tazones y pozones).		
PARTICULARIDAD/RASGOS DISTINTIVOS	Enclaves esferoidales en diques máficos. Tipo de erosión (pulido).		
CONDICIONES DE OBSERVACIÓN	No presenta obstáculos en su visibilidad.		
POTENCIAL DIDÁCTICO/INTERPRETATIVO	Explicación de procesos magmáticos y fluviales.		
CANTIDAD DE ELEMENTOS GEOLÓGICOS DE INTERÉS EDUCATIVO/TURÍSTICO			
1		¿CUÁLES?	Diques, enclaves y estructuras fluviales.
2			
3 o más	X		
RIESGO DE DEGRADACIÓN			
ACTIVIDAD HUMANA	Actualmente no presenta degradación por actividad humana, no obstante en el sector se ha licitado un proyecto para desarrollar un embalse, lo cual afectaría directamente la integridad del sitio.		
PROCESO NATURAL	La erosión fluvial es el principal agente de degradación del sitio pero no se descartan posibles aluviones que afecten las condiciones de acceso.		
SITUACIÓN LEGAL DE PROTECCIÓN ACTUAL	El lugar carece de una figura legal y estrategias de protección.		
OBSERVACIONES GENERALES			
El sitio posee un alto potencial turístico en base a su espectacularidad y asociación con sitios recreativos, pero carece de infraestructura adecuada. El principal interés es científico y educativo, siendo evidenciado en diversas publicaciones que lo mencionan.			

Tabla 14.2 – Ficha de caracterización en terreno del LIG02, Dique Escalera del Diablo.

CÓDIGO		NOMBRE DEL GEOSITIO					
LIG02		DIQUE ESCALERA DEL DIABLO					
DISTRIBUCIÓN GEOGRÁFICA							
REGIÓN	VALPARAÍSO			COMUNA	PETORCA		
PROVINCIA	PETORCA			LOCALIDAD	HIERRO VIEJO		
INFORMACIÓN GPS				POBLADOS MÁS PRÓXIMOS			
UTM N	UTM E	ALTITUD		POBLADO	DISTANCIA (Km)		
6426209	311675	829 msnm		HIERRO VIEJO	1 km		
HUSO	DATUM			PETORCA	11 km		
19H	WGS84						
CARACTERÍSTICAS DE USO							
DOMINIO		INSTALACIONES CERCANAS					
PÚBLICO		ALOJAMIENTO	S/N	ALIMENTACIÓN	1 km	BAÑO	1 km
PRIVADO	X	OTRA	1 km a tranque acumulador de agua.				
DUEÑO		DISTANCIA A PUNTO DE ACCESO MÁS PRÓXIMO					
		AUTOMOVIL	1 km	4 X 4	1 km	BUS	1 km
ASOCIACIÓN CON OTROS ELEMENTOS PATRIMONIALES DE ÍNDOLE							
NATURAL		CULTURAL	X	HISTÓRICO	X	ÉTNICO	X
						OTRO	Religioso
Petroglifos en la Piedra del Indio y cruz en la Escalera del Diablo. Relatos locales en torno al dique.							
ZONAS RECREATIVAS CERCANAS	Cancha de fútbol, tranque de regadío de Manuel Montt (piscina Hierro Viejo y escenario). Plaza con juegos infantiles.						
FACTORES DE RIESGO	Sendero poco desarrollado: No existen elementos que delimiten la ruta ni tampoco elementos de seguridad (avisos, barandas u otro según corresponda).						
LIMITACIONES PARA SU USO	Para acceder se debe pasar por un terreno privado, pero su entrada no está limitada al público.						
OBSERVACIONES	Existen marcas en rocas que indican el sendero hacia la escalera, pero muchas veces no son evidentes, llevando a la confusión. No existen servicios en las inmediaciones.						

CARACTERÍSTICAS INTRÍNECAS DE USO CIENTÍFICO							
CONTEXTOS(s) GEOLÓGICO(s) REPRESENTADO(s)		Arco Volcánico del Cretácico Inferior					
TIPO DE VALOR CIENTÍFICO		Petroológico-Volcánico					
CARACTERÍSTICA MÁS RELEVANTE		Orientación, forma y dimensiones del dique.					
ESTADO DE CONSERVACIÓN		Las características relevantes son observables en su totalidad, pero presenta rayados en la superficie del dique.					
CANTIDAD DE ELEMENTOS GEOLÓGICOS DE INTERÉS CIENTÍFICO							
1		¿CUÁLES?	El dique la Escalera del Diablo, zonas de interés metalogénico apreciable desde el elemento principal, rocas con nódulos de epidota cristalina en la ruta de acceso al dique.				
2							
3 o más	X						
LOCALIDAD TIPO		SI		SECUNDARIA		NO	X
PUBLICACIONES QUE LO INCLUYEN							
S/N							
INVESTIGACIONES A REALIZAR							
Determinar la génesis del elemento de interés con su edad. Relación estructural entre el dique y los sectores de mineralización de Quebrada los Tornos, las cuales presentan un lineamiento con el mismo rumbo. Caracterización de la interacción entre la geología, la biodiversidad y los elementos arqueológicos locales.							
CARACTERÍSTICAS INTRÍNECAS DE USO EDUCATIVO/TURÍSTICO							
BELLEZA/ATRACTIVO		Dique cuya forma de escalera ha definido relatos locales culturales y religiosos, y dada su ubicación, permite apreciar la forma del valle y elementos geomorfológicos de interés.					
PARTICULARIDAD/RASGOS DISTINTIVOS		Forma de la escalera del dique producto de la erosión que permitió el desprendimiento de bloques de rocas pseudo-ortogonales.					
CONDICIONES DE OBSERVACIÓN		La escalera se puede ser desde toda la ruta, pero su mejor punto de observación es desde la base. No presenta impedimentos visuales para su contemplación.					
POTENCIAL DIDÁCTICO/INTERPRETATIVO		Explicación de los eventos volcánicos que acaecieron durante el Cretácico Inferior.					
CANTIDAD DE ELEMENTOS GEOLÓGICOS DE INTERÉS EDUCATIVO/TURÍSTICO							
1		¿CUÁLES?	Dique Escalera del Diablo, nódulos de Epidota cristalina en la ruta de ascenso, alteración de Chl-Ep-Calcita, elementos geomorfológicos tales como el valle fluvial y conos aluviales.				
2							
3 o más	X						
RIESGO DE DEGRADACIÓN							
ACTIVIDAD HUMANA		Actualmente no existen elementos antrópicos que impidan apreciar las características más relevantes, pero el dique presenta rayados que disminuyen su valor escénico.					
PROCESO NATURAL		La erosión fluvial y eólica son los principales factores que afectan al dique, considerando que uno de sus elementos de interés lo constituye su forma particular.					
SITUACIÓN LEGAL DE PROTECCIÓN ACTUAL		El sitio no posee un mecanismo de protección legal, pero se encuentra en un terreno privado.					
OBSERVACIONES GENERALES							
El LIG de la Escalera del Diablo presenta un valor multidisciplinario que, a lo largo de la ruta, es posible interpretar, aprender y contemplar la biodiversidad, la geodiversidad, elementos arqueológicos y elementos culturales que definen a la comunidad local.							

Tabla 14.3 – Ficha de caracterización en terreno del LIG03, Quebrada de Castro.

CÓDIGO	NOMBRE DEL GEOSITIO					
LIG03	QUEBRADA DE CASTRO					
DISTRIBUCIÓN GEOGRÁFICA						
REGIÓN	VALPARAÍSO			COMUNA	PETORCA	
PROVINCIA	PETORCA			LOCALIDAD	PETORCA	
INFORMACIÓN GPS				POBLADOS MÁS PRÓXIMOS		
UTM N	UTM E	ALTITUD		POBLADO	DISTANCIA (Km)	
6433030	321521	887 msnm		PETORCA	4,1	
HUSO	DATUM			CHINCOLCO	6,7	
19H	WGS84					



CARACTERÍSTICAS DE USO							
<b>DOMINIO</b>		<b>INSTALACIONES CERCANAS (m)</b>					
<b>PÚBLICO</b>	X	<b>ALOJAMIENTO</b>	S/N	<b>ALIMENTACIÓN</b>	S/N	<b>BAÑO</b>	S/N
<b>PRIVADO</b>		<b>OTRA</b>	S/N				
<b>DUEÑO</b>		<b>DISTANCIA A PUNTO DE ACCESO MÁS PRÓXIMO (m)</b>					
		<b>AUTOMOVIL</b>	100	<b>4 X 4</b>	100	<b>BUS</b>	100
ASOCIACIÓN CON OTROS ELEMENTOS PATRIMONIALES DE ÍNDOLE							
<b>NATURAL</b>		<b>CULTURAL</b>		<b>HISTÓRICO</b>		<b>ÉTNICO</b>	X
Existen petroglifos en la ladera oriental de la quebrada.							
<b>ZONAS RECREATIVAS CERCANAS</b>		Potencial para instalación de puntos de escalada. Actualmente se hacen festividades.					
<b>FACTORES DE RIESGO</b>		Caída de rocas y remociones en masa.					
<b>LIMITACIONES PARA SU USO</b>		No existen zonas para recarga de agua.					
<b>OBSERVACIONES</b>							
CARACTERÍSTICAS INTRÍNECAS DE USO CIENTÍFICO							
<b>CONTEXTOS(s) GEOLÓGICO(s) REPRESENTADO(s)</b>		Procesos geomorfológicos fluviales del Neógeno-Cuaternario.					
<b>TIPO DE VALOR CIENTÍFICO</b>		Estructural y Geomorfológico.					
<b>CARACTERÍSTICA MÁS RELEVANTE</b>		Forma de la quebrada tipo cañon.					
<b>ESTADO DE CONSERVACIÓN</b>		Íntegro.					
CANTIDAD DE ELEMENTOS GEOLÓGICOS DE INTERÉS CIENTÍFICO							
<b>1</b>		<b>¿CUÁLES?</b>	Forma y dimensiones de la quebrada, con afloramientos de brechas volcánicas y andesíticas del arco volcánico Mesozoico. Terrazas fluviales y perfiles de depósitos fluvio-aluviales expuestos por incisión del río.				
<b>2</b>	X						
<b>3 o más</b>							
<b>LOCALIDAD TIPO</b>		<b>SI</b>	X	<b>SECUNDARIA</b>		<b>NO</b>	
PUBLICACIONES QUE LO INCLUYEN							
CAMUS, F., BORIC, R., SKEWES, M.A., CASTELLI, J.C., REICHHARD, E., MESTRE, A. (1991). Geologic, structural, and fluid inclusion studies of El Bronce epithermal vein system, Petorca, central Chile. Economic Geology, Vol. 86, 1317-1345.							
INVESTIGACIONES A REALIZAR							
Caracterización del peligro geológico de la quebrada. Evidencias del control estructural sobre la formación de la quebrada.							
CARACTERÍSTICAS INTRÍNECAS DE USO EDUCATIVO/TURÍSTICO							
<b>BELLEZA/ATRACTIVO</b>		Potencia de los afloramientos y morfología de la quebrada. Belleza paisajística.					
<b>PARTICULARIDAD/RASGOS DISTINTIVOS</b>		Potencia y calidad de los afloramientos. Clastos en la quebrada de tamaños métricos.					
<b>CONDICIONES DE OBSERVACIÓN</b>		Buenas condiciones de observación.					
<b>POTENCIAL DIDÁCTICO/INTERPRETATIVO</b>		Observación de procesos fluviales, coluviales, estructurales y volcano-sedimentarios. Evolución paleogeográfica.					
CANTIDAD DE ELEMENTOS GEOLÓGICOS DE INTERÉS EDUCATIVO/TURÍSTICO							
<b>1</b>		<b>¿CUÁLES?</b>	Forma y dimensiones de la quebrada, afloramientos bien preservados, depósitos coluviales, perfiles de depósitos fluvio-aluviales y terrazas fluviales.				
<b>2</b>							
<b>3 o más</b>	X						
RIESGO DE DEGRADACIÓN							
<b>ACTIVIDAD HUMANA</b>		El elemento de interés principal no presenta intervención antrópica, pero en el lecho del río es posible observar rayados que afectan su valor escénico.					
<b>PROCESO NATURAL</b>		El principal agente de erosión natural lo constituye el fluvial seguido del eólico pero, dadas las dimensiones del elemento de interés, su efecto sobre la degradación es poco relevante.					
<b>SITUACIÓN LEGAL DE PROTECCIÓN ACTUAL</b>		El sitio actualmente carece de figura legal y estrategias de conservación.					
OBSERVACIONES GENERALES							
El sendero se encuentra parcialmente desarrollado y el tramo final requiere implementos para seguridad en el uso, por ejemplo, cadenas en la ruta a modo de pasamanos, barandas, entre otros.							

Tabla 14.4 – Ficha de caracterización en terreno del LIG04 Caldera Morro Hediondo.

CÓDIGO		NOMBRE DEL GEOSITIO					
LIG04		CALDERA MORRO HEDIONDO					
DISTRIBUCIÓN GEOGRÁFICA							
REGIÓN	VALPARAÍSO			COMUNA	PETORCA		
PROVINCIA	PETORCA			LOCALIDAD	HIERRO VIEJO		
INFORMACIÓN GPS				POBLADOS MÁS PRÓXIMOS			
UTM N	UTM E	ALTITUD	POBLADO		DISTANCIA (Km)		
6443248	328983	1380m	CHINCOLCO		13		
HUSO	DATUM						
19H	WGS84						
CARACTERÍSTICAS DE USO							
DOMINIO		INSTALACIONES CERCANAS (m)					
PÚBLICO		ALOJAMIENTO	S/N	ALIMENTACIÓN	S/N	BAÑO	S/N
PRIVADO	X	OTRA					
DUEÑO		DISTANCIA A PUNTO DE ACCESO MÁS PRÓXIMO (m)					
		AUTOMOVIL		4 X 4		BUS	
ASOCIACIÓN CON OTROS ELEMENTOS PATRIMONIALES DE ÍNDOLE							
NATURAL		CULTURAL		HISTÓRICO	X	ÉTNICO	
Antiguos carros de transporte de la Ex Mina Dulcinea							
ZONAS RECREATIVAS CERCANAS		No posee					
FACTORES DE RIESGO		Piques mineros de la Ex Mina sin suspensión de las paredes y techo, alto peligro de derrumbe. Caída de rocas en la ruta.					
LIMITACIONES PARA SU USO		El terreno es privado con actividad extractiva en funcionamiento.					
OBSERVACIONES							
CARACTERÍSTICAS INTRÍNSECAS DE USO CIENTÍFICO							
CONTEXTOS(s) GEOLÓGICO(s) REPRESENTADO(s)		Magmatismo del Cretácico Superior					
TIPO DE VALOR CIENTÍFICO		Volcanológico					
CARACTERÍSTICA MÁS RELEVANTE		Dique dacítico que corona el sector de la caldera Morro Hediondo, presentando una forma anular.					
ESTADO DE CONSERVACIÓN		Las características más relevantes se preservan íntegras dadas sus dimensiones, pero en el sector más accesible se encuentra intervenido por la actividad minera.					
CANTIDAD DE ELEMENTOS GEOLÓGICOS DE INTERÉS CIENTÍFICO							
1		¿CUÁLES?	Dique dacítico anular y cuerpos intrusivos que cortan las secuencias volcánicas. Yacimientos con óxidos de Cu (malaquita y crisocola). Elementos geomorfológicos del valle de Pedernal (vista hacia remoción en masa del Arenal).				
2							
3 o más	X						
LOCALIDAD TIPO		SI	X	SECUNDARIA		NO	
PUBLICACIONES QUE LO INCLUYEN							
CAMUS, F., BORIC, R., SKEWES, M.A., CASTELLI, J.C., REICHHARD, E., MESTRE, A. (1991). Geologic, structural, and fluid inclusion studies of El Bronce epithermal vein system, Petorca, central Chile. Economic Geology, Vol. 86, 1317-1345.							
INVESTIGACIONES A REALIZAR							
Caracterización del peligro geológico asociado a las labores mineras y estudios de zonación y estructura magmática, tanto del dique como los intrusivos asociados.							
CARACTERÍSTICAS INTRÍNSECAS DE USO EDUCATIVO/TURÍSTICO							
BELLEZA/ATRACTIVO		Variaciones de coloración en las unidades a raíz de la mineralización con óxidos de Cu. Vista panorámica del valle y sus elementos geomorfológicos.					
PARTICULARIDAD/RASGOS DISTINTIVOS		Vetas de color verdosas (con crisocola y malaquita) expuestas. Se observa el relave en la base del cerro.					
CONDICIONES DE OBSERVACIÓN		No se observan elementos que impidan la visualización del dique anular o labores mineras.					
POTENCIAL DIDÁCTICO/INTERPRETATIVO		El dique anular permite comprender procesos magmáticos y el ascenso por zonas de debilidad estructural que dieron origen a la caldera. Permite comprender cómo se genera este tipo de yacimientos y el modelo de explotación minera.					

CANTIDAD DE ELEMENTOS GEOLÓGICOS DE INTERÉS EDUCATIVO/TURÍSTICO			
1		¿CUÁLES?	Dique anular que explican procesos magmáticos. vetillas, labores mineras y relaves que permiten comprender el desarrollo de la pequeña-mediana minería del valle. Elementos geomorfológicos.
2			
3 o más	X		
RIESGO DE DEGRADACIÓN			
ACTIVIDAD HUMANA		Los elementos de interés principales se encuentran amenazados por la actividad minera en ejecución.	
PROCESO NATURAL		Los agentes de degradación naturales son poco relevante, siendo las precipitaciones los principales factores.	
SITUACIÓN LEGAL DE PROTECCIÓN ACTUAL		El sitio carece de protección legal y el terreno privado se utiliza para la actividad minera.	
OBSERVACIONES GENERALES			
S/N			

Tabla 14.5 – Ficha de caracterización en terreno del LIG05, Mina de Pedernalita.

CÓDIGO		NOMBRE DEL GEOSITIO					
LIG05		MINA DE PEDERNALITA					
DISTRIBUCIÓN GEOGRÁFICA							
REGIÓN	VALPARAÍSO			COMUNA	PETORCA		
PROVINCIA	PETORCA			LOCALIDAD	PEDERNAL (SECTOR LA OLLA)		
INFORMACIÓN GPS				POBLADOS MÁS PRÓXIMOS			
UTM N	UTM E	ALTITUD		POBLADO	DISTANCIA (Km)		
6451914	329077	1500 m		PEDERNAL	7,8		
HUSO	DATUM						
19H	WGS84						
CARACTERÍSTICAS DE USO							
DOMINIO		INSTALACIONES CERCANAS (m)					
PÚBLICO		ALOJAMIENTO	S/N	ALIMENTACIÓN	S/N	BAÑO	S/N
PRIVADO	X	OTRA					
DUEÑO	Manuel Quiroz Quiroz	DISTANCIA A PUNTO DE ACCESO MÁS PRÓXIMO					
		AUTOMOVIL	8 Km	4 X 4	300 m	BUS	8 Km
ASOCIACIÓN CON OTROS ELEMENTOS PATRIMONIALES DE ÍNDOLE							
NATURAL		CULTURAL	X	HISTÓRICO		ÉTNICO	OTRO
Cantera de la roca "Pedernalita", utilizada para artesanía por artesanas locales de Chincolco.							
ZONAS RECREATIVAS CERCANAS	No posee.						
FACTORES DE RIESGO	Caminos en mal estado con posibles caída de rocas.						
LIMITACIONES PARA SU USO	El ingreso requiere permiso del dueño. Caminos en mal estado.						
OBSERVACIONES	Fuente de material para la artesanía local.						
CARACTERÍSTICAS INTRÍNECAS DE USO CIENTÍFICO							
CONTEXTOS(s) GEOLÓGICO(s) REPRESENTADO(s)		Arco Volcánico del Cretácico Inferior					
TIPO DE VALOR CIENTÍFICO		Petroológico.					
CARACTERÍSTICA MÁS RELEVANTE		Textura silicificada de la roca "Pedernalita" y sus texturas de flujo.					
ESTADO DE CONSERVACIÓN		En general los afloramientos se presentan íntegros y solamente un sector se encuentra alterado por la extracción de material a baja escala para la confección de artesanía.					
CANTIDAD DE ELEMENTOS GEOLÓGICOS DE INTERÉS CIENTÍFICO							
1	X	¿CUÁLES?	Variedad de minerales de arcilla que otorgan diversas coloraciones y texturas.				
2							
3 o más							
LOCALIDAD TIPO		SI		SECUNDARIA	X	NO	
PUBLICACIONES QUE LO INCLUYEN							
S/N							
INVESTIGACIONES A REALIZAR							
Identificación del tipo de mineral de arcilla y las características de los procesos que dieron origen a la roca.							

CARACTERÍSTICAS INTRÍNECAS DE USO EDUCATIVO/TURÍSTICO			
BELLEZA/ATRACTIVO		Colorido de las rocas en afloramientos	
PARTICULARIDAD/RASGOS DISTINTIVOS		Apreciación del valle desde los afloramientos. Se observan diversos colores con variación métrica.	
CONDICIONES DE OBSERVACIÓN		Óptima, no existen obstáculos para su visualización a distancia y el afloramiento puede ser tocado.	
POTENCIAL DIDÁCTICO/INTERPRETATIVO		Relación entre los procesos de formación de las rocas y estructuras con la artesanía local.	
CANTIDAD DE ELEMENTOS GEOLÓGICOS DE INTERÉS EDUCATIVO/TURÍSTICO			
1	X	¿CUÁLES?	Variedad mineralógica con diversa coloración.
2			
3 o más			
RIESGO DE DEGRADACIÓN			
ACTIVIDAD HUMANA		Explotación para uso ornamental.	
PROCESO NATURAL		Meteorización por precipitaciones.	
SITUACIÓN LEGAL DE PROTECCIÓN ACTUAL		No posee figuras legales ni estrategias de protección.	
OBSERVACIONES GENERALES			
Constituye un punto de interés cultural dado que es utilizado como materia prima por artesanos locales.			

Tabla 14.6 – Ficha de caracterización en terreno del LIG06, Brechas Volcánicas de Pedernal.

CÓDIGO		NOMBRE DEL GEOSITIO					
LIG06		BRECHAS VOLCÁNICAS DE PEDERNAL					
DISTRIBUCIÓN GEOGRÁFICA							
REGIÓN		VALPARAÍSO		COMUNA		PETORCA	
PROVINCIA		PETORCA		LOCALIDAD		PEDERNAL	
INFORMACIÓN GPS				POBLADOS MÁS PRÓXIMOS			
UTM N		UTM E		POBLADO		DISTANCIA (Km)	
6449372		331894		PEDERNAL		2,8	
HUSO		DATUM					
CARACTERÍSTICAS DE USO							
DOMINIO		INSTALACIONES CERCANAS (m)					
PÚBLICO		ALOJAMIENTO		S/N	ALIMENTACIÓN		S/N
PRIVADO		X		OTRA			
DUEÑO		Desconocido		DISTANCIA A PUNTO DE ACCESO MÁS PRÓXIMO (m)			
		AUTOMOVIL		2 km	4 X 4		800 m
				BUS		2 km	
ASOCIACIÓN CON OTROS ELEMENTOS PATRIMONIALES DE ÍNDOLE							
NATURAL		CULTURAL		HISTÓRICO		ÉTNICO	
						OTRO	
ZONAS RECREATIVAS CERCANAS		No posee					
FACTORES DE RIESGO		Caminos de acceso en mal estado.					
LIMITACIONES PARA SU USO		No posee zonas de recarga de agua en la ruta.					
OBSERVACIONES		Se infiere que el terreno pertenece a privados dadas las labores mineras, pero se desconoce el dueño.					
CARACTERÍSTICAS INTRÍNECAS DE USO CIENTÍFICO							
CONTEXTOS(s) GEOLÓGICO(s) REPRESENTADO(s)		Secuencias volcánicas del Cretácico Inferior (Arco Volcánico del Cretácico Inferior)					
TIPO DE VALOR CIENTÍFICO		Estratigráfico					
CARACTERÍSTICA MÁS RELEVANTE		Brechas volcánicas angulosas y silicificadas en afloramientos muy bien preservados.					



<b>ESTADO DE CONSERVACIÓN</b>		Íntegro.			
<b>CANTIDAD DE ELEMENTOS GEOLÓGICOS DE INTERÉS CIENTÍFICO</b>					
1	X	¿CUÁLES?	Brechas volcánicas silicificadas, representativas de los procesos volcánicos del Cretácico Inferior.		
2					
3 o más					
<b>LOCALIDAD TIPO</b>		SI	SECUNDARIA	NO	X
<b>PUBLICACIONES QUE LO INCLUYEN</b>					
No posee					
<b>INVESTIGACIONES A REALIZAR</b>					
Estudio de proveniencia de las brechas y determinar sus condiciones de formación.					
<b>CARACTERÍSTICAS INTRÍNECAS DE USO EDUCATIVO/TURÍSTICO</b>					
<b>BELLEZA/ATRACTIVO</b>		Afloramientos de brechas de color marrón distintivos a los colores grises y pardos del cerro. Textura particular silicificada de las brechas.			
<b>PARTICULARIDAD/RASGOS DISTINTIVOS</b>		Clastos angulosos monomíticos marrones perfectamente preservados gracias a la silicificación.			
<b>CONDICIONES DE OBSERVACIÓN</b>		No presenta elementos que impidan apreciar y alcanzar el elemento de interés.			
<b>POTENCIAL DIDÁCTICO/INTERPRETATIVO</b>		Permite comprender procesos volcánicos de alta energía del arco volcánico del Cretácico Inferior.			
<b>CANTIDAD DE ELEMENTOS GEOLÓGICOS DE INTERÉS EDUCATIVO/TURÍSTICO</b>					
1	X	¿CUÁLES?	Brechas volcánicas silicificadas.		
2					
3 o más					
<b>RIESGO DE DEGRADACIÓN</b>					
<b>ACTIVIDAD HUMANA</b>		No presenta elementos antrópicos que afecten el sitio de interés.			
<b>PROCESO NATURAL</b>		Agentes de meteorización poco relevantes. Silicificación protege ante agentes de degradación.			
<b>SITUACIÓN LEGAL DE PROTECCIÓN ACTUAL</b>		El sitio carece de medidas de protección.			
<b>OBSERVACIONES GENERALES</b>					
El elemento de interés presenta un alto valor científico-didáctico al ser uno de los sitios mejor preservados que exhiben las características de las brechas volcánicas de la Formación Cerro Morado.					

Tabla 14.7 – Ficha de caracterización en terreno del LIG07, Conglomerados Rojos de Pedernal.

<b>CÓDIGO</b>		<b>NOMBRE DEL GEOSITIO</b>			
LIG07		CONGLOMERADOS ROJOS DE PEDERNAL			
<b>DISTRIBUCIÓN GEOGRÁFICA</b>					
<b>REGIÓN</b>	VALPARAÍSO		<b>COMUNA</b>	PETORCA	
<b>PROVINCIA</b>	PETORCA		<b>LOCALIDAD</b>	PEDERNAL	
<b>INFORMACIÓN GPS</b>			<b>POBLADOS MÁS PRÓXIMOS</b>		
<b>UTM N</b>	<b>UTM E</b>	<b>ALTITUD</b>	<b>POBLADO</b>	<b>DISTANCIA (Km)</b>	
6449160	332236	1359 m	Pedernal	2,6	
<b>HUSO</b>	<b>DATUM</b>				
19 H	WGS84				

CARACTERÍSTICAS DE USO									
<b>DOMINIO</b>		<b>INSTALACIONES CERCANAS (m)</b>							
<b>PÚBLICO</b>		<b>ALOJAMIENTO</b>	S/N	<b>ALIMENTACIÓN</b>	S/N	<b>BAÑO</b>	S/N		
<b>PRIVADO</b>	X	<b>OTRA</b>							
<b>DUEÑO</b>	Desconocido	<b>DISTANCIA A PUNTO DE ACCESO MÁS PRÓXIMO (m)</b>							
		<b>AUTOMOVIL</b>	2,1 km	<b>4 x 4</b>	900 m	<b>BUS</b>	2,1 km		
ASOCIACIÓN CON OTROS ELEMENTOS PATRIMONIALES DE ÍNDOLE									
<b>NATURAL</b>		<b>CULTURAL</b>		<b>HISTÓRICO</b>		<b>ÉTNICO</b>		<b>OTRO</b>	
<b>ZONAS RECREATIVAS CERCANAS</b>		No posee.							
<b>FACTORES DE RIESGO</b>		Camino de acceso en mal estado.							
<b>LIMITACIONES PARA SU USO</b>		No existen zonas de recarga de agua en la ruta. Sin senderos delimitados.							
<b>OBSERVACIONES</b>		Recinto privado inferido a partir de labores mineras, pero se desconoce el dueño.							
CARACTERÍSTICAS INTRÍNECAS DE USO CIENTÍFICO									
<b>CONTEXTOS(s) GEOLÓGICO(s) REPRESENTADO(s)</b>		Secuencias sedimentarias del Cretácico Inferior.							
<b>TIPO DE VALOR CIENTÍFICO</b>		Sedimentológico-Estratigráfico.							
<b>CARACTERÍSTICA MÁS RELEVANTE</b>		Conglomerados de color rojo con clastos mayores a 15 cm bien redondeados.							
<b>ESTADO DE CONSERVACIÓN</b>		Íntegro.							
CANTIDAD DE ELEMENTOS GEOLÓGICOS DE INTERÉS CIENTÍFICO									
<b>1</b>	X	<b>¿CUÁLES?</b>	Conglomerados rojos.						
<b>2</b>									
<b>3 o más</b>									
<b>LOCALIDAD TIPO</b>		SI		<b>SECUNDARIA</b>		NO	X		
PUBLICACIONES QUE LO INCLUYEN									
No posee.									
INVESTIGACIONES A REALIZAR									
Caracterización de las facies sedimentarias que dieron origen al nivel conglomerádico. Levantamiento de columnas estratigráficas de niveles superiores.									
CARACTERÍSTICAS INTRÍNECAS DE USO EDUCATIVO/TURÍSTICO									
<b>BELLEZA/ATRACTIVO</b>		Color distintivo del afloramiento rojizo.							
<b>PARTICULARIDAD/RASGOS DISTINTIVOS</b>		Clastos bien redondeados.							
<b>CONDICIONES DE OBSERVACIÓN</b>		No existen limitantes para la observación y acceso al elemento de interés.							
<b>POTENCIAL DIDÁCTICO/INTERPRETATIVO</b>		Permite comprender procesos de transporte de clastos.							
CANTIDAD DE ELEMENTOS GEOLÓGICOS DE INTERÉS EDUCATIVO/TURÍSTICO									
<b>1</b>	X	<b>¿CUÁLES?</b>	Conglomerados rojos.						
<b>2</b>									
<b>3 o más</b>									
RIESGO DE DEGRADACIÓN									
<b>ACTIVIDAD HUMANA</b>		No existen elementos antropicos que afecten el elemento de interés.							
<b>PROCESO NATURAL</b>		El sitio presenta riesgo de degradación por agentes de meteorización.							
<b>SITUACIÓN LEGAL DE PROTECCIÓN ACTUAL</b>		Carece de medidas de protección.							
OBSERVACIONES GENERALES									
El sitio presenta un interés principalmente científico dado que representa la base del miembro Pitipeumo de la Formación Las Chilcas, marcando el inicio de un periodo en el cual predominó el ambiente sedimentario por sobre el volcánico.									

Tabla 14.8 – Ficha de caracterización en terreno del LIG08, Secuencias Sedimentarias del Sobrante.

CÓDIGO		NOMBRE DEL GEOSITIO					
LIG08		SECUENCIAS SEDIMENTARIAS DEL SOBRANTE					
DISTRIBUCIÓN GEOGRÁFICA							
REGIÓN	VALPARAÍSO			COMUNA	PETORCA		
PROVINCIA	PETORCA			LOCALIDAD	ALLE DEL SOBRANTE (SECTOR EL TRAPICHE)		
INFORMACIÓN GPS				POBLADOS MÁS PRÓXIMOS			
UTM N	UTM E	ALTITUD	POBLADO		DISTANCIA (Km)		
6433343	336510	1151 m	EL SOBRANTE		6,7		
HUSO	DATUM						
19 H	WGS84						
CARACTERÍSTICAS DE USO							
DOMINIO		INSTALACIONES CERCANAS (m)					
PÚBLICO		ALOJAMIENTO	1,5 km	ALIMENTACIÓN	1,5 km	BAÑO	1,5 km
PRIVADO	X	OTRA					
DUEÑO	Sociedad Agrícola y Ganadera del Sobrante		DISTANCIA A PUNTO DE ACCESO MÁS PRÓXIMO (m)				
		AUTOMOVIL	200 m	4 X 4	200 m	BUS	1 km
ASOCIACIÓN CON OTROS ELEMENTOS PATRIMONIALES DE ÍNDOLE							
NATURAL		CULTURAL		HISTÓRICO		ÉTNICO	
ZONAS RECREATIVAS CERCANAS	A menos de 1 km se encuentra el cauce del río con pozones aptos para el baño.						
FACTORES DE RIESGO	Caidas de rocas en inmediaciones de los afloramientos.						
LIMITACIONES PARA SU USO	No posee limitaciones para su uso pese a ser un sitio privado.						
OBSERVACIONES	Para acceder al lugar de interés se debe acceder mediante una caminata sin sendero desarrollado.						
CARACTERÍSTICAS INTRÍNECAS DE USO CIENTÍFICO							
CONTEXTOS(s) GEOLÓGICO(s) REPRESENTADO(s)		Secuencias sedimentarias del Cretácico Inferior					
TIPO DE VALOR CIENTÍFICO		Sedimentológico y Estratigráfico					
CARACTERÍSTICA MÁS RELEVANTE		Intercalaciones de niveles conglomerádicos, arenosos y limosos bien preservados que permiten estudiar variaciones de facies.					
ESTADO DE CONSERVACIÓN		Íntegro					
CANTIDAD DE ELEMENTOS GEOLÓGICOS DE INTERÉS CIENTÍFICO							
1		¿CUÁLES?	En las cercanías de la zona de interés principal es posible apreciar niveles de tobas líticas con pipas de segregación. Desde el punto de interés se reconocen elementos geomorfológicos de conos aluviales del valle.				
2							
3 o más	X						
LOCALIDAD TIPO		SI		SECUNDARIA		NO	X
PUBLICACIONES QUE LO INCLUYEN							
No posee							
INVESTIGACIONES A REALIZAR							
Estudio de proveniencia y facies sedimentaria de conglomerados y areniscas. Dataciones a los niveles tobáceos para tener certeza de la edad de la secuencia.							
CARACTERÍSTICAS INTRÍNECAS DE USO EDUCATIVO/TURÍSTICO							
BELLEZA/ATRACTIVO	Afloramientos de grandes dimensiones desde el cual se puede observar morfologías y belleza escénica del valle.						
PARTICULARIDAD/RASGOS DISTINTIVOS	Variaciones en las granulometrías y colores de los afloramientos desde verdosos, grisáceos y azulados hasta rosas y blanquecinos.						
CONDICIONES DE OBSERVACIÓN	No existen elementos que impidan la observación y acceso a los lugares de interés.						
POTENCIAL DIDÁCTICO/INTERPRETATIVO	Permite interpretar los procesos sedimentarios y volcánicos de baja energía acaecidos durante el Cretácico Inferior.						

CANTIDAD DE ELEMENTOS GEOLÓGICOS DE INTERÉS EDUCATIVO/TURÍSTICO			
1		¿CUÁLES?	Secuencias sedimentarias conglomerádicas, arenosas y limosas, secuencias volcánicas tobáceas y elementos geomorfológicos del valle que permiten explicar peligros geológicos.
2			
3 o más	X		
RIESGO DE DEGRADACIÓN			
ACTIVIDAD HUMANA		No existen actividades antrópicas que atenten contra la integridad del sitio de interés.	
PROCESO NATURAL		Los agentes de degradación naturales son poco relevantes.	
SITUACIÓN LEGAL DE PROTECCIÓN ACTUAL		No posee figura legal y estrategia de protección.	
OBSERVACIONES GENERALES			
El sitio presenta un alto valor científico al ser parte del miembro Pitúpeumo de la Formación Las Chilcas, siendo uno de los pocos niveles predominantemente sedimentarios de la zona de estudio. Además, su valor didáctico recae en la interpretación de rocas sedimentarias y volcánicas de baja energía y la educación en torno a peligros geológicos mediante del análisis de los depósitos y conos fluvio-aluviales en los bordes del río.			

Tabla 14.9 – Ficha de caracterización en terreno del LIG09, Discordancia Angular del Valle del Sobrante.

CÓDIGO		NOMBRE DEL GEOSITIO					
LIG09		DISCORDANCIA ANGULAR DEL VALLE DEL SOBRANTE					
DISTRIBUCIÓN GEOGRÁFICA							
REGIÓN		VALPARAÍSO		COMUNA		PETORCA	
PROVINCIA		PETORCA		LOCALIDAD		VALLE DEL SOBRANTE	
INFORMACIÓN GPS				POBLADOS MÁS PRÓXIMOS			
UTM N	UTM E	ALTITUD		POBLADO		DISTANCIA (Km)	
6434252	343198	2295 m		EL SOBRANTE		15	
HUSO		DATUM					
19 H		WGS84					
CARACTERÍSTICAS DE USO							
DOMINIO		INSTALACIONES CERCANAS (m)					
PÚBLICO		ALOJAMIENTO	7 km	ALIMENTACIÓN	7 km	BAÑO	7 km
PRIVADO	X	OTRA		DISTANCIA A PUNTO DE ACCESO MÁS PRÓXIMO (m)			
DUEÑO	Sociedad Agrícola y Ganadera de El Sobrante	AUTOMOVIL	5,5 km	4 X 4	5,5 km	BUS	5,5 km
ASOCIACIÓN CON OTROS ELEMENTOS PATRIMONIALES DE ÍNDOLE							
NATURAL		CULTURAL		HISTÓRICO		ÉTNICO	
ZONAS RECREATIVAS CERCANAS		servicios básicos. Sólo existe una edificación precaria armada por arrieros, pero existen bancas y techumbre.					
FACTORES DE RIESGO		aidas de roca en el sendero de acceso y falta de barandas o elementos de seguridad en tramos más estrechos.					
LIMITACIONES PARA SU USO		Hay que contar con los permisos para acceder al sector.					
OBSERVACIONES		La ubicación GPS es aproximada.					
CARACTERÍSTICAS INTRÍNSECAS DE USO CIENTÍFICO							
CONTEXTOS(s) GEOLÓGICO(s) REPRESENTADO(s)		Arco volcánico del Cretácico Inferior-Superior					
TIPO DE VALOR CIENTÍFICO		Estratigráfico					
CARACTERÍSTICA MÁS RELEVANTE		Discordancia angular que pone en contacto el miembro Calvario de la Formación Las Chilcas, yaciendo bajo la Formación Lo Valle.					
ESTADO DE CONSERVACIÓN		Íntegro					
CANTIDAD DE ELEMENTOS GEOLÓGICOS DE INTERÉS CIENTÍFICO							
1	X	¿CUÁLES?	Discordancia angular.				
2							
3 o más							
LOCALIDAD TIPO		SI		SECUNDARIA		NO	X
PUBLICACIONES QUE LO INCLUYEN							
Jara, P.; Charrier, R. (2014). Nuevos antecedentes estratigráficos y geocronológicos para el Meso-Cenozoico de la Cordillera Principal de Chile entre 32 y 32 30'S: Implicancias estructurales y paleogeográficas. <i>Andean geology</i> , 41(1), 174-209. (Cabe destacar que fue reconocida e interpretada por Jara pero se definió de manera distinta a la del presente trabajo).							

INVESTIGACIONES A REALIZAR			
Caracterización litológica del techo y base de las secuencias involucradas para el desarrollo de una columna estratigráfica precisa. Dataciones de la unidad inferior y superior según factibilidad técnica y teórica.			
CARACTERÍSTICAS INTRÍNECAS DE USO EDUCATIVO/TURÍSTICO			
BELLEZA/ATRACTIVO	Discordancia angular fácilmente reconocible desde la ladera sur del valle. Corresponde al elemento más representativo y mejor modelo de discordancia angular de la zona de estudio.		
PARTICULARIDAD/RASGOS DISTINTIVOS	Diferencias de manteos entre unidades de aproximadamente 25° permite un fácil reconocimiento.		
CONDICIONES DE OBSERVACIÓN	La discordancia se encuentra íntegra y es ampliamente visible desde la ladera sur del valle.		
POTENCIAL DIDÁCTICO/INTERPRETATIVO	Permite comprender los procesos de erosión y deposición que dan origen a las discordancias angulares.		
CANTIDAD DE ELEMENTOS GEOLÓGICOS DE INTERÉS EDUCATIVO/TURÍSTICO			
1	X	¿CUÁLES?	Discordancia angular.
2			
3 o más			
RIESGO DE DEGRADACIÓN			
ACTIVIDAD HUMANA	No posee actividades antrópicas que amenacen el elemento de interés.		
PROCESO NATURAL	Agentes de meteorización son los únicos factores de degradación pero, dadas las dimensiones del LIG, son poco relevantes.		
SITUACIÓN LEGAL DE PROTECCIÓN ACTUAL	Carece de figuras legales y estrategias de protección.		
OBSERVACIONES GENERALES			
El LIG posee un interés científico al ser una clara evidencia para la definición de límites estratigráficos. Además, posee un potencial educativo dada su capacidad de interpretar procesos que dan origen a las discordancias angulares.			

Tabla 14.10 – Ficha de caracterización en terreno del LIG10, Laguna del Sobrante.

CÓDIGO	NOMBRE DEL GEOSITIO						
LIG10	LAGUNA DEL SOBRANTE						
DISTRIBUCIÓN GEOGRÁFICA							
REGIÓN	VALPARAÍSO			COMUNA	PETORCA		
PROVINCIA	PETORCA			LOCALIDAD	ALLE DE EL SOBRANTE, SECTOR LAS CRUCE		
INFORMACIÓN GPS				POBLADOS MÁS PRÓXIMOS			
UTM N	UTM E	ALTITUD		POBLADO	DISTANCIA (Km)		
6436866	353664	2539 m		EL SOBRANTE	26		
HUSO	DATUM						
19 H	WGS84						
CARACTERÍSTICAS DE USO							
DOMINIO		INSTALACIONES CERCANAS (m)					
PÚBLICO		ALOJAMIENTO	18 km	ALIMENTACIÓN	18 km	BAÑO	18 km
PRIVADO	X	OTRA					
DUEÑO	Sociedad Agrícola y Ganadera de El Sobrante	DISTANCIA A PUNTO DE ACCESO MÁS PRÓXIMO (m)					
		AUTOMOVIL	16 km	4 X 4	16 km	BUS	16 km
ASOCIACIÓN CON OTROS ELEMENTOS PATRIMONIALES DE ÍNDOLE							
NATURAL	X	CULTURAL		HISTÓRICO		ÉTNICO	
Zona de abundante biodiversidad tales como roedores, guanacos, aguiluchos y patos.							
ZONAS RECREATIVAS CERCANAS		La laguna es apta para el baño y el sector se utiliza actualmente para el senderismo					
FACTORES DE RIESGO		Remociones en masa y caída de rocas a lo largo de la ruta de acceso al LIG.					
LIMITACIONES PARA SU USO		Contar con el permiso para acceder a los predios.					
OBSERVACIONES		A menos de una hora hay lugar para acampar, con techo incluido. No obstante no posee servicios básicos.					



CARACTERÍSTICAS INTRÍNECAS DE USO CIENTÍFICO							
CONTEXTOS(S) GEOLÓGICO(S) REPRESENTADO(S)		Procesos geomorfológicos fluvial-lacustre del Neógeno-Cuaternario.					
TIPO DE VALOR CIENTÍFICO		Geomorfológico y sedimentológico.					
CARACTERÍSTICA MÁS RELEVANTE		Único ejemplo de elemento lacustre en la zona de estudio. Laguna fue originada producto de una avalancha de roca proveniente de un intrusivo tonalítico-granodiorítico.					
ESTADO DE CONSERVACIÓN		Íntegra.					
CANTIDAD DE ELEMENTOS GEOLÓGICOS DE INTERÉS CIENTÍFICO							
1		¿CUÁLES?	Laguna del sobrante, avalancha de rocas, intrusivo tonalítico-granodiorítico.				
2							
3 o más	X						
LOCALIDAD TIPO		SI	X	SECUNDARIA		NO	
PUBLICACIONES QUE LO INCLUYEN							
No posee.							
INVESTIGACIONES A REALIZAR							
Estudios limnológicos, relación con la avalancha de rocas y estudios de biodiversidad .							
CARACTERÍSTICAS INTRÍNECAS DE USO EDUCATIVO/TURÍSTICO							
BELLEZA/ATRACTIVO		Laguna de aproximadamente 300 m de diámetro que alberga una variedad de especies de Anatidae (patos).					
PARTICULARIDAD/RASGOS DISTINTIVOS		La laguna perdura durante todo el año y desde ella se puede ver la avalancha de rocas y el escarpe de esta, la cual alcanza los 500-600 m de altura.					
CONDICIONES DE OBSERVACIÓN		No existen impedimentos para observar y acceder al LIG.					
POTENCIAL DIDÁCTICO/INTERPRETATIVO		Permite explicar cómo procesos de remociones en masa pueden dar origen a lagunas a partir del encauzamiento de ríos.					
CANTIDAD DE ELEMENTOS GEOLÓGICOS DE INTERÉS EDUCATIVO/TURÍSTICO							
1		¿CUÁLES?	Desde la laguna se puede observar la avalancha de rocas, el escarpe de la remoción y el intrusivo tonalítico-granodiorítico.				
2							
3 o más	X						
RIESGO DE DEGRADACIÓN							
ACTIVIDAD HUMANA		Actualmente no existen actividades antrópicas que pongan en riesgo el LIG, no obstante se han realizado exploraciones mineras en la zona.					
PROCESO NATURAL		El cambio climático y los extensos periodos de sequía son el principal riesgo de la laguna. Además, un nuevo evento de remoción en masa podría afectar la integridad de la laguna.					
SITUACIÓN LEGAL DE PROTECCIÓN ACTUAL		El lugar carece de medidas de protección.					
OBSERVACIONES GENERALES							
El LIG actualmente tiene un uso turístico y posee potencial educativo en torno a procesos geomorfológico y fluvio-lacustres.							

Tabla 14.11 – Ficha de caracterización en terreno del LIG11, Avalancha de Roca del Intrusivo del Cerro Parado.

CÓDIGO	NOMBRE DEL GEOSITIO						
LIG11	AVALANCHA DE ROCA DEL INTRUSIVO DEL CERRO PARADO						
DISTRIBUCIÓN GEOGRÁFICA							
REGIÓN	VALPARAÍSO			COMUNA	PETORCA		
PROVINCIA	PETORCA			LOCALIDAD	VALLE DEL SOBRANTE, SECTOR LAS CRUCES		
INFORMACIÓN GPS				POBLADOS MÁS PRÓXIMOS			
UTM N	UTM E	ALTITUD		POBLADO	DISTANCIA		
6435946	352962	2429 m		EL SOBRANTE	26 km		
HUSO	DATUM						
19 H	WGS84						

CARACTERÍSTICAS DE USO									
<b>DOMINIO</b>		<b>INSTALACIONES CERCANAS (m)</b>							
<b>PÚBLICO</b>		<b>ALOJAMIENTO</b>	18 km	<b>ALIMENTACIÓN</b>	18 km	<b>BAÑO</b>	18 km		
<b>PRIVADO</b>	X	<b>OTRA</b>							
<b>DUEÑO</b>	Sociedad Agrícola y Ganadera de El Sobrante		<b>DISTANCIA A PUNTO DE ACCESO MÁS PRÓXIMO (m)</b>						
		<b>AUTOMOVIL</b>	16 km	<b>4 X 4</b>	16 km	<b>BUS</b>	16 km		
ASOCIACIÓN CON OTROS ELEMENTOS PATRIMONIALES DE ÍNDOLE									
<b>NATURAL</b>	X	<b>CULTURAL</b>		<b>HISTÓRICO</b>		<b>ÉTNICO</b>		<b>OTRO</b>	
El sector es hábitat de guanacos, especie protegida en Chile.									
<b>ZONAS RECREATIVAS CERCANAS</b>		Laguna del Sobrante							
<b>FACTORES DE RIESGO</b>		Posibles remociones en masa y caída de rocas en las cercanías al escarpe.							
<b>LIMITACIONES PARA SU USO</b>		Se requiere permiso para acceder a los predios.							
<b>OBSERVACIONES</b>		A menos de una hora hay lugar para acampar, con techo incluido. No obstante no posee servicios básicos.							
CARACTERÍSTICAS INTRÍNECAS DE USO CIENTÍFICO									
<b>CONTEXTOS(s) GEOLÓGICO(s) REPRESENTADO(s)</b>		Remociones en masa del Neógeno-Cuaternario. Posible evidencia de neotectónica de la mega-estructura Zona de Falla Pucuro.							
<b>TIPO DE VALOR CIENTÍFICO</b>		Geomorfológico-Tectónico.							
<b>CARACTERÍSTICA MÁS RELEVANTE</b>		Dimensiones del depósito y tamaño de los bloques.							
<b>ESTADO DE CONSERVACIÓN</b>		Íntegro.							
CANTIDAD DE ELEMENTOS GEOLÓGICOS DE INTERÉS CIENTÍFICO									
<b>1</b>		<b>¿CUÁLES?</b>	Asociado al elemento de interés principal existen elementos de interés geomorfológicos como la laguna del Sobrante y el valle de Las Cruces, el intrusivo granodiorítico-tonalítico fuente de la remoción o el escarpe de la avalancha.						
<b>2</b>									
<b>3 o más</b>	X								
<b>LOCALIDAD TIPO</b>		<b>SI</b>	X	<b>SECUNDARIA</b>		<b>NO</b>			
PUBLICACIONES QUE LO INCLUYEN									
No posee.									
INVESTIGACIONES A REALIZAR									
Se requiere determinar el volumen, origen y cantidad de eventos que generaron el actual depósito. Es necesario realizar un estudio de peligro geológico para determinar la gestión del LIG. Además, para saber si existe una relación con la neotectónica de la Zona de Falla Pucuro, se debe determinar la edad de la remoción y para ello se propone una datación del depósito mediante Be <sup>10</sup>									
CARACTERÍSTICAS INTRÍNECAS DE USO EDUCATIVO/TURÍSTICO									
<b>BELLEZA/ATRACTIVO</b>		Dimensiones del depósito de avalancha de roca, la altura y verticalidad del escarpe y la laguna del Sobrante.							
<b>PARTICULARIDAD/RASGOS DISTINTIVOS</b>		La remoción posee una superficie aproximada de 3 km <sup>2</sup> y bloques de rocas que superan los 2 m.							
<b>CONDICIONES DE OBSERVACIÓN</b>		No existen agentes que obstaculicen la remoción y se recomienda observarla desde el punto más alto de la ladera N para apreciar su magnitud.							
<b>POTENCIAL DIDÁCTICO/INTERPRETATIVO</b>		Permite explicar procesos que dan origen a las avalanchas de rocas y sus implicaciones en el riesgo geológico, siendo un ejemplo representativo de remociones en masa.							
CANTIDAD DE ELEMENTOS GEOLÓGICOS DE INTERÉS EDUCATIVO/TURÍSTICO									
<b>1</b>	X	<b>¿CUÁLES?</b>	Sendero que cruza la avalancha de rocas, las dimensiones del escarpe, la laguna del Sobrante, la morfología del valle de Las Cruces y las litologías en la ruta de acceso.						
<b>2</b>									
<b>3 o más</b>									
RIESGO DE DEGRADACIÓN									
<b>ACTIVIDAD HUMANA</b>		No existen agentes antrópicos que pongan en riesgo el elemento de interés, pero en el sector se han realizado estudios de exploración minera.							
<b>PROCESO NATURAL</b>		Un nuevo pulso de remoción podría alterar la forma actual y posibles estudios de dataciones.							
<b>SITUACIÓN LEGAL DE PROTECCIÓN ACTUAL</b>		El LIG no posee una figura legal de protección.							
OBSERVACIONES GENERALES									
La avalancha de rocas es la remoción en masa mejor preservada y la más representativa de la zona de estudio. Su interés educativo tiene el potencial de aumentar el valor turístico actual. Posee interés científico al ser posible evidencia de neotectónica asociada a la ZFP.									

Tabla 14.12 – Ficha de caracterización en terreno del LIG12, Toba Lítica de las Cruces.

CÓDIGO		NOMBRE DEL GEOSITIO					
LIG12		TOBA LÍTICA DE LAS CRUCES					
DISTRIBUCIÓN GEOGRÁFICA							
REGIÓN	VALPARAÍSO			COMUNA	PETORCA		
PROVINCIA	PETORCA			LOCALIDAD	VALLE DEL SOBRANTE, SECTOR LAS CRUCES		
INFORMACIÓN GPS				POBLADOS MÁS PRÓXIMOS			
UTM N	UTM E	ALTITUD	POBLADO		DISTANCIA		
6435528	352684	2353 m	EL SOBRANTE		26 km		
HUSO	DATUM						
19 H	WGS84						
CARACTERÍSTICAS DE USO							
DOMINIO		INSTALACIONES CERCANAS (m)					
PÚBLICO		ALOJAMIENTO	18 km	ALIMENTACIÓN	18 km	BAÑO	18 km
PRIVADO	X	OTRA					
DUEÑO	Sociedad Agrícola y Ganadera del Sobrante	DISTANCIA A PUNTO DE ACCESO MÁS PRÓXIMO (m)					
		AUTOMOVIL	16 km	4 X 4	16 km	BUS	16 km
ASOCIACIÓN CON OTROS ELEMENTOS PATRIMONIALES DE ÍNDOLE							
NATURAL		CULTURAL		HISTÓRICO		ÉTNICO	
ZONAS RECREATIVAS CERCANAS	Laguna del Sobrante. Valle de Las Cruces.						
FACTORES DE RIESGO	Caída de rocas en las inmediaciones de la parte baja del afloramiento. Remociones en masa.						
LIMITACIONES PARA SU USO	El sector se ubica en un recinto privado cuyo acceso requiere permisos.						
OBSERVACIONES	El nivel tobáceo se extiende por más de 8 km.						
CARACTERÍSTICAS INTRÍNECAS DE USO CIENTÍFICO							
CONTEXTOS(s) GEOLÓGICO(s) REPRESENTADO(s)		Arco volcánico del Cretácico Superior.					
TIPO DE VALOR CIENTÍFICO		Estratigráfico y petrológico.					
CARACTERÍSTICA MÁS RELEVANTE		El nivel tobáceo presenta un color blanco-rosa distintivo de las tobas circundantes producto de líticos pumíceos.					
ESTADO DE CONSERVACIÓN		Íntegro.					
CANTIDAD DE ELEMENTOS GEOLÓGICOS DE INTERÉS CIENTÍFICO							
1		¿CUÁLES?	En el sector se puede observar la avalancha de roca, el escarpe de la remoción y los bloques tonalíticos-granodioríticos. Además, a menos de 15 minutos se ubica la laguna del Sobrante.				
2							
3 o más	X						
LOCALIDAD TIPO		SI		SECUNDARIA		NO	X
PUBLICACIONES QUE LO INCLUYEN							
No posee							
INVESTIGACIONES A REALIZAR							
Dataciones U-Pb en circones dado su alto contenido de líticos pumíceos, lo que ayudaría a clarificar la formación a la cual pertenece.							
CARACTERÍSTICAS INTRÍNECAS DE USO EDUCATIVO/TURÍSTICO							
BELLEZA/ATRACTIVO		Color particular del nivel tobáceo el cual difiere de las tobas y rocas circundantes.					
PARTICULARIDAD/RASGOS DISTINTIVOS		Su continuidad lateral permite observarla desde varios puntos de la ruta.					
CONDICIONES DE OBSERVACIÓN		No existen impedimentos para observar y acceder al LIG.					
POTENCIAL DIDÁCTICO/INTERPRETATIVO		Permite explicar las diferencias entre litologías de tobas, ya que en la ruta se pueden observar tobas líticas, cristalinas, vítreas e incluso soldadas.					
CANTIDAD DE ELEMENTOS GEOLÓGICOS DE INTERÉS EDUCATIVO/TURÍSTICO							
1		¿CUÁLES?	Avalancha de roca, escarpe de la remoción y la laguna del Sobrante.				
2							
3 o más	X						

<b>RIESGO DE DEGRADACIÓN</b>	
<b>ACTIVIDAD HUMANA</b>	No existen actividades antrópicas que pongan en riesgo la conservación del LIG.
<b>PROCESO NATURAL</b>	Nuevas remociones en masa podrían ocultar el afloramiento más accesible de la toba.
<b>SITUACIÓN LEGAL DE PROTECCIÓN ACTUAL</b>	El lugar carece de figuras legales de protección.
<b>OBSERVACIONES GENERALES</b>	
El LIG posee un interés principalmente científico con menor potencial educativo. Dado que se encuentra en la ruta hacia la laguna del Sobrante, posee potencial para dar un valor agregado a las actividades turísticas que se realizan actualmente en la zona.	

## 14.2. Fichas de Inventario de los Lugares de Interés Geológico

Tabla 14.13 – Ficha de descripción cualitativa del LIG01, Dique de las Venas del Diablo.

LIG01	Diques de las Venas del Diablo		
Datum/Huso	Coordenada Este	Coordenada Sur	Altitud
WGS84/19H	0305706	6438569	568 m.s.n.m
Propiedad del Terreno	Comuna		Localidad
Estatal	Petorca		Frutillar Bajo

### Características generales

El LIG posee un interés petrológico basado en sus elementos característicos de los procesos de inmiscibilidad magmática del Complejo Plutónico Illapel (CPI), siendo representativo del contexto geológico local del Magmatismo del Cretácico Inferior. Se encuentra íntegro, y es el mejor lugar de la comuna para apreciar, estudiar e interpretar los procesos magmáticos del CPI, asociados a la inmiscibilidad magmática y eventos *syn-* y *post-*plutónicos (Fig. 14.1).

### Imagen o esquema



Fig. 14.1 – Diques máficos del sitio de interés Venas del Diablo. La imagen muestra los sets de diques verde oscuro que intruyen el cuerpo leucocrático del CPI.



### **Descripción general**

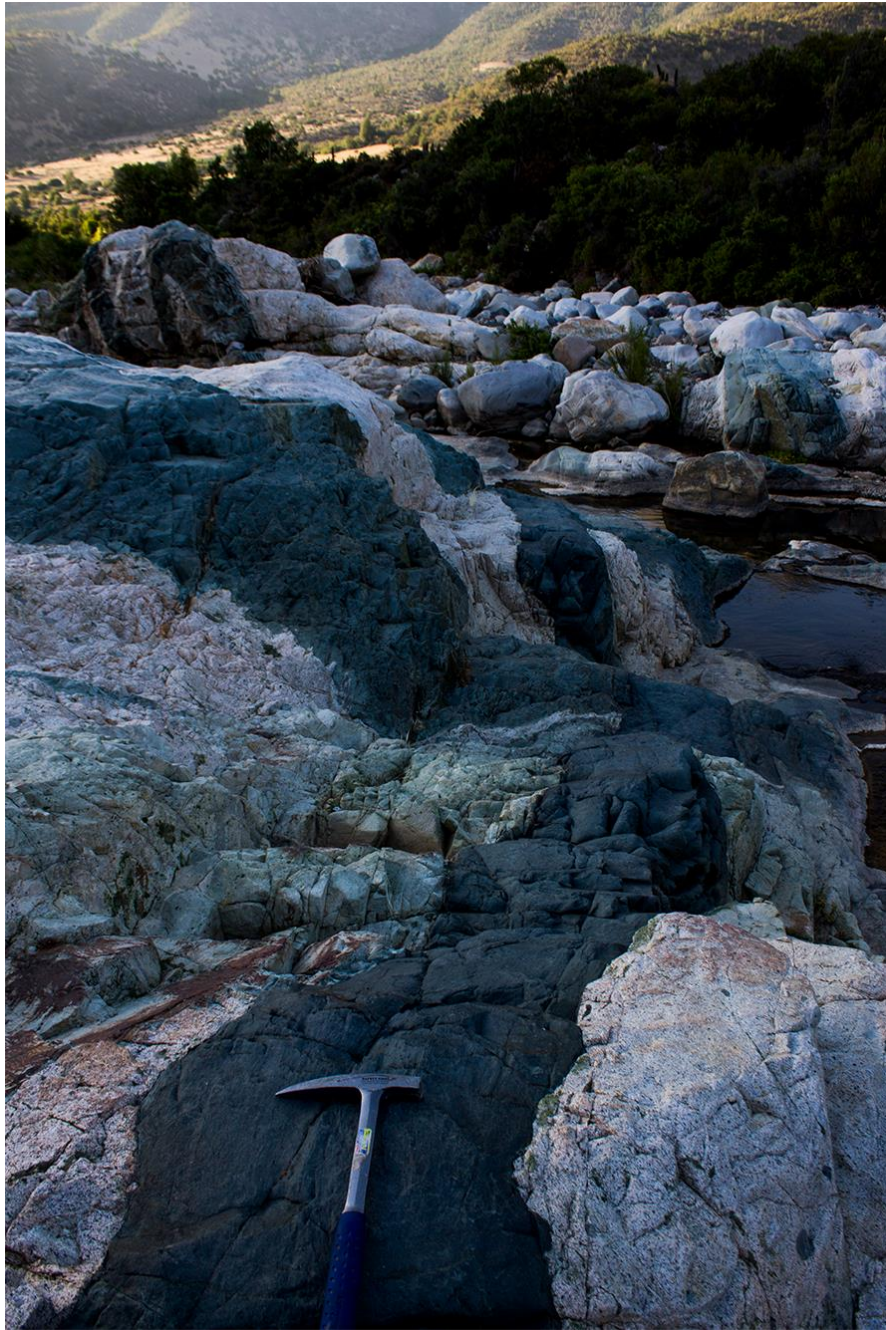
Ubicado a 40 km. de la localidad de Petorca, el acceso se realiza desde la localidad de Pedegua por la ruta E-325 en dirección hacia el norte. A la latitud de la localidad de Las Palmas se debe desviar hacia la localidad de Frutillar Bajo por la ruta E-315 hasta llegar al sitio de interés.

La ruta E-315 corresponde a camino de ripio apto para cualquier vehículo, pero en algunos sectores el camino no es lo suficientemente amplio para el tránsito de vehículos en ambos sentidos. El sector no cuenta con servicios básicos cercano, pero existen zonas recreativas en el río.

El lugar permite una interpretación didáctica de procesos magmáticos tales como inmiscibilidad y mezcla de magmas, y el emplazamiento de diques. La relación con otros elementos geológicos tales como marcas de agua, permiten explicar procesos fluviales que han pulido las rocas del afloramiento.

### **Aspectos geológicos**

Ubicado en la unidad morfoestructural de la Cordillera de la Costa, el lugar de interés corresponde a un set de diques máficos syn- y post-plutónicos (Fig. 14.2) de la Unidad Trondhemítica (UT) del Complejo Plutónico Illapel (CPI). La roca caja corresponde a granodioritas, trondhjemitas y leucogranitos de edades entre los 110 y 108 Ma (Morata *et al.*, 2010; Hidalgo, 2011; Ferrando, 2014). En el sector se identifican 14 diques máficos, de texturas afaníticas a porfíricas y espesores de hasta 3 m, definiendo así el Enjambre de Diques Máficos de Frutillar (EDMF; Ferrando, 2014).



*Fig. 14.2 - Imagen representativa de los diques máficos del sitio de interés Venas del Diablo. La figura muestra sets de diques verdosos y negros que cortan las rocas de la Unidad Trondhjemítica del CPI.*

Las composiciones variables de los diques, tanto internas como entre diques, ha sido interpretado como procesos de diferenciación (Hidalgo, 2011). La formación de los diques se rige por el efecto Bagnold, en el cual los bordes presentan mayor cantidad de sílice, mientras que la zona interna presenta una mayor concentración de fenocristales (Hidalgo, 2011).

Asociado a estos diques, se encuentran una serie de enclaves máficos esferoidales de texturas microcristalinas, los cuales se concentran principalmente en las cercanías a los diques verde oscuro (Fig. 14.3).



*Fig. 14.3 – Enclaves máficos esferoidales del EDMF. (Fotografía de Salvador Quezada).*

### **Estado de conservación**

El sector carece de una figura de protección legal y tanto el terreno como el acceso se encuentra en terreno público. Actualmente presenta un bajo riesgo de degradación por procesos naturales, y no existen actividades industriales en las cercanías. Un aumento en el número de visitantes no alteraría en mayor medida la integridad del sitio, pero podría afectar el atractivo del sitio a raíz de posible basura y rayados.

En diciembre del año 2017 se licitó un proyecto de embalse hídrico, el cual afectaría la integridad y la capacidad de uso del sitio de interés, por lo que su vulnerabilidad se encuentra supeditada a la realización del proyecto. En este contexto, se propone un polígono de protección que aporte al desarrollo de medidas de gestión del LIG (Fig. 14.4).



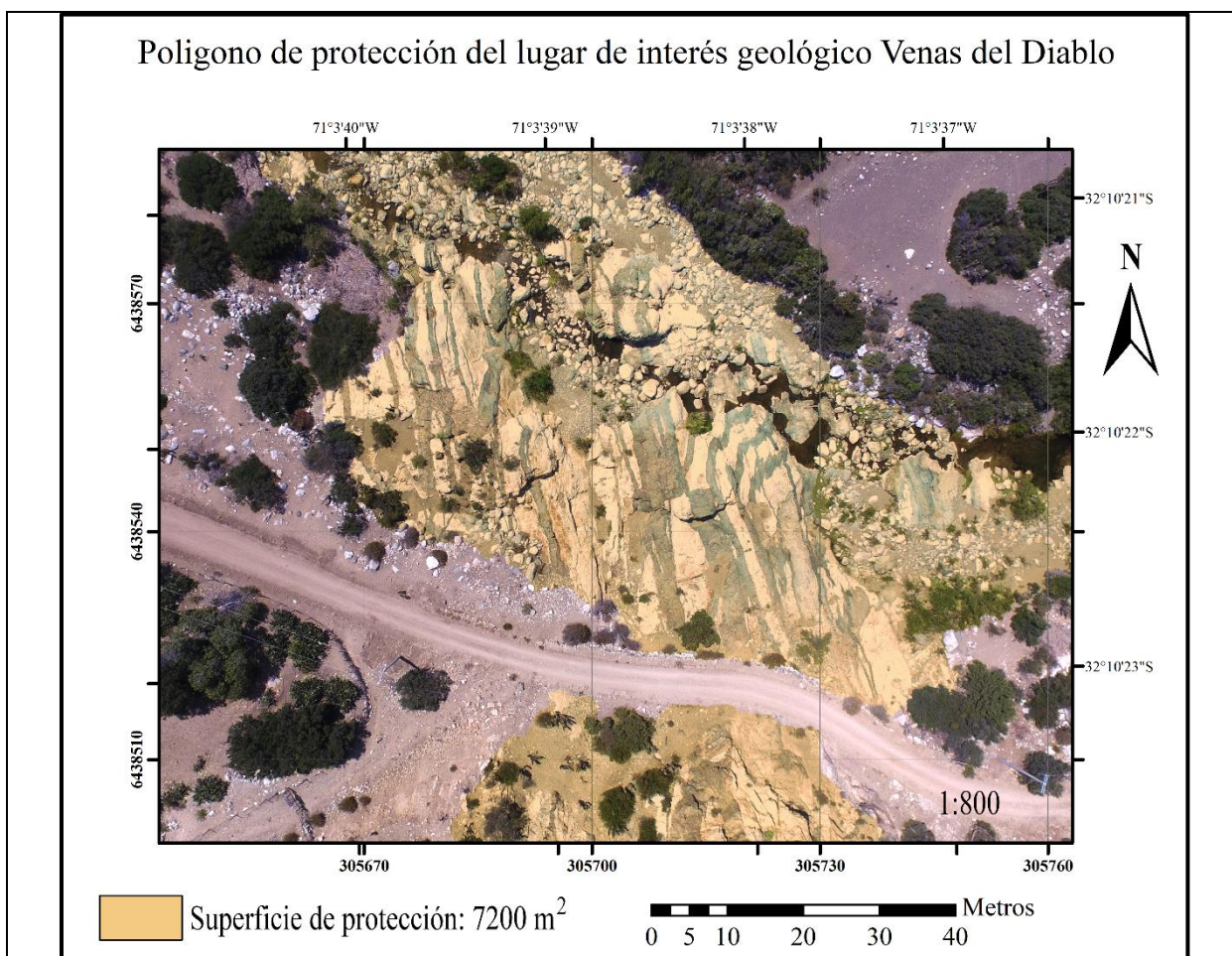


Fig. 14.4 – Propuesta de polígono de protección del LIG Venas del Diablo, la cual contempla una superficie de protección mínima estimada de 7.200 m<sup>2</sup>. (Imagen de Tomás Martínez, tomada mediante tecnología Drone).

### Aspectos de flora y fauna

El sitio de interés se ubica inserto en un núcleo de biodiversidad de especies de palmas chilenas (*Jubaea chilensis*; Fig. 14.5) que en el sector de Las Palmas-Frutillar alcanzan los 1.300 ejemplares (Youlton *et al.*, 2016). Debido a que la palma chilena es una especie protegida, el lugar ha sido considerado como un sitio prioritario para la conservación de la biodiversidad (Youlton *et al.*, 2016).

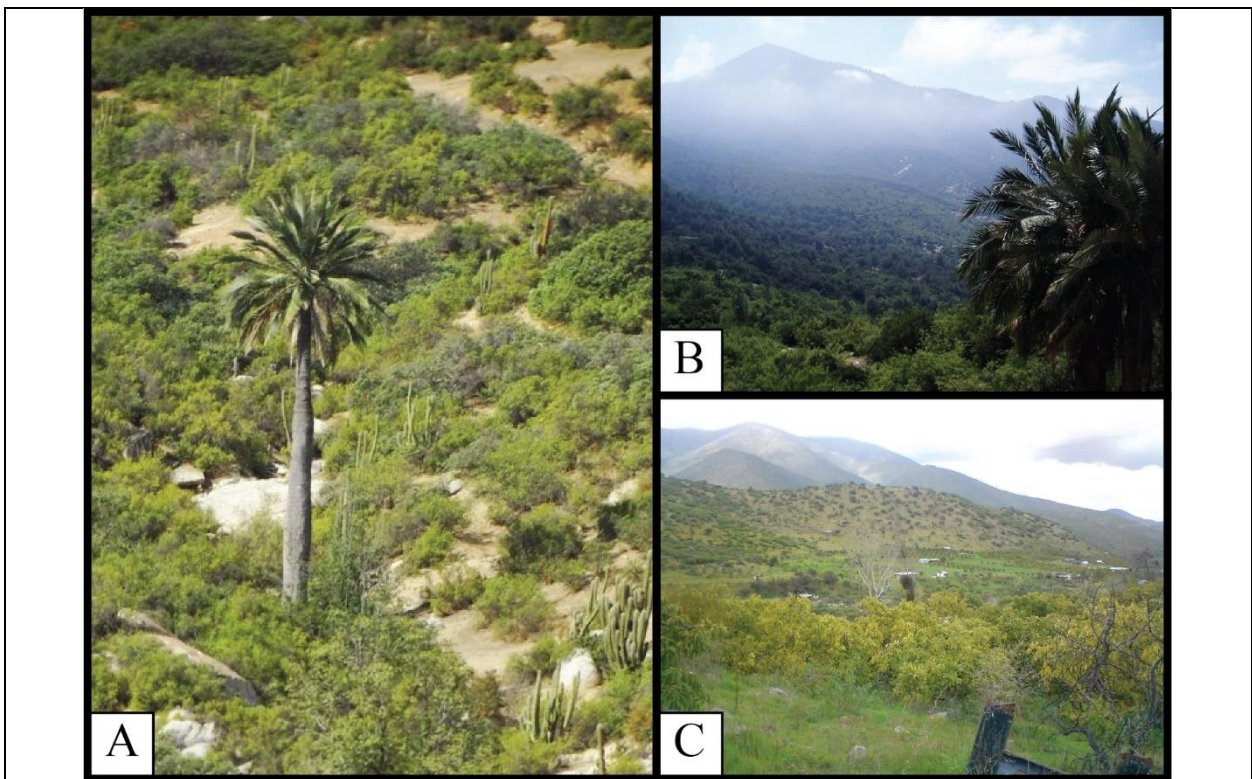


Fig. 14.5 – Palmar del sector de las Palmas. A y B) Individuos de *Jubaea chilensis* del núcleo de biodiversidad de palma chilena del borde noroccidental de la comuna de Petorca. C) Plantaciones de paltos que amenazan la preservación de las palmas chilenas.

La fauna de la zona se caracteriza principalmente por la abundante presencia de anuros (Fig. 14.6) y en ciertos sectores es posible observar cabras domésticas.



Fig. 14.6 – Anuros del río aledaño al sitio de interés Venas del Diablo.

#### Propuesta de estudios científicos

- Estudio de flujos magmáticos de inmiscibilidad.
- Caracterización de morfologías fluviales y evolución del río.
- Relación espacial con la flora y fauna del sector.



**Publicaciones que incluyen los elementos de interés geológicos.**

Ferrando, R. 2014. Estudio Paleomagnético del Complejo Plutónico Illapel 31°25' -32°30'S: Implicancias acerca de sus mecanismos de emplazamiento y su relación con la evolución tectónica regional. Tesis para optar al Grado de Magister en Ciencias, Mención Geología, Repositorio Universidad de Chile.

Hidalgo, C. 2011. Aproximación a la dirección del flujo magmático y variaciones composicionales, mineralógicas y texturales de diques máficos del Complejo Plutónico Illapel. Memoria para optar al título de Geólogo, Repositorio Universidad de Chile.

Varas, M. 2011. Naturaleza, distribución e implicaciones petrogenéticas de los enclaves máficos microgranulares del Complejo Plutónico Illapel, Cordillera de la Costa, Chile Central. Tesis para optar al Grado de Magister en Ciencias, Mención Geología, Repositorio Universidad de Chile.

Ferrando, R., Arriagada, C., Morata, D., Córdoba, L., Varas, M. 2009. Fábricas petromagmáticas en el Complejo Plutónico Illapel: Implicancias en el mecanismo de emplazamiento de plutones. XII Congreso Geológico Chileno.

Rivano, S., Sepúlveda, P., Boric, R., Espiñeira, D. 1993. Hojas Quillota y Portillo, V Región. Servicio Nacional de Geología y Minería. Carta Geológica de Chile, 73(1).

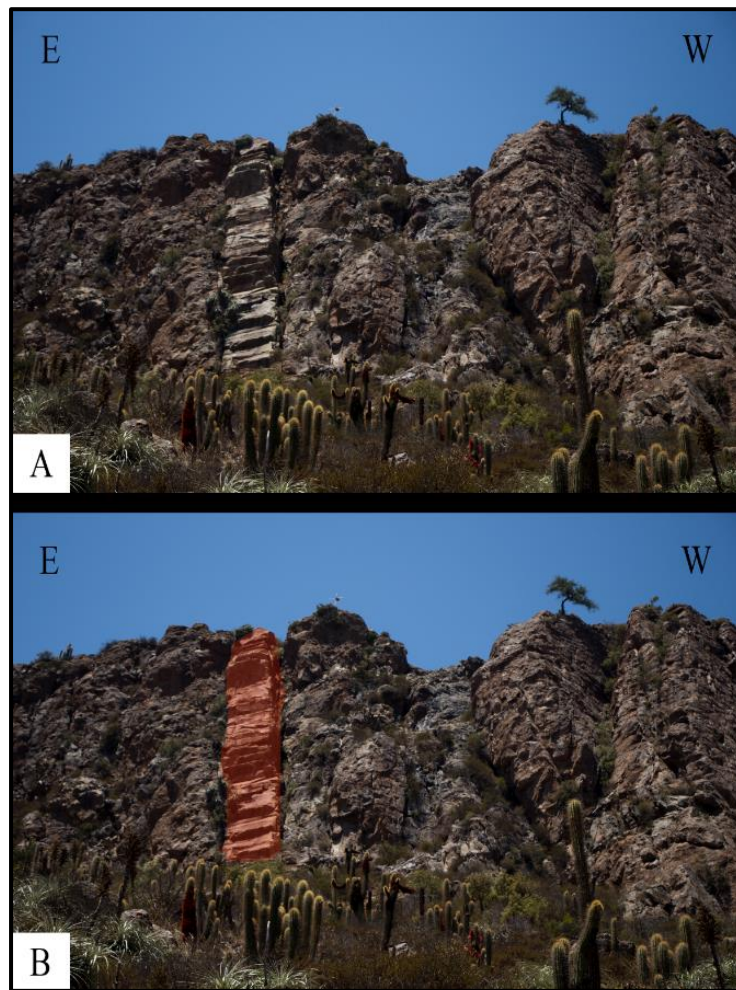
**Publicaciones que incluyen los elementos de interés no geológicos.**

Youlton, C.; Hormazabal, C.; Schiappacasse, I.; Contreras, P.; Poblete-Echeverría, C. 2016. Distribución, tamaño y estructura poblacional de *Jubaea chilensis* en "Las Palmas", comuna de Petorca, región de Valparaíso - Chile. *Bosque (Valdivia)*, 37(3), 501-507. <https://dx.doi.org/10.4067/S0717-92002016000300007>

Tabla 14.14 – Ficha de descripción cualitativa del LIG02, Dique Escalera del Diablo.

LIG02		Escalera del Diablo	
<b>Datum/Huso</b>	<b>Coordenada Este</b>	<b>Coordenada Sur</b>	<b>Altitud</b>
WGS84/19H	0311675 m	6426209 m	829 m.s.n.m
<b>Propiedad del Terreno</b>	<b>Comuna</b>		<b>Localidad</b>
Privado	Petorca		Hierro Viejo
<b>Características generales</b>			
<p>El LIG Escalera del Diablo es un lugar representativo de los procesos volcánicos acaecidos durante el Cretácico Inferior, correspondientes a la Formación Cerro Morado. Se encuentra mayormente íntegro y es un buen lugar para apreciar, estudiar e interpretar el contexto geológico local del Arco Volcánico del Cretácico Inferior (Fig. 14.7).</p>			

## Imagen o esquema



*Fig. 14.7 – Lugar de interés geológico Escalera del Diablo. A) Rocas volcánicas de la Formación Cerro Morado, intruidas por el dique Escalera del Diablo, destacado en color rojo en B.*

## Descripción general

Ubicado en la localidad de Hierro Viejo, el sitio de interés Escalera del Diablo se ubica en un predio privado, cuyo acceso se realiza a través de un sendero de 1 km de longitud. El acceso se realiza desde el tranque acumulador de agua Manuel Montt, el cual es un lugar de interés recreativo y posee servicios de alimentación a menos de 500 m.

Desde el tranque acumulador, se propone una ruta que permite apreciar e interpretar elementos de la geodiversidad tales como nódulos de Chl-Ep y el dique escaleriforme que representan eventos magmáticos y de transporte de fluidos. Además, a lo largo de la ruta se observa una biodiversidad representativa de la flora xerófila del valle, y un bloque con petroglifos de relevancia arqueológica.

### **Aspectos geológicos**

Ubicado en la unidad morfoestructural de la Cordillera de la Costa, el sitio de interés corresponde a un dique de color verdoso de aproximadamente 5 m de espesor y 30 m de alto (Fig. 14.7) que intruye rocas volcánicas de la Formación Cerro Morado del Cretácico Inferior. La roca caja corresponde a una secuencia volcánica constituida por brechas volcánicas grises púrpuras, y rocas volcánicas porfíricas con cristales de plagioclasas en una matriz de color gris pardusca, clasificada macroscópicamente como una andesita. El dique corresponde a una roca afanítica con una masa fundamental de color verde olivo.

El elemento de interés es el resultado del enfriamiento de un magma que ascendió aprovechando las debilidades estructurales de la corteza, emplazándose en las sucesiones volcánicas de la Formación Cerro Morado. Luego de su enfriamiento, procesos de meteorización promovieron la fractura de bloques pseudo cúbicos que se desprendieron generando caída de rocas, otorgándole una forma de escalera al dique.

Asociado al elemento de interés principal, desde el punto de acceso hasta el dique, es posible apreciar rocas con nódulos de calcita y epidota, y una serie de bloques de caída de roca provenientes del elemento de interés principal. Estos elementos poseen un particular interés didáctico para explicar procesos de transporte de fluidos, mineralización y peligros geológicos.

### **Estado de conservación**

El dique Escalera del Diablo se ubica en un predio privado sin acceso restringido a los visitantes y gente de la comunidad. Esto ha provocado que el elemento de interés presente degradación antrópica a través de rayados que afectan su atractivo turístico. El sector no posee una actividad industrial que atente contra la integridad del sitio.

Los principales agentes de degradación natural corresponden a las lluvias y en menor medida hielo y viento. Cabe destacar que la particular forma de escalera se ha producido por los procesos de erosión del dique, por lo que los elementos de degradación son a su vez los que le otorgan parte de su interés turístico y cultural actual.

Dado que el elemento principal se asocia espacialmente a elementos de la biodiversidad y arqueológicos, se propone un polígono de protección que aporte a la gestión y conservación de todos los elementos de interés (Fig. 14.8).

## Polígono de protección del lugar de interés geológico Escalera del Diablo

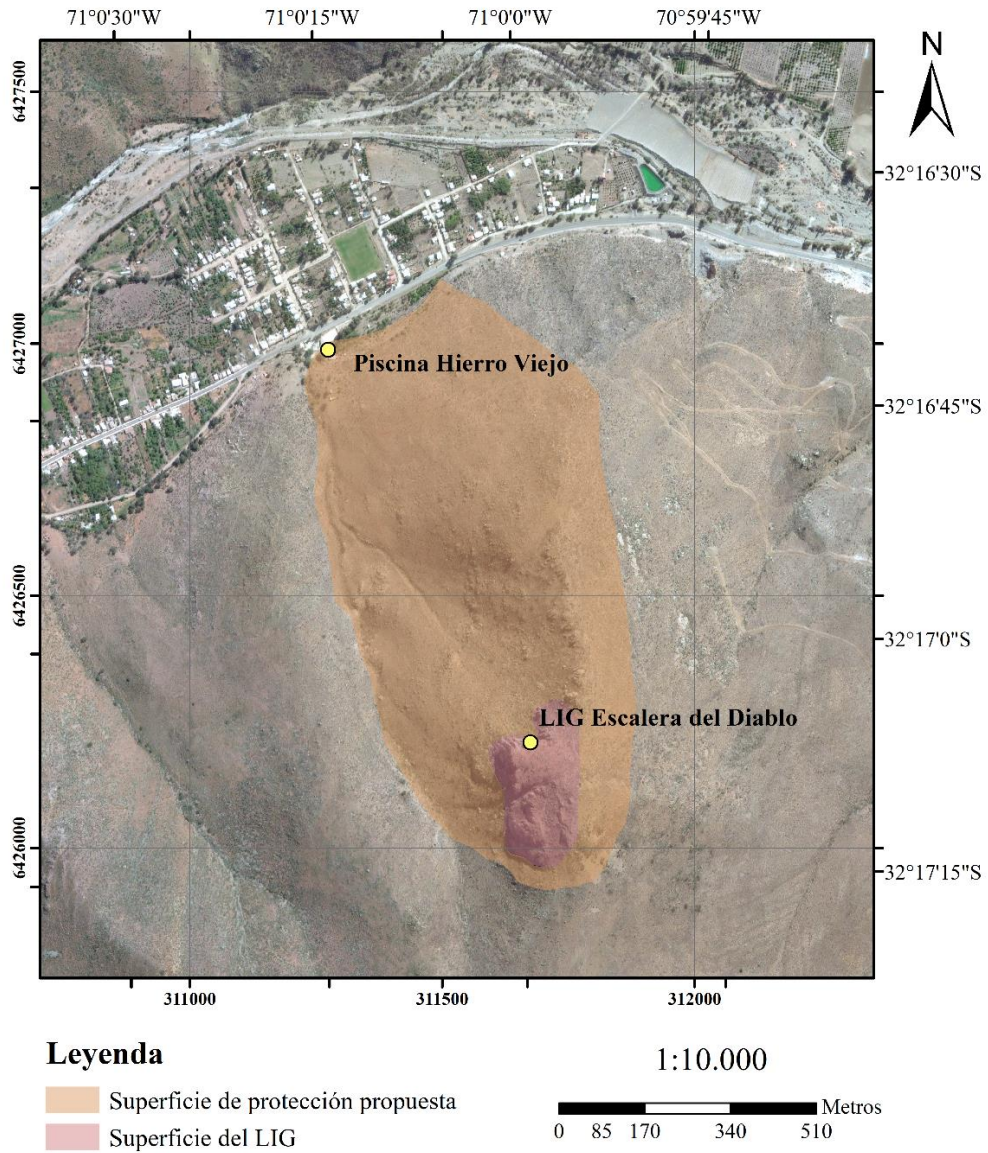


Fig. 14.8 – Polígono de protección propuesta para la conservación y gestión del LIG Escalera del Diablo. En tonos rojo se delimita la superficie de los elementos de la geodiversidad asociados al dique Escalera del Diablo, que incluye tanto el dique como las secuencias volcánicas representativas de la Formación Cerro Morado, y con ello, representando el contexto geológico local del volcanismo del arco volcánico del Cretácico Inferior. En tonos naranja se delimita el polígono de protección propuesta para el desarrollo de una ruta turística que apoye la conservación de los elementos de interés geológicos, biológicos y arqueológicos. (Imagen desarrollada en base a una imagen satelital ESR ArcGIS Imagery).



### Aspectos arqueológicos

En las cercanías al LIG Escalera del Diablo, se encuentra el registro de un bloque rocoso denominado Piedra del Indio (), el cual posee motivos adscritos a culturas locales (Vivanco, en preparación). En base a la técnica y estilos, se estima que los motivos pertenecen al Periodo Intermedio Tardío (PIT), que data entre los 1000 y 1450 d.C. (Vivanco, en preparación).



Fig. 14.9 – Petroglifos de la Piedra del Indio. En la imagen se observan los motivos realizados mediante la técnica de percusión por culturas locales adscritas al Periodo Intermedio Tardío (Vivanco, en preparación).

### Aspectos de la biodiversidad

La flora del sector de la Escalera del Diablo se caracteriza por una vegetación xerófila, donde predominan diversas especies de cactus (Fig. 14.10.B) tales como el *Echinocactus grusonii* (Fig. 14.10.A). Además, dadas las condiciones de clima semiárido, es posible encontrar especies de vegetación esclerófila, destacando los pimientos (*Schinus molle*. Fig. 14.10.B).

La fauna silvestre es escasa y suele alejarse de la gente, pero es posible apreciar especies de roedores, culebras chilenas (*Philodryas chamissonis*, Fig. 14.10.C) y de manera esporádica cóndores (*Vultur gryphus* .Fig. 14.10.D.) que habitan en los afloramientos del dique Escalera del Diablo.



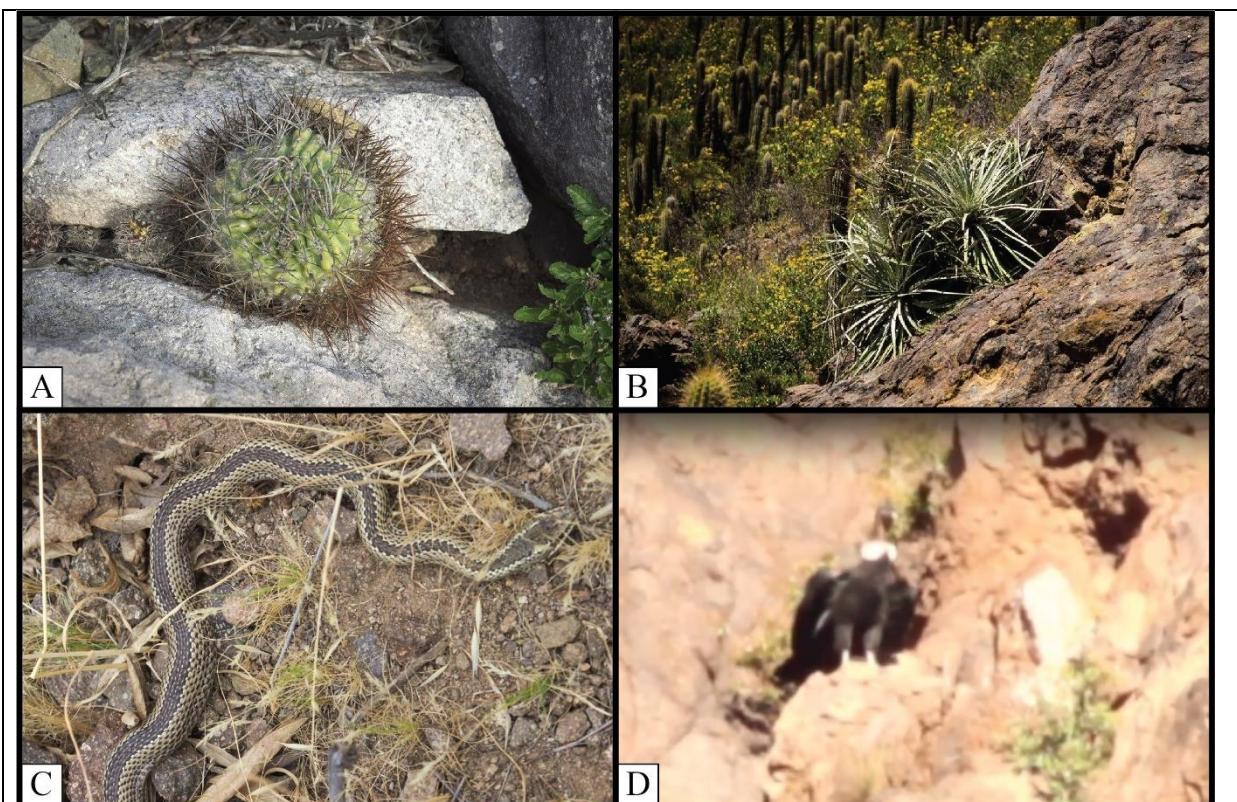


Fig. 14.10 – Especies de la biodiversidad visibles en la zona de la Escalera del Diablo. (Imágenes de Vladimir Vicencio).

#### Propuesta de estudios científicos

- Determinar la génesis del elemento de interés con su edad.
- Relación estructural entre el dique y los sectores de mineralización de Quebrada los Tornos.
- Caracterización de la interacción entre la geología, la biodiversidad y los elementos arqueológicos locales.

#### Publicaciones que incluyen los elementos de interés no geológicos.

- Vivanco, S. (En preparación). Arte Rupestre en el Valle de Petorca: flujos de información visual en la zona centro–norte durante los períodos Intermedio Tardío y Tardío. Chile, Región de Valparaíso. Memoria para optar al grado de Licenciado en Antropología con mención en Arqueología, Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Sociales, Departamento de Antropología.

Tabla 14.15 – Ficha de descripción cualitativa del LIG03, Quebrada de Castro.

LIG03		Quebrada de Castro	
Datum/Huso	Coordenada Este	Coordenada Sur	Altitud
WGS84/19H	321521 m	6433030 m	887 m.s.n.m
Propiedad del Terreno	Comuna	Localidad	



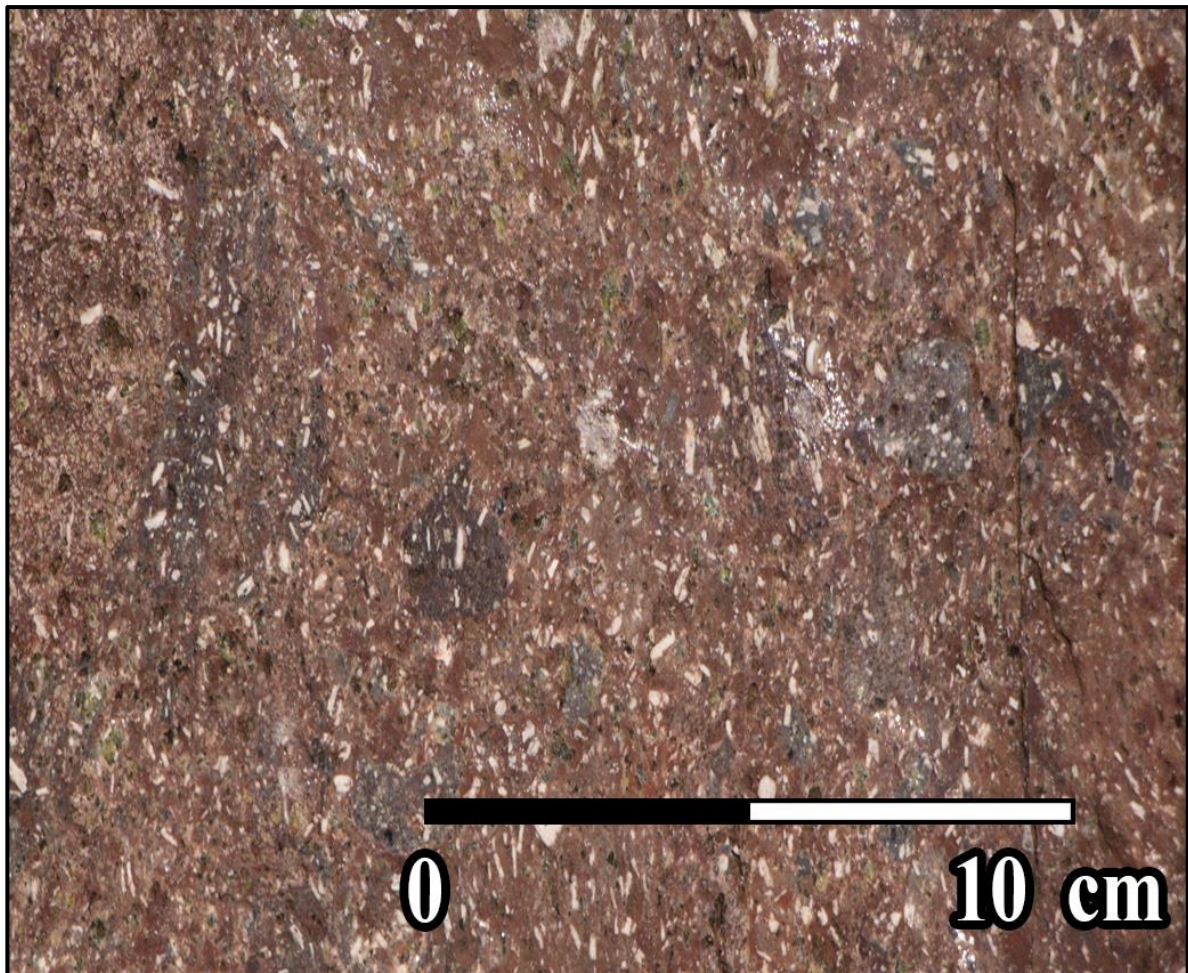
Estatal	Petorca	Quebrada de Castro
<p><b>Características generales</b></p> <p>El LIG Quebrada de Castro (Fig. 14.11) posee un interés geomorfológico y es un lugar representativo del contexto geológico local de los procesos geomorfológicos del Neógeno-Cuaternario. Presenta elementos de interés didáctico y turístico que permiten explicar temáticas tales como los procesos que modelan el actual relieve y peligros geológicos. El lugar se encuentra íntegro, y actualmente es un lugar turístico a nivel comunal.</p>		
<p>Imagen o esquema</p>		
		
<p><i>Fig. 14.11 – Lugar de interés geológico Quebrada de Castro. La imagen muestra la morfología característica de la Quebrada de Castro, con sus afloramientos de hasta 70 m constituidos por rocas volcánicas de la Formación Cerro Morado. (Fotografía de Vladimir Vicencio).</i></p>		
<p><b>Descripción general</b></p> <p>Ubicado a 4 km al este de la localidad de Petorca, el sitio de interés Quebrada de Castro se ubica en un predio público, al cual se debe acceder por un camino de tierra. La distancia al punto de acceso más próximo se encuentra a 100 m de un sector amplio que permite estacionar aproximadamente 10 vehículos.</p> <p>El sector actualmente posee un valor turístico a escala local, siendo reconocido como un lugar recreativo. Posee un potencial de uso turístico y educativo para interpretar procesos que han modelado la quebrada, no obstante, se debe tener en cuenta que el sector carece de zonas de recarga de agua y que existen zonas con riesgo de caída de roca o deslizamientos de roca o barro.</p>		



### Aspectos geológicos relevantes

El elemento de interés principal corresponde una quebrada que posee una longitud aproximada de 1,5 km, un ancho de 90 m y con paredes que alcanzan los 70 m de alto. La geoforma se emplaza en el límite de las unidades morfoestructurales de la Cordillera de la Costa y la Cordillera Principal, y es representativa de los procesos tectónicos y fluviales que han modelado la quebrada.

La Quebrada de Castro posee una morfología semejante a un cañón, cuyas paredes se constituyen por brechas volcánicas y andesitas de la Formación Cerro Morado. En este sector, las brechas volcánicas afloran como sucesiones de color rojizo y marrón, con clastos volcánicos angulosos de hasta 2 cm y plagioclasas subhedrales bien preservadas en la matriz (Fig. 14.12).



*Fig. 14.12 – Brecha volcánica del sector Quebrada de Castro. La imagen muestra los clastos volcánicos pardos y grises en una matriz rojiza con cristales de plagioclasas bien preservadas.*

Autores han atribuido el origen de la quebrada a un proceso tectónico por un sistema de fallas denominado Sistema de Falla Quebrada de Castro (Fig. 14.13), el cual presenta un comportamiento dextral con componente normal que hunde el bloque oriental (Camus *et al.*, 1991; Rivano *et al.*; 1993). Este lineamiento determinó la mineralización de la zona, permitiendo el transporte de fluidos polimetálicos que dieron origen al distrito de oro El Bronce, el cual se

extiende desde la localidad de Hierro Viejo por el oeste, hasta el valle de Pedernal por el este (Camus *et al.*, 1991).

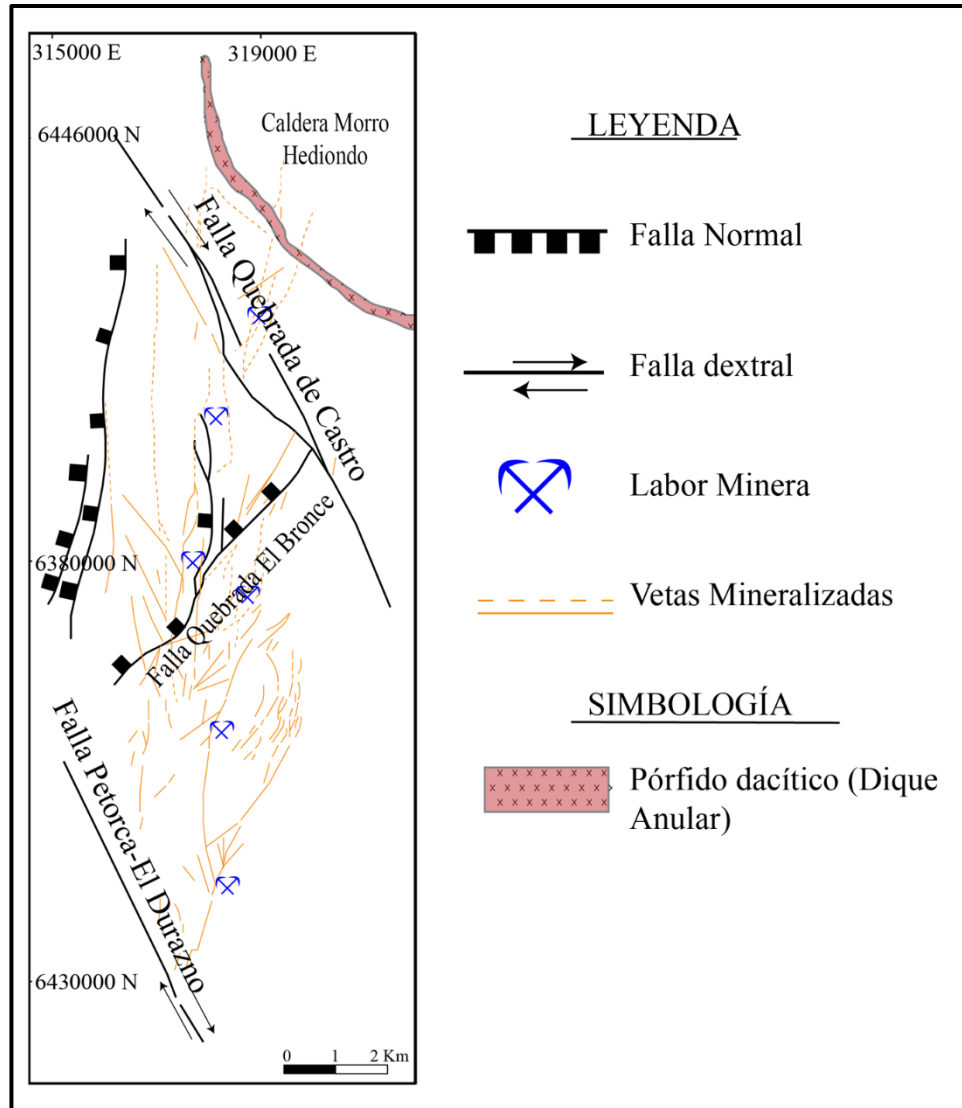


Fig. 14.13 – Sistema estructural de falla transcurrente dextral del sector Quebrada de Castro, la cual controla tanto la forma de la quebrada como la mineralización de la zona. Modificado de Camus *et al.* (1991).

Asociado al elemento de interés principal es posible ver una serie de deslizamientos coluviales que permiten interpretar y explicar de forma didáctica temáticas relacionadas a peligros geológicos. Otro elemento de interés lo constituyen las terrazas fluviales apreciables en el sector inicial de la quebrada (Mirador 1, Fig. 14.16), donde las incisiones de los cauces de agua dejan al descubierto perfiles de depósitos que permiten explicar procesos de relleno de valles por transporte fluvial.





*Fig. 14.14 – Elementos de la geodiversidad asociados al elemento de interés principal. A) Afloramientos de 40 m de potencia con zonas de coluvios en su base. B) Perfil de los depósitos de relleno fluvial expuestos por la incisión de los cauces de río.*



### Aspectos no geológicos relevantes

Dada las características de la quebrada, la vegetación en la zona es abundante, pero predomina la vegetación xerófila con chaguales, especies de cactus y arbustos (Fig. 14.15.A). Localmente, en zonas con abundancia de agua, se pueden encontrar especies esclerófilas, siendo comunes las enredaderas, litre (*Lithraea caustica*) y espinos (*Acacia caven*) (Fig. 14.15.B). Con respecto a la fauna, esta no es muy abundante, siendo algunas especies de aves y roedores las más fáciles de ver (Fig. 14.15.C). Además de los elementos de la biodiversidad, es posible encontrar petroglifos en la zona, los cuales se adscriben al Periodo Intermedio Tardío (Fig. 14.15.D. Vivanco, en preparación).

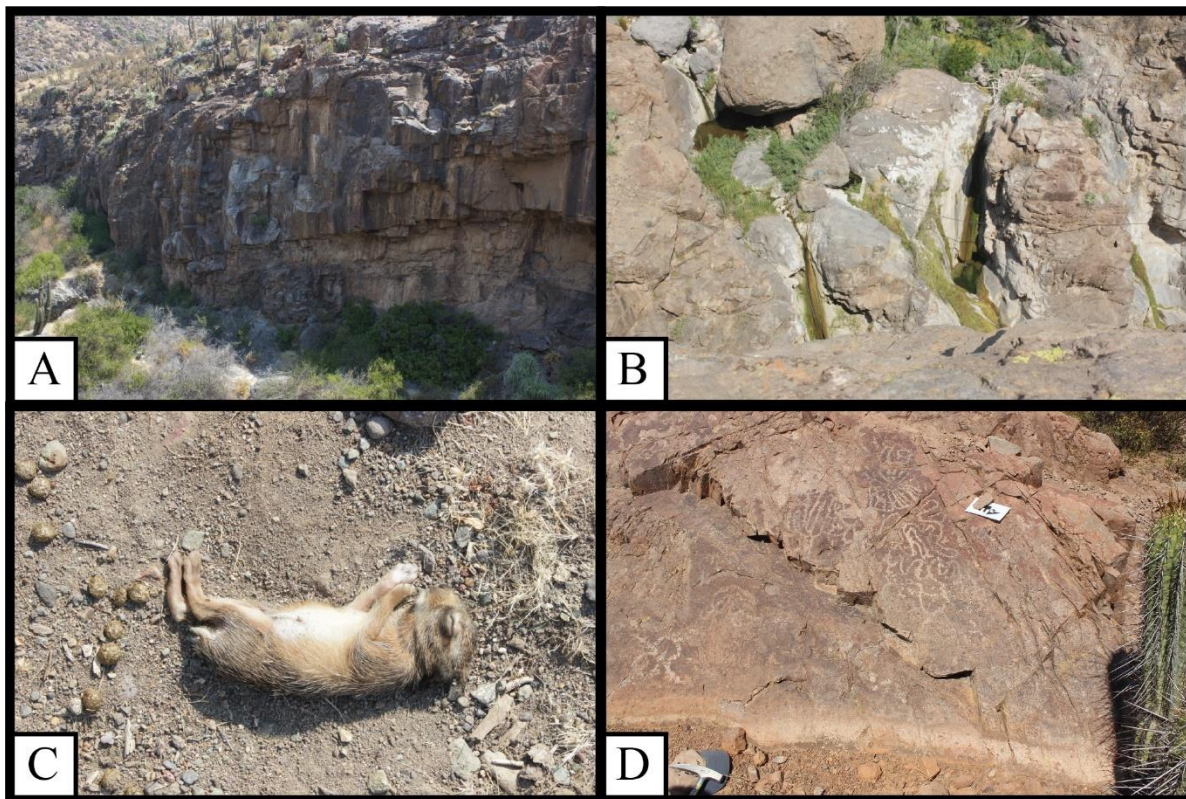


Fig. 14.15 – Elementos de interés no geológicos que se pueden encontrar en el LIG Quebrada de Castro. A) Abundante vegetación xerófila en la base de la quebrada formada por los afloramientos de 30 m de espesor. B) Enredaderas de las zonas con abundancia de agua. C) Roedores que se pueden encontrar en el sector Quebrada de Castro. D) Petroglifos ubicados en la ladera este de la Quebrada de Castro.

### Estado de conservación

El sector de la Quebrada de Castro carece de una figura legal de protección y medidas de gestión que faciliten la conservación de los elementos de interés. El lugar presenta algunos rayados en sectores donde se realizan festividades, pero los elementos de interés se encuentran íntegros y no se encuentran cerca de actividades antrópicas que los degraden. Los agentes de degradación naturales los constituyen principalmente las remociones y crecidas de ríos, lo cual afecta solo a los elementos de interés geológicos secundarios. Por las dimensiones del elemento principal, los factores naturales que lo degraden son poco relevantes.

Para promover la conservación del LIG se propone una zona de protección y una ruta turístico-educativa que contempla una serie de miradores desde donde se puede apreciar e interpretar los elementos de interés geológico y biológico (Fig. 14.16). El sendero de acceso a los miradores propuesto considera una ruta que no impacte los elementos de la geodiversidad más relevantes.

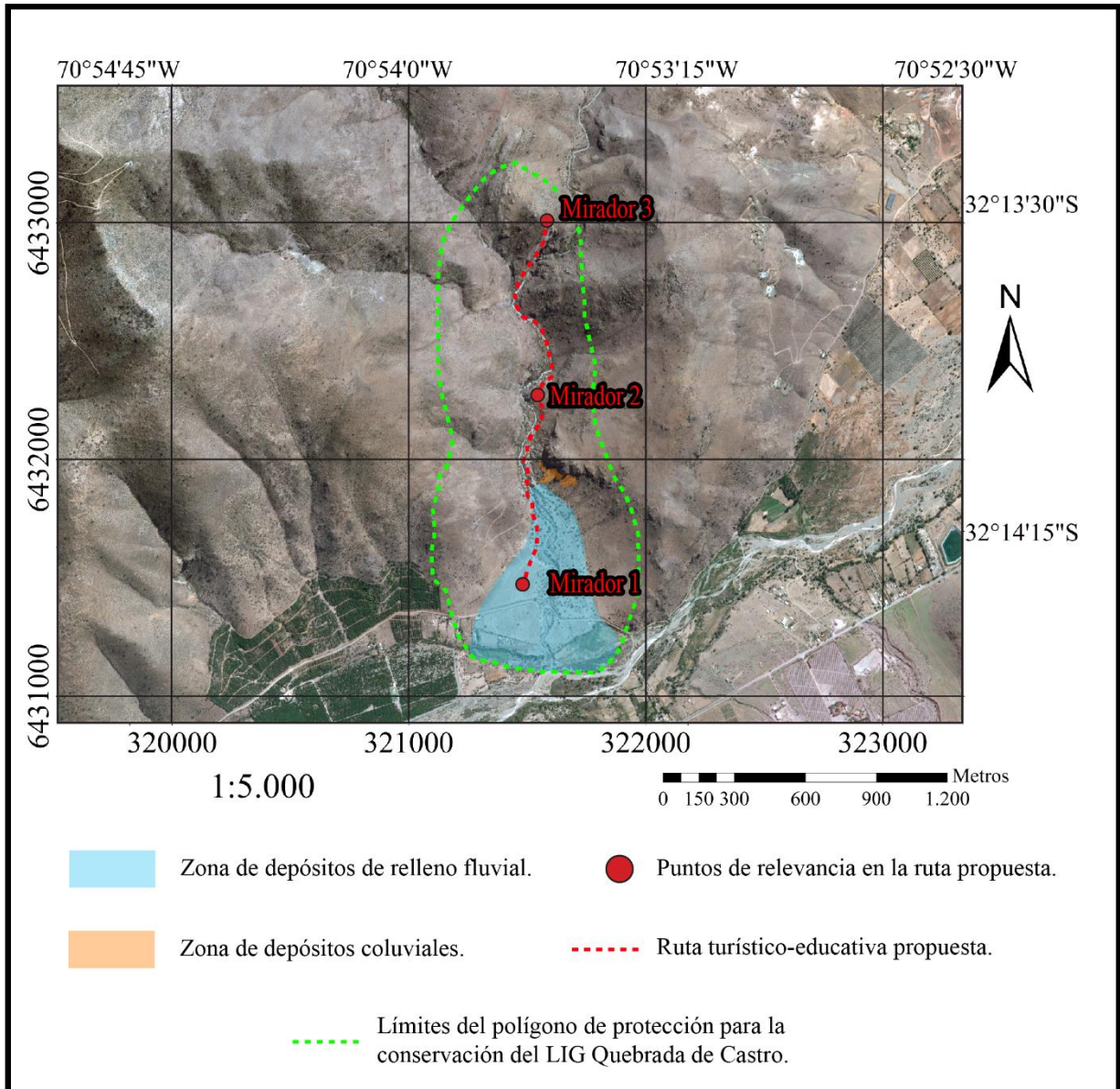


Fig. 14.16 – Propuesta de polígono de protección del LIG Quebrada de Castro. En la figura se incluye en rojo los puntos y rutas turístico-educativas propuestas para la gestión del LIG, donde el mirador 1 corresponde a su vez a la zona de estacionamiento. A su vez, con una línea verde se delimita el polígono de protección propuesto para la conservación de los elementos de interés. Desde el mirador 1 se aprecian perfiles del río, evidenciando los procesos fluviales de aumento y disminución de energía de transporte, además de zonas de abanicos coluviales. Desde el mirador 2 se observa la morfología tipo cañón característica de la quebrada. Finalmente, el mirador 3 corresponde a un alto topográfico ubicado en la intersección de quebradas, desde el cual se puede apreciar la Quebrada de Castro en su totalidad y las terrazas fluviales del valle de Petorca.



<p><b>Propuesta de estudios científicos</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Caracterización del peligro geológico de la quebrada.</li> <li>• Evidencias del control estructural sobre la formación de la quebrada.</li> </ul>
<p><b>Publicaciones que incluyen los elementos de interés geológicos.</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Camus, F., Boric, R., Skewes, M.A., Castelli, J.C., Reichhard, E., Mestre, A. 1991. Geologic, structural, and fluid inclusion studies of El Bronce epithermal vein system, Petorca, central Chile. <i>Economic Geology</i>, (86), 1317-1345.</li> </ul>
<p><b>Publicaciones que incluyen los elementos de interés no geológicos.</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Vivanco, S. (En preparación). Arte Rupestre en el Valle de Petorca: flujos de información visual en la zona centro–norte durante los períodos Intermedio Tardío y Tardío. Chile, Región de Valparaíso. Memoria para optar al grado de Licenciado en Antropología con mención en Arqueología, Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Sociales, Departamento de Antropología.</li> </ul>

*Tabla 14.16 – Ficha de caracterización cualitativa del LIG04, Caldera Morro Hediondo.*

<b>LIG04</b>		<b>Caldera Morro Hediondo</b>	
<b>Datum/Huso</b>	<b>Coordenada Este</b>	<b>Coordenada Sur</b>	<b>Altitud</b>
WGS84/19H	328983	6443248	1380 m.s.n.m
<b>Propiedad del Terreno</b>	<b>Comuna</b>		<b>Localidad</b>
Privada	Petorca		Calle Larga-El Arenal
<b>Características generales</b>			
<p>El lugar de interés geológico Caldera Morro Hediondo (Fig. 14.17) se desarrolla en un contexto geomorfológico característico de los procesos de colapso de edificios volcánicos. El elemento de mayor relevancia lo constituye el dique anular que delimita el borde occidental de la caldera, siendo un elemento que difiere en su forma a otros diques conocidos en la comuna. El dique anular forma parte de la unidad intrusiva San Lorenzo, siendo característico del contexto geológico local del magmatismo del Cretácico Superior. El LIG se encuentra parcialmente íntegro, salvo por el sector oriental el cual se encuentra altamente degradado por la industria minera.</p>			



## Imagen o esquema

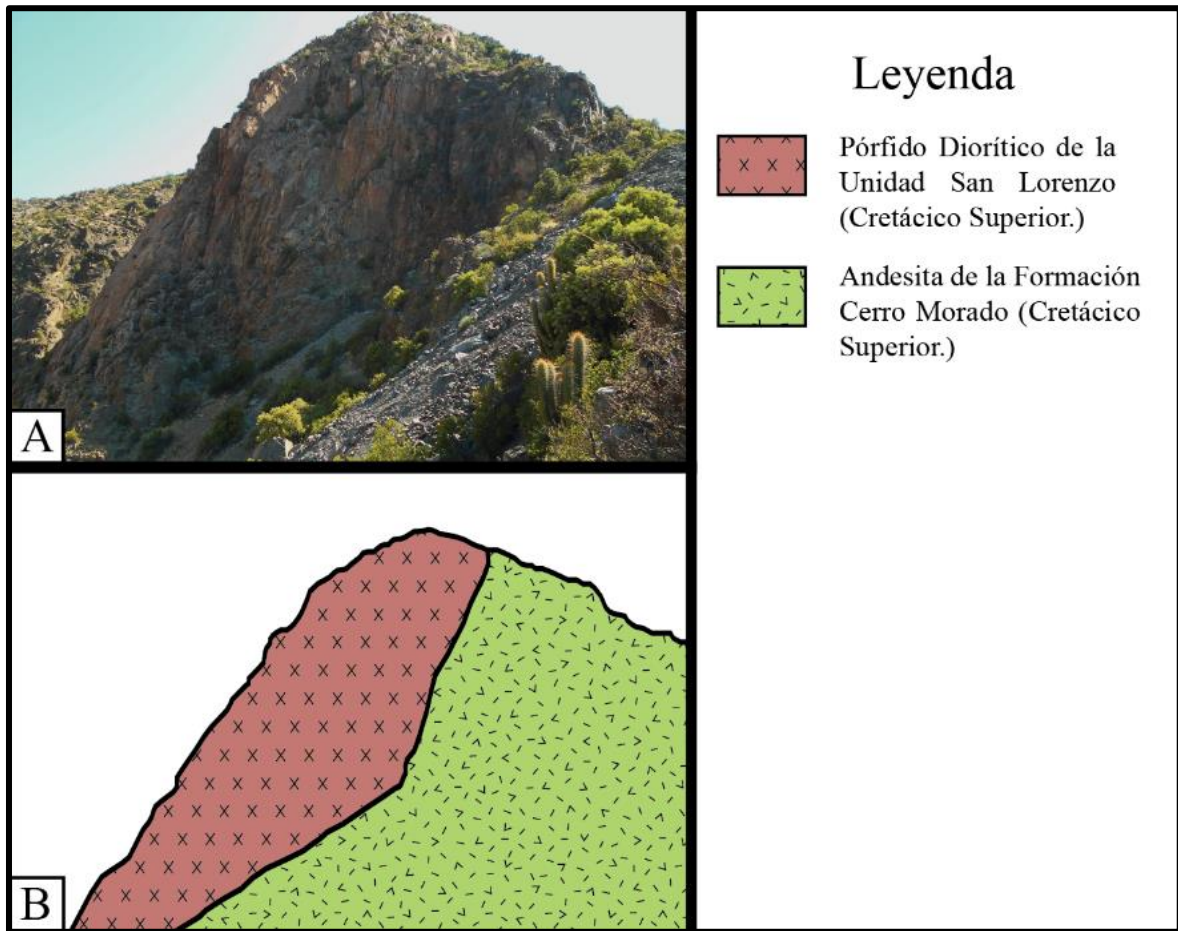


Fig. 14.17 – Lugar de interés geológico Caldera Morro Hediondo. A) El elemento de interés principal el cual corresponde al dique anular de la unidad San Lorenzo. B) Interpretación litológica de A, y su relación con las unidades geológicas locales.

### Descripción general

El lugar de interés se ubica en el sector Calle Larga-El Arenal del valle de Pedernal, y su acceso se realiza por la ruta E-375. El poblado más cercano con servicios de hospedaje y alimentación corresponde a Chicolco, el cual se ubica aproximadamente 12 km al sur del sitio de interés.

El acceso al elemento geológico principal pertenece a un predio privado, en el cual se desarrollan actividades de mediana minería de la mina La Dulcinea. Desde el punto más cercano donde se puede estacionar el vehículo, se deben recorrer aproximadamente 500 m para acceder al punto de observación más próximo al dique anular que, si bien se encuentra intervenido, presenta la morfología característica y se pueden identificar las relaciones de contacto con la roca huésped.

Debido a que el sector se encuentra en un sector de industria minera, existen una serie de peligros geológicos asociados a las labores ingenieriles. A lo largo del ascenso al sitio de interés, es posible observar desmoronamientos en cortes del camino y en las cercanías al dique se observan zonas en las que han ocurrido caídas de roca y deslizamientos del material extraído de los túneles.

### Aspectos geológicos relevantes

El elemento de interés principal de la Caldera Morro Hediondo lo constituye el dique anular dacítico de aproximadamente 20 km de longitud, el cual forma parte de la unidad San Lorenzo de edad cretácica superior. El elemento se emplaza en la unidad morfoestructural de la Cordillera Principal, e intruye las secuencias volcánicas de la Formación Cerro Morado.

Desde el punto de vista litológico, la unidad San Lorenzo se caracteriza en esta zona por la presencia de rocas intrusivas clasificadas mediante QAP como tonalitas faneríticas, leucocráticas a mesocráticas y equigranulares de tamaño de grano fino a medio (Fig. 14.18. A). Además, presenta enclaves y diques dioríticos equigranulares de grano fino y magnéticos (Fig. 14.18. B y C). Asociado al pórfido, es posible encontrar zonas de alteración hidrotermal con mineralización de óxidos de cobre, los cuales son más abundante en las tonalitas (Fig. 14.18. D).

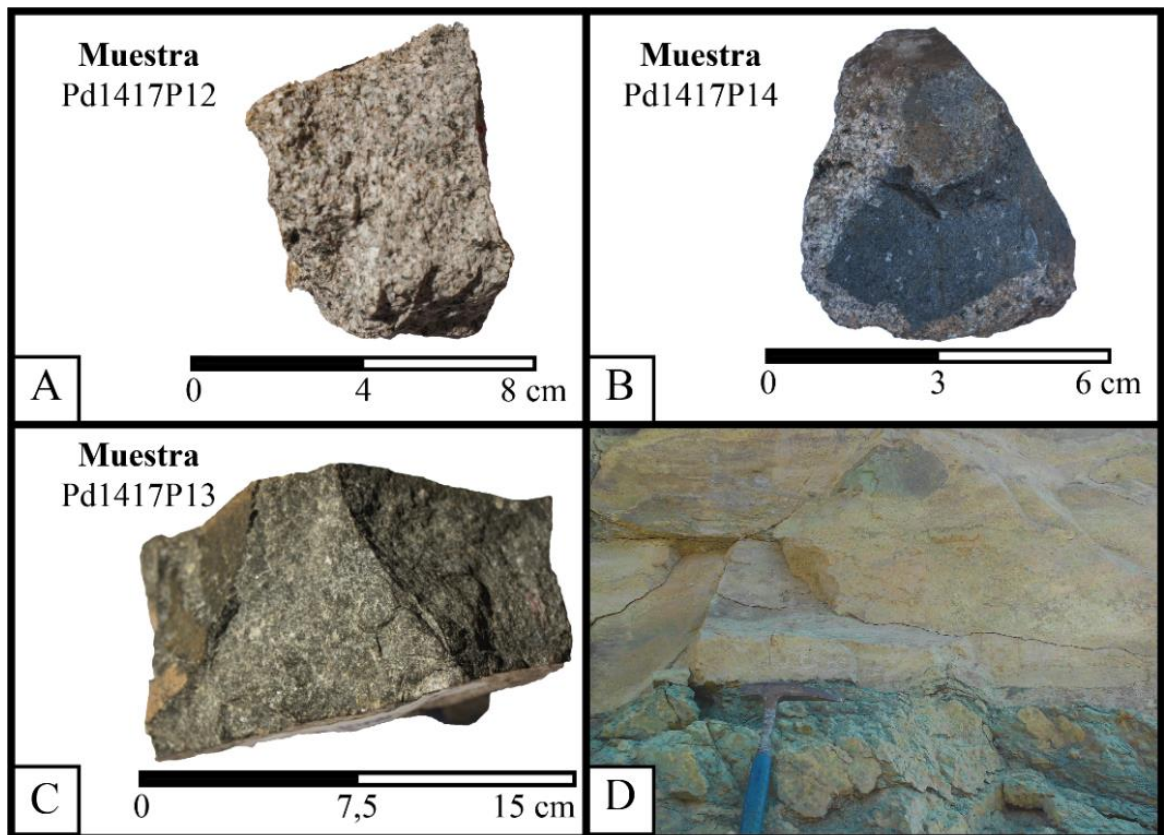


Fig. 14.18 - Rocas intrusivas de la unidad Morro Hediondo extraídas en el sector del valle de Pedernal, más específicamente en los predios de la ex mina Dulcinea. A) Tonalita de hornblenda blanquecina con tamaño de grano medio. B) Enclave diorítico gris oscuro en roca caja tonalítica blanquecina. C) Diorita equigranular de grano fino y color gris oscuro. D) Vetas con mineralización de óxidos de cobre (crisocola y malaquita) en tonalita.

El LIG exhibe deformación asociada al proceso genético que dio origen a la caldera Morro Hediondo a partir de eventos eruptivos de alta energía. Posteriormente, procesos de erosión dejaron expuesto el intrusivo del dique anular de la unidad San Lorenzo, el cual cristalizó durante el Campaniano (Camus *et al.*, 1986; Rivano *et al.*, 1993).

Asociado al elemento de interés principal es posible encontrar una serie de yacimientos de óxidos y sulfuros de cobre asociados a la mina Dulcinea. Dadas sus dimensiones, la asociación con elementos geomorfológicos resulta atractivo para el desarrollo de diversas actividades, tanto científicas como didácticas e interpretativas. Entre los elementos geomorfológicos de mayor relevancia en la zona se encuentra la Caldera Morro Hediondo, con un radio aproximado de 7 km (Camus *et al.*, 1986) y la remoción en masa del Arenal en la ladera este del valle de Pederal.

#### **Aspectos no geológicos relevantes**

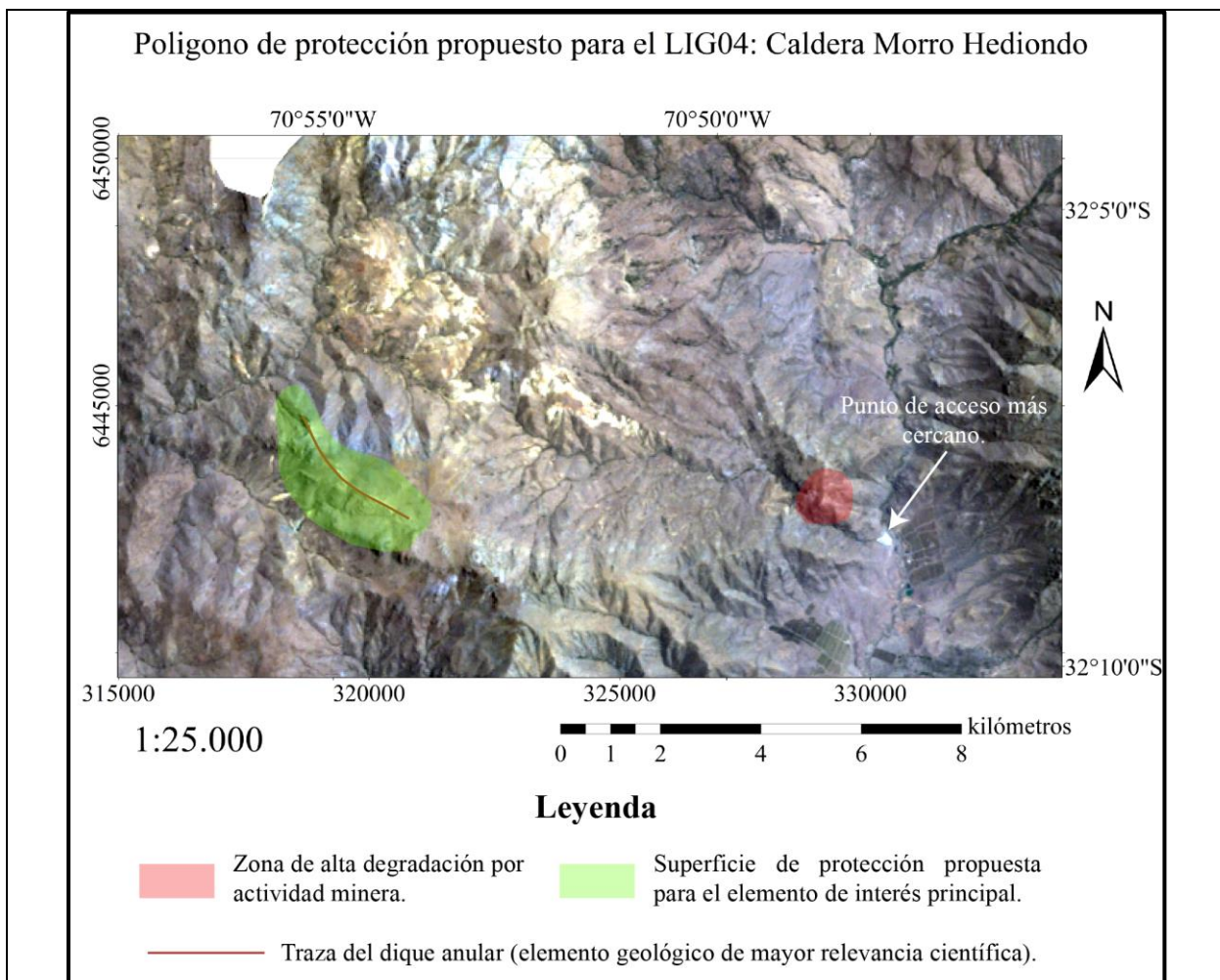
El LIG carece en sus inmediaciones de elementos no geológicos de relevancia, pero eventualmente es posible observar fauna protegida tales como cóndores. Adicionalmente, en la base del cerro es posible observar un relave abandonado de la ex mina Dulcinea, siendo de relevancia educativa en torno a contaminación y manejo sostenible de los desechos mineros.

#### **Estado de conservación**

El lugar de interés geológico carece de figuras de protección legal y el sitio es privado y utilizado para la industria minera, siendo esta actividad el principal agente de degradación. El elemento de interés principal se encuentra altamente degradado por la actividad minera en su borde oriental, siendo el punto de acceso más próximo.

Los agentes de degradación naturales presentan poca relevancia, más aun considerando que son estos los que dejan expuesto el elemento de interés. La meteorización juega un rol importante en las zonas ya intervenidas de manera antrópica.

Dadas las características de integridad del elemento de interés, se propone un polígono de conservación del elemento en sectores alejados de los yacimientos mineros (Fig. 14.19). Este polígono busca aportar a las estrategias de conservación del valor científico del lugar, por lo que no considera una ruta turística o educativa potencial.



*Fig. 14.19 – Superficie de protección propuesta para el LIG05. En rojo se destaca la traza del elemento de interés principal en una zona alejada de los elementos de degradación antrópica y que se ubica en un alto topográfico, permitiendo apreciar la morfología de la caldera Morro Hediondo.*

**Propuesta de estudios científicos**


- Caracterización del peligro geológico de las rutas de acceso, especialmente en las rutas asociadas a las labores mineras.
- Estudios de zonación y estructura magmática, tanto del dique como los intrusivos asociados.
- Caracterización detallada de la estratigrafía de la zona para caracterizar el evento volcánico que dio origen a la caldera.

**Publicaciones que incluyen los elementos de interés geológicos.**

- Camus, F., Boric, R., Skewes, M.A., Castelli, J.C., Reichhard, E., Mestre, A. 1991. Geologic, structural, and fluid inclusion studies of El Bronce epithermal vein system, Petorca, central Chile. *Economic Geology*, (86), 1317-1345.



Tabla 14.17 – Ficha de caracterización cuantitativa del LIG05, Mina de Pedernalita.

LIG05		Mina de Pedernalita		
<b>Datum/Huso</b>	<b>Coordenada Este</b>	<b>Coordenada Sur</b>	<b>Altitud</b>	
WGS84/19H	329077	6451914	1500 m.s.n.m	
<b>Propiedad del Terreno</b>		<b>Comuna</b>		<b>Localidad</b>
Privada		Petorca		La Olla - Pedernal
<b>Características generales</b>				
<p>La Mina de Pedernalita (Fig. 14.20) fue seleccionada en base a su relevancia geológica-cultural en torno a su petrografía de alteración característica, donde procesos de alteración hidrotermal otorgaron texturas singulares a las rocas de la Formación Cerro Morado, por lo que el LIG se asocia al contexto geológico local del Arco Volcánico del Cretácico Inferior. Las rocas de estos afloramientos han sido utilizadas localmente para la producción de artesanía local, siendo el principal agente de degradación del LIG.</p>				
<b>Imagen o esquema</b>				
				
<p><i>Fig. 14.20 – Afloramiento principal del LIG 05, Mina de Pedernalita.</i></p>				
<b>Descripción general</b>				
<p>Ubicado aproximadamente a 8 km de la localidad de Pedernal, el acceso al sitio se realiza por un camino de ripio en malas condiciones, por lo que se requieren vehículos 4 x 4 para su aproximación. El acceso al sitio se encuentra restringido al ser propiedad de Manuel Quiroz Quiroz, quien debe otorgar permisos de acceso.</p> <p>La particular textura exhibida por las rocas del afloramiento ha llamado la atención de la comunidad, quien actualmente utiliza la roca como materia prima para la producción de artesanía local. La extracción de la roca, denominada “pedernalita” por la gente local, se ha realizado mediante canteras, dejando zonas inestables con potencial caída de rocas.</p>				
<b>Aspectos geológicos relevantes</b>				
<p>El LIG se compone de un solo elemento de la geodiversidad, el cual corresponde a un afloramiento de 25 m de largo y 5 m de alto, de colores rosa, anaranjado y blanquecino producto de la alteración (Fig. 14.21. A). El lugar se emplaza en la unidad morfoestructural de la Cordillera Principal, y los resultados de este trabajo indican que el protolito corresponde a rocas</p>				

de la Formación Cerro Morado. De esta manera, el LIG representaría el contexto geológico local del Arco Volcánico del Cretácico Inferior.

La alta silicificación y deformación (Fig. 14.21. B y C) impiden apreciar con claridad las características principales de las rocas que definen a esta formación. Entre los protolitos identificados se encuentran areniscas finas rojas y brechas volcánicas (Fig. 14.21. D y E). La zona de alteración se emplaza en un sector de brechas volcánicas monomíticas marrones, con clastos angulosos grises parduscos con tamaños de hasta 10 cm (Fig. 14.21. F).

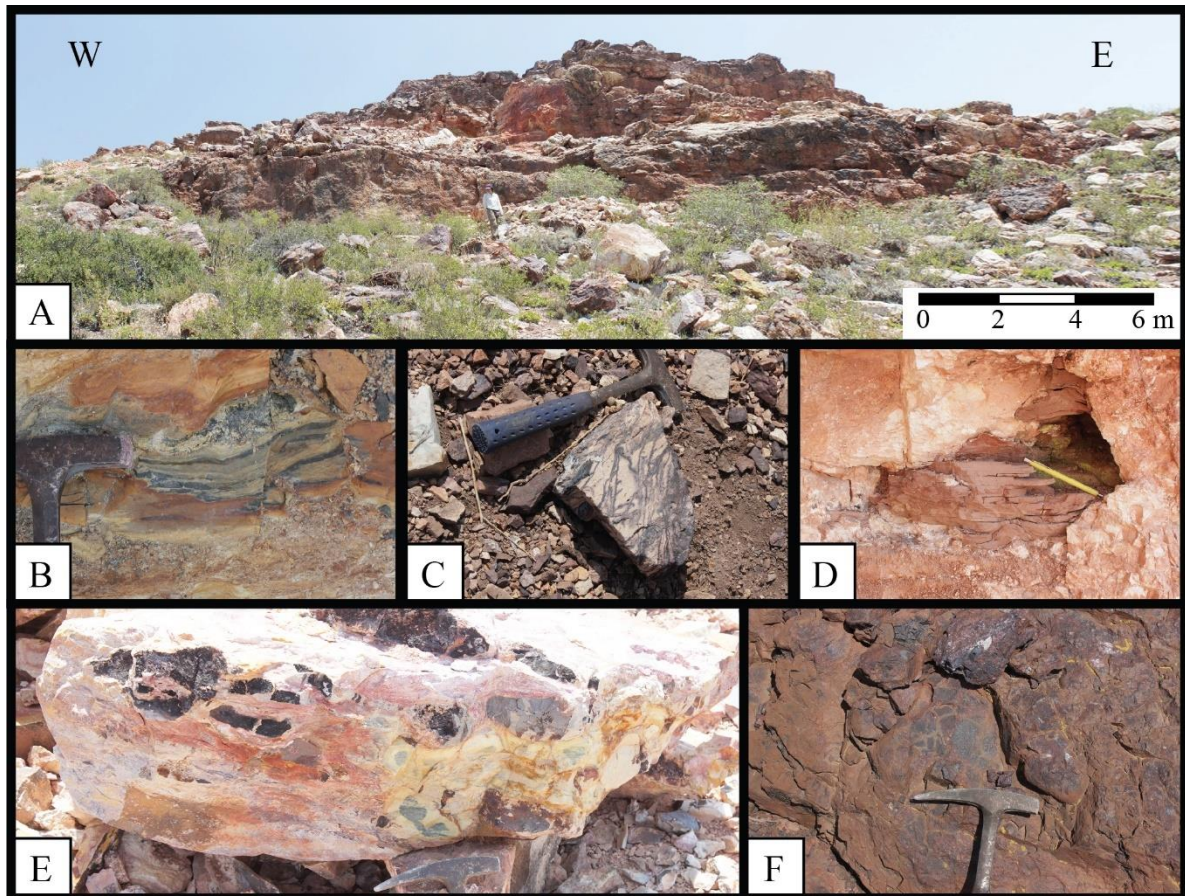


Fig. 14.21 - Afloramiento del LIG Mina de Pederalita. A) Afloramiento de la zona de alteración en el cual se encuentra la cantera de pederalita. B y C) Texturas de alteración y deformación características que dan origen a la pederalita. D) Protolito sedimentario del afloramiento, correspondiente a un lente de arenisca fina roja. E) Brecha volcánica silicificada, correspondiente al protolito volcánico. F) Brechas volcánicas aledañas al sector de la cantera.

Se desconocen los procesos genéticos del elemento de interés, pero en base a la evolución geológica de la zona de estudio, es posible inferir que su origen se asocia a los procesos volcánicos y magmáticos acaecidos durante el Cretácico. Durante este periodo, fluidos hidrotermales habrían silicificado de manera pervasiva las rocas de la Formación Cerro Morado.

#### Aspectos no geológicos relevantes

El lugar carece de elementos de interés no geológicos relevantes en sus inmediaciones.



## Estado de conservación

El LIG se encuentra altamente degradado a raíz de la explotación para el desarrollo de artesanía local. La actividad extractiva de esta roca es el único agente antrópico de degradación, pero afecta la integridad total del elemento, pese a que no se requiere una gran cantidad de materia prima para la producción de artesanía.

Si bien el lugar posee acceso restringido, este carece de medidas de protección legal que permitan conservar el afloramiento. Con respecto a los procesos de degradación naturales, estos son poco relevantes debido a que la silicificación ha endurecido el protolito, otorgándole una protección natural.

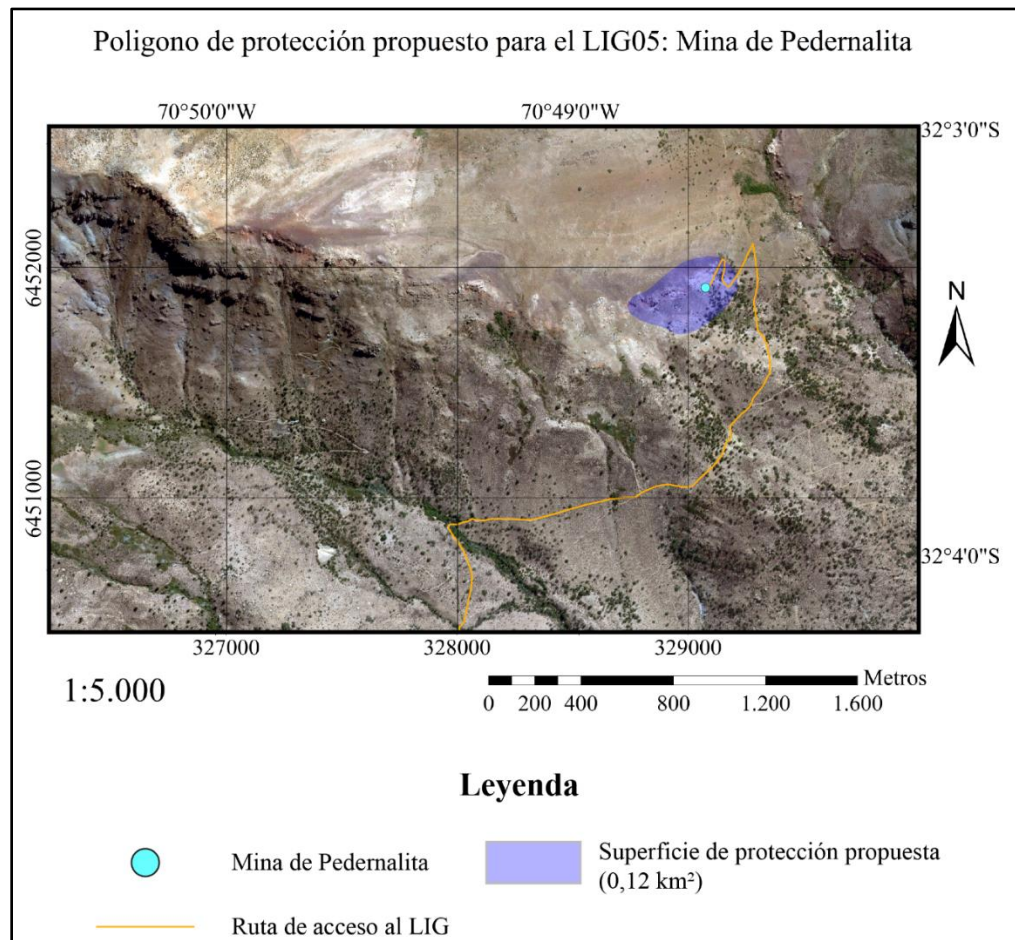


Fig. 14.22 – Polígono de protección propuesto para el LIG 05, mina de Pedernalita. En la imagen se destaca con un círculo en color cyan la mina de Pedernalita, en azul la superficie de protección y en naranja la ruta de acceso al LIG, la cual inicia donde termina la ruta E-375.

## Propuesta de estudios científicos

- Desarrollo de un mapa de peligros geológicos enfocado principalmente en caída de rocas. Se recomienda hacer una sectorización para usos potenciales (científico, turístico, educativo, entre otros) en función de los peligros presentes.
- Análisis petrológico y genético del afloramiento, contextualizado a la estratigrafía de la zona.

Tabla 14.18 – Ficha de caracterización cualitativa del LIG06, Brechas Volcánicas de Pedernal.

LIG06		Brechas Volcánicas de Pedernal		
Datum/Huso	Coordenada Este	Coordenada Sur	Altitud	
WGS84/19H	331894	6449372	1423 m.s.n.m	
Propiedad del Terreno		Comuna	Localidad	
Privada		Petorca	Pedernal	

**Características generales**

El lugar de interés geológico Brechas Volcánicas de Pedernal (Fig. 14.23) se ha seleccionado en función de su representatividad e integridad, al ser uno de los mejores ejemplos conocidos y mejor preservado del contexto local del Arco Volcánico del Cretácico Inferior. El elemento de interés principal corresponde a una secuencia de brechas volcánicas cuya silicificación preservó las características petrológicas de las brechas volcánicas de la Formación Cerro Morado. El LIG no posee actualmente un uso, pero en zonas circundantes existen una serie de labores mineras menores que no afectan, hasta el momento, la integridad del elemento principal.

**Imagen o esquema**



Fig. 14.23 – Afloramiento del LIG 06, Brechas Volcánicas de Pedernal.

**Descripción general**

El lugar se encuentra en un sitio privado, pero se desconoce su dueño. El acceso se realiza mediante un sendero poco desarrollado y se debe recorrer aproximadamente 800 m desde el punto de aparcamiento más cercano en vehículo 4 x 4. Actualmente el sector carece de uso en sus inmediaciones, pero se ubica a metros de otro lugar de interés geológico, descrito en este trabajo como los Conglomerados Rojos de Pedernal. La relación entre estos dos LIGs le otorgan un potencial de uso didáctico y científico, al ser representativos de dos contextos geológicos



locales distintos y estratigráficamente consecutivos. El LIG carece de elementos de interés no geológicos cercanos.

### Aspectos geológicos relevantes

El elemento de interés principal lo constituye un afloramiento de brechas volcánicas silicificadas de dimensiones de 30 m de largo y 15 m de potencia (Fig. 14.25. A). En las inmediaciones el LIG carece de otros elementos de interés geológico, pero a 400 m se ubica el LIG Conglomerados Rojos de Pedernal.

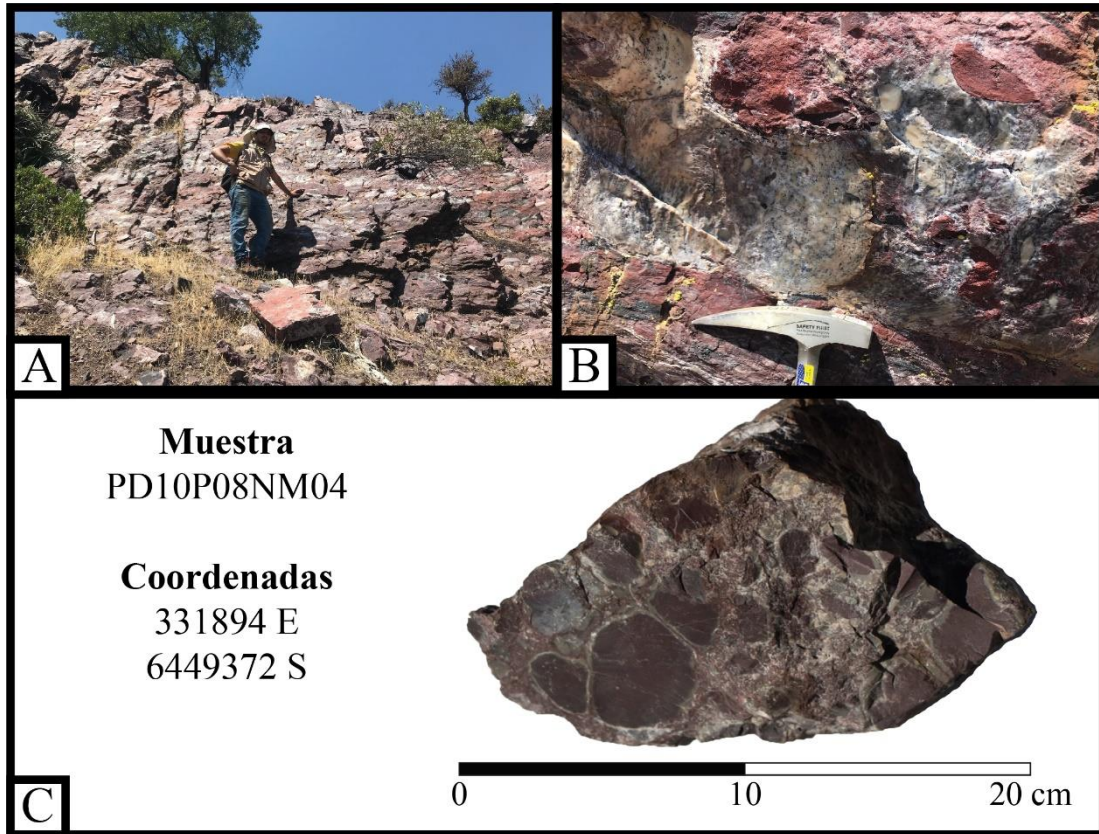


Fig. 14.24 – Características del LIG 06, Brechas Volcánicas de Pedernal. A) Afloramiento silicificado de las brechas volcánicas. B) Zonas del afloramiento que presentan mayor alteración, con presencia de hematita que le otorgan un color rojizo, mientras que los colores blanquecinos se deben a una alteración pervasiva de la silicificación que oblitera la roca. C) Litología característica de la mayor parte del afloramiento, en la cual se observan los clastos angulosos y monomícticos representativos de las brechas volcánicas de la Formación Cerro Morado.

Las Brechas Volcánicas de Pedernal se emplazan en la unidad morfoestructural de la Cordillera Principal y son representativas del contexto geológico local del Arco Volcánico del Cretácico Inferior.

Desde el punto de vista petrológico, el elemento principal es una de las mejores representaciones de las características propias de las brechas volcánicas de la Formación Cerro Morado (Fig. 14.24. C). Se caracteriza por ser una roca volcánica de textura brechoza, con clastos monomícticos, angulosos y de grandes dimensiones que alcanzan los 30 cm. La matriz no se

reconoce fácilmente, pero en sectores es posible distinguir cristales de plagioclasas euhedrales silicificadas.

El elemento ha sido alterado por una silicificación pervasiva (Fig. 14.24. C). Si bien esto ha alterado las características intrínsecas del elemento, también ha sido una protección natural ante agentes de meteorización.

Se desconoce la edad radiométrica del LIG, pero en base a su contexto geológico es posible asignarle una edad Cretácico Inferior. Con respecto a su proceso de formación, los tamaños de los clastos permiten interpretar un ambiente volcánico proximal a los principales edificios volcánicos que originaron las rocas de la Formación Cerro Morado, probablemente asociado a procesos de colapsos de los edificios.

#### **Aspectos no geológicos relevantes**

El LIG carece de elementos no geológicos de relevancia en sus cercanías.

#### **Estado de conservación**

El lugar se ubica en un predio privado el cual se utiliza para la pequeña minería. El elemento principal carece de medidas de protección legales que gestionen su conservación.

Las brechas volcánicas se encuentran bien preservadas, principalmente gracias a su protección natural otorgada por la silicificación. Aquella alteración preservó las características petrológicas intrínsecas y disminuye su vulnerabilidad ante los procesos de meteorización. Actualmente no existen actividades antrópicas que alteren el LIG, pero en zonas cercanas existen una serie de labores mineras menores que pudiesen afectar la integridad del elemento a futuro.

En la Fig. 14.25 se propone un polígono de protección para el LIG 06 y LIG 07, acorde a las actividades actualmente desarrolladas en el lugar y que son la principal fuente laboral de la comunidad de Pedernal.

Polígono de protección propuesto para el LIG06 (Brechas Volcánicas de Pedernal)  
y el LIG07 (Conglomerados Rojos de Pedernal)

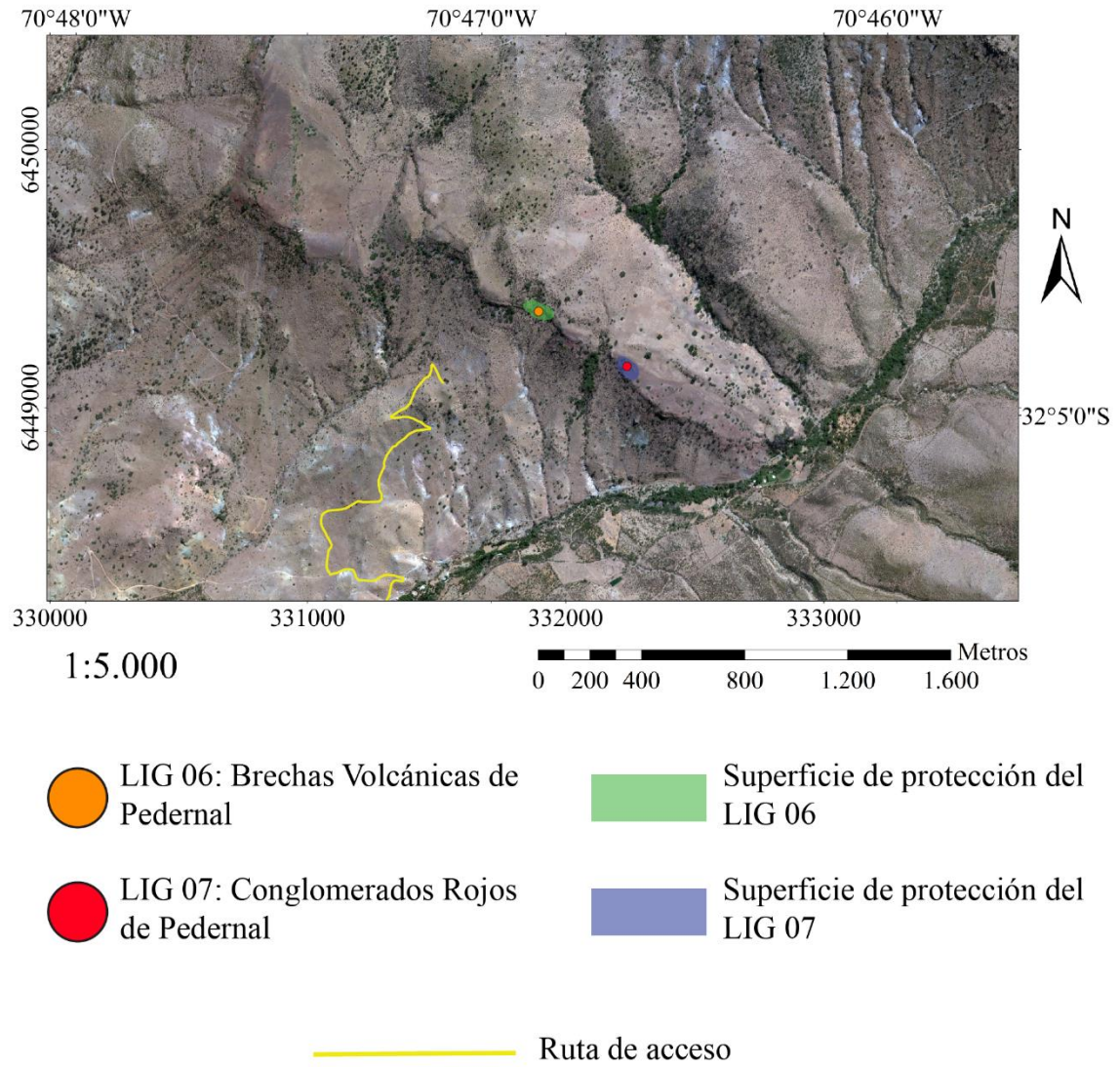


Fig. 14.25 – Polígonos de protección propuestos para los LIG 06 (punto naranja) y LIG 07 (punto rojo). Se detalla además la ruta de acceso al punto de aparcamiento más próximo para vehículos 4 x 4, el cual se encuentra a 800 m del punto de interés principal por un sendero poco desarrollado.

**Propuesta de estudios científicos**

- Determinar la edad radiométrica de la brecha en sectores no silicificados que alteren los resultados. Esta información sería de relevancia considerando que este nivel representaría el techo de la Formación Cerro Morado y se dispone en contacto concordante bajo la Formación Las Chilcas.
- Estudio petrológico con microscopía para determinar las características de la matriz.
- Estudio de proveniencia del elemento de interés principal para enriquecer la información geológica y determinar con mayor certeza el ambiente genético del LIG.



Tabla 14.19 – Ficha de caracterización cualitativa del LIG07, Conglomerados Rojos de Pedernal.

LIG07		Conglomerados Rojos de Pedernal		
Datum/Huso	Coordenada Este	Coordenada Sur	Altitud	
WGS84/19H	0332236	6449160	1359 m.s.n.m	
Propiedad del Terreno		Comuna	Localidad	
Privada		Petorca	Pedernal	

**Características generales**

El lugar de interés geológico Conglomerados Rojos de Pedernal (Fig. 14.26) se ha seleccionado en función de su valor científico, al ser el nivel basal de las series sedimentarias del Cretácico inferior. El elemento de interés principal corresponde a un nivel de conglomerados de color rojo, característicos de los miembros Pitipeumo-Tabón(?) de la Formación Las Chilcas. El LIG no posee actualmente un uso, pero en zonas circundantes existen una serie de labores mineras menores que no afectan, hasta el momento, la integridad del elemento principal.

**Imagen o esquema**



Fig. 14.26 – Conglomerados rojos de clastos redondeados del LIG 07, Conglomerados Rojos de Pedernal.



## Descripción general

El lugar se encuentra en un sitio privado, pero se desconoce su dueño. El acceso se realiza mediante un sendero poco desarrollado y se debe recorrer aproximadamente 800 m desde el punto de aparcamiento más cercano en vehículo 4 x 4. Actualmente el sector carece de uso en sus inmediaciones, pero se ubica a metros de otro lugar de interés geológico, descrito en este trabajo como los Conglomerados Rojos de Pedernal. La relación entre estos dos LIGs le otorgan un potencial de uso didáctico y científico, al ser representativos de dos contextos geológicos locales distintos y estratigráficamente consecutivos. El LIG carece de elementos de interés no geológicos cercanos.

## Aspectos geológicos relevantes

El elemento de interés principal lo constituye un afloramiento de conglomerados rojos de dimensiones de 12 m de largo y 8 m de potencia. En las inmediaciones el LIG carece de otros elementos de interés geológico, pero a 400 m se ubica el LIG Brechas Volcánicas de Pedernal.

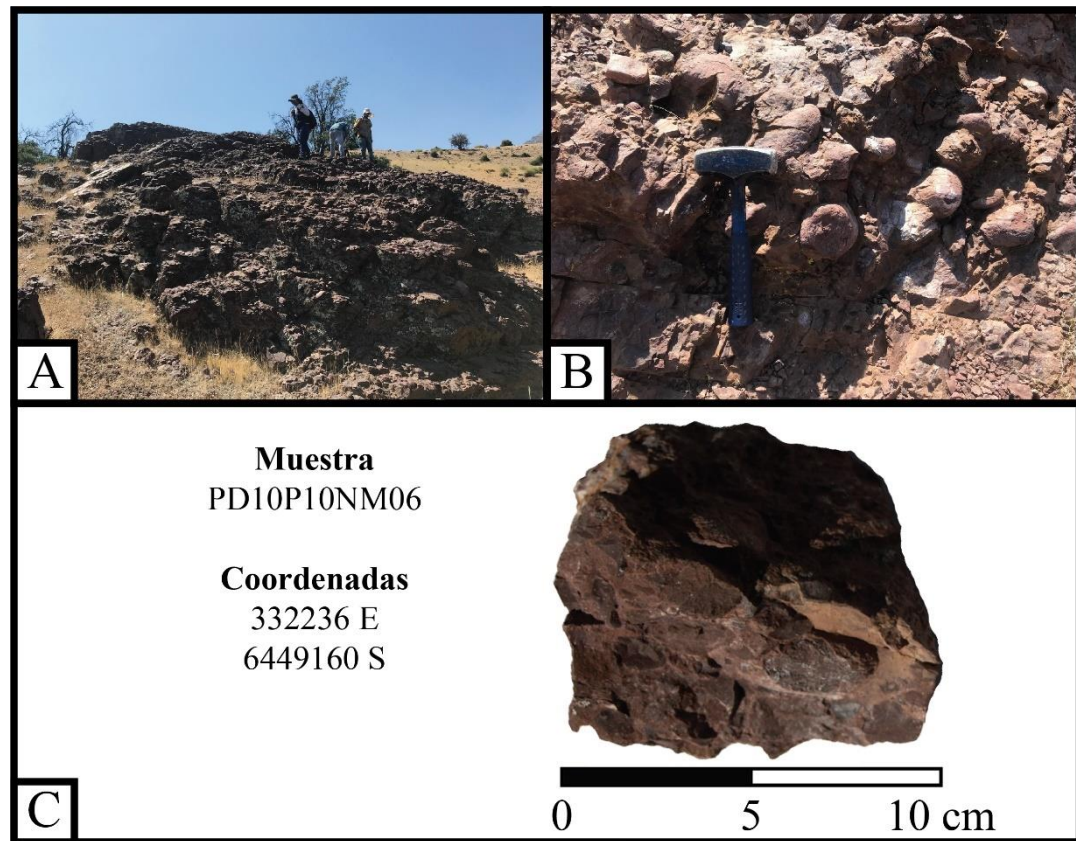


Fig. 14.27 – Afloramiento y litología de los conglomerados rojos de Pedernal. A) Afloramiento visto a distancia el cual aparenta un color pardo, pero aquella coloración es en realidad rojiza; el color pardo se debe a la hora a la que se tomó la fotografía (16:10). B) Afloramiento visto de cerca, donde se aprecia el color rojizo característico y los clastos redondeados. C) Litología de los conglomerados rojos, la cual se caracteriza por clastos polimícticos de hasta 10 cm, inmersos en una matriz de arena fina.

Los Conglomerados Rojos de Pedernal (Fig. 14.27.A) se emplazan en la unidad morfoestructural de la Cordillera Principal y son representativas del contexto geológico local de las Secuencias Sedimentarias del Cretácico Inferior.

Desde el punto de vista petrológico, el elemento principal es una buena representación de las características propias de los conglomerados rojos de los miembros Pitipeumo-Tabón(?) de la Formación Las Chilcas, identificados al sur de la zona de estudio. Se caracteriza por ser una roca sedimentaria mal seleccionada de textura clástica, con clastos polimícticos, redondeados y de dimensiones que alcanzan los 10 cm (Fig. 14.27. B y C). La matriz se compone de arena fina.

El elemento no presenta deformación y se encuentra bastante meteorizado. Se desconoce la edad radiométrica del LIG, pero en base a su contexto geológico es posible asignarle una edad Cretácico Inferior. Con respecto a su proceso de formación, los tamaños de los clastos permiten interpretar un sedimentario de alta energía y proximal, probablemente asociado a procesos fluvio-aluviales.

#### **Aspectos no geológicos relevantes**

El LIG carece de elementos no geológico de relevancia.

#### **Estado de conservación**

El lugar se ubica en un predio privado el cual se utiliza para la pequeña minería. El elemento principal carece de medidas de protección legales que gestionen su conservación.

Los conglomerados se encuentran medianamente preservados, pero es posible analizar todas las características petrológicas características. Actualmente no existen actividades antrópicas que alteren el LIG, pero en zonas cercanas existen una serie de labores mineras menores que pudiesen afectar la integridad del elemento a futuro.

En la Fig. 14.28 se propone un polígono de protección para el LIG 06 y LIG 07, acorde a las actividades actualmente desarrolladas en el lugar y que son la principal fuente laboral de la comunidad de Pedernal.

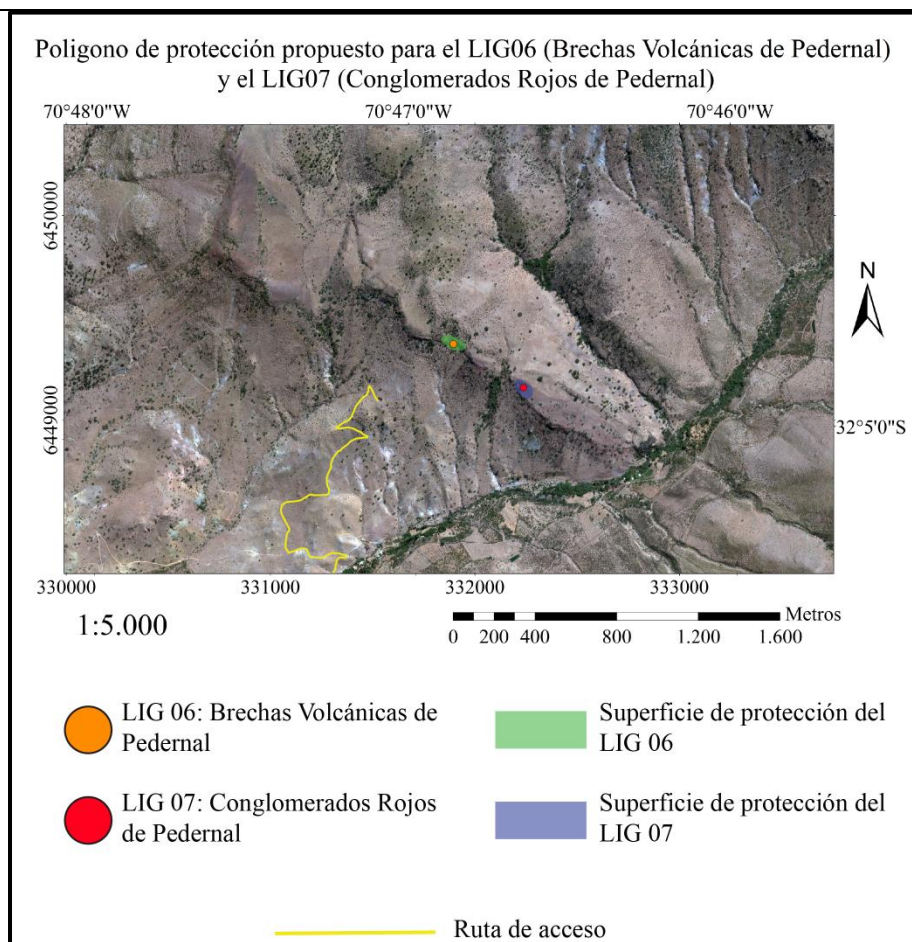
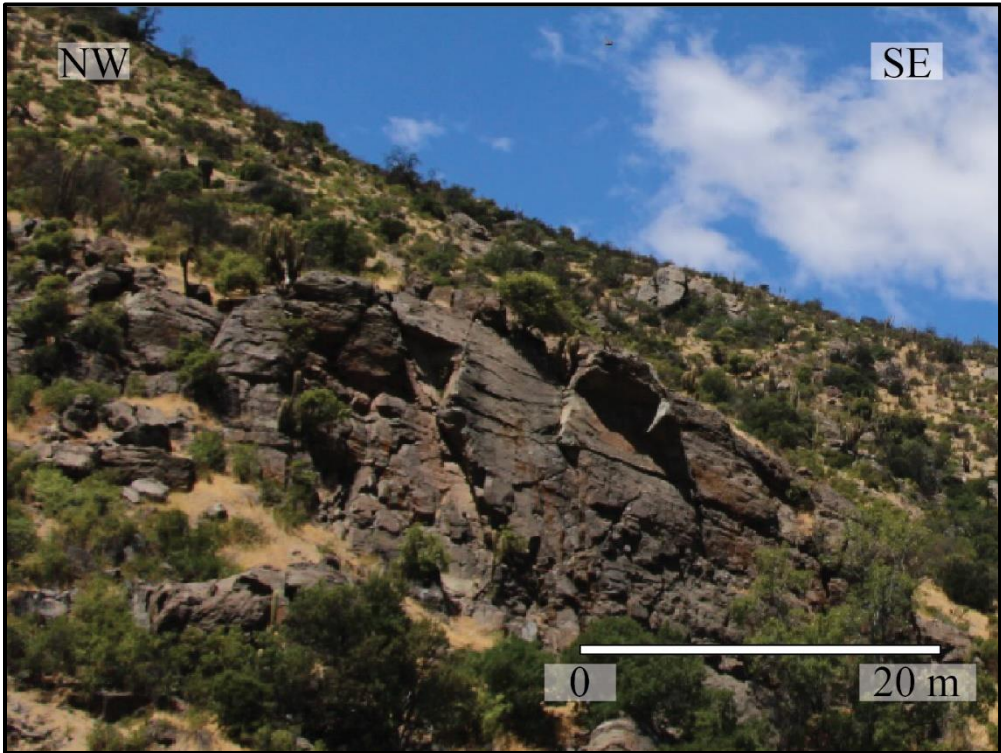


Fig. 14.28 - Polígonos de protección propuestos para los LIG 06 (punto naranja) y LIG 07 (punto rojo). Se detalla además la ruta de acceso al punto de aparcamiento más próximo para vehículos 4 x 4, el cual se encuentra a 800 m del punto de interés principal por un sendero poco desarrollado.

### Propuesta de estudios científicos

- Análisis sedimentológico de detalle para definir concretamente el ambiente genético del LIG.
- Análisis de proveniencia de los sedimentos.
- Levantamiento de columnas estratigráficas a menor escala para definir con mayor detalle las distintas facies sedimentarias.

Tabla 14.20 – Ficha de caracterización cualitativa del LIG08, Secuencias Sedimentarias de El Sobrante.

LIG08		Secuencias Sedimentarias de El Sobrante		
<b>Datum/Huso</b>	<b>Coordenada Este</b>	<b>Coordenada Sur</b>	<b>Altitud</b>	
WGS84/19H	0336510	6433343	1151 m.s.n.m	
<b>Propiedad del Terreno</b>		<b>Comuna</b>		<b>Localidad</b>
Estatal		Petorca		Valle de El Sobrante
<b>Características generales</b>				
<p>El lugar de interés geológico Secuencias Sedimentarias de El Sobrante (Fig. 14.29) se ha seleccionado en función de su representatividad, integridad y valor científico. El LIG es uno de los mejores ejemplos conocidos y mejor preservados de la zona de estudio del contexto local de las Secuencias Sedimentarias del Cretácico Inferior. El elemento de interés principal corresponde a una secuencia de areniscas, areniscas conglomerádicas y conglomerados de los miembros Pitipeumo-Tabón(?) de la Formación Las Chilcas. El LIG no posee actualmente un uso, pero en zonas circundantes existen labores mineras menores que no afectan, hasta el momento, la integridad del elemento principal.</p>				
<b>Imagen o esquema</b>				
				
<p>Fig. 14.29 – Afloramiento del LIG 08, Secuencias Sedimentarias de El Sobrante.</p>				
<b>Descripción general</b>				
<p>El elemento de interés principal se ubica a menos de 300 m del punto de acceso más cercano por vehículo, pero aquel punto carece de zona de estacionamiento. La zona más próxima donde se pueden dejar vehículos se ubica a 650 m, pero para acceder se recomiendan vehículos 4 x 4.</p>				



El LIG carece de usos, pero posee un potencial para actividades educativas en torno a procesos fluvio-aluviales. Se debe tener en consideración para el desarrollo de actividades científicas y/o educativas que el afloramiento presenta zonas con bloques inestables, siendo un potencial peligro las caídas de roca.

### Aspectos geológicos relevantes

El elemento de interés principal lo constituye un afloramiento de conglomerados rojos de dimensiones de 40 m de largo y 15 m de potencia. En las cercanías del elemento principal es posible observar otros elementos de interés tales como tobas líticas con estructuras de pipas de segregación y abanicos aluviales.

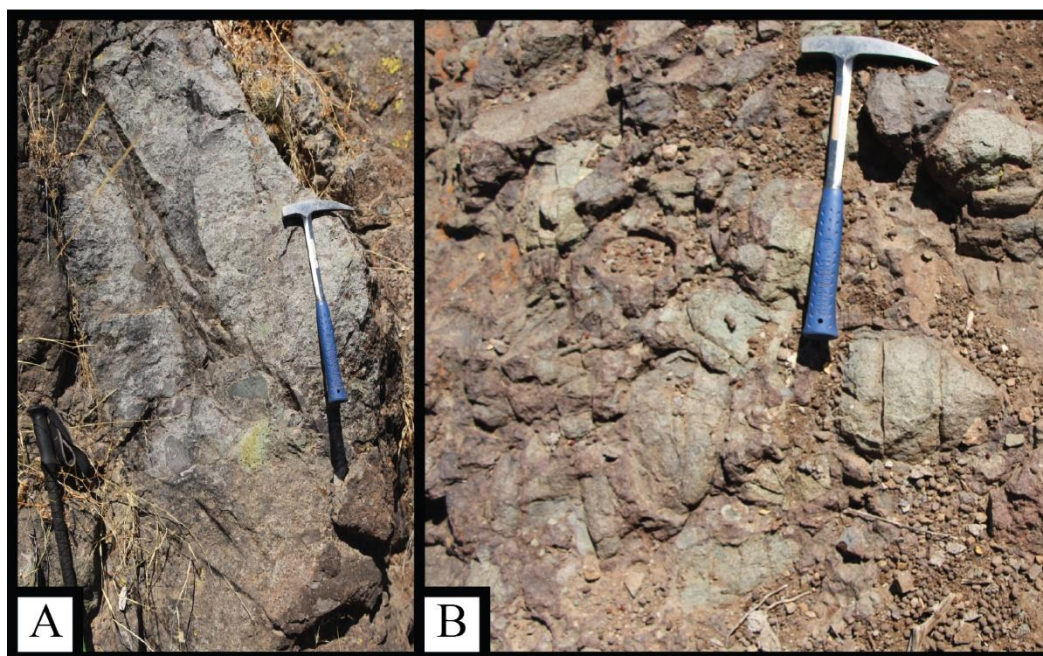


Fig. 14.30 - Afloramiento del LIG08, secuencias sedimentarias de El Sobrante. A) Variaciones granulométricas de la secuencia sedimentaria; en amarillo se delimitan los niveles de cambio granulométrico y el lente de arenisca conglomerádica. B) Conglomerados de mayor energía, con clastos redondeados y polimícticos, y posicionados estratigráficamente en el techo de la secuencia.

Las Secuencias Sedimentarias de El Sobrante (Fig. 14.30) se emplazan en la unidad morfoestructural de la Cordillera Principal y son representativas del contexto geológico local de las Secuencias Sedimentarias del Cretácico Inferior.

Desde el punto de vista petrológico, el elemento principal es la mejor representación conocida en la zona de estudio de facies sedimentarias de los miembros Pitipeumo-Tabón(?) de la Formación Las Chilcas. Se caracteriza por ser una secuencia sedimentaria granodecreciente en su base, seguida de una secuencia granocreciente hacia su techo. La base se compone principalmente de areniscas y areniscas conglomerádicas bien seleccionadas, con clastos subredondeados y color grisáceo, la cual presenta lentes de grano grueso (Fig. 14.30. A). Hacia el techo, las facies sedimentarias toman mayor protagonismo, caracterizándose por

conglomerados granocrecientes que gradan de matriz soportado a clasto soportado, en ambos casos con una matriz de arena fina a media (Fig. 14.30.B).

Asociado al elemento principal, a menos de 200 m, se encuentra un nivel de toba vítrea de color rosa (Fig. 14.31. B), con abundantes líticos polimícticos, algunos pumíceos. Este nivel de toba presenta además algunos fiames y pipas de segregación (Fig. 14.31. C y A respectivamente).

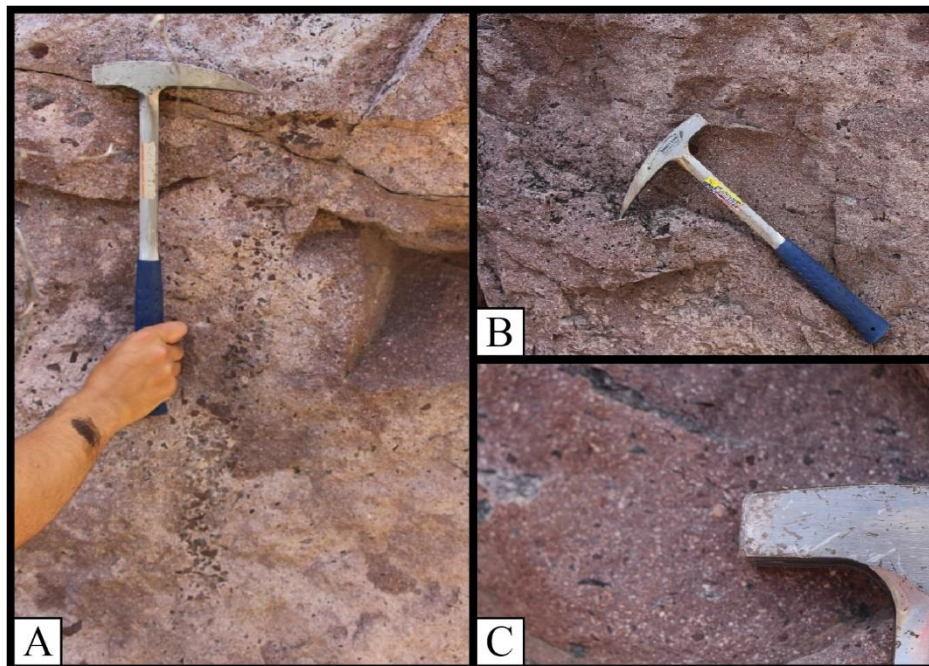


Fig. 14.31 – Nivel de toba vítrea en las cercanías del elemento principal del LIG 08. A) Estructura de pipa de segregación de la toba vítrea. B) Coloración característica del afloramiento. C) Fiames de la toba vítrea.

El elemento no presenta deformación y se encuentra alterado cloritizado. Se desconoce la edad radiométrica del LIG, pero en base a su contexto geológico es posible asignarle una edad Cretácico Inferior. Con respecto a su proceso de formación, los tamaños de los clastos permiten interpretar un sedimentario de alta energía y proximal, probablemente asociado a procesos fluvio-aluviales.

#### **Aspectos no geológicos relevantes**

El LIG carece de elementos de interés no geológicos relevantes.

#### **Estado de conservación**

El LIG se encuentra íntegro y no posee medidas legales de protección. Su acceso no se encuentra restringido y actualmente no existen actividades antrópicas que afecten la integridad de los elementos principal y secundarios. Entre los factores de degradación naturales, la meteorización por lluvias es el principal factor que podría afectar la visualización de los elementos característicos.

En la Fig. 14.32 se propone el polígono de protección del LIG 08 con el fin de gestionar su conservación.



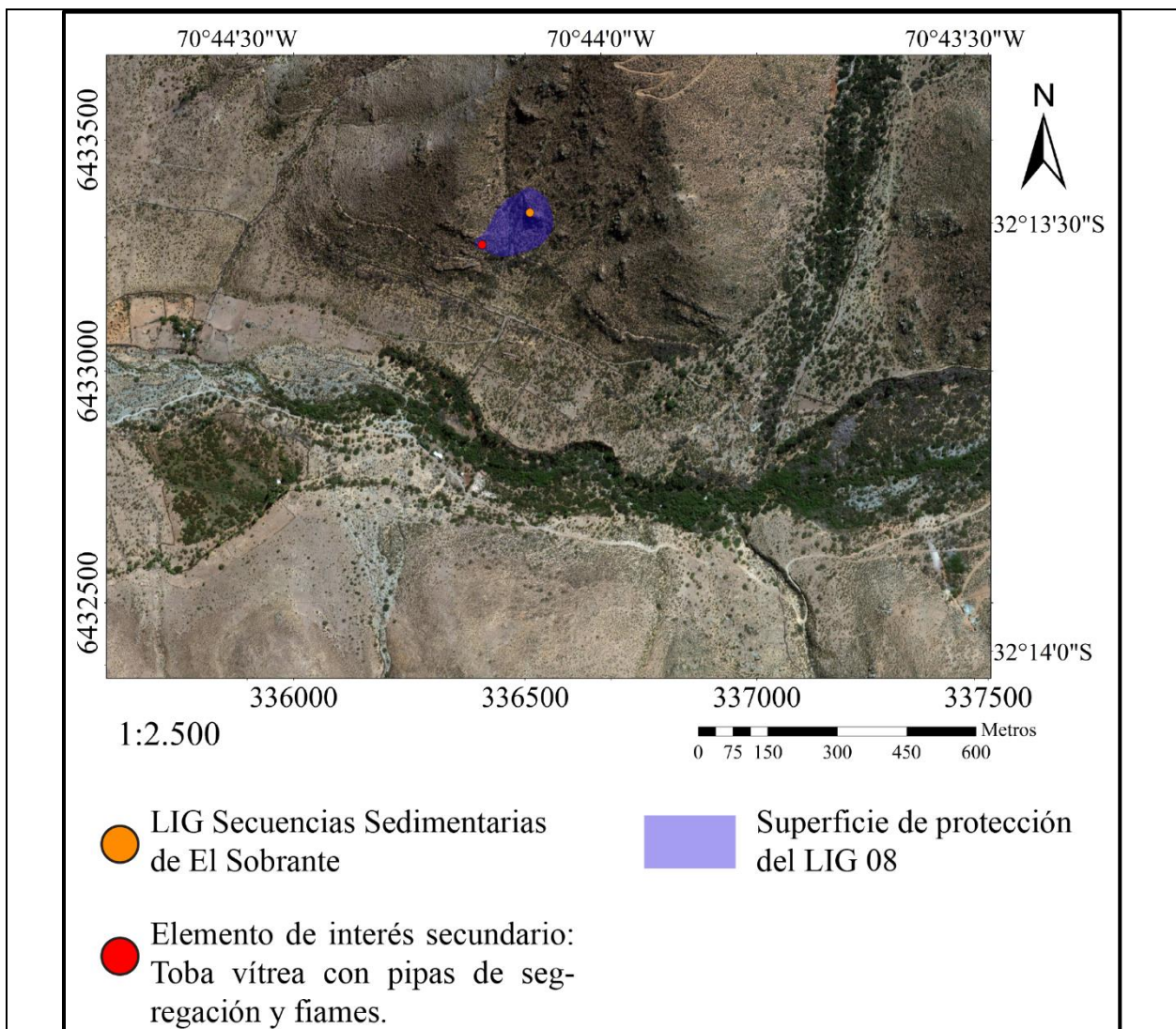
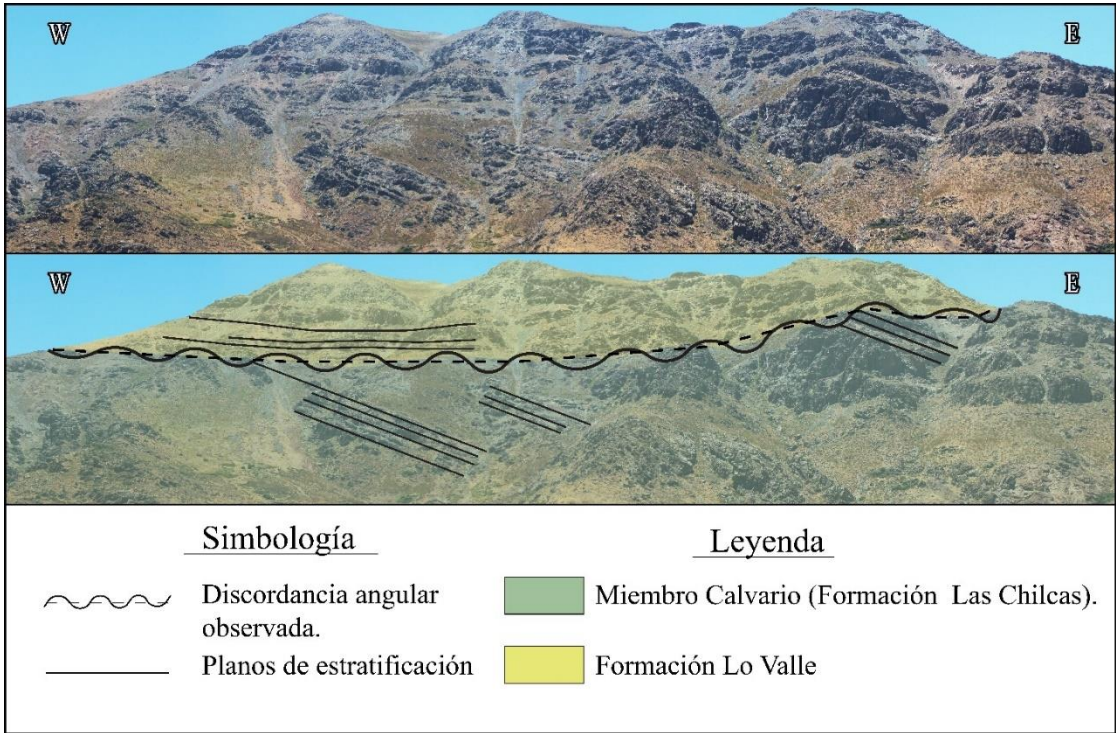














Fig. 14.32 – Polígono de protección del LIG 08. En naranja se destaca el elemento de interés principal y en rojo el elemento de interés secundario.

### Propuesta de estudios científicos

- Levantamientos estratigráficos de detalle del elemento principal para definir el proceso genético de las secuencias.
- Estudio de proveniencia del depósito
- Datación del elemento de interés secundario para acotar la edad del elemento principal. Se propone estudiar la petrología en base a microscopía óptica para determinar la factibilidad de datar por U-Pb en circones a partir de los líticos pumíceos.

Tabla 14.21 – Ficha de caracterización del LIG09, Discordancia Angular de El Sobrante.

LIG09		Discordancia Angular de El Sobrante								
<b>Datum/Huso</b>	<b>Coordenada Este</b>	<b>Coordenada Sur</b>	<b>Altitud</b>							
WGS84/19H	0343198	6434252	2295 m.s.n.m							
<b>Propiedad del Terreno</b>	<b>Comuna</b>		<b>Localidad</b>							
Privada, propiedad de la Sociedad Agrícola y Ganadera de El Sobrante.	Petorca		Valle de El Sobrante, Sector El Rancho							
<b>Características generales</b>										
<p>El lugar de interés geológico Discordancia Angular de El Sobrante (Fig. 14.33) ha sido seleccionado principalmente en función de su rareza y su representatividad del contexto geológico local del <i>Hiatus</i> estratigráfico del Campaniano - Maastrichtiano. El LIG es el mejor ejemplo conocido en la zona de estudio del contacto discordante que marca el límite entre las formaciones Las Chilcas y Lo Valle. Además de su relevancia estratigráfica, sus dimensiones, su integridad y la nitidez de sus características intrínsecas le otorgan un alto potencial educativo en torno a la comprensión de la relación existente entre los procesos de erosión y depositación. Dada las dimensiones del LIG y el hecho de que no existan actividades antrópicas cercanas, han permitido preservar la integridad de los rasgos distintivos del elemento de interés.</p>										
<b>Imagen o esquema</b>										
										
<table border="0" style="width: 100%;"> <tr> <td style="text-align: center;"><u>Simbología</u></td> <td style="text-align: center;"><u>Leyenda</u></td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">  Discordancia angular observada.                 </td> <td style="text-align: center;">  Miembro Calvario (Formación Las Chilcas).                 </td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">  Planos de estratificación                 </td> <td style="text-align: center;">  Formación Lo Valle                 </td> </tr> </table>					<u>Simbología</u>	<u>Leyenda</u>	 Discordancia angular observada.	 Miembro Calvario (Formación Las Chilcas).	 Planos de estratificación	 Formación Lo Valle
<u>Simbología</u>	<u>Leyenda</u>									
 Discordancia angular observada.	 Miembro Calvario (Formación Las Chilcas).									
 Planos de estratificación	 Formación Lo Valle									
<p>Fig. 14.33 – Fotografía panorámica del LIG 09 Discordancia Angular de El Sobrante, tomada desde la ladera sur del valle de El Sobrante. En la imagen superior se observa el contacto discordante entre el Miembro El Calvario de la Formación Las Chilcas con la Formación Lo valle, la cual se demarca en la interpretación de la imagen inferior.</p>										



## Descripción general

El LIG se ubica en la ladera norte del valle de El Sobrante a la altura del sector de El Rancho. Para acceder a aquel sector es necesario recorrer una distancia de aproximadamente 6 km desde el punto de aparcamiento más cercano y el recorrido se realiza por un sendero bien delimitado, utilizado por arrieros y turistas.

El acceso al elemento de interés principal es reducido dada su disposición en el cerro, pero para apreciar las características generales del elemento el mejor punto de observación se encuentra en la ladera sur. El mirador de aquella ladera carece de peligros geológicos potenciales, y cercano a este se ubican petroglifos.

## Aspectos geológicos relevantes

El LIG 09 se compone de un solo elemento de interés, constituido por un contacto discordante entre las formaciones Las Chilcas y la Formación Lo Valle, el cual se emplaza en la unidad morfoestructural de la Cordillera Principal. Posee dimensiones aproximadas de 2 km de longitud y se aprecia en la sección superior de los cerros de la ladera norte del valle de El Sobrante (Fig. 14.33).

La relevancia científica de este LIG radica en su contexto estratigráfico al representar el *Hiatus* del límite Campaniano – Maastrichtiano (Fig. 14.34), atribuido a cambios en las condiciones geodinámicas del margen occidental de Sudamérica. Desde el punto de vista estratigráfico, la secuencia subyacente correspondería al Miembro El Calvario de las Formación Las Chilcas, el cual se desarrolló en un arco volcánico durante una configuración tectónica *syn*-inversión. Por otra parte, la suprayacente Formación Lo Valle se habría desarrollado en un arco volcánico extensional (Jara, 2013; Boyce, 2015; Machuca, 2017).

De esta manera, este LIG es la mejor representación conocida en la zona de estudio acerca de los cambios en las condiciones geodinámicas del territorio, donde hacia fines del Cretácico Superior acaeció una transición desde un sistema compresivo a uno extensional.

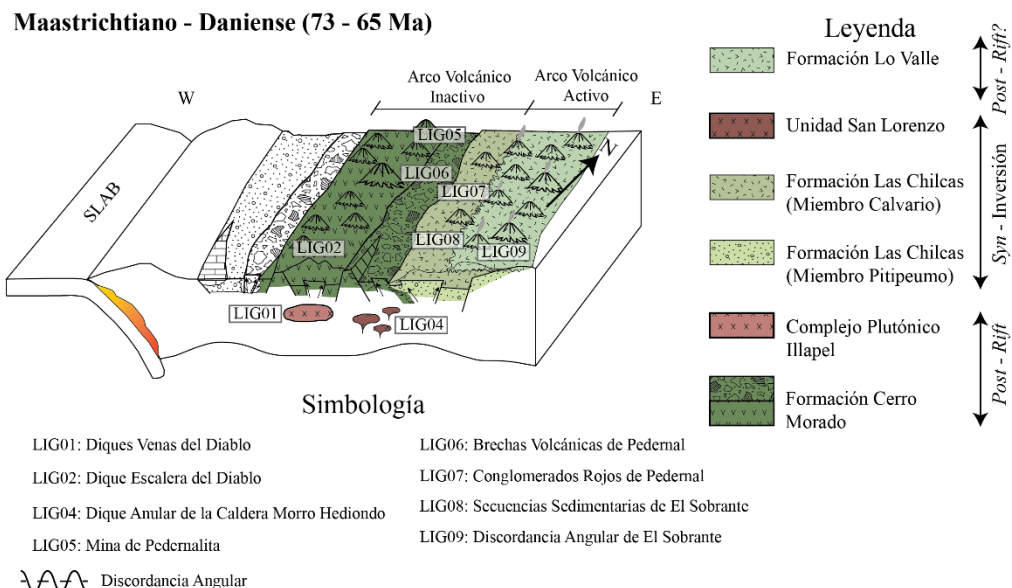


Fig. 14.34 – Modelo paleogeográfico esquemático para el Maastrichtiano – Daniense. En la figura se indica la zona de discordancia angular que separa la Formación Las Chilcas de la Formación Lo Valle, generando un Hiatus estratigráfico en el límite Campaniano – Maastrichtiano.

### Aspectos no geológicos relevantes

En las inmediaciones del LIG no existen elementos no geológicos de relevancia. No obstante, en la base del cerro es posible encontrar una serie de petroglifos (Vivanco, en preparación).

### Estado de conservación

El elemento de interés se encuentra íntegro y carece de medidas legales de protección. El acceso se encuentra restringido, condicionado a permisos otorgados por la Sociedad Agrícola y Ganadera de El Sobrante. Actualmente, el LIG no posee usos que atenten contra su integridad.

Los agentes de degradación naturales son poco relevantes considerando las dimensiones del elemento. Con respecto a los agentes de degradación antrópicos, la baja accesibilidad al elemento ha permitido preservar su integridad.

En la Fig. 14.35 se propone una superficie de protección para el elemento de interés con el fin de gestionar su conservación.

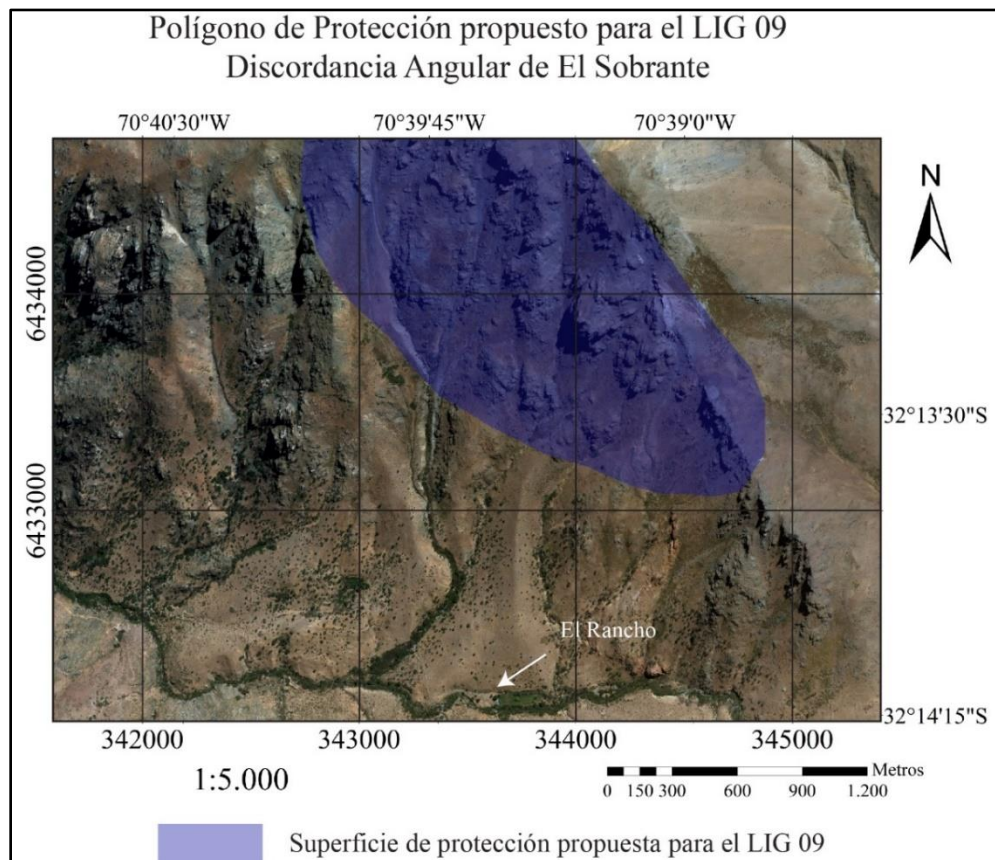


Fig. 14.35 – Polígono de protección propuesto para el LIG Discordancia Angular de El Sobrante, delimitado en color azul.

### Propuesta de estudios científicos

- Levantar la estratigrafía y datar las unidades bajo y sobre la discordancia para certificar que aquel contacto corresponde efectivamente a la discordancia entre las formaciones Las Chilcas y Lo Valle.

### Estudios científicos que incluyen los elementos geológicos

- Jara, P. 2013. Tectónica Meso-Cenozoica en la Cordillera Principal de Chile Central entre 32 y 33 S. Análisis a partir de nuevos antecedentes de campo y modelamiento analógico (Doctoral dissertation, Ph. D. Thesis (Unpublished), Departamento de Geología, Universidad de Chile: 277 p.[Links]).
- Jara, P.; Charrier, R. 2014. Nuevos antecedentes estratigráficos y geocronológicos para el Meso-Cenozoico de la Cordillera Principal de Chile entre 32 y 32 30'S: Implicancias estructurales y paleogeográficas. *Andean geology*, 41(1), 174-209.

Tabla 14.22 – Ficha de caracterización cualitativa del LIG10, Laguna del Sobrante.

LIG10		Laguna del Sobrante	
<b>Datum/Huso</b>	<b>Coordenada Este</b>	<b>Coordenada Sur</b>	<b>Altitud</b>
WGS84/19H	0353664	6436866	2539 m.s.n.m
<b>Propiedad del Terreno</b>	<b>Comuna</b>	<b>Localidad</b>	
Estatal	Petorca	Valle de Las Cruces, Sector Laguna del Sobrante	
<b>Características generales</b>			
<p>El lugar de interés geológico Laguna del Sobrante ha sido seleccionado principalmente en función de su representatividad y singularidad, al ser el único elemento geomorfológico de la zona de estudio que represente los procesos lacustres del Neógeno - Cuaternario. El lugar presenta un interés geomorfológico y permite interpretar los procesos de génesis lacustres a partir del encausamiento por remociones en masa. El LIG se encuentra íntegro y no existen actividades antrópicas directas que lo amenacen, no obstante, el elemento es susceptible a los efectos del cambio climático en una comuna que ha sido declarada zona de catástrofe hídrica.</p>			

## Imagen o esquema



Fig. 14.36 – Laguna de El Sobrante. Vista al W desde el borde occidental de la laguna. Los montículos apreciados a continuación de la laguna corresponden al depósito de la avalancha de roca (fotografía de Vladimir Vicencio).

## Descripción general

El LIG se ubica al este del valle de Las Cruces y su acceso se realiza mediante una caminata de aproximadamente 18 km desde el punto de aparcamiento más cercano. La ruta de acceso parte desde un camino desarrollado para actividades mineras en el valle de El Sobrante y carece de espacio suficiente para aparcar, habiendo espacio para 2 vehículos 4 x 4. A lo largo de la ruta existen dos sectores propicios para acampar, uno lo comprende el sector conocido como El Rancho y el otro Las Cruces, ambos con construcciones utilizadas por arrieros locales, pero sin servicios básicos de higiene.

Desde el valle de Las Cruces, punto de *camping* más próximo, el elemento de interés principal se encuentra a 1 hora de caminata por un sendero poco delimitado. A lo largo de esta ruta no existen zonas de recarga de agua hasta llegar a la laguna.

## Aspectos geológicos relevantes

Emplazado en la unidad morfoestructural de la Cordillera Principal, el elemento de interés principal lo constituye un cuerpo lacustre que posee una superficie aproximada de 60.000 m<sup>2</sup>. Asociado a este elemento de interés, existe en las inmediaciones una avalancha de rocas, interpretada como el elemento geomorfológico que originó la laguna, y a menos de 1 km se ubica un nivel tobaceo guía de la Formación Lo Valle, incluido en este inventario y descrito más adelante.



El elemento de interés principal es la única representación conocida en la zona de estudio de los procesos lacustres del Neógeno – Cuaternario. Presenta un interés primario asociado a la geomorfología, pero posee además un interés limnológico al poseer un potencial para el estudio del cambio climático en una zona de catástrofe hídrica y que corresponde al frente de desertificación.

Asociado al elemento principal, inmediatamente al este, se encuentra un elemento geomorfológico de grandes dimensiones que corresponde a una avalancha de roca, la cual habría encausado los cursos de agua y generado la laguna (Fig. 14.37. A). Aproximadamente a 800 m de la laguna, se puede apreciar un nivel guía de toba lítica rosa blanquecina, el cual puede ser mapeado a escala 1:50.000 y que posee potencial para determinar la edad de los niveles volcánicos basales de la Formación Lo Valle (Fig. 14.37. B y C).

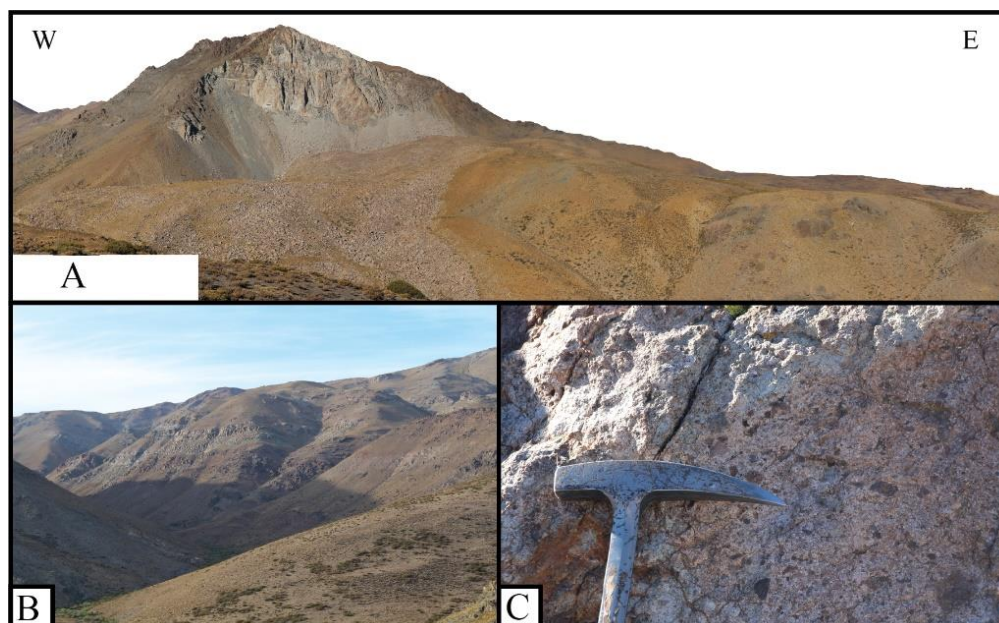


Fig. 14.37 – Elementos de interés geológico asociados al LIG 10, los cuales se ubican a menos de 1 km de distancia. A) Avalancha de roca que encauzó el río de la Quebrada Sepo, generando la Laguna del Sobrante. B y C) Toba Lítica de Las Cruces, LIG 12 representativo de los eventos volcánico de la Formación Lo Valle.

### Aspectos no geológicos relevantes

El elemento de interés posee una relevancia biológica, al albergar especies de patos y ser una fuente de agua para guanacos visibles en el sector (Fig. 14.38).

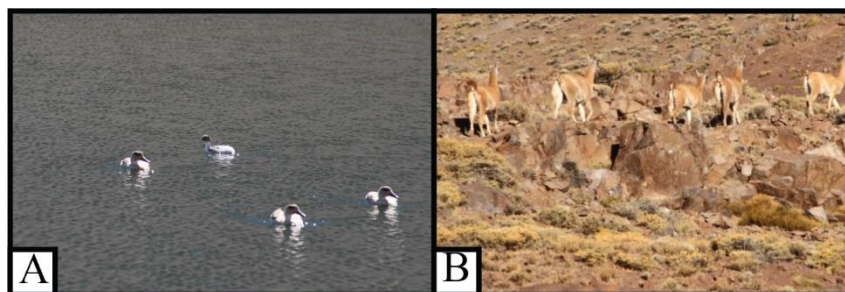


Fig. 14.38 – Elementos de la Biodiversidad asociados al elemento de interés geológico principal.

## Estado de conservación

El LIG se encuentra íntegro y carece de medidas legales de protección. Se encuentra en un predio público, pero el acceso se realiza por los predios de la Sociedad Agrícola y Ganadera de El Sobrante, quien debe otorgar acceso, reduciendo la acción antrópica. La principal amenaza al elemento de interés principal lo constituye el cambio climático debido a que la zona se encuentra en una zona de frente de desertificación.

En la Fig. 14.39, se delimita el polígono de protección propuesto para los LIGs 10, 11 y 12 con el fin de promover la conservación de los lugares de interés geológico en caso de desarrollarse actividades educativas y turísticas que amenacen la integridad de los elementos de interés.

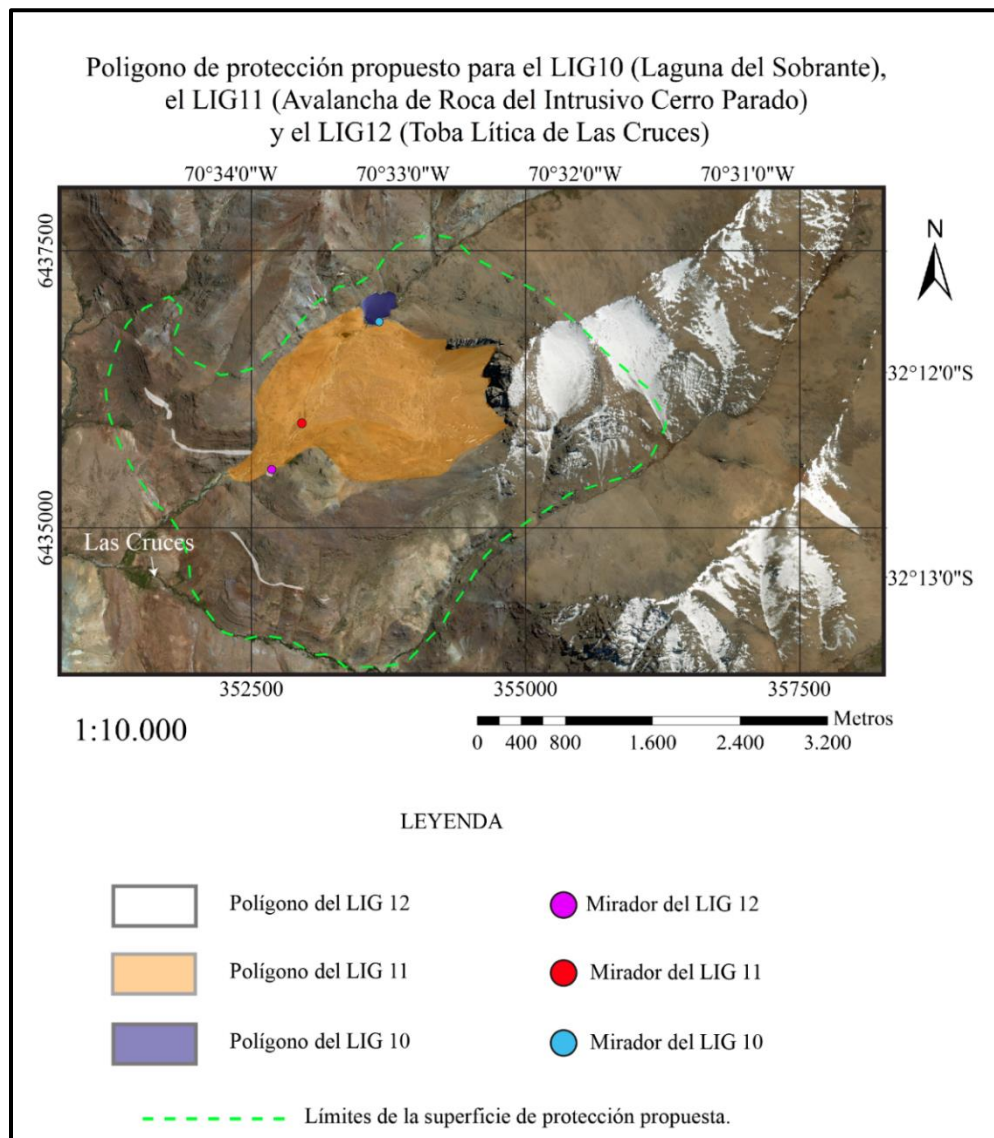


Fig. 14.39 – Polígono de protección propuesto para los LIGs 10, 11 y 12. En la figura se destaca con un polígono naranja la superficie del LIG Avalancha de Roca del Intrusivo Cerro Parado, en azul el LIG Laguna del Sobrante y en blanco el nivel tobaceo guía del LIG Toba Lítica de Las Cruces. Además, se indican los miradores propuestos para apreciar los distintos elementos, los cuales pueden ser visitados a una hora de ascenso desde el campamento de Las Cruces, indicado en el borde inferior izquierdo de la figura.

### Propuesta de estudios científicos

- Estudios limnológicos para identificar el efecto del cambio climático en la zona.
- Identificar la flora y fauna asociada al LIG para comprender el rol de la laguna en la biodiversidad desarrollada en la zona.

Tabla 14.23 – Ficha de caracterización cualitativa del LIG11, Avalancha de Roca del Intrusivo del Cerro Parado.

LIG11		Avalancha de Roca del Intrusivo del Cerro Parado		
<b>Datum/Huso</b>	<b>Coordenada Este</b>	<b>Coordenada Sur</b>	<b>Altitud</b>	
WGS84/19H	0352962	6435946	2429 m.s.n.m	
<b>Propiedad del Terreno</b>	<b>Comuna</b>		<b>Localidad</b>	
Estatal	Petorca		Valle de Las Cruces, Sector Laguna del Sobrante	

### Características generales

Ubicado al este del valle de Las Cruces, la Avalancha de Roca del Intrusivo Cerro Parado corresponde a una singularidad geomorfológica a nivel comunal, siendo la única avalancha de la zona de estudio. Además de representar al contexto geológico local de las remociones en masa del Neógeno – Cuaternario, los bloques rocosos que conforman la avalancha forman parte de la Unidad Intrusiva Río Cerro Blanco, representando así el contexto geológico local del Magmatismo del Neógeno. El LIG se encuentra íntegro, y es una de las remociones en masa mejor preservadas a nivel regional para la evidencia de neotectónica de la Falla Pucuro (Estay, en preparación). Así, la avalancha de roca adquiere un valor científico al ser evidencia del contexto geológico nacional de las Mega-estructuras y neotectónica de Chile, definido por Mourgues *et al.* (2012).

### Imagen o esquema

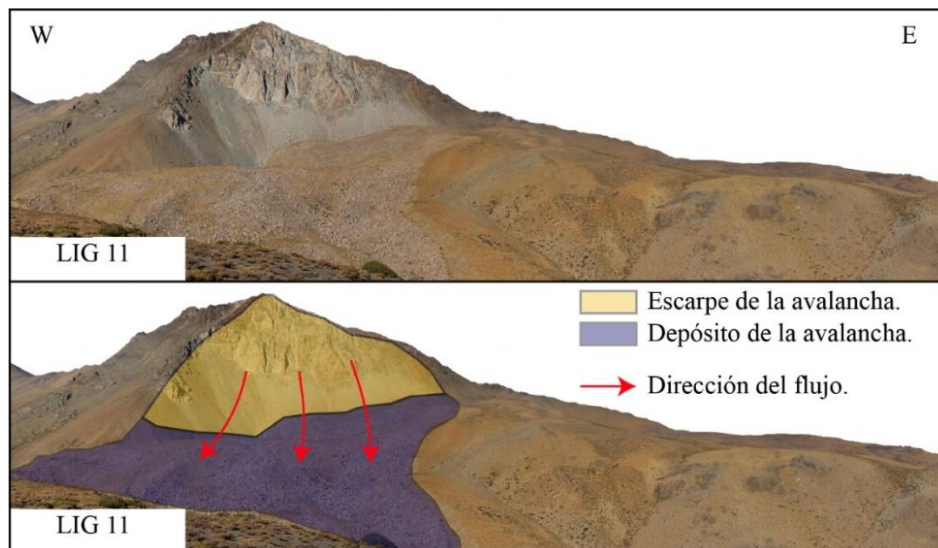


Fig. 14.40 – Avalancha de roca del LIG 11. En la imagen superior se observa el depósito de la remoción junto con su escarpe producido en el intrusivo de la Unidad Río Cerro Blanco. En la imagen inferior se delimita el escarpe de la avalancha, el depósito y se indican las direcciones de flujo que habría seguido el depósito en función de la topografía.

### **Descripción general**

El LIG se ubica al este del valle de Las Cruces y su acceso se realiza mediante una caminata de aproximadamente 17 km desde el punto de aparcamiento más cercano. La ruta de acceso parte desde un camino desarrollado para actividades mineras en el valle de El Sobrante y carece de espacio suficiente para aparcar, habiendo espacio para 2 vehículos 4 x 4. A lo largo de la ruta existen dos sectores propicios para acampar, uno lo comprende el sector conocido como El Rancho y el otro Las Cruces, ambos con construcciones utilizadas por arrieros locales, pero sin servicios básicos de higiene.

Desde el valle de Las Cruces, punto de *camping* más próximo, el elemento de interés principal se encuentra a 45 minutos de caminata por un sendero poco delimitado. A lo largo de esta ruta no existen zonas de recarga.

### **Aspectos geológicos relevantes**

Emplazado en la unidad morfoestructural de la Cordillera Principal, el LIG seleccionado corresponde a un elemento geomorfológico representativo del contexto geológico local de las remociones en masa del Neógeno – Cuaternario.

El elemento principal posee un interés principalmente geomorfológico al representar las características propias de las avalanchas de roca tales como sus grandes dimensiones, la cual en la zona alcanza 3 km<sup>2</sup> de superficie, los bloques angulosos con tamaños de hasta 2-3 m (Fig. 14.41. A y B), los cuales presentan tamaños aún más grandes en zonas cercanas al escarpe (Fig. 14.41. C) y la formación local de levees.

Otro aspecto geológico de relevancia de este elemento de interés lo constituye la petrología de los bloques, los cuales del intrusivo localmente conocido como Cerro Parado. Aquel cerro corresponde al escarpe de 500 m de la remoción, cuyo macizo se compone de tonalitas de hornblendas de la Unidad Intrusiva Río Cerro Blanco (Fig. 14.41. D), siendo representativo del contexto geológico local del magmatismo del Neógeno.



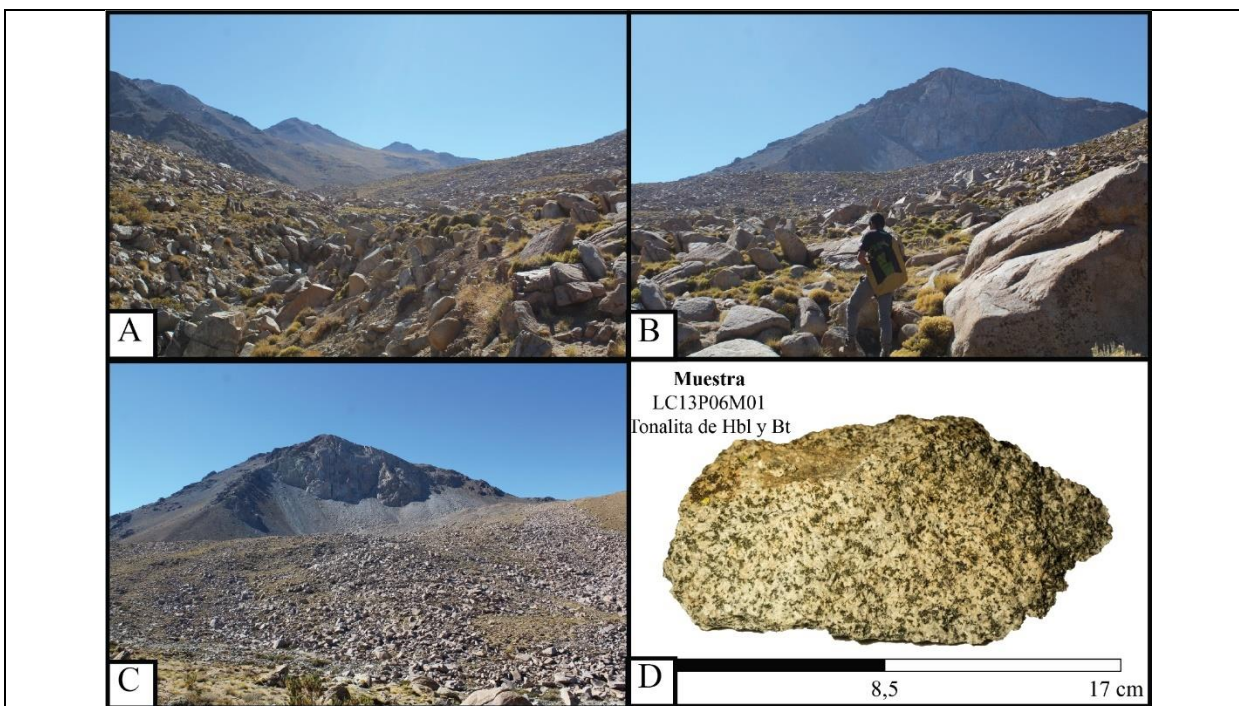


Fig. 14.41 – Características del elemento de interés principal del LIG *Avalancha de Roca del Intrusivo Cerro Parado*. A y B) Bloques característicos del depósito de la remoción, con bloques de tamaños de hasta 2–3 m. C) Escarpe de 500 m de alto y depósito de la avalancha de roca. C) Litología de los bloques de la remoción, pertenecientes a la Unidad Río Cerro Blanco.

Los procesos genéticos del LIG se han asociado a los eventos de neotectónica de la Falla Pocuro (Estay, en preparación), pero se desconoce con certeza la edad en que se formó el depósito y cuantos eventos ocurrieron; se presumen 3 eventos distintos de deslizamientos en base al estudio de imágenes satelitales de este trabajo.

Asociado al elemento principal, se encuentran a menos de 500 m los LIGs Laguna del Sobrante y Toba Lítica de las Cruces, los cuales poseen sus correspondientes fichas en este inventario. La Laguna del Sobrante corresponde a un elemento geomorfológico representativo del contexto geológico de los procesos fluviales y lacustres del Neógeno – Cuaternario, mientras que la Toba Lítica de Las Cruces representa el contexto geológico del arco volcánico del Cretácico Superior, al constituirse de un nivel tobaceo guía de la Formación Lo Valle.

#### Aspectos no geológicos relevantes

El lugar carece de elementos no geológicos de relevancia, pero en sus inmediaciones se encuentra la laguna del Sobrante, la cual desarrolla un núcleo de biodiversidad con distintas especies de patos (Fig. 14.38).

#### Estado de conservación

El LIG se encuentra íntegro, siendo una de las remociones mejor preservadas incluso a nivel regional. La actividad antrópica es prácticamente nula, siendo un agente de degradación poco relevante. En la ruta se aprecian vestigios de estudios geológicos realizados en la zona, y los arrieros locales mencionaron que fue para estudios mineros, lo que eventualmente el desarrollo de actividad minera podría afectar el ecosistema desarrollado en la zona.

El principal agente geológico que podría afectar a la remoción es un nuevo evento. Esto no es una complicación para la interpretación del depósito y el desarrollo de actividades educativas y turísticas en la zona, pero sí supone un problema para determinar la relación entre la neotectónica de la Falla Pocuro y el origen de la avalancha de roca.

La Fig. 14.39 propone un polígono de protección que promueva la gestión integral tanto de los recursos geológicos como no geológicos relativos a la biodiversidad de la laguna del Sobrante.

#### Propuesta de estudios científicos

- Datación mediante isótopos cosmogénicos como  $^{10}\text{Be}$  para determinar la edad de la avalancha de roca.
- Determinar la cantidad de eventos que han dado origen al depósito.
- Analizar y caracterizar la estabilidad del escarpe para determinar el potencial de ocurrencia de una nueva remoción.

Tabla 14.24 – Ficha de caracterización cualitativa del LIG12, Toba Lítica de Las Cruces.

LIG12		Toba Lítica de Las Cruces		
Datum/Huso	Coordenada Este	Coordenada Sur	Altitud	
WGS84/19H	0352684	6435528	2353 m.s.n.m	
Propiedad del Terreno		Comuna	Localidad	
Estatal		Petorca	Valle de Las Cruces, Sector Laguna del Sobrante	
<b>Características generales</b>				
<p>Ubicado al este del valle de Las Cruces, el LIG se constituye de una toba lítica de relevancia estratigráfica al ser un nivel que puede ser mapeado a escala 1:50.000 (Fig. 14.42). El nivel tobaceo forma parte de los depósitos volcánicos de la Formación Lo Valle, siendo representativo del contexto geológico local del arco volcánico del Cretácico Superior. El elemento principal es geológicamente común en esta formación. El LIG se encuentra íntegro y es un buen ejemplo para interpretar procesos volcánicos acaecidos entre fines del Cretácico Superior e inicios del Paleoceno.</p>				

## Imagen o esquema



Fig. 14.42 Afloramiento principal del LIG 12 Toba Lítica de Las Cruces.

## Descripción general

El LIG se ubica al este del valle de Las Cruces y su acceso se realiza mediante una caminata de aproximadamente 17 km desde el punto de aparcamiento más cercano. La ruta de acceso parte desde un camino desarrollado para actividades mineras en el valle de El Sobrante y carece de espacio suficiente para aparcar, habiendo espacio para 2 vehículos 4 x 4. A lo largo de la ruta existen dos sectores propicios para acampar, uno lo comprende el sector conocido como El Rancho y el otro Las Cruces, ambos con construcciones utilizadas por arrieros locales, pero sin servicios básicos de higiene.

Desde el valle de Las Cruces, punto de *camping* más próximo, el elemento de interés principal se encuentra a 30 minutos de caminata por un sendero poco delimitado. A lo largo de esta ruta no existen zonas de recarga de agua.

## Aspectos geológicos relevantes

Emplazado en la unidad morfoestructural de la Cordillera Principal, el LIG posee como elemento de interés principal un nivel de toba lítica que registra el carácter volcánico característico de la Formación Lo Valle, representando el contexto geológico local del arco volcánico del Cretácico Superior.

El elemento principal lo constituye un estrato de toba lítica de color rosa blanquecino con tonalidades púrpura, de 15 a 20 m de espesor, el cual puede ser mapeado a escala 1:50.000 (Fig. 14.43. A y B). Litológicamente corresponde a una toba lítica de color rosa blanquecina con tonos



púrpuras, la cual presenta líticos polimícticos, angulosos y de carácter volcánico, predominando los líticos pumíceos de tamaño ceniza gruesa a lapilli fino (Fig. 14.43. C y D). Esta particular concentración de pómez difiere de otros niveles de tobas reconocidos en el sector, otorgándole a este lugar una relevancia científica importante al ser un nivel estratigráfico potencialmente datable en caso de presentar una alta concentración de circones.

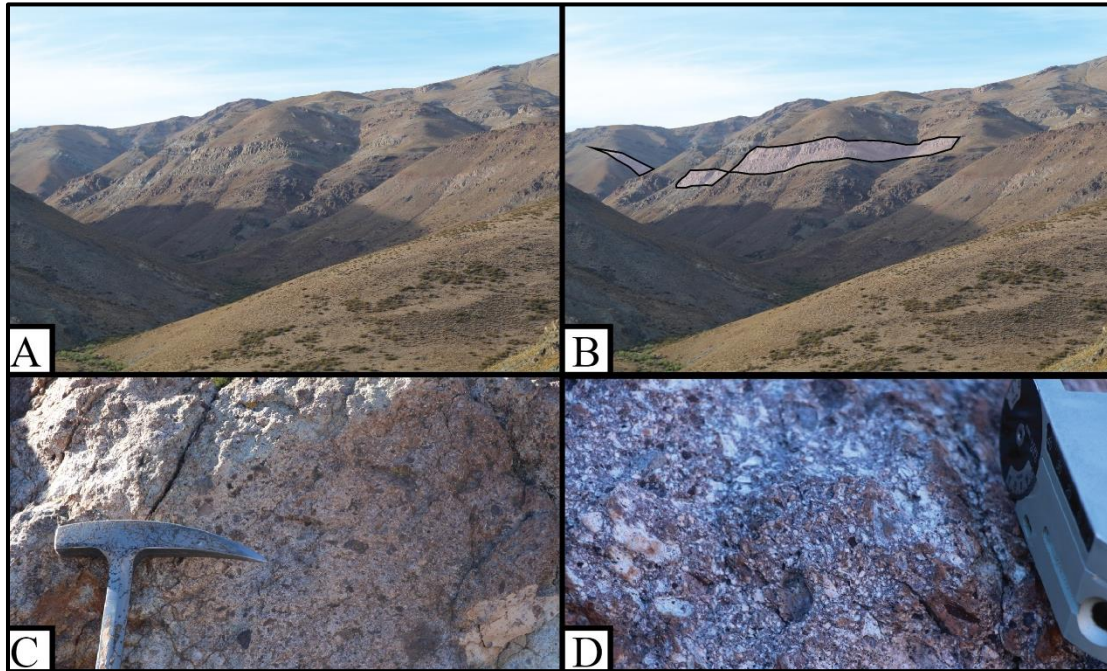


Fig. 14.43 – Afloramientos y litología del LIG Toba Lítica de Las Cruces. A) Nivel guía de toba lítica de pómez, que puede ser mapeada a escala 1:50.000. B) Interpretación del nivel guía de la imagen A. C y D) Litología del nivel de toba lítica rica en pómez.

Asociado al lugar de interés geológico, a menos de 1 km de distancia se encuentra el LIG 10 Laguna del Sobrante, el cual posee una relevancia geomorfológica al ser representativo del contexto local de los procesos fluviales y lacustres del Neógeno – Cuaternario. En las inmediaciones al lugar es posible apreciar la sección frontal del LIG 11 Avalancha de Roca del Intrusivo Cerro Parado, el cual posee un interés geomorfológico y petrológico al representar el contexto de las remociones en masa del Neógeno – Cuaternario y el contexto del magmatismo del Neógeno a partir del estudio de los bloques provenientes de la Unidad Intrusiva Río Cerro Blanco.



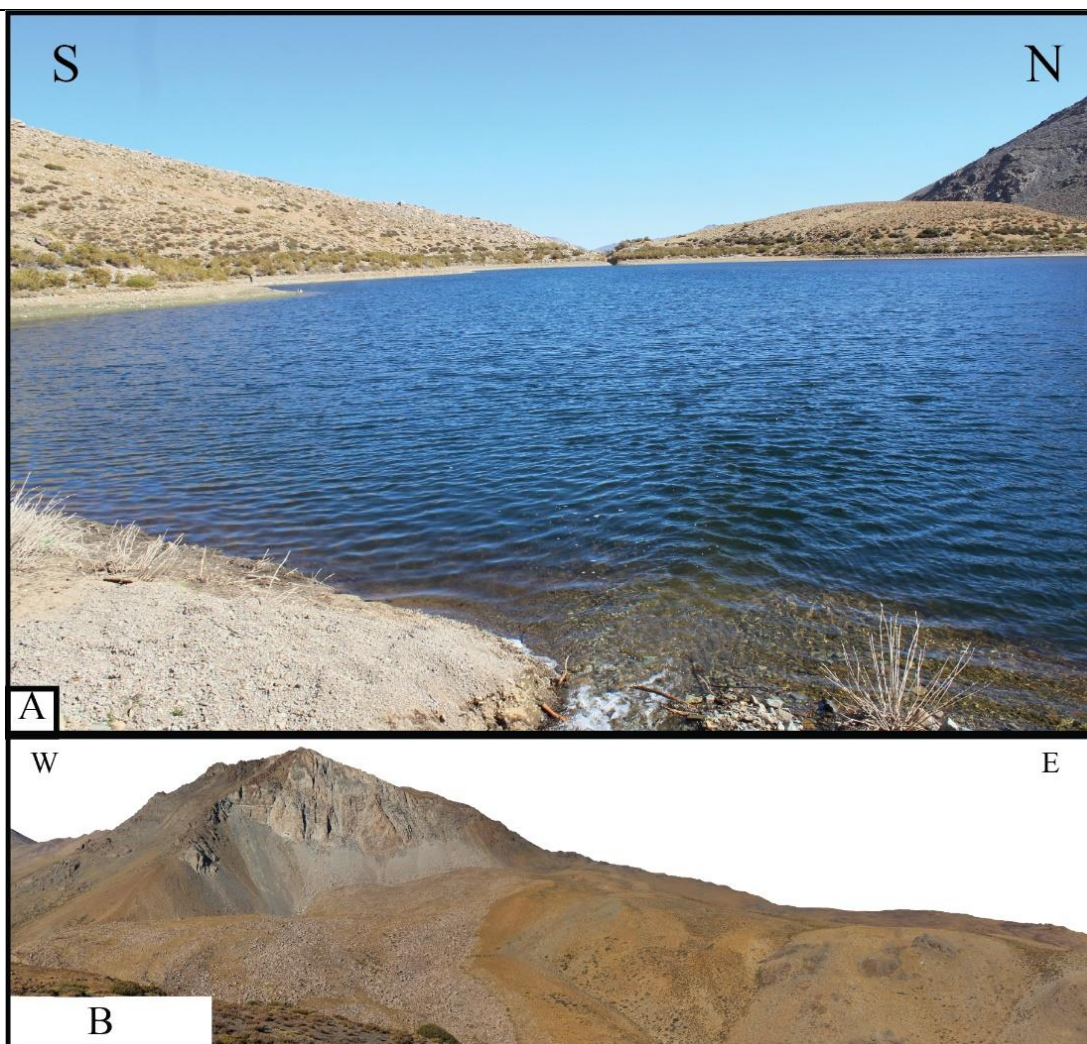


Fig. 14.44 – Elementos geológicos asociados espacialmente al LIG 12. A) LIG Laguna del Sobrante, ubicada a menos de 1 km del lugar de interés. B) LIG Avalancha de Roca del Intrusivo Cerro Parado, apreciable desde el lugar de interés.

#### Aspectos no geológicos relevantes

El lugar carece de elementos de interés no geológicos de relevancia.

#### Estado de conservación

El LIG se encuentra íntegro y carece de medidas legales de protección. La actividad antrópica es prácticamente nula, siendo un agente de degradación poco relevante. Con respecto a la actividad natural, la degradación por agentes de meteorización no ha generado mayor impacto.

El principal agente geológico que podría afectar al LIG lo constituye un nuevo evento de remoción en masa, el cual podría eventualmente cubrir el nivel guía, impidiendo su estudio e interpretación.

La Fig. 14.39 propone un polígono de protección que promueva la gestión integral tanto de los recursos geológicos como no geológicos relativos a la biodiversidad de la laguna del Sobrante.

### Propuesta de estudios científicos

- Determinar el potencial de datación de la toba lítica en base a conteo modal de circones en cortes transparentes. De ser posible, realizar dataciones para determinar la edad del nivel guía con el fin de clarificar si efectivamente forma parte de las secuencias volcánicas del Cretácico Superior.
- Determinar de manera más detallada los ambientes de depositación en base al análisis estratigráfico de facies volcánicas.

### 14.3. Resultados de los Parámetros Específicos para la Evaluación Cuantitativa del VC, PUE, PUT y RD

Tabla 14.25 – Desglose de la valoración cuantitativa del Valor Científico (VC) en función de los parámetros específicos definidos por Brilha (2016).

PARÁMETRO	PUNTAJE PONDERADO PARA LOS LIGs											
	LIG 01	LIG 02	LIG 03	LIG 04	LIG 05	LIG 06	LIG 07	LIG 08	LIG 09	LIG 10	LIG 11	LIG 12
	Valor Científico (VC)											
REPRESENTATIVIDAD	120	60	120	120	60	60	60	120	120	120	120	60
LOCALIDAD TIPO	20	0	20	20	0	0	0	0	20	0	0	0
CONOCIMIENTO CIENTÍFICO	20	0	20	20	0	0	0	0	5	0	0	0
INTEGRIDAD	60	60	60	15	15	60	60	60	60	60	60	60
DIVERSIDAD GEOLÓGICA	20	5	10	5	5	5	5	20	5	20	20	20
SINGULARIDAD	60	0	30	60	30	60	30	30	60	60	60	30
LIMITACIONES DE USO	40	40	40	20	20	40	40	40	20	20	20	20
<b>TOTAL</b>	340	165	300	260	130	225	195	270	290	280	280	190

Tabla 14.26 – Desglose de la valoración cuantitativa del Potencial de Uso Educativo (PUE) en función de los parámetros específicos definidos por Brilha (2016).

PARÁMETRO	PUNTAJE PARA LOS LIGs PROPUESTOS											
	LIG 01	LIG 02	LIG 03	LIG 04	LIG 05	LIG 06	LIG 07	LIG 08	LIG 09	LIG 10	LIG 11	LIG 12
	Potencial de Uso Educativo (PUE)											
VULNERABILIDAD	20	20	30	30	10	30	30	20	40	30	30	30
ACCESIBILIDAD	20	10	10	40	0	0	0	0	0	0	0	0
LIMITACIONES DE USO	20	20	20	10	10	20	20	20	10	10	10	10
SEGURIDAD	20	20	20	20	10	10	10	10	10	10	10	10
LOGÍSTICA	15	20	20	15	15	15	15	15	15	15	15	15
DENSIDAD DE POBLACIÓN	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
ASOCIACIÓN CON OTROS VALORES	20	20	20	15	5	5	5	5	20	5	5	5
ESCENARIO	10	10	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0
SINGULARIDAD	10	5	5	10	5	5	5	5	10	5	5	5
CONDICIONES DE OBSERVACIÓN	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40
POTENCIAL DIDÁCTICO	40	80	80	40	60	80	80	80	80	80	60	40
DIVERSIDAD GEOLÓGICA	40	40	40	30	10	20	20	40	10	40	40	40
<b>TOTAL</b>	260	290	300	255	170	230	230	240	240	240	220	200

Tabla 14.27 – Desglose de la valoración cuantitativa del Potencial de Uso Turístico (PUT) en función de los parámetros específicos definidos por Brilha (2016).

PARÁMETRO	PUNTAJE PARA LOS LIGs PROPUESTOS											
	LIG 01	LIG 02	LIG 03	LIG 04	LIG 05	LIG 06	LIG 07	LIG 08	LIG 09	LIG 10	LIG 11	LIG 12
	Potencial de Uso Turísticos (PUT)											
VULNERABILIDAD	20	20	30	30	10	30	30	20	40	30	30	30
ACCESIBILIDAD	20	10	10	40	0	0	0	0	0	0	0	0
LIMITACIONES DE USO	20	20	20	10	10	20	20	20	10	10	10	10
SEGURIDAD	20	20	20	20	10	10	10	10	10	10	10	10
LOGÍSTICA	15	20	20	15	15	15	15	15	15	15	15	15
DENSIDAD DE POBLACIÓN	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
ASOCIACIÓN CON OTROS VALORES	20	20	20	15	5	5	5	5	20	5	5	5
ESCENARIO	30	30	30	0	0	0	0	0	0	30	0	0
SINGULARIDAD	20	10	10	20	10	10	10	10	20	10	10	10
CONDICIONES DE OBSERVACIÓN	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20
POTENCIAL INTERPRETATIVO	30	40	40	30	30	40	40	30	40	40	40	30
NIVEL ECONÓMICO	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
RECREACIÓN	20	20	20	10	5	10	10	10	15	20	20	20
<b>TOTAL</b>	<b>245</b>	<b>240</b>	<b>250</b>	<b>220</b>	<b>125</b>	<b>170</b>	<b>170</b>	<b>150</b>	<b>200</b>	<b>200</b>	<b>170</b>	<b>160</b>

Tabla 14.28 – Desglose de la valoración cuantitativa del Riesgo de Degradación (RD) en función de los parámetros específicos definidos por Brilha (2016).

PARÁMETRO	PUNTAJE PARA LOS LIGs PROPUESTOS											
	LIG 01	LIG 02	LIG 03	LIG 04	LIG 05	LIG 06	LIG 07	LIG 08	LIG 09	LIG 10	LIG 11	LIG 12
	Riesgo de Degradación (RD)											
DETERIORO DE ELEMENTOS GEOLÓGICOS	140	105	35	140	140	35	35	35	0	140	0	0
ÁREAS/ACTIVIDADES QUE POTENCIALMENTE CAUSAN DEGRADACIÓN	60	40	60	80	80	40	40	20	0	0	0	0
PROTECCIÓN LEGAL	80	80	80	80	60	80	80	80	60	60	60	60
ACCESIBILIDAD	30	15	15	30	15	15	15	15	0	0	0	0
DENSIDAD DE POBLACIÓN	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
<b>TOTAL</b>	<b>320</b>	<b>250</b>	<b>200</b>	<b>340</b>	<b>305</b>	<b>180</b>	<b>180</b>	<b>160</b>	<b>70</b>	<b>210</b>	<b>70</b>	<b>70</b>



#### 14.4. Análisis de los Resultados Cuantitativos para los LIGs seleccionados

<b>LIG 01 – DIQUES DE LAS VENAS DEL DIABLO</b>	
<b>Análisis del VC</b>	El LIG de las Venas del Diablo posee el mayor VC, lo cual radica a las múltiples investigaciones, temas de memorias de título y tesis que existen en el lugar. Además, su singularidad y representatividad en torno a su contexto geológico local del magmatismo del Cretácico Inferior aumentan su VC (Tabla 14.25).
<b>Análisis del PUE y PUT</b>	Con respecto al PUE y PUT, en ambos casos las principales limitantes la constituyen la accesibilidad y logística (Tabla 14.26 y Tabla 14.27) dada su ubicación apartada de zonas rurales pavimentadas y con servicios.
<b>Análisis del RD</b>	El RD del sitio es el segundo más crítico de los seleccionados debido principalmente a los proyectos hídricos licitados que ponen en riesgo la integridad del sitio (Tabla 14.1).
<b>LIG 02 – DIQUE ESCALERA DEL DIABLO</b>	
<b>Análisis del VC</b>	El LIG de la Escalera del Diablo posee un bajo VC (Tabla 7.2) debido a su bajo conocimiento científico y rareza (Tabla 14.25). Dada sus características comunes a nivel regional y nacional, es difícil promover estudios específicos para aumentar el valor científico del elemento principal.
<b>Análisis del PUE y PUT</b>	Con respecto al PUT y PUE, si bien presentan una calificación media (Tabla 7.2), el potencial que poseen es elevado dada su asociación con elementos de interés arqueológicos y de la biodiversidad, permitiendo el desarrollo de programas educativos y turísticos integrales.
<b>Análisis del RD</b>	El RD del LIG refleja una calificación intermedia (Tabla 7.2) principalmente producto de los actuales rayados que afectan el valor estético del lugar. No obstante, aquello no es un impedimento para apreciar los elementos de interés principales y, además, es de simple solución.
<b>LIG 03 – QUEBRADA DE CASTRO</b>	
<b>Análisis del VC</b>	El LIG de la Quebrada de Castro posee una calificación media-alta (Tabla 7.2) la cual no se ve afectada por el conocimiento científico. Para aumentar el VC del lugar es recomendable profundizar estudios para diversificar más la geodiversidad asociada (Tabla 14.25).
<b>Análisis del PUE y PUT</b>	Tanto el PUE como el PUT presentan una calificación intermedia (Tabla 7.2) la cual puede ser mejorada con el desarrollo vías de acceso y elementos de seguridad en la ruta (Tabla 14.3, Tabla 14.26 y Tabla 14.27).
<b>Análisis del RD</b>	El RD presenta una calificación media-alta, la cual puede ser mejorada con medidas de protección legal o estrategias de control de ingreso.
<b>LIG 04 – CALDERA MORRO HEDIONDO</b>	
<b>Análisis del VC</b>	Al igual que el resto de los LIGs de la comuna, el VC de la Caldera Morro Hediondo presenta una disminución de su puntaje al ser un referente científico poco promovido. Uno de los factores que más afectan su puntaje son las actividades mineras que ponen en riesgo la integridad del elemento principal (Tabla 14.25). Dado que el predio es privado, con permiso para la actividad extractiva y sin figuras legales de protección, una buena estrategia de gestión del elemento es encontrar acceso a otros sectores donde aflore para desarrollar medidas de protección y

	aprovechamiento, sobre todo considerando las dimensiones del elemento (Tabla 14.4 y Tabla 14.16).
<b>Análisis del PUE y PUT</b>	El PUE y PUT se ven disminuidos principalmente por su baja espectacularidad visual, razón por lo que no se ha promovido para el desarrollo de actividades educativas y turísticas. Además, carece de singularidad y potencial didáctico destacado (Tabla 14.26 y Tabla 14.27).
<b>Análisis del RD</b>	Producto de la actividad minera desarrollada, su vulnerabilidad es muy elevada. La falta de relación con elementos patrimoniales de índole no geológicas dificulta la promoción de figuras de protección legal tales como los Santuarios de la Naturaleza.
<b>LIG 05 – MINA DE PEDERNALITA</b>	
<b>Análisis del VC</b>	De todos los LIGs identificados, la Mina de Pedernalita es la que posee las peores calificaciones (Tabla 7.2) debido a su bajo conocimiento científico, la inexistente relación con otros elementos geológicos, arqueológicos o biológicos de interés que hace que el lugar posea el menor VC (Tabla 14.25).
<b>Análisis del PUE y PUT</b>	Con respecto al PUE y PUT también presenta los menores valores, lo que se relaciona directamente a las características logísticas, ya que se encuentra muy alejado de zonas de servicios, en zonas con mala accesibilidad y su baja promoción para actividades turísticas y educativas (Tabla 14.26 y Tabla 14.27).
<b>Análisis del RD</b>	Su aspecto más crítico lo representa su riesgo de degradación, considerando que es actualmente utilizado para extracción de materias primas, trabajadas para la artesanía local (Tabla 14.5).  Una alternativa para este lugar de interés es la zona de alteración ubicada en el sector de Calle Larga, la cual presenta características similares y permitiendo interpretar los mismos procesos genéticos. El lugar posee la ventaja de ser más accesible y sin actividades que afecten su integridad (Tabla 14.17 y Tabla 14.28).
<b>LIG 06 – BRECHAS VOLCÁNICAS DE PEDERNAL</b>	
<b>Análisis del VC</b>	El LIG de las Brechas Volcánicas de Pedernal poseen un valor científico medio (Tabla 7.2), el cual se ve disminuido principalmente por su poco conocimiento y por no ser utilizado para fines científicos (Tabla 14.25).
<b>Análisis del PUE y PUT</b>	Con respecto al PUE y PUT, las condiciones de accesibilidad, logística, seguridad y espectacularidad son los principales factores que afectan su potencial de uso (Tabla 14.26 y Tabla 14.27).
<b>Análisis del RD</b>	Una ventaja es que el LIG no se encuentra muy vulnerable y la silicificación que presenta la preservan de algunos agentes de degradación naturales (Tabla 14.6 y Tabla 14.28).
<b>LIG 07 – CONGLOMERADOS ROJOS DE PEDERNAL</b>	
<b>Análisis del VC</b>	Al igual que el LIG06, los Conglomerados Rojos de Pedernal carecen de un conocimiento científico destacado y no son utilizados para fines científicos, disminuyendo su VC (Tabla 7.2 y Tabla 14.25).
<b>Análisis del PUE y PUT</b>	Los puntajes para el PUE y PUT se ven disminuidos por la baja accesibilidad, espectacularidad, logística y seguridad (Tabla 14.26 y Tabla 14.27).

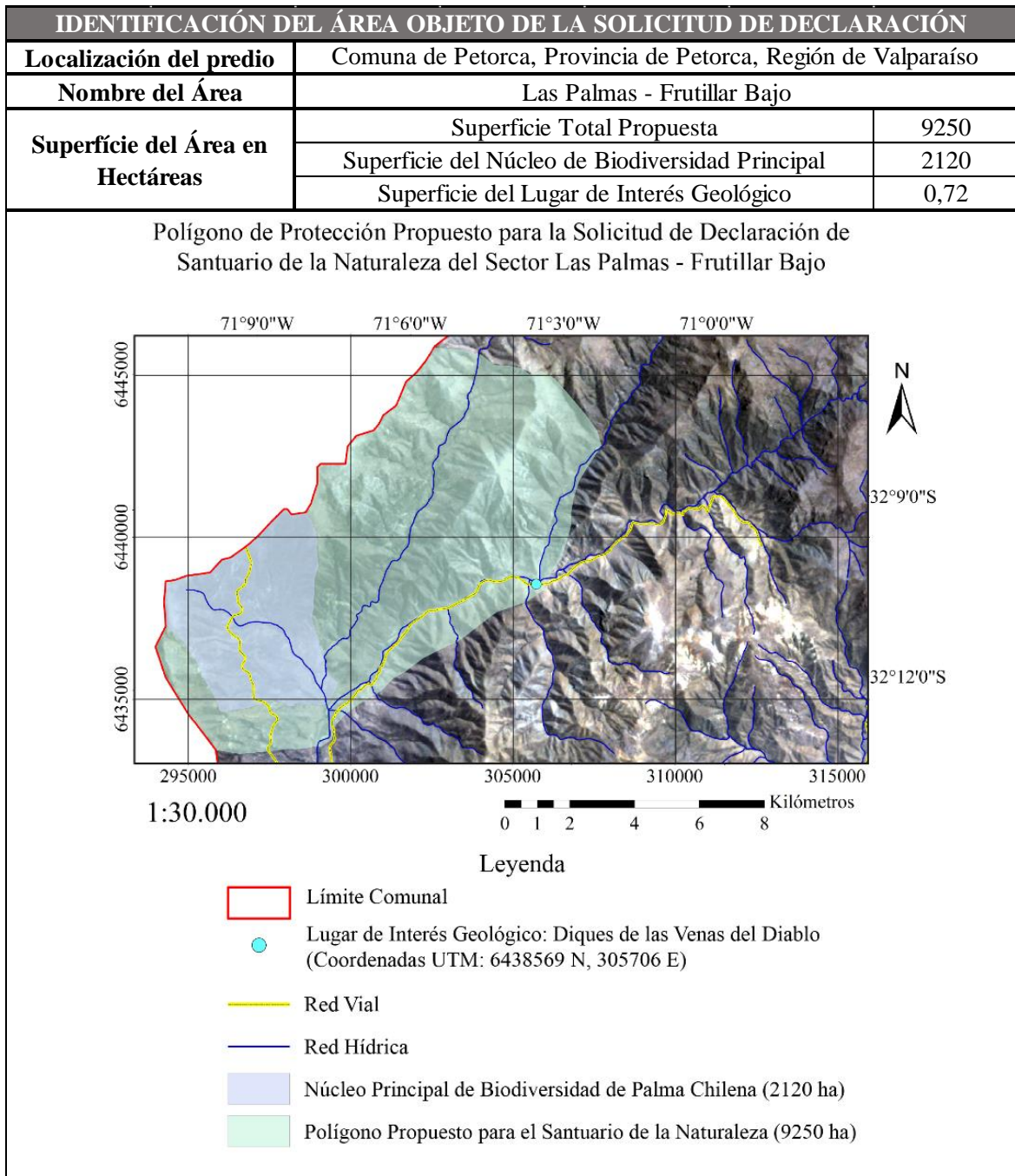
<b>Análisis del RD</b>	El RD presenta una buena calificación dado que se encuentran íntegros y no poseen agentes, tanto antrópicos como naturales, que puedan alterarlos (Tabla 14.28).
<b>LIG 08 – SECUENCIAS SEDIMENTARIAS DE EL SOBRANTE</b>	
<b>Análisis del VC</b>	Las Secuencias Sedimentarias de El Sobrante son una buena representación de procesos sedimentarios acaecidos durante el Cretácico Superior, y son los que se encuentran mejor preservados en la zona (Tabla 14.20). Aquello aumenta el VC del LIG, por lo que para aumentar su valor se deben seguir realizando estudios científicos, promoviéndose el lugar como un lugar representativo (Tabla 14.25).
<b>Análisis del PUE y PUT</b>	El PUE y PUT presentan la complicación de poseer una accesibilidad reducida, no ser muy escaso y no ser un lugar educativo y/o turístico actualmente utilizado (Tabla 14.26 y Tabla 14.27).
<b>Análisis del RD</b>	El RD del sitio refleja que este no se encuentra vulnerable, lo que se debe principalmente a la baja vulnerabilidad y que no existen actividades antrópicas que afecten su integridad (Tabla 14.28).
<b>LIG 09 – DISCORDANCIA ANGULAR DE EL SOBRANTE</b>	
<b>Análisis del VC</b>	La Discordancia Angular de El Sobrante corresponde al sitio más representativo del límite entre las formaciones Las Chilcas y Lo Valle. Aquello la ha hecho objeto de estudios otorgándole una relevancia científica, aumentando su VC (Tabla 14.9 y Tabla 14.25). El aumento del valor del LIG requiere un estudio exhaustivo para encontrar asociación con otros elementos de interés geológico, aumentando la geodiversidad.
<b>Análisis del PUE y PUT</b>	El PUE y PUT se ve disminuido por su baja accesibilidad dado que sólo se puede llegar al LIG realizando senderismo, reduciendo el público objetivo a quienes busquen aquel tipo de experiencia (Tabla 14.26 y Tabla 14.27).
<b>Análisis del RD</b>	Comparativamente, el lugar es uno de los que presenta la menor vulnerabilidad lo que responde a sus dimensiones, accesibilidad y que no posee agentes antrópicos que degraden el elemento principal (Tabla 14.28).
<b>LIG 10 – LAGUNA DE EL SOBRANTE</b>	
<b>Análisis del VC</b>	Los criterios que más contribuyen al valor científico del LIG10 lo constituyen su representatividad y singularidad, al ser el único cuerpo de agua de estas características que se conoce en la zona de estudio. El bajo conocimiento científico en torno al elemento de interés reduce su valor, no obstante, aquello puede interpretarse como una oportunidad, sobre todo al ser un sector relevante para estudios sobre el impacto del cambio climático en la zona de Chile Central.
<b>Análisis del PUE y PUT</b>	Tanto el PUE como el PUT del sitio registran un valor medio a medio-bajo, lo que radica principalmente en la baja accesibilidad y cuyo acceso depende de los permisos pertinentes de la Sociedad Agrícola y Ganadera de El Sobrante.
<b>Análisis del RD</b>	Con respecto al RD, se observa que este posee un nivel medio, pese a que los elementos espacialmente asociados (LIG11 y LIG12) poseen un bajo riesgo de degradación. Lo anterior radica principalmente en que este LIG, al ser un cuerpo de agua en una zona con clima semi árido es más susceptible a los efectos del cambio climático.
<b>LIG 11 – AVALANCHA DE ROCA DEL INTRUSIVO CERRO PARADO</b>	

<b>Análisis del VC</b>	Al igual que el LIG10, este sitio de interés posee un bajo conocimiento científico que reduce su valor, siendo el principal factor que reduce su VC. Dado que el elemento principal es la única avalancha de roca reconocida en la zona de estudio, su representatividad acerca de los procesos de remociones en masa de grandes dimensiones es muy elevado, adquiriendo el máximo puntaje en este criterio.
<b>Análisis del PUE y PUT</b>	El PUE y el PUT del lugar registran un valor bajo, lo que radica principalmente en la baja accesibilidad, cuyo acceso depende de los permisos pertinentes de la Sociedad Agrícola y Ganadera de El Sobrante, y a que no son sectores educativa o turísticamente reconocidos.
<b>Análisis del RD</b>	Con respecto al RD, se observa que este posee un valor bajo, encontrándose poco vulnerable.
<b>LIG 12 – TOBA LÍTICA DE LAS CRUCES</b>	
<b>Análisis del VC</b>	El VC del LIG12 es bajo, principalmente debido a que no es un elemento singular ni el más representativo del contexto geológico representado. Además, el LIG carece de estudios científicos pese a ser un buen nivel guía para estudios estratigráficos en la zona. La alta diversidad geológica del sector y su relación con otros lugares de interés geológicos, aumentan considerablemente su valor.
<b>Análisis del PUE y PUT</b>	Al igual que el PUE y PUT del LIG11, el sitio registra un valor bajo producto de la baja accesibilidad y a que no son sectores educativa o turísticamente reconocidos.
<b>Análisis del RD</b>	Con respecto al RD, se observa que este posee un nivel bajo, siendo un lugar poco vulnerable.



## 14.5. Ficha de Justificación para la Solicitud de Declaración de Santuario de la Naturaleza del LIG 01, Diques de las Venas del Diablo

Tabla 14.29 – Ficha de Justificación para la Solicitud de Declaración de Santuario de la Naturaleza del LIG 01, Diques de las Venas del Diablo. La ficha incluye las secciones de identificación, antecedentes de justificación y descripción del área propuesta.



## ANTECEDENTES DE JUSTIFICACIÓN PARA LA POSTULACIÓN A SANTUARIO DE LA NATURALEZA

La superficie propuesta para la declaración de Santuario de la Naturaleza se enmarca en un contexto biológico singular a nivel regional y nacional, donde predominan las Palmas Chilenas (*Jubaea chilensis*), especie endémica protegida y considerada "vulnerable" en la Lista de Especies Amenazadas de la UICN (González, 1998). Este palmar corresponde al núcleo de biodiversidad de palma chilena más septentrional del país y su área fue declarada Sitio Prioritario para la Conservación de la Biodiversidad a nivel nacional (Muñoz *et al.*, 1996).

Youlton *et al.* (2016) realizaron estudios en la cabecera del estero Las Palmas (comuna de Petorca, Región de Valparaíso) e identificaron 1300 individuos de palmas (Fig. 14.45. A y B) en una superficie de 2400 ha. En el estudio se identificó una zona con caminos desarrollados para la actividad minera, los cuales se encuentran consumiendo las plántulas, modificando la composición y densidad del matorral e impidiendo la renovación del palmar (Youlton *et al.*, 2016). De esta manera, la modificación y reducción del hábitat por actividad agrícola de paltos (Fig. 14.45. C) amenaza la conservación de la especie (Youlton *et al.*, 2016).

Aspectos de la Biodiversidad Relevantes

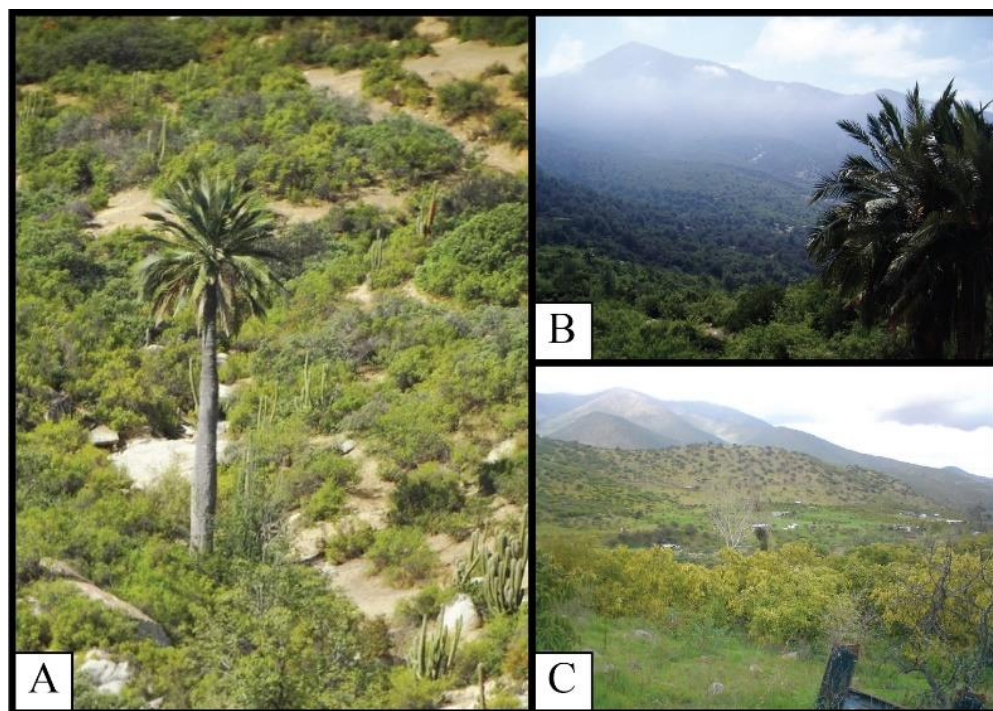


Fig. 14.45 – Núcleo de biodiversidad principal de Palma Chilena, ubicado en el sector de Las Palmas. A y B) Individuos de *Jubaea chilensis*, especie nacional protegida y considerada vulnerable por la UICN. C) Zona agrícola de paltos, ubicado en las zonas bajas del núcleo de biodiversidad y que se ha identificado como uno de los elementos de amenaza para la conservación de la especie (Youlton *et al.*, 2016).

Aspectos Geológicos Relevantes

Dentro del polígono propuesto se encuentra un lugar de interés geológico (LIG) que representa el contexto geológico local del magmatismo del Cretácico Inferior. El lugar presenta un valor científico al presentar un singular enjambre de diques máficos *syn-* y *post-*plutónicos (Fig. 14.46) que intruyen el cuerpo leucocrático del Complejo Plutónico Illapel (CPI). El interés geológico por estos elementos ha impulsado diversos estudios (Morata *et al.*,

2010; Hidalgo, 2011; Ferrando, 2014; entre otros), e incluso fue el lugar en que se determinó la edad radiométrica de la Unidad Tonalítica Principal del CPI. De esta manera, el LIG posee una relevancia científica a nivel regional y nacional al ser una singularidad dentro del cuerpo de dimensiones batolíticas.



Fig. 14.46 –Diques máficos intruyendo el cuerpo leucocrático de la Unidad Tonalítica Principal del Complejo Plutónico Illapel.

<b>DESCRIPCIÓN DEL ÁREA PROPUESTA</b>		
<b>Caracterización Geográfica</b>	El área se emplaza en la unidad morfoestructural de la Cordillera de la Costa, y su geomorfología y clima definen el núcleo de biodiversidad de palma chilena como principal flora endémica protegida. La geología del sector se desarrolla en el Complejo Plutónico Illapel, el cual ha sido estudiado en el sector de Frutillar Bajo dadas sus singulares características que difieren de otros sectores.	
<b>Valor Ecológico del Área</b>	El principal valor ecológico del área lo constituye la especie endémica <i>Jubaea chilensis</i> , la cual se encuentra protegida a nivel nacional y es considerada vulnerable por la UICN.	
<b>Valores Complementarios Asociados</b>	Natural	Asociado al palmar, se encuentra el lugar de interés geológico denominado Diques de las Venas del Diablo, el cual representa los procesos magmáticos del Cretácico Inferior y ha sido estudiado por sus singulares características.
	Turístico	Actualmente en la comuna de Petorca se encuentra en desarrollo el proyecto de Geoparque Valle de Petorca, el cual busca impulsar el desarrollo económico local sostenible en base al turismo de intereses especiales, haciendo relevante la conservación de esta superficie.



<b>Objetos de Conservación</b>	Biológicos	Se propone como elementos biológicos de conservación los 1300 individuos de palma chilena reconocidos por Youlton <i>et al.</i> (2016).
	Geológicos	Se propone como elementos geológicos por conservar el Lugar de Interés Geológico Diques de las Venas del Diablo, debido a sus características petrológicas que le otorgan un alto valor científico y que, en la zona de estudio, son una singularidad dentro del contexto geológico local del Magmatismo del Cretácico Inferior
<b>Estado Actual de Conservación y Amenazas sobre el Área Propuesta</b>	Actualmente el área propuesta carece de medidas legales de protección pese a la presencia de palmas chilenas. Diversas zonas del sector están siendo utilizadas para la agricultura de paltos, afectando la integridad del núcleo de biodiversidad. Adicionalmente, debido a la escases hídrica que ha presentado la comuna en los últimos años, se encuentra licitado un proyecto de embalse hídrico en el sector de Las Palmas, cuya infraestructura amenaza la integridad del palmar y los Diques de las Venas del Diablo.	
<b>Zonificación del Plan Regulador Territorial</b>	La comuna carece de un plan regulador, pero este se encuentra en desarrollo por el Ministerio de Vivienda y Urbanismo.	