

**PATRIMONIO GEOLÓGICO DE LA CUENCA DEL RÍO TENO (35°S-  
35°26'S): EVALUACIÓN DE LUGARES DE INTERÉS GEOLÓGICO  
PARA SU GESTIÓN EN EL GEOPARQUE PILLANMAPU**

---

**MEMORIA ENTREGADA A LA UNIVERSIDAD MAYOR EN CUMPLIMIENTO  
DE LOS REQUISITOS PARA OPTAR AL TÍTULO DE GEÓLOGO**

**MAXIMILIANO FIGUEROA LIRA**

**PROFESOR GUÍA**

**RODRIGO PÉREZ GARAY**

**PROFESOR CO-GUÍA**

**RAÚL UGALDE PERALTA**

**MIEMBRO DE LA COMISIÓN:**

**PAULINA ARELLANO CORTÉS**

**SANTIAGO, CHILE**

**FEBRERO, 2022**

**RESUMEN DE LA MEMORIA PARA OPTAR AL TÍTULO DE:** Geólogo  
**POR:** Maximiliano José Figueroa Lira  
**FECHA:** 04/02/2022  
**PROFESORA GUÍA:** Rodrigo Pérez Garay

**PATRIMONIO GEOLÓGICO DE LA CUENCA DEL RÍO TENO (35°S-35°26'S):  
EVALUACIÓN DE LUGARES DE INTERÉS GEOLÓGICO PARA SU GESTIÓN  
EN EL GEOPARQUE PILLANMAPU**

El proyecto Geoparque Pillanmapu busca fomentar el desarrollo local sostenible mediante la gestión del patrimonio geológico presente en la cordillera de la región del Maule, involucrando a las comunidades locales, para esto es esencial conocer qué es lo que hay, cómo es y cuánto valor tiene. La realización de un inventario es el primer paso para gestionar el patrimonio. El presente trabajo tiene como objetivo generar propuestas de manejo patrimonial mediante el inventario y evaluación de Lugares de Interés Geológico (LIG). Este es el primer estudio en el sector precordillerano y cordillerano de la cuenca del Río Teno que se enmarca en contextos geológicos locales. Esto permite desarrollar un relato de la evolución geológica, siendo un factor importante para desarrollar propuestas de acción vinculadas al geoturismo que involucren a los actores locales.

Para gestionar patrimonio primero se identificaron propuestas de LIG, las que se evaluaron mediante el uso de la metodología cuantitativa de Brilha (2016). Esta consiste en asignar valores numéricos a cada sitio según los criterios de Valor Científico (VC), Potencial de Uso Educativo (PUE), Potencial de Uso Turístico (PUT) y Riesgo de Degradación (RD). Como resultado se identificaron 31 propuestas de LIG y 8 de ellas se seleccionaron para representar a un contexto geológico local en particular.

Es esencial apuntar desde un inicio a la geoconservación utilizando las herramientas legales, una vez se cuenta con esto es que se puede trabajar en acciones referidas a la utilización del patrimonio para el beneficio de la sociedad, con acciones de investigación, didáctica, divulgación y turismo. La comuna de Romeral cuenta con un valor geológico importante, y su potencial de aprovechamiento es vasto y variado, con una correcta gestión tiene la capacidad de convertirse en unos de los puntos geoturísticos principales de la región, y en una importante fuente de información para la educación.

SOLO USO ACADÉMICO

*“La libertad, al fin y al cabo, no es sino la capacidad de vivir con las consecuencias de nuestras propias decisiones”*

## ÍNDICE GENERAL

INDICE DE FIGURAS .....	vii
INDICE DE TABLAS .....	viii
1. INTRODUCCIÓN .....	1
1.1. Formulación del Problema.....	1
1.2. Hipótesis del 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. Metodología de Trabajo.....	4
1.5.1. Trabajo de gabinete previo a la salida de campo.....	4
1.5.2. Trabajo de salida de campo .....	4
1.5.3. Trabajo de gabinete posterior a la salida de campo.....	6
2. MARCO TEÓRICO.....	20
2.1. Marco Conceptual.....	20
2.1.1. Patrimonio Geológico.....	20
2.1.2. Lugares de Interés Geológico y Geositios.....	21
2.1.3. Geoconservación .....	23
2.1.4. Geoturismo y Educación .....	24
2.1.5. Red de geoparques de la UNESCO .....	24
2.1.6. Estado del arte en Chile.....	25
2.2. Inventario y Evaluación de Lugares de Interés Geológico .....	26
3. MARCO GEOLÓGICO.....	29
3.1. Antecedentes Generales .....	29
3.2. Marco Estratigráfico .....	30
3.2.1. Unidades Estratificadas .....	30
3.2.2. Unidades Intrusivas .....	36
3.2.3. Unidades No Consolidadas.....	37
3.3. Marco Tectónico .....	38

3.3.1.	Unidades Morfoestructurales.....	38
3.3.2.	Estructuras .....	39
3.4.	Marco de Evolución Tectono-Estratigráfica.....	42
3.4.1.	Ciclo tectónico Andino en el área de estudio (~35°S).....	44
4.	MARCO PALEONTOLÓGICO.....	48
4.1.	Nacientes del Teno.....	48
4.2.	Baños del Flaco.....	49
4.3.	Abanico.....	49
5.	DEFINICIÓN DE CONTEXTOS GEOLÓGICOS LOCALES PARA LA CARACTERIZACIÓN DEL PATRIMONIO GEOLÓGICO NACIONAL.....	50
6.	INVENTARIO Y VALORACIÓN DE LOS LUGARES DE INTERÉS GEOLÓGICO PROPUESTOS.....	53
6.1.	Selección y caracterización de Lugares de Interés Geológico.....	53
6.1.1.	Listado y Distribución de los Lugares de Interés Geológico identificados....	53
6.1.2.	Definición de los Lugares de Interés Geológico seleccionados .....	56
6.2.	Valoración de los LIGs Seleccionados .....	66
7.	DISCUSIONES.....	67
7.1.	Selección LIG .....	67
7.2.	Análisis de Índices .....	67
7.3.	Metodología.....	68
7.4.	Patrimonio geológico.....	69
7.5.	Comparación con otros ejemplos.....	69
8.	EVOLUCIÓN PALEOGEOGRÁFICA Y GENÉTICA.....	71
8.1.	Mesozoico.....	71
8.1.1.	Jurásico Superior .....	71
8.1.2.	Cretácico Superior .....	71
8.2.	Cenozoico .....	72
8.2.1.	Eoceno – Oligoceno.....	72
8.2.2.	Oligoceno – Plioceno .....	72
8.2.3.	Pleistoceno – Holoceno .....	73
9.	GESTIÓN.....	74
9.1.	Propuestas generales .....	74
9.2.	Propuestas particulares .....	74

9.2.1.	LIG 01 Nivel fosilífero de Nacientes del Teno .....	75
9.2.2.	LIG 02 Río Damas.....	75
9.2.3.	LIG 03 Lagunas de Teno .....	76
9.2.4.	LIG 04 Formación Abanico.....	77
9.2.5.	LIG 05 Intrusivos de Infernillo.....	77
9.2.6.	LIG 06 Mirador Falla El Baule.....	78
9.2.7.	LIG 07 Cráter del Volcán Peteroa .....	79
9.2.8.	LIG 08 Mirador Santa Rita.....	80
9.3.	Rutas .....	81
9.3.1.	Ruta 1.....	81
9.3.2.	Ruta 2.....	83
10.	CONCLUSIONES.....	85
10.1.	Respecto al patrimonio geológico.....	85
10.2.	Respecto a la metodología .....	85
10.3.	Recomendaciones .....	86
11.	BIBLIOGRAFÍA.....	87
12.	ANEXO A: METODOLOGÍA.....	97
13.	ANEXO B: FICHAS DE INVENTARIO DE LOS LIG.....	104

## INDICE DE FIGURAS

Figura 1: Ruta principal de acceso al área de estudio.....	3
Figura 2: Marco conceptual de geodiversidad.....	21
Figura 3: Mapa geológico escala 1:400.000.....	29
Figura 4: Columna estratigráfica esquemática de las unidades estratificadas.....	30
Figura 5: Distribución de dataciones radiométricas reportadas para el área de estudio.....	37
Figura 6: Disposición de las principales unidades morfoestructurales. ....	39
Figura 7: Principales estructuras presentes en el área de estudio. ....	40
Figura 8: Ciclos tectónicos, orogenias y eventos en la evolución.....	44
Figura 9: Evolución geológica y paleogeográfica. ....	46
Figura 10: Especies de ammonite.....	48
Figura 11: Distribución de los 10 Contextos Geológicos Locales .....	52
Figura 12 : Distribución de los Lugares de Interés Geológico .....	57
Figura 13: Lugar de interés geológico “Nivel Fosilífero de Nacientes del Teno”. ....	58
Figura 14: Lugar de interés geológico “Río Damas” .....	59
Figura 15: Lugar de interés geológico “Lagunas de Teno” .....	60
Figura 16: Lugar de interés geológico “Formación Abanico” .....	61
Figura 17: Lugar de interés geológico “Intrusivos de Infernillo” .....	62
Figura 18: Lugar de interés geológico “Mirador Falla El Baule” .....	63
Figura 19: Lugar de interés geológico “Cráter del Volcán Peteroa” .....	64
Figura 20: Lugar de interés geológico “Mirador Santa Rita” .....	65
Figura 22: Propuesta de ruta 1 .....	81
Figura 23: Propuesta de ruta 2.....	82
Figura 24: Propuesta de ruta 3.....	83

## INDICE DE TABLAS

Tabla 1: Ficha de caracterización en terreno propuesta por Pérez (2018).....	5
Tabla 2: Descripción de los criterios de evaluación del valor científico.....	7
Tabla 3: Asignación de los puntajes para los criterios de cuantificación.....	8
Tabla 4: Descripción de los criterios generales para la evaluación del PUE y el PUT.....	10
Tabla 5: Descripción de los criterios específicos para la evaluación del PUE y el PUT.....	10
Tabla 6: Asignación de los puntajes para los criterios comunes de.....	11
Tabla 7: Asignación de los puntajes para los criterios específicos de cuantificación.....	13
Tabla 8: Descripción de los criterios de evaluación del riesgo de degradación.....	15
Tabla 9: Asignación de los puntajes para los criterios de cuantificación.....	15
Tabla 10: Ponderación de los criterios utilizados para cuantificar el valor científico.....	16
Tabla 11: Ponderación de los criterios utilizados para cuantificar el PUE y el PUT.....	17
Tabla 12: Ponderación de los criterios utilizados para cuantificar el riesgo de degr.....	18
Tabla 13: Calificación del VC, PUE, PUT, RD en función del puntaje obtenido.....	18
Tabla 14: Cuadro comparativo de ventajas y desventajas.....	27
Tabla 15: Definición de los 10 contextos geológicos locales.....	50
Tabla 16: Listado y distribución de los lugares de interés geológico.....	54
Tabla 17: Resultado de la evaluación cuantitativa.....	66
Tabla 18: Valoración de VC, PUE, PUT y RD del LIG 01.....	75
Tabla 19: Valoración de VC, PUE, PUT y RD del LIG 02.....	76
Tabla 20: Valoración de VC, PUE, PUT y RD del LIG 03.....	77
Tabla 21: Valoración de VC, PUE, PUT y RD del LIG 04.....	77
Tabla 22: Valoración de VC, PUE, PUT y RD del LIG 05.....	78
Tabla 23: Valoración de VC, PUE, PUT y RD del LIG 06.....	79
Tabla 24: Valoración de VC, PUE, PUT y RD del LIG 07.....	79
Tabla 25: Valoración de VC, PUE, PUT y RD del LIG 08.....	80
Tabla 26: Ficha de descripción cualitativa extendida propuesta por Pérez (2018).....	97
Tabla 27: Asignación de puntajes de Valor Científico (VC).....	98
Tabla 28: Asignación de puntajes de Potencial de Uso Educativo (PUE).....	99
Tabla 29: Asignación de puntajes de Potencial de Uso Turístico (PUT).....	101
Tabla 30: Asignación de puntajes de Riesgo de Degradación (RD).....	103
Tabla 31: Ficha cualitativa extendida para el LIG 01 Nivel.....	104
Tabla 32: Ficha cualitativa extendida para el LIG 02 Río Damas.....	105
Tabla 33: Ficha cualitativa extendida para el LIG 03 Mirador Lagunas de Teno.....	107
Tabla 34: Ficha cualitativa extendida para el LIG 04 Formación Abanico.....	112
Tabla 35: Ficha cualitativa extendida para el LIG 05 Intrusivos de Infernillo.....	115
Tabla 36: Ficha cualitativa extendida para el LIG 06 Mirador Falla El Baule.....	119
Tabla 37: Ficha cualitativa extendida para el LIG 07 Cráter del Volcán Peteroa.....	121
Tabla 38: Ficha cualitativa extendida para el LIG 08 Mirador Santa Rita.....	126

# 1. INTRODUCCIÓN

## 1.1. Formulación del Problema

Debido a su diversidad geográfica, Chile posee un patrimonio natural con gran potencial de desarrollo, lo que ha generado el aumento en el Turismo de Intereses Especiales (TIE) durante los últimos años. Según el Servicio Nacional de Turismo (2005) Chile posee un gran potencial para captar un porcentaje significativo del mercado internacional del TIE, por cuanto la demanda por TIE ha aumentado mucho más que el turismo tradicional o masivo y las proyecciones seguirán aumentando a una tasa de 15% anual (Espinosa et al., 2014).

Dado el crecimiento del turismo a nivel mundial, los elementos de interés naturales y culturales se han visto afectados, por lo que la preservación para asegurar un modelo de desarrollo sostenible es fundamental. Esto es de especial atención debido a que en 2014 el 42% de los turistas que visitaron la región del maule tuvieron como destino sitios naturales, tales como parques y reservas nacionales (Servicio Nacional de Turismo, 2015).

El aumento de los turistas que visitan sitios naturales responde a un nuevo perfil, el cual se interesa en tener contacto con la naturaleza en busca de comprender su entorno y cómo este se desarrolla en el tiempo. Carcavilla (2007) afirma que la existencia de elementos geológicos patrimoniales en una región puede constituir un recurso que favorezca el desarrollo social, económico e incluso cultural de la sociedad. Es así como la figura de un geoparque para la región del maule surge como una solución atractiva para el desarrollo sustentable y sostenible del territorio a partir de la educación y conservación efectiva del patrimonio de la cordillera maulina.

En la comuna de Romeral, el principal sustento económico corresponde a la agricultura, caracterizada por una gran producción de cerezas, manzanas y otros frutales destinados para consumo interno y para exportación (Biblioteca del Congreso Nacional de Chile, 2012).

Desde el año 2019, el proyecto Geoparque Pillanmapu aparece como una alternativa para diversificar la economía local y generar un desarrollo sostenible del sector, mediante el uso del Patrimonio Geológico como recurso para la conservación, el geoturismo y la educación. Esta gestión tiene como principales objetivos asegurar la preservación de los bienes que lo constituyen y utilizarlo para el disfrute de la población, incluyendo la posibilidad de su utilización para promover el desarrollo socioeconómico de un territorio (Carcavilla, 2007).

Recientemente, en la comuna de Romeral, Cáceres (2019) estudió el patrimonio geológico. Sin embargo, aún no son reconocidos para su gestión ni contemplan contextos geológicos locales, lo cual imposibilita la descripción de la evolución geológica temporal del territorio. Los contextos geológicos locales son utilizados para que un inventario represente, en forma homogénea, toda la historia y geodiversidad del territorio en que se trabaja.

Por lo tanto, surge la necesidad de definir contextos geológicos locales y caracterizar los Lugares de Interés Geológico (LIG), los que refieren a los sitios con presencia de uno o varios elementos geológicos de valor científico, turístico y/o educativo (Brilha, 2005; Carcavilla,

2007; Pérez, 2018). Esta caracterización se realiza con el fin de promover su aprovechamiento sostenible y establecer una propuesta de manejo patrimonial.

A nivel mundial existen distintas metodologías para el desarrollo de inventarios que aporten en la gestión del patrimonio geológico. Dentro de las más recientes está la de Brilha (2016), en la cual se utiliza para la evaluación de LIG indicadores de Valor Científico (VC), Potencial de Uso Educativo (PUE), Potencial de Uso Turístico (PUT) y Riesgo de Degradación (RD). El primer análisis de estos parámetros es cualitativo y posteriormente se asignan valores a cada parámetro para realizar un análisis cuantitativo (Brilha, 2016).

La evaluación de los LIGs permite desarrollar estrategias y propuestas para su aprovechamiento, pero también es de considerar que todos los LIGs están asociados a contextos geológicos determinados que permiten reconstruir la historia evolutiva de la zona. Mediante la caracterización de los elementos geológicos presentes, se busca definir los contextos geológicos locales para la identificación y análisis de los lugares de interés geológicos que sean representativos de eventos que permitieron construir el paisaje actual.

## **1.2. Hipótesis del Trabajo**

Existen lugares de interés geológico en el sector precordillerano y cordillerano de la cuenca del Río Teno que representan los procesos de evolución geológica del territorio, permitiendo ser de utilidad científica, turística y educativa.

## **1.3. Objetivos**

### **1.3.1. Objetivo General**

Generar una propuesta de manejo del patrimonio geológico presente en la precordillera y cordillera andina de la cuenca del río Teno

### **1.3.2. Objetivos Específicos**

- OE. 1. Definir los contextos geológicos locales más representativos de la evolución geológica a partir de la información bibliográfica disponible para el área de estudio.
- OE. 2. Valorizar los potenciales LIG en base a un proceso de identificación, selección y evaluación.
- OE. 3. Seleccionar los LIG de mayor relevancia para el desarrollo local, en base a su valoración cualitativa y cuantitativa.

OE. 4. Contextualizar los LIG con las etapas del modelo de evolución geológica para desarrollar una narrativa local

OE. 5. Establecer propuestas de gestión para cada LIG en función de su valoración cuantitativa

#### 1.4. Ubicación y vías de acceso

El proyecto Geoparque Pillanmapu cubre aproximadamente un tercio de la Región del Maule, abarcando los sectores precordilleranos y cordilleranos de las comunas de Romeral, Curicó, Molina, San Clemente, Colbún y Linares. La zona de estudio de este trabajo se localiza en Chile central, en el sector precordillerano y cordillerano de la cuenca del Río Teno, Región del Maule (35°S-35°26'S).

Desde la ciudad de Curicó, el acceso principal es mediante el camino de ripio de la ruta J-55, el cual termina en el paso Vergara, límite internacional con la República Argentina. Mediante esta ruta se puede cruzar con vehículo toda la zona de estudio (Figura 1). Para acceder a las quebradas y valles aledañas del sector se deben tomar senderos a pie, a excepción de las lagunas de Teno, para las cuales existe un camino de ripio habilitado para un solo vehículo.

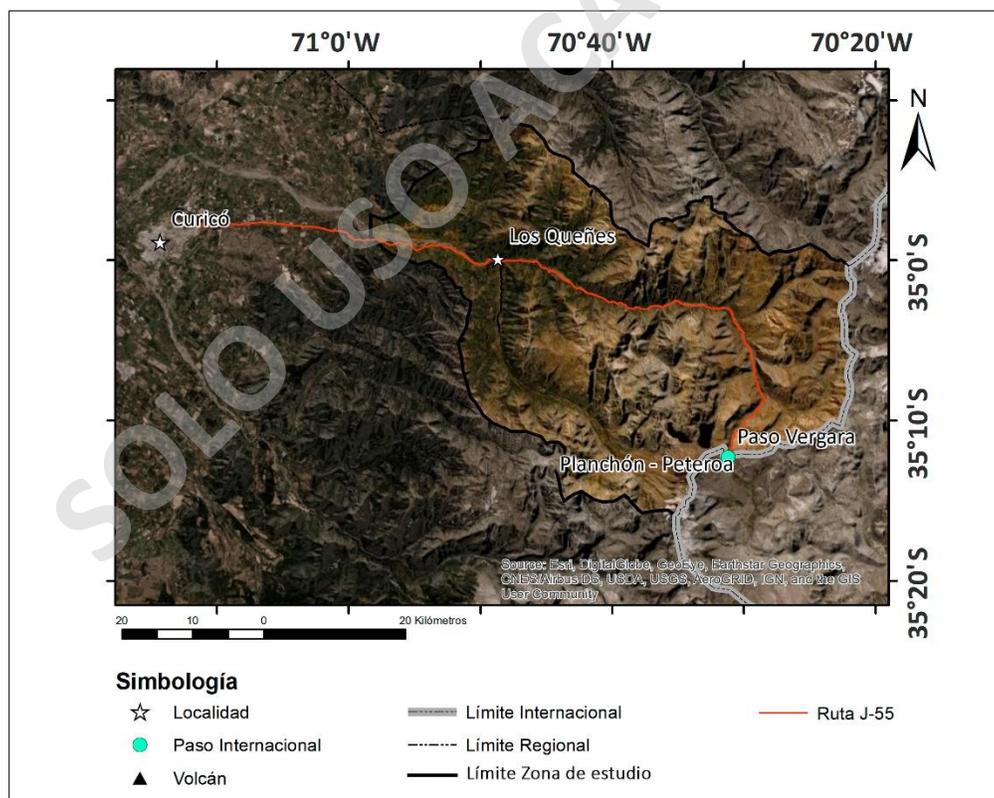


Figura 1: Ruta principal de acceso al área de estudio. En rojo se destaca la ruta J-55, con la cual se puede cruzar toda el área con un vehículo. Imagen base CNES/Airbus

## 1.5. Metodología de Trabajo

### 1.5.1. Trabajo de gabinete previo a la salida de campo

El primer acercamiento a la información de la zona de estudio se realizó mediante una revisión de la bibliografía disponible y empleando un análisis de imágenes satelitales. A través del *software* Google Earth para la visualización y reconocimiento del área con imágenes satelitales CNES / Airbus y el *software* ArcGis v. 10.5 para el tratamiento de valores topográficos en capas GDEM (*Global Digital Elevation Map*) de ALOS PALSAR, con las cuales se determinó la topografía de la zona para definir las rutas de terreno.

A partir de la revisión bibliográfica de González y Vergara (1962), Piquer (2010), Contreras y Schilling (2012), Hevia (2014), Muñoz et al. (2018) y Arellano (2019), se desarrolló una síntesis de la geología local. A partir de ello, se utilizó el *software* ArcGIS 10.5 para desarrollar un mapa geológico a escala 1:400.000, mientras que sus unidades estratigráficas fueron sintetizadas a partir de una columna estratigráfica confeccionada con el *software* SedLog 3.1 y Adobe Illustrator CC 2020.

Mediante la revisión de las diversas metodologías de evaluación del patrimonio geológico, la metodología de Brilha (2016) fue seleccionada para ser empleada en las posteriores etapas de investigación. La justificación de esta elección se desarrolla en el Apartado 2.2.

#### 1.5.1.1. Definición de Contextos Geológicos Locales (Metodología para el OE. 1)

Se definieron 9 contextos geológicos locales para comprender la evolución geológica del área de estudio e identificar los sitios más singulares y representativos de cada etapa en la evolución. Estos resultados se compararon con los contextos geológicos chilenos definidos por Mourgues y Schilling (2012), a fin de correlacionar los LIG seleccionados con una clasificación más estandarizada a nivel nacional. Finalmente, se identificaron a través de imágenes satelitales las propuestas de LIG, con las cuales se elaboraron las rutas definitivas a seguir en el trabajo de terreno.

### 1.5.2. Trabajo de salida de campo

Se realizó una campaña de terreno de 6 días en enero del 2020 y una segunda campaña de 2 días en noviembre del 2020, las cuales consistieron en el reconocimiento del área y evaluación de 27 propuestas de LIG utilizando la ficha de terreno propuesta por Pérez (2018). Para cada parada se tomó el registro de posicionamiento utilizando un GPS Garmin ETREX 10 con el sistema de coordenadas *Universal Transverse Mercator* (UTM).

1.5.2.1. Evaluación cualitativa en terreno (Metodología para el OE 2.)

Para la evaluación en terreno, Pérez (2018) desarrolló una ficha que incluye la justificación de la selección de cada 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 (Tabla 1). Esta estructura considera características de uso, científicas, potencial educativo y turístico y riesgo de degradación con el fin de ser utilizada para la evaluación cuantitativa propuesta según la metodología de Brilha (2016). El documento también posee un apartado que hace referencia a las condiciones de aprovechamiento en relación con elementos de interés no geológicos y condiciones de conservación actuales. La ficha se usó sin modificaciones debido a que la información en ella es suficiente para desarrollar el posterior análisis, y de esta forma es comparable con otras fichas utilizadas en otros trabajos.

Tabla 1: Ficha de caracterización en terreno propuesta por Pérez (2018). Considera características de uso científico, educativo, turístico y riesgo de degradación. Los parámetros están estructurados con el fin de ser un insumo para la evaluación cuantitativa según la metodología de Brilha (2016).

CÓDIGO		NOMBRE DEL GEOSITIO					
		Estructura recomendada: Elemento de interés + Ubicación/Sector					
<b>DISTRIBUCIÓN GEOGRÁFICA</b>							
<b>REGIÓN</b>	VALPARAÍSO			<b>COMUNA</b>	PETORCA		
<b>PROVINCIA</b>	PETORCA			<b>LOCALIDAD</b>			
<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>		
<b>HUSO</b>	<b>DATUM</b>						
<b>CARACTERÍSTICAS DE USO</b>							
<b>DOMINIO</b>		<b>INSTALACIONES CERCANAS (m)</b>					
<b>PÚBLICO</b>		<b>ALOJAMIENTO</b>		<b>ALIMENTACIÓN</b>		<b>BAÑO</b>	
<b>PRIVADO</b>		<b>OTRA</b>					
<b>DUEÑO</b>		<b>DISTANCIA A PUNTO DE ACCESO MÁS PRÓXIMO (m)</b>					
		<b>AUTOMOVIL</b>		<b>4 X 4</b>		<b>BUS</b>	
<b>ASOCIACIÓN CON OTROS ELEMENTOS PATRIMONIALES DE ÍNDOLE</b>							
<b>NATURAL</b>	<b>CULTURAL</b>		<b>HISTÓRICO</b>		<b>ÉTNICO</b>	<b>OTRO</b>	
Se especifica brevemente el elemento no geológico de interés asociado.							
<b>ZONAS RECREATIVAS CERCANAS</b>		Incluye tanto actividades turísticas de intereses especiales como de ocio.					
<b>FACTORES DE RIESGO</b>		Corresponde a los factores de riesgo para quienes accedan al LIG.					
<b>LIMITACIONES PARA SU USO</b>		Impedimentos legales y físicos que impidan acceder al LIG o miradores.					
<b>OBSERVACIONES</b>		Incluye información adicional, referente al uso y acceso, no contemplada anteriormente.					

CARACTERÍSTICAS INTRÍNECAS DE USO CIENTÍFICO						
<b>CONTEXTOS(s) GEOLÓGICO(s) REPRESENTADO(s)</b>		Contexto geológico local representado por el LIG				
<b>TIPO DE VALOR CIENTÍFICO</b>		Según área de conocimiento de la geología. e.g. geomorfología, estratigrafía, hidrogeología, sedimentología, entre otros.				
<b>CARACTERÍSTICA MÁS RELEVANTE</b>		Elemento de interés geológico de mayor relevancia científica.				
<b>ESTADO DE CONSERVACIÓN</b>		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						
<b>LOCALIDAD TIPO/MODELO</b>	<b>SI</b>		<b>SECUNDARIA</b>		<b>NO</b>	
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						
1		¿CUÁLES?	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.			
2						
3 o más						
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.						

### 1.5.3. Trabajo de gabinete posterior a la salida de campo

La información recopilada fue sistematizada y representada a través de un mapa agrupando puntos de control y rutas realizadas durante la etapa previa, posteriormente se trabajó la información de cada LIG mediante la metodología de evaluación cuantitativa de Brilha

(2016) y una caracterización cualitativa mediante la planilla de Pérez (2018). Cada LIG se contextualizó dentro de la evolución geológica del sector, finalmente se establecen propuestas de gestión justificadas en su valoración indicada por la metodología cuantitativa.

### 1.5.3.1. Valoración cuantitativa de los LIG inventariados (Metodología para el OE 2.)

La metodología de Brilha (2016) propone una asignación de valores numéricos a cada propuesta de LIG en base a 4 criterios principales, los cuales son: Valor Científico (VC), Potencial de Uso Educativo (PUE), Potencial de Uso Turístico (PUT) y Riesgo de Degradación (RD). Para cada LIG se calcula un valor de VC, PUT, PUE y RD el cual se realiza mediante la fórmula para el cálculo del puntaje de los parámetros cuantitativos (Ecuación 1). Los valores finales de cada parámetro son clasificados en bajo, moderado y alto para su posterior análisis y propuestas de gestión.

#### a) Evaluación cuantitativa del Valor Científico (VC)

Según Brilha (2016) El VC es uno de los criterios de mayor relevancia para asignarle valor al patrimonio geológico. El enfoque está en rescatar la relevancia científica del sitio. El VC es independiente de su uso inmediato.

Su cuantificación incluye 7 criterios (Tabla 2). Los que van desde la A hasta la F corresponden a las características geológicas intrínsecas del sitio, mientras que el criterio G se relaciona con el potencial de uso para investigaciones científicas (Brilha, 2016). El puntaje para cada criterio está asignado en la Tabla 3.

Tabla 2: Descripción de los criterios de evaluación del valor científico (Extraído de 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 3: Asignación de los puntajes para los criterios de cuantificación del valor científico (Extraído de Brilha, 2016).

CRITERIOS	PUNTAJE
<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> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>4 puntos</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <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> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>2 puntos</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <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>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> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>4 puntos</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>El lugar de interés geológico es usado por la ciencia internacional (si es aplicable, relacionado al contexto geológico en consideración).</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>2 puntos</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <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>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> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>4 puntos</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>Hay papers en publicaciones científicas nacionales 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>2 puntos</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>1 punto</li> </ul>

<ul style="list-style-type: none"> <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>	
<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> <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> <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>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 4 puntos</li> <li>• 2 puntos</li> <li>• 1 punto</li> </ul>
<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> <li>• Es posible tomar muestras y/o hacer trabajo de campo después de superar limitaciones.</li> <li>• Hacer trabajo de campo o muestreo es muy arduo de hacer o tiene limitaciones legales difíciles de superar.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 4 puntos</li> <li>• 2 puntos</li> <li>• 1 punto</li> </ul>

b) Evaluación cuantitativa del Potencial de Uso Educativo (PUE) y del Potencial de Uso Turístico (PUT)

El valor educativo y turístico se justifica en su potencial de uso. Las estrategias y conservación solo tienen sentido si el sitio se puede utilizar como recurso (Brilha 2016). Un alto valor de PUE permite desarrollar programas educativos en torno a la importancia de aquellos lugares. Un alto valor de PUT permite diseñar una serie de actividades en torno al turismo (Pérez, 2018).

Para cuantificarlos se utiliza la propuesta de Brilha (2016), en donde estos parámetros poseen en común los primeros 10 criterios (Tabla 4), debido a que su finalidad de uso es distinta, se añaden criterios específicos extra a cada uno (Tabla 5). El puntaje está en las tablas 6 y 7.

Tabla 4: Descripción de los criterios generales para la evaluación del PUE y el PUT (Extraído de Brilha, 2016).

CRITERIOS	DESCRIPCIÓN
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 5: Descripción de los criterios específicos para la evaluación del PUE y el PUT (Extraído de 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 6: Asignación de los puntajes para los criterios comunes de cuantificación del PUT y PUE (Extraído de Brilha, 2016).

CRITERIOS	PUNTAJE
<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> </ul>	• 4 puntos
<ul style="list-style-type: none"> <li>Existe una posibilidad de deterioro de elementos geológicos secundarios por actividad antrópica.</li> </ul>	• 3 puntos
<ul style="list-style-type: none"> <li>Existe la posibilidad de deterioro de los elementos geológicos principales por actividad antrópica.</li> </ul>	• 2 puntos
<ul style="list-style-type: none"> <li>Existe la posibilidad de deterioro de todos los elementos geológicos por actividad antrópica.</li> </ul>	• 1 punto
<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> </ul>	• 4 puntos
<ul style="list-style-type: none"> <li>El sitio se localiza a menos de 500 m de un camino pavimentado.</li> </ul>	• 3 puntos
<ul style="list-style-type: none"> <li>El sitio es accesible por bus, pero mediante un camino de grava,</li> </ul>	• 2 puntos
<ul style="list-style-type: none"> <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>	• 1 punto
<b>C. Limitaciones de uso</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>El sitio no posee limitaciones de uso.</li> </ul>	• 4 puntos
<ul style="list-style-type: none"> <li>El sitio puede ser utilizado solo de forma ocasional.</li> </ul>	• 3 puntos
<ul style="list-style-type: none"> <li>El sitio puede ser usado solo tras sortear limitaciones (legales, permisos, físicas, entre otros).</li> </ul>	• 2 puntos
<ul style="list-style-type: none"> <li>Es muy difícil acceder al sitio producto de las limitaciones.</li> </ul>	• 1 punto

<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 7: Asignación de los puntajes para los criterios específicos de cuantificación del PUT y PUE (Extraído de Brilha, 2016).

<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</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>

		interpretación es entendible por público especializado.	
<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>
		<ul style="list-style-type: none"> <li>• El sitio está localizado a menos de 5 km de un área recreacional o una atracción turística.</li> <li>• El sitio está localizado a menos de 10 km de un área recreacional o una atracción turística.</li> <li>• El sitio está localizado a menos de 15 km de un área recreacional o una atracción turística.</li> <li>• El sitio está localizado a menos de 20 km 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>

c) Evaluación cuantitativa del Riesgo de Degradación (RD)

El RD se refiere a la vulnerabilidad del sitio de interés ante los agentes antrópicos y agentes naturales, este parámetro posee una importancia crucial para establecer las prioridades en el plan de gestión (Fuertes Gutiérrez y Fernández-Martínez, 2012).

Su evaluación considera 5 criterios (Tabla 8). Para este parámetro coinciden con la evaluación de PUE y PUT los criterios D y E, sin embargo, estos son considerados de distinta forma a la hora de analizarlos. El puntaje para cada criterio está asignado en la Tabla 9.

Tabla 8: Descripción de los criterios de evaluación del riesgo de degradación (Extraído de 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 (susceptibilidad 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 9: Asignación de los puntajes para los criterios de cuantificación del riesgo de degradación (Extraído de Brilha, 2016). A mayor puntaje, mayor es el riesgo de degradación.

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> <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>• 4 puntos</li> <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>

d) Calificación de los LIG

Para asignar el valor final de los cuatro hitos antes expuestos, se calcula de manera independiente para cada uno la ponderación según los porcentajes de las tablas 10, 11 y 12, utilizando la ecuación 1.

Tabla 10: Ponderación de los criterios utilizados para cuantificar el valor científico (Extraído de 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>

Tabla 11: Ponderación de los criterios utilizados para cuantificar el PUE y el PUT (Extraído de 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
<b>TOTAL</b>	<b>100</b>	<b>TOTAL</b>	<b>100</b>

Tabla 12: Ponderación de los criterios utilizados para cuantificar el riesgo de degradación (Extraído de Brilha, 2016).

CRITERIO	PONDERACIÓN
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>

Ecuación 1: Fórmula para el cálculo del puntaje de los parámetros cuantitativos. “C” corresponde al criterio, “P” el puntaje asignado al criterio, y “n” la cantidad de criterios del parámetro cuantitativo calculado (Extraído de Brilha, 2016).

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

Este puntaje final se encuentra en un rango entre 0 – 400, y para cada parámetro es clasificado en bajo, moderado y alto para realizar el análisis y generar propuestas de gestión (Tabla 13). Si bien la metodología disminuye la subjetividad en el análisis, esta no debe ser totalmente eliminada al formular las propuestas de aprovechamiento y gestión (Brilha 2016).

Tabla 13: Calificación del VC, PUE, PUT, RD en función del puntaje obtenido a partir de la Ecuación 1. (Extraído de Brilha, 2016).

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

#### 1.5.3.2. Caracterización cualitativa extendida (Metodología para el OE 3.)

Para cada LIG se completa la ficha de descripción cualitativa elaborada por Pérez (2018). Esta ficha agrupa información de los aspectos relevantes y característicos del sitio, tanto geológicos como no geológicos (Tabla 26, Anexo). Dentro de esta misma se adjunta una propuesta de polígono de protección que delimita los elementos principales que facilita las medidas de gestión. También se proponen estudios científicos que puedan realizarse en el LIG para complementar la información actual y aumentar el valor de este mismo.

### 1.5.3.3. Contextualización y representación de los Lugares de Interés Geológico (Metodología para el OE 4.)

Los LIG seleccionados representan un momento en la evolución geológica del área, por lo que se asocian con las etapas de evolución propuesta bibliográficamente, esto permite conectar espacial y temporalmente cada sitio seleccionado, con el fin de visualizar el relato evolutivo.

### 1.5.3.4. Elaboración de propuestas de gestión (Metodología para el OE 5.)

Para establecer las estrategias de gestión se tienen dos objetivos intrínsecos: (1) asegurar la preservación de los bienes que lo constituyen, permitiendo su legado a generaciones venideras y (2) aprovechar su potencial y utilizarlo para el disfrute de la población, incluyendo incluso la posibilidad de su utilización para promover el desarrollo socioeconómico de un territorio (Carcavilla, 2012). Para los LIG más representativos y con mejor valoración de cada contexto geológico se tendrán en consideración de forma independiente cada criterio (VC, PUE, PUT y RD) y cómo se afectan entre sí. Con esta información el evaluador toma la decisión de la propuesta, en base a las ventajas y debilidades del LIG.

## 2. MARCO TEÓRICO

### 2.1. Marco Conceptual

#### 2.1.1 Patrimonio Geológico

También llamado “Geopatrimonio”, es un concepto que ha sido ampliamente definido desde finales del siglo XX, en donde existen casi tantas definiciones como autores.

Cendrero (1996): “El conjunto de recursos naturales, no renovables, ya sean formaciones rocosas, estructuras geológicas, acumulaciones sedimentarias, formas del terreno, o yacimientos minerales, petrológicos o paleontológicos, que permiten reconocer, estudiar e interpretar la evolución de la historia de la Tierra y de los procesos que la han modelado, con su correspondiente valor científico, cultural, educativo, paisajístico o recreativo”

Durán (1999): “Está constituido por todos aquellos recursos naturales, básicamente no renovables, ya sean formaciones rocosas, estructuras, acumulaciones sedimentarias, formas, paisajes, yacimientos minerales o paleontológicos o colecciones de objetos geológicos de valor científico, cultural o educativo y/o de interés paisajístico o recreativo”.

Guillén y Del Ramo (2004): “El patrimonio geológico es el conjunto de recursos naturales geológicos de valor científico, cultural y/o educativo, ya sean 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; b) Los procesos que la han modelado; c) Los climas y paisajes del pasado y presente; y d) El origen y evolución de la vida”.

Esta última definición es la actualmente aceptada por la ley española 42/2007 del Patrimonio Natural y la Biodiversidad, decretada en diciembre del 2007.

Partarrieu (2013) realiza una revisión de estas definiciones en el trabajo de Carcavilla (2007), en donde identifica 3 elementos en común: a) Está conformado por elementos geológicos; b) Está constituido por recursos no-renovables, aunque Durán (1999) no realiza una restricción rígida, pues afirma que existen ciertos elementos renovables (como las aguas termales o minerales) que sí pueden pertenecer al patrimonio geológico; c) Posee un valor especial, porque muestra la historia geológica de un determinado lugar pues posee un interés de tipo científico, educativo, paisajístico, cultural, recreativo, entre otros.

Brilha (2016) propone una división de conceptos con el objetivo de presentar un enfoque sistemático, dado que la geoconservación apunta a la identificación, protección y gestión de los elementos de la geodiversidad con un valor especial (Figura 2). En esta división el patrimonio geológico hace referencia a los elementos abióticos con valor científico. Si este elemento se encuentra *in situ* será nombrado *Geosítio*, y si se encuentra *ex situ* será nombrado *elemento del patrimonio geológico*. Si el elemento abiótico no destaca por su valor científico,

pero si por su valor turístico o educativo, será considerado sitio de la geodiversidad (*in situ*) o elemento de la geodiversidad (*ex situ*).

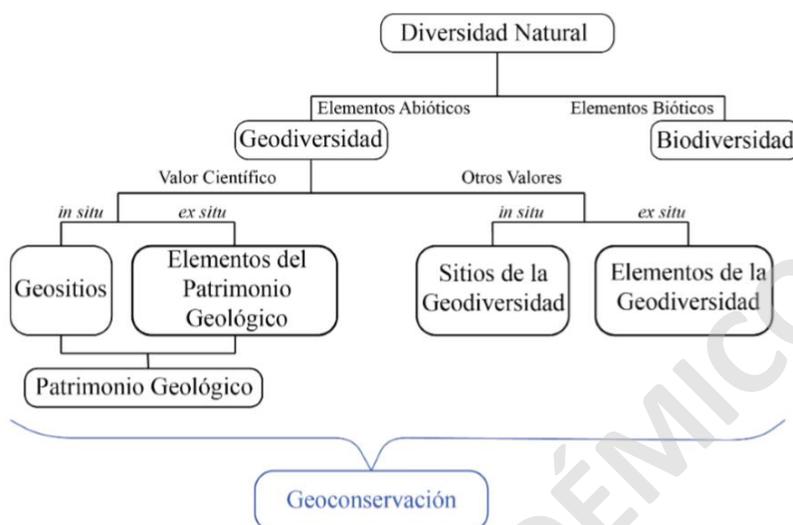


Figura 2: Marco conceptual de geodiversidad, patrimonio geológico y geoconservación. Solo una pequeña fracción de la geodiversidad posee valores relevantes que justifica la implementación de estrategias de geoconservación, independiente de si esa fracción es considerada patrimonio geológico o sitios y elementos de la geodiversidad. Traducido de Brilha (2016) en Pérez (2018).

Numerosos autores han realizado estudios temáticos, utilizando otros términos: patrimonio geomorfológico, mineralógico o petrológico (Carcavilla et al., 2007). Para este estudio se utilizará el Geopatrimonio como concepto que integra las distintas disciplinas de las Ciencias de la Tierra y se entenderá como Patrimonio Geológico a los elementos de la geodiversidad que poseen un valor, ya sea científico como de otra índole, es decir, una unificación de la clasificación propuesta por Brilha (2016). Esto con el fin de reducir confusiones entre las terminologías y evitar complejizar la comprensión de la disciplina.

### 2.1.2. Lugares de Interés Geológico y Geositios

Brilha (2005) define geositio como: “lugar con ocurrencia de uno o más elementos de la geodiversidad, bien delimitado geográficamente y que presenta un valor singular desde un punto de vista científico, pedagógico, cultural, turístico u otro”. Según la división de conceptos sugerida por Brilha (2016) (Figura 2) este concepto es redefinido, esta nueva concepción considera como geositio a aquellos lugares que tienen elementos abióticos con valor científico y se encuentran *in situ*.

En Chile, la Sociedad Geológica Chilena (SGCh) define en su sitio web un geositio como: “Una formación geológica, un objeto rocoso o un paisaje que vale la pena proteger y preservar por su singularidad geológica y/o belleza”.

El Instituto Geológico y Minero de España (IGME) (García et al., 2014) define un LIG como: “Lugar de interés, por su carácter único y/o representativo, para el estudio e interpretación del origen y evolución de los grandes dominios geológicos españoles, incluyendo los procesos que los han modelado, los climas del pasado y su evolución paleobiológica. Estas áreas deberán mostrar, de manera suficientemente continua y homogénea en toda su extensión, una o varias características notables y significativas del patrimonio geológico de una región natural”.

Carcavilla (2014) hace un análisis de los criterios que se utilizan para identificar un LIG, destacando 6 tipologías principales:

1) **Lugares modélicos:** Son aquellos enclaves donde puede verse el mejor ejemplo de un determinado aspecto, proceso o elemento geológico, es decir, que es representativo como modelo y se usa como referencia.

2) **Patrones:** La historia de la Tierra se reconstruye gracias al registro geológico conservado en algunos lugares excepcionales. Esos lugares constituyen la referencia para un determinado periodo de tiempo geológico, por poseer el registro más completo y continuo de la sedimentación y registro de la vida en esa época.

3) **Lugares que muestren procesos únicos:** Son lugares que muestran evidencias de sucesos anómalos en la dinámica habitual del planeta, se puede tratar de sucesos de alta intensidad o magnitud (eventos extremos) y, por ello, de muy baja frecuencia (o tiempo de recurrencia muy alto), que en muchos casos derivan a consecuencias catastróficas.

4) **Lugares originales:** Son lugares en los que se definió o reconoció por primera vez un aspecto geológico, aunque con posterioridad se hayan hecho modificaciones a la definición o se hayan encontrado mejores ejemplos, debido a que su estudio permitió que la geología avanzara como ciencia.

5) **Lugares relacionados con la geología ambiental y procesos geológicos activos que hayan tenido lugar en tiempos históricos o épocas recientes:** Se consideran de interés porque muestran la dinámica actual del planeta y ayudan a entender la relación entre el ser humano y los procesos geológicos.

6) **Lugares representativos:** Son los lugares representativos de la geología de una región, que muestran lo más característico de la misma y que mejor sirven para definirla.

Según la Real Academia Española (RAE, 2020) geo- es un prefijo de origen griego derivado de Gaia, que significa Tierra. Es por esto que los especialistas han comenzado a adoptar el término de geosito como un lugar con ocurrencia de uno o más elementos pertenecientes al patrimonio de la Tierra, sin ser de exclusividad geológica. A diferencia del término LIG, que sí hace alusión a la exclusividad de los elementos pertenecientes al patrimonio geológico. Debido a esto se utiliza LIG como término más logrado para referirse a la ocurrencia de uno o más elementos pertenecientes al patrimonio geológico con valor científico, turístico y/o educativo.

### 2.1.3. Geoconservación

Sharples (2002) define la geoconservación como una rama esencial de la conservación de la naturaleza, que busca conservar y preservar la diversidad natural, en particular, aquella geológica y geomorfológica, y mantener las tasas y magnitudes de la evolución natural de estos aspectos. Carcavilla (2012) considera el término 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.

Henriques (2011) realizó un seguimiento histórico sobre el desarrollo de la geoconservación, en donde su primer ejemplo de aplicación se remonta a 1668, con la protección de las cuevas de las montañas Harz en Alemania (Grube, 1994 en Henríquez, 2011). Durante el siglo XIX se continuaron los proyectos de protección en Europa, resguardando ciertas localidades basándose principalmente en características geomorfológicas llamativas (Henriques, 2011). La conservación de los sitios mediante una metodología científica se remonta a 1977, cuando la organización ambiental de la conservación de la naturaleza en Gran Bretaña estableció la Revisión de Conservación Geológica (Wimbledon, 1988). Terminando la década de 1970 y durante la década de 1980, Gran Bretaña era la nación que llevaba el liderazgo del movimiento de geoconservación al organizar dos de las reuniones importantes sobre la disciplina, la “Conservación de sitios geológicos en Gran Bretaña” en 1979 (Clements, 1984 en Henriques, 2011) y “El uso y conservación de sitios paleontológicos” en 1987 (Crowther y Wimbledon, 1988). El año siguiente se realizaría en Holanda la primera junta internacional de geoconservación, con la presencia de 7 países europeos. El concepto finalmente consolidó su importancia internacional en 1991 durante el “Primer Simposio en la Conservación de nuestro Patrimonio Geológico”, realizado en Francia (Declaración de los Derechos de la Memoria de la Tierra, 1991 en Henriques, 2011). En 1999, la UNESCO reconoce la importancia de la geoconservación y en 2005 considera la promoción del patrimonio geológico una de las herramientas más efectivas para el cambio de concepción y comportamiento del estilo de vida, para alcanzar un desarrollo sustentable y la estabilidad de los países (Henriques y Brilha, 2017; Pérez, 2018).

Actualmente, el estilo de vida de las ciudades y países industrializados está basado en elevadas tasas de consumo de recursos, incluyendo energía, materias y tierras, lo que ha incrementado las emisiones de contaminantes y desechos (Henriques, 2011). Este estilo estaría transformando y degradando intensamente la superficie, llevando a una inevitable destrucción del patrimonio geológico (Gray, 2004). Esta destrucción es casi siempre irreversible, ya que, al ser elementos creados por procesos ocurridos en el pasado, la mayoría es de naturaleza no renovable. Autores como Carcavilla (2014) han sugerido que la prevención es la herramienta más útil para la geoconservación.

Durán (1988) menciona que el registro geológico, representado por una enorme variedad de manifestaciones, constituye un testimonio fundamental para el conocimiento de la memoria de la Tierra, de los climas y paisajes del pasado, junto a las variedades biológicas y geológicas del presente, además, el conocimiento de lo acontecido en el pasado es primordial para

valorar en su verdadera dimensión los fenómenos y procesos actuales, así como para elaborar modelos predictivos del futuro. 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, 2007).

#### 2.1.4. Geoturismo y Educación

Carcavilla (2012) se refiere al geoturismo como la estrategia de promoción turística basada en ofrecer recursos que permitan al visitante conocer aspectos relacionados con la geología de un territorio, más allá de su disfrute visual o estético y que beneficie a las comunidades a partir de un desarrollo económico sostenible. En 2011 se realizó un congreso nacional de geoturismo en el Geoparque Arouca, Portugal, en donde el geoturismo se definió como: “un turismo que sustenta y mejora la identidad de un territorio, considerando su geología, medio ambiente, cultura, valores estéticos, patrimonio y bienestar de sus residentes” (Declaración de Arouca, 2011 en García et al., 2014).

Uno de los propósitos del geoturismo es que su interpretación sea contrastada con base científica y, a su vez, se traduzca a términos más sencillos para el disfrute de todo tipo de turista, incentivando la educación geocientífica (Carcavilla, 2007). De esta forma, su alcance es mayor y se diferencia del turismo de masas, muchas veces catalizador de la degradación de los lugares, porque busca educar y concientizar a las personas acerca de su entorno; del valor del territorio y de los procesos geológicos que se desarrollan allí (Martínez, 2017). El geoturismo busca exhibir el patrimonio geológico a todo tipo de público junto con ser un agente dinamizador de la economía local (Hose, 2003).

La educación es una de las fuerzas más efectivas para lograr los cambios en el conocimiento, los valores, el comportamiento y los estilos de vida necesarios para lograr la sostenibilidad y la estabilidad dentro y entre los países (UNESCO, 2005 en Henriques, 2011). A través de la educación se busca que las personas comprendan mejor los fenómenos geológicos que ocurren en su entorno, entendiendo los procesos que dan vida al planeta, y así lograr una convivencia más armónica con la naturaleza.

#### 2.1.5. Red de geoparques de la UNESCO

Los geoparques han surgido en la última década como iniciativas para promover el desarrollo local utilizando el patrimonio geológico como eje fundamental, relacionándolo con otro tipo de recursos naturales y geológicos y basándose sobre todo en el geoturismo (Eder y Patzak, 2004). Actualmente los Geoparques son territorios promovidos por UNESCO y definidos por la Red Mundial de Geoparques (GGN, por sus siglas en inglés de *Global Geopark Network*) como un área bien delimitada y con un tamaño lo suficientemente amplio para servir al

desarrollo socioeconómico de la comunidad local (Partarrieu, 2013). Cada Geoparque debe presentar un número significativo de sitios de interés geológico, a través de los cuales se puede exhibir la historia geológica del territorio, además de los eventos y procesos que participaron en su formación (UNESCO, 2010). Si bien la definición de la UNESCO considera el patrimonio geológico, el término adoptado no se refiere estrictamente a geología, considerando que el prefijo geo- corresponde a Gaia, siendo así un concepto holístico que incluye todos los aspectos patrimoniales de la Tierra, tanto los naturales como los culturales (Pérez, 2018).

Los orígenes del concepto Geoparque se remontan a la década de 1980, con el desarrollo de los primeros geoparques en Europa. Pero recién el 2000 comienza un acelerado progreso en la materia, con la conformación de la Red Europea de Geoparques (Pérez, 2018). El 2004, se conforma en París la Red Global de Geoparques (GGN) a partir de la unión de geoparques establecidos en Europa y China, con el fin de promover el intercambio y la cooperación (UNESCO, 2010; Pérez, 2018). Desde 2015 la GGN pasa a ser un programa de la UNESCO, que busca promover el desarrollo local sostenible mediante el geoturismo.

Desde el punto de vista administrativo, los geoparques pueden concebirse como entidades basadas en tres ejes fundamentales (e.g. Partarrieu, 2013; Martínez, 2017):

- (1) Geoconservación: conservar el geopatrimonio para las generaciones futuras.
- (2) Educación: enseñar al público general y promover la divulgación de la investigación científica en torno a las Ciencias de la Tierra y al medioambiente.
- (3) Geoturismo: proveer una herramienta para lograr el desarrollo sustentable.

#### 2.1.6. Estado del arte en Chile

La amplia geodiversidad de Chile es el resultado de una compleja combinación de procesos naturales, donde destacan la formación de la Cordillera de los Andes en un margen convergente de placas tectónicas, y la interacción de la superficie con la hidrósfera, la atmósfera, la biósfera y la criósfera (e.g. Palacio et al., 2016). Además de importantes procesos que acontecen en la interfaz del continente con el océano Pacífico, en una franja litoral que se extiende por más de 4200 km, con una variación latitudinal de 38°, responsable de un notable gradiente climático (e.g. Palacio et al., 2016).

La primera iniciativa de preservación de los elementos abióticos en Chile se le atribuye al geólogo alemán Hans Brüggén, situándolo como precursor de la geoconservación (Benado, 2018). En 1927, el autor realizó una publicación en la revista chilena de historia y geografía, en donde menciona un grupo de bloques erráticos localizados al Este de Santiago, cerca de la comuna de Puente Alto (Brüggén, 1927 en Hervé, 2011). Demandó para ellos la figura de Monumento Nacional considerando su valor como evidencia de procesos glaciales ocurridos en la cuenca de Santiago y dada su vulnerabilidad frente a la instalación de una cantera para explotar la roca como material de construcción (Palacio et al., 2016).

Desde el año 2000 se han elaborado inventarios y registros de sitios de interés geológico, impulsados principalmente por la Sociedad Geológica de Chile (SGCH), el Servicio Nacional de Geología y Minería (SERNAGEOMIN), el Instituto Antártico Chileno (INACH) y diversas universidades nacionales (Palacio et al., 2016).

En el 2008 la Sociedad Geológica de Chile creó el Grupo de Especialistas en Geopatrimonio, el cual desarrolla el Programa de Detección y Establecimiento de Geositios en Chile, con el objetivo de sensibilizar a la comunidad acerca del valor del patrimonio geológico, así como promover su conservación, investigación y uso racional en turismo y educación (Calderón et al., 2009; Hervé et al., 2012; Benado, 2020).

Calderón et al. (2009) indican que el procedimiento para que un elemento o lugar de interés geológico pueda ser considerado en el inventario nacional, requiere de las siguientes etapas:

- 1) Postulación del lugar de interés, por una persona natural o institución, mediante la presentación de una ficha estándar confeccionada por la SGCh, donde se describe las características generales del lugar (nombre, ubicación, interés geológico, descripción geológica, etc.).
- 2) El Grupo de Especialistas en Geopatrimonio evalúa el mérito de la postulación, y recomienda su aprobación o rechazo al Directorio de la SGCh.
- 3) El Directorio resuelve sobre si el postulante cumple los méritos, o no, para ser parte del inventario nacional.

Mourgues et al. (2012) propusieron una lista de 22 marcos geológicos para el territorio chileno, con el propósito de que toda la geodiversidad representada de manera homogénea en el inventario nacional. Este trabajo aún debe ser discutido por la comunidad geológica nacional; sin embargo, se espera que, en un futuro cercano, ayude a estructurar y mejorar la caracterización del patrimonio geológico presente en el país (Benado, 2018).

En 2019 el geoparque Kütralkura es el primer proyecto chileno en ingresar y ser parte de la red mundial de geoparques de la UNESCO (UNESCO, 2019) Actualmente, hay diversos proyectos de geoparques a nivel nacional que apuntan a ser parte de la red mundial de la UNESCO, como: Geoparque Cajón del Maipo, Geoparque Minero Litoral del Biobío, Geoparque Valle de Petorca, Geoparque Puchuncaví y Geoparque Pillanmapu.

## **2.2. Inventario y Evaluación de Lugares de Interés Geológico**

Desde finales de la década de 1990 se comienzan a desarrollar metodologías cuantitativas para el inventario de sitios con características geológicas que puedan resultar de utilidad, a continuación, se mencionan algunos de los trabajos recientes más destacados al respecto.

Bruschi (2011) identifica como problemática la subjetividad que existe en las distintas etapas de evaluación del patrimonio geológico, en donde los métodos de evaluación frecuentemente son en base al juicio de un experto quien asigna un valor. Bruschi y Cendrero (2005) utilizan

un método cuantitativo de evaluación que considera tres criterios principales: calidad intrínseca, potencial de uso y protección necesaria, llamado Modelo Cualitativo. Estos valores son ponderados para obtener un valor final, este método reduce considerablemente el esfuerzo y permite replicar los resultados por distintos operadores.

Zhang (2013) desarrolla una propuesta de análisis cuantitativo en base al método de proceso analítico jerárquico (AHP, por sus siglas en inglés de Analytical Hierarchy Process), para la evaluación del patrimonio geológico en el Geoparque Nacional de Ningcheng. Este método desarrolla un sistema de índice de evaluación compuesto que considera cuatro rasgos principales: (1) atributo natural, (2) atributo de valor, (3) protección y gestión, y (4) condición de desarrollo. Cada uno de estos rasgos presenta subcriterios con los cuales se realiza la construcción de matrices matemáticas, a fin de comparar la importancia relativa entre estos factores y así finalmente asignar distintos pesos al unificarlos en un valor final.

El Instituto Geológico y Minero de España (IGME) (García et al., 2014) propone una metodología para la elaboración del inventario español de lugares de interés geológico, el cual tiene en cuenta los criterios de Cendrero (1996) para asignar valor a un sitio. Estos criterios son: valor intrínseco, potencialidad de uso y necesidad de protección. Esta metodología implica la participación ideal mínima de 32 expertos de distintas áreas y consta de tres fases: a) Formulación del problema y selección de expertos; b) Lanzamiento de primera ronda de cuestionario y tratamiento de información; y c) Lanzamiento de segunda ronda de cuestionario y tratamiento de la información.

Brilha (2016) propone una evaluación cuantitativa de los sitios según su Valor Científico (VC), Potencial de Uso Turístico (PUT), Potencial de Uso Educativo (PUE) y Riesgo de Degradación (RD). El autor considera cada criterio como valor independiente para el desarrollo de estrategias de aprovechamiento.

Considerando las ventajas y desventajas de cada metodología (Tabla 14), en el desarrollo de este trabajo se utilizará la metodología de Brilha (2016), debido a la evaluación independiente de sus criterios, ya que la mejor gestión de un LIG se logra entendiendo cuales factores hay que potenciar y cuales resguardar. Otro punto importante para esta elección es la facilidad de este método para ser aplicado, a diferencia de la metodología de García et al. (2014), la cual, a pesar de ser muy completa, puede ser lenta y compleja de trabajar.

*Tabla 14: Cuadro comparativo de ventajas y desventajas, considerando las metodologías de Bruschi y Cendrero (2005), Zhang (2013), García et al. (2014) y Brilha (2016).*

Autor	Ventajas	Desventajas
Bruschi y Cendrero (2005)	Los 3 criterios propuestos para evaluar un LIG funcionan correctamente en la práctica al identificar los principales elementos de relevancia para su gestión	Ponderar en conjunto los valores de cada criterio analizado podría disminuir considerablemente el valor del LIG. Dificultando las labores de gestión al no discernir cual es el criterio en particular que puede ser potenciado.

Zhang (2013)	Metodología matemática muy completa que logra determinar con gran precisión la relación entre cada uno de los factores analizados	La metodología es muy objetiva y matemática, si no se trabaja de forma continua con un geólogo, los números fácilmente podrían descartar un LIG que, a criterio del experto, si puede resultar de interés (a pesar de no tener alto valor).
García et al., (2014)	Análisis muy completo y exhaustivo que involucra un panel de expertos en cada área específica.	El tiempo de transcurso entre cada etapa de trabajo junto con la gran cantidad de planillas que se rellenan en cada etapa hace que esta metodología sea más lenta en obtener los resultados finales.
Brilha (2016)	La ponderación independiente de cada criterio permite una gestión más eficiente de cada LIG en base a sus fortalezas y debilidades.	El autor propone una división de los conceptos en torno a la diversidad natural, lo que puede complejizar la comprensión de la disciplina.

SOLO USO ACADÉMICO

### 3. MARCO GEOLÓGICO

#### 3.1. Antecedentes Generales

En el área de estudio afloran rocas estratificadas, con edades jurásicas a neógenas, en franjas de orientación N-S (Figura 3). También se presentan rocas intrusivas de edad miocena, con una tendencia elongada en la misma orientación (Figura 3). A continuación, se expondrán las rocas estratificadas del sector, para luego revisarlas rocas ígneas intrusivas.

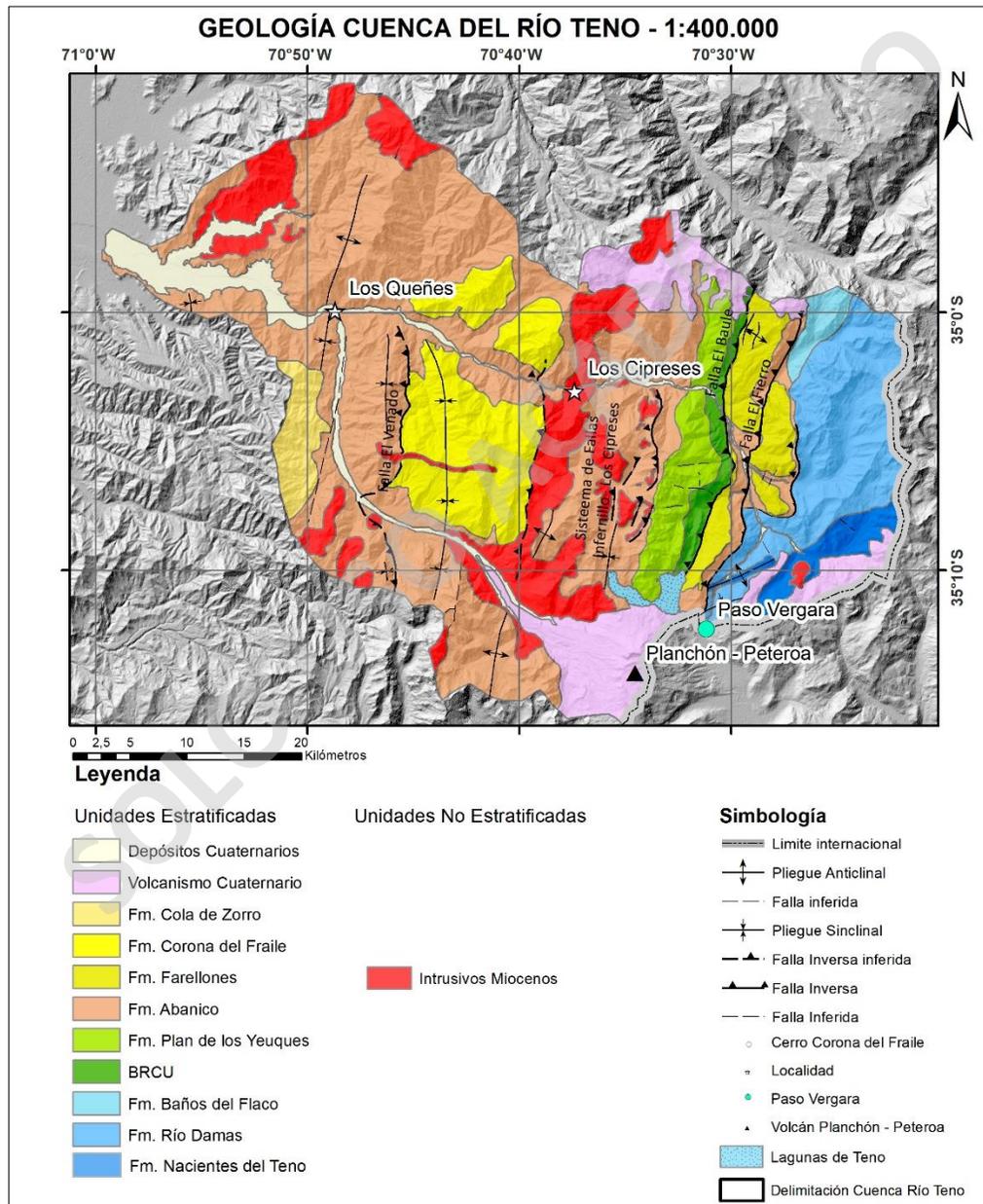


Figura 3: Mapa geológico escala 1:400.000. Elaborado a partir de los trabajos de González y Vergara (1962), Piquer (2010), Contreras y Schilling (2012), Hevia (2014), Muñoz et al. (2018) y Arellano (2019).

## 3.2. Marco Estratigráfico

### 3.2.1. Unidades Estratificadas

Las sucesiones estratigráficas que afloran en la zona de estudio corresponden a rocas del Jurásico al Cuaternario (Figura 4).

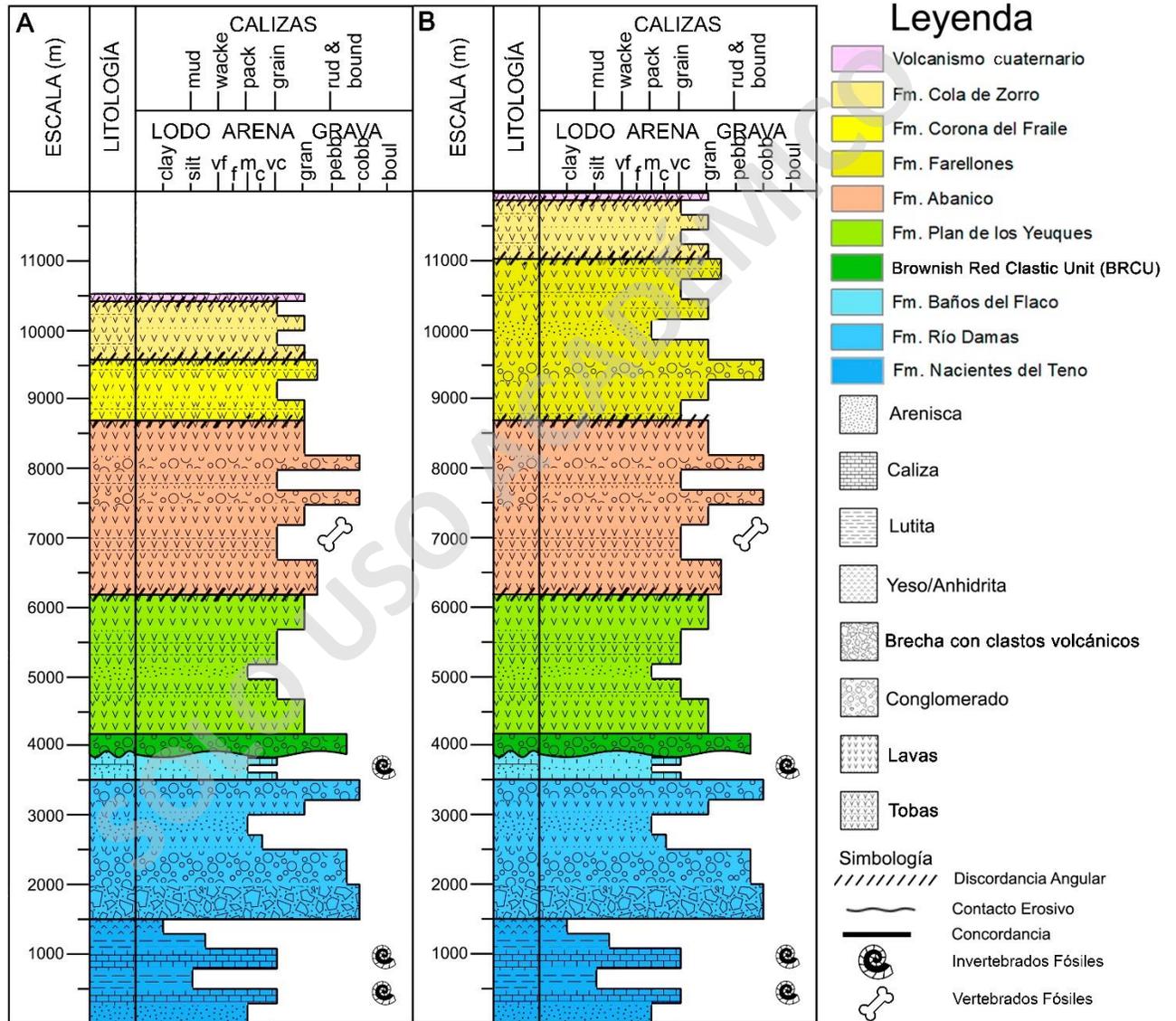


Figura 4: Columna estratigráfica esquemática de las unidades estratificadas que afloran en el área de estudio. La norma de colores se rige por la de la comisión del Mapa Geológico del Mundo (CCGM-IUGS, CMYK)

### 3.2.1.1. Formación Nacientes del Teno (Jurásico Medio – Jurásico Superior)

Definida por Klohn (1960). Aflora en el valle del río Vergara (Davidson, 1971). Corresponde a la unidad estratigráfica más antigua de la zona de estudio. Consiste en una sucesión de conglomerados, arcosas, lutitas laminadas, calizas fosilíferas, margas, depósitos de anhidrita, yeso y rocas piroclásticas. (Piquer, 2005), con un espesor aproximado de 1500m (Klohn, 1960).

Se divide en dos miembros, definidos en el sector del Paso Santa Elena por Davidson (1971).

a) Miembro Rinconada: Sobreyace en discordancia a tobas riolíticas soldadas del Grupo Choiyoi. Tiene un límite transicional con el miembro superior Santa Elena. Consiste en 150 m de brechas y grauvacas violáceas, 100 m de brechas y microconglomerados verdes (granos de arena gruesa en matriz de limo-arcilla), 50 m de margas grises fosilíferas y 90 m de calcarenitas y areniscas grises en bancos de 20 a 80 cm, que alternan con bancos conglomerádicos verdes de 1 m. Contiene bivalvos y ammonites de edad oxfordiana.

b) Miembro Santa Elena: Sobreyace transicionalmente al Miembro Rinconada e infrayace en concordancia a la Formación Río Damas. Consiste en 200 m de yeso y anhidrita (Davidson, 1971) con un límite inferior de 40 m de calcarenitas amarillentas en la base y grises, con capas de yeso cada vez más frecuentes, hacia el techo.

A partir de su fauna fósil, la unidad se ha asignado al Kimmeridgiano inferior (Klohn, 1960). Davidson (1971) asocia los depósitos inferiores al Bajociano inferior y a las capas del techo al Oxfordiano superior. Junkin y Gans (2019) realizaron dataciones radiométricas U-Pb en circones detríticos, obteniendo edades máximas de depositación en 151 Ma.

Davidson (1971, 1988), Davidson y Vicente (1973) concluyeron que la Formación fue depositada principalmente por flujos de escombros y corrientes de turbidez en abanicos submarinos, que construyeron una plataforma volcánica progradante. Con base en la abundancia de clastos de andesita y piedra pómez fragmentada en la unidad, Davidson (1988) propuso que los abanicos fueron abastecidos por detritos volcánicos derivados de la erosión de las formaciones Jurásicas Horqueta y Altos de Hualmapu, que afloran hoy en la Cordillera de la Costa.

### 3.2.1.2. Formación Río Damas (Jurásico Superior)

Definida por Klohn (1960). Aflora en la parte superior de los ríos Nacimiento, Pellejo y Vergara (Davidson, 1971), y en las quebradas La Zorra y Vega Chica (Piquer, 2005). Consiste en una secuencia sedimentaria continental de color gris rojizo con un espesor entre 2000 – 3500 m (González y Vergara, 1962; Davidson, 1971). Está compuesta principalmente por brechas gruesas con clastos volcánicos, conglomerados gruesos, areniscas rojas, litarenitas e intercalaciones finas de limolita. En los 1000 m superiores presenta abundantes intercalaciones volcánicas. Se encuentra concordante tanto con la infrayacente Formación Nacientes del Teno como la sobreyacente Formación Baños del Flaco (Klohn, 1960). En la

quebrada de La Vega Chica se encuentra en contacto por falla con rocas cenozoicas (Piquer, 2005).

En base al contenido fósil de las unidades marinas superiores e inferiores se le asigna una edad bajociana – kimmeridgiana (Klohn, 1960; González y Vergara, 1962; Davidson, 1971). Aguirre et al., (2009) realizó dataciones radiométricas Ar/Ar en plagioclasas de lavas de la Formación, entregando valores de 122+/-2 Ma. Su ambiente de depositación ha sido interpretado por Davidson (1971) como piedemonte en la base de una cordillera volcánica situada al oeste, que se habría desarrollado en una cuenca de rift formada en el dominio de trasarco, al inicio del segundo ciclo de transgresión - regresión en el Jurásico Superior – Cretácico temprano.

#### 3.2.1.3. Formación Baños del Flaco (Jurásico Superior)

Definida por Klohn (1960). Aflora en los valles de los cursos superiores de los ríos Teno y Tinguiririca (Davidson, 1971; Piquer, 2005). Consiste en una secuencia marina fosilífera con un espesor aproximado de 400 m (Davidson, 1971; Arcos, 1987). Compuesta por una serie basal de areniscas verdosas, seguida de una secuencia de calizas, areniscas calcáreas y margas (Klohn, 1960; González y Vergara, 1962). Subyace en contacto discordante erosivo a la unidad *Brownish Red Clastic Unit* (BRCU) y sobreyace concordantemente a la Fm. Río Damas (Charrier, 1996).

Presenta un abundante contenido de ammonoideos, que indican una edad titoniana (Davidson, 1971; Covacevich et al., 1976; Biro-Bagoczky, 1964). También contiene huellas de dinosaurios bien expuestas en su base (Casamiquela y Fasola, 1968). Según Covacevich et al., (1976) la formación representa características de un ciclo de transgresión-regresión con una evolución gradual de facies desde plataforma cerrada a borde de plataforma somera, en un clima tropical a subtropical. Un nivel alterado blanco amarillento y un nivel café en el techo de la serie calcárea justo debajo de brechas conglomerádicas sugiere un episodio de emergencia y erosión de la cuenca, o de interrupción de la sedimentación. La cuenca asociada ha sido reconocida como la cuenca Neuquina. Astaburuaga (2014) sugiere, en base a dataciones U-Pb en circones detríticos, que la principal fuente de los sedimentos de los niveles del techo de la Fm. Baños del Flaco provienen desde el arco volcánico ubicado al oeste.

#### 3.2.1.4. *Brownish Red Clastic Unit* (BRCU) (Cretácico Superior)

Unidad informal propuesta por Charrier (1996), aflora en las nacientes del Río Malo y en el estero Los Maitenes. Consiste en una sucesión continental detrítica de coloración pardo-rojiza con un espesor aproximado de 250 m. Compuesta por un miembro basal de brechas sedimentarias con clastos principalmente de caliza, pertenecientes a la formación que la subyace, conglomerados y areniscas conglomerádicas intercaladas con limolitas y areniscas hacia el techo (Charrier, 1996; Zapata, 1995). Sobreyace mediante un aparente contacto

concordante a la Fm. Baños del Flaco y subyace discordantemente a la Formación Abanico (Charrier et al., 1996).

La unidad fue asignada al Cretácico Superior, a partir de la correlación de restos fosilíferos de dinosaurios encontrados en el miembro superior con el grupo Neuquén (Charrier, 1996). Posteriormente, Tapia (2015) realizó dataciones U-Pb en circones detríticos, las cuales acotan una edad de depositación entre 96 y 83,8 ( $\pm 2$ ) Ma, Muñoz et al. (2018) también realiza dataciones radiométricas en circones detríticos y le asigna a esta unidad al Cenomaniano – Campaniano. La tendencia granodecreciente y un adelgazamiento sugieren depositación retrógrada durante el inicio de la subsidencia en el margen de cuenca. La correlación con el Grupo Neuquén en Argentina ha llevado a considerar que BRCU se depositó durante la evolución de antepaís de la cuenca de Neuquina (Charrier, 1996, 2014).

#### 3.2.1.5. Formación Plan de los Yeuques (Cretácico Superior)

Definida por González y Vergara (1962). Aflora en la ladera sur-oriental del valle del curso superior del Río Teno (González y Vergara, 1962). Según Persico (2016) consiste en una secuencia volcánica y volcanoclástica con un espesor aproximado de 2200 m. Compuesta por basaltos, andesitas, tobas líticas y vítreas de composición ácida, e intercalaciones escasas de areniscas y conglomerados de retrabajo de material volcánico. Esta unidad se dispone en concordancia bajo la Formación Abanico (González y Vergara, 1962). Sin embargo, en base a las observaciones de Muñoz et al. (2018), se dispone bajo la Formación Abanico en discordancia angular. La misma autora reconoce un marcado contacto pseudo-concordante entre finas capas rojas del BRCU y potentes estratos de tobas macizas y lavas pertenecientes a la Formación Plan de los Yeuques.

Se han realizado dataciones radiométricas por Mosolf (2013) y por Tapia (2015), de U-Pb en circones y Ar-Ar en plagioclasas de rocas volcánicas, entregando un rango de edad entre 75 y 63,4 Ma, asignado al Campaniano – Daniano. Su depositación tendría lugar en una cuenca extensional durante la iniciación de un periodo de intensa actividad volcánica

#### 3.2.1.6. Formación Abanico (Eoceno superior – Mioceno inferior)

Definida por Aguirre (1960). Aflora en la Cordillera Occidental y los cerros isla de la Depresión Central, entre los 31°S y 36°S (Aguirre, 1960; Klohn, 1960; González y Vergara, 1962; Charrier, 1996; Fock et al., 2006). Consiste en una sucesión de rocas volcánicas con intercalaciones volcanoclásticas y subordinadamente sedimentarias fluviales, aluviales y lacustres, con un espesor total aproximado de 2500 m (Charrier, 2002). Hacia la base, los niveles de lava se presentan como secuencias andesíticas brechosas de color púrpura verdoso, con una gradación hacia el techo a lavas andesíticas porfídicas, andesíticas afaníticas y a dacitas brechosas (Gana y Wall, 1997). Hacia el techo, se reconocen secuencias de brechas piroclásticas, andesitas y tobas de lapilli (Gana y Wall, 1997).

Piquer (2010) describe en el sector del valle del río Teno dos miembros informales separados lateralmente por la formación Farellones como:

(a) Miembro occidental (superior): aflora en los cordones montañosos que se encuentran entre los ríos Malo por el oeste y Vergara por el este. Más al norte, aflora al este del valle del río Teno. Tiene un espesor total de ~1900 m. Corresponde a ~400 m lavas andesíticas alternadas con niveles de conglomerados finos, medios, limo y areniscas finas, 900 m de depósitos piroclásticos de tobas de lapilli y cenizas que presentan intercalaciones de flujos de detritos y conglomerados gruesos y ~600 m de volcanitas con intercalaciones de conglomerados, litarenitas y lutitas con fauna fósil de mamíferos de edad miocena.

(b) Miembro oriental (inferior): aflora al oeste de los valles de los ríos Teno y Malo. Tiene un espesor mínimo estimado de 2300 m. Corresponde a 300 m de andesíticas porfíricas color gris, con fenocristales de plagioclasa de 2 mm, que forman coladas de 2 a 12 m de potencia, 250 a 400 m de wackes de grano medio y grueso; y conglomerados polimícticos de grano fino que forman niveles bien estratificados en bancos de 30 cm a 1 m de espesor, de color rojizo; 100 m de lutitas y calcilutitas con wackes y arenitas líticas finas a medias, grises, lenticulares; y más de 1500 m de lavas andesíticas porfíricas intercaladas con lavas afáníticas de color gris de 3 a 10 m de espesor, con intercalaciones sedimentarias finas de 1 a 1,5 m de espesor, lenticulares, compuestas por wackes líticas gruesas y conglomerados finos rojizos.

Esta formación se encuentra plegada y afectada por un pervasivo metamorfismo de muy bajo grado (Aguirre, 1960; Thiele, 1980) y dispuesta en contacto tectónico con las unidades Mesozoicas infrayacentes mediante fallas inversas de alto ángulo y vergencia al E (Falla El Diablo – Las Leñas-Espinoza – El Fierro; Godoy, 1991; Charrier, 1996, 2002; Tapia, 2015). El contacto con la suprayacente Formación Farellones ha sido descrito como concordante y discordante en distintas localidades (Aguirre, 1960; Klohn, 1960; González y Vergara, 1962; Charrier 1973, 1981a, b; Thiele 1980; Quiroga, 2013; Hevia, 2014; Tapia, 2015). Al norte del área de estudio, en la cuenca del río Tinguiririca, Tapia (2015) describe una discordancia angular.

Presenta numerosas dataciones radiométricas y contenido de fauna fósil que permiten asignarle una edad eocena media - miocena temprana (Charrier et al., 2002). La datación más joven indica una edad de  $20,9 \pm 0,69$  Ma (Flynn et al., 1995) en el valle del río Las Leñas, los depósitos más antiguos han sido datados por Mosolf (2013) mediante el método Ar-Ar en plagioclasas, entregando una edad aproximada de 47,3 Ma, en la localidad de Termas del Flaco. Charrier (1996, 2002) concluye que estos niveles se habrían depositado en una cuenca extensional caracterizada por continuas efusiones en un ambiente de intra-arco de orientación NS, invertidas en el Mioceno.

### 3.2.1.7. Formación Farellones (Mioceno)

Definida por Klohn (1960). Aflora al este de la zona de estudio, en el Estero Los Maitenes y Estero del Colorado. Consiste en una secuencia volcánica con un espesor aproximado de 2400 m (Thiele, 1980; Charrier, 2002). Compuesta por tobas líticas y vítreas de lapilli, lavas andesíticas a riolíticas, depósitos volcanoclásticos y escasas intercalaciones sedimentarias (Thiele, 1980; Charrier, 1981; Vergara et al., 1988, Arellano, 2019). Tapia (2015) la describió en el área del río Tinguiririca como una sucesión de tobas y lavas andesíticas en la base, con algunas intercalaciones de areniscas y potentes capas conglomerádicas, mientras que hacia el techo hay un dominio de niveles sedimentarios más finos, con intercalaciones esporádicas de niveles volcánicos. Al norte del área de estudio, en la cuenca del río Tinguiririca, Tapia (2015) describe una discordancia angular.

La Formación presenta dataciones radiométricas K/Ar en roca total que indican edades oligocenas a 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). Dataciones mediante el método K/Ar en plagioclasas indican edades de  $23,1 \pm 2,3$  Ma (Rivano, 1996) y  $18,2 \pm 0,9$  Ma (Vergara et al., 1988). Se ha interpretado como una sucesión volcánica continental desarrollada en un ambiente subaéreo, representando el arco volcánico del Mioceno (Moscoso et al., 1982; Vergara et al., 1988; Rivano et al., 1993).

### 3.2.1.8. Formación Corona del Fraile (Mioceno)

Definida por González y Vergara (1962). Aflora en el cerro homónimo. Posee su mayor desarrollo en el área de los cerros situados al oriente de Los Queñes, entre los ríos Teno y Claro (González y Vergara, 1962). Consiste en una sucesión volcánica con un espesor aproximado de 900 m. Su techo corresponde a la actual superficie de erosión (Hevia, 2014). Compuesta de tobas cristalinas, vítreas y líticas de lapilli medio a ceniza de composición andesítica a dacítica, brechas volcánicas con intercalaciones de menor espesor de rocas efusivas andesíticas, conglomerados finos y areniscas (González y Vergara, 1962; Hevia, 2014; Arellano, 2019). Estudios de Hevia (2014) indican que la formación presenta troncos fósiles en tobas de pómez. Corona del Fraile sobreyace a la Formación Abanico mediante discordancia angular (Hevia, 2014).

La formación presenta dataciones radiométricas U-Pb en circones magmáticos y detríticos, realizadas por Hevia (2014) y Arellano (2019), las que arrojan una edad de  $\sim 17$  Ma, correspondiente al Burdigaliano. El ambiente de depositación está asociado a un sistema fluvial en el que se acumularon grandes cantidades de sedimento clástico provenientes de la denudación de áreas volcánicas y graníticas solevantadas (González y Vergara, 1962).

### 3.2.1.9. Formación Cola de Zorro (Plioceno - Pleistoceno)

Definida por González y Vergara (1962). Aflora al sur de la localidad de Los Queñes, al oeste del río Claro. Consiste en una secuencia volcánica con intercalaciones volcanoclásticas de un espesor aproximado de 800 m (González y Vergara, 1962). Compuesta de coladas de lava andesítica basálticas, basaltos con clinopiroxenos y tobas líticas de la misma composición (González y Vergara, 1962). Sobreyace en discordancia angular a la formación Abanico.

Presenta dataciones radiométricas K/Ar realizadas en roca total por Vergara y Munizaga (1974), Drake (1976) y en plagioclasas por Gardeweg (1981), las cuales han dado un rango entre el Plioceno y el Pleistoceno. Sus afloramientos están asociados a estratovolcanes altamente erosionados, los generadores del material constituyente de esta formación (Vergara, 1982).

### 3.2.1.10. Volcanismo del Cuaternario (Pleistoceno - Holoceno)

Descrito por Charrier (1996). Aflora en el sector oriental coronando las cumbres de la zona de estudio. Consiste en las unidades volcánicas compuestas por andesitas basálticas de piroxeno y olivino, andesitas, dacitas, ignimbritas andesíticas, brechas piroclásticas y tobas líticas (Arcos, 1987; en Charrier, 1996). Representan unidades del Grupo Volcánico Tinguiririca y se disponen en discordancia angular sobre las unidades mesozoicas y cenozoicas descritas en el sector (Charrier, 1996).

### 3.2.2. Unidades Intrusivas

Han sido descritas por múltiples autores (González y Vergara, 1962; Piquer 2005, 2010; González, 2008; Hevia, 2014; Tapia, 2015; Arellano, 2019). Corresponden principalmente a stocks, diques y filones con una tendencia de elongación NNE-SSW.

Compuestas por granodioritas de color claro, y textura fanerítica con tendencia porfídica, dioritas de hornblenda, granodioritas de hornblenda y biotita, tonalitas de hornblenda de grano fino de color gris amarillento y pórfidos dacíticos de biotita (González y Vergara, 1962; Contreras, 2008; Piquer, 2005, 2010, Arellano, 2019).

La Figura 5 muestra las dataciones realizadas en el área de estudio, la cual indica que todas las unidades son de edad miocena, exceptuando sólo una. Esta distribución indica que hacia el E las unidades son cada vez más jóvenes (Piquer, 2010; Arellano, 2019), lo que sugiere una migración del arco magmático Cenozoico hacia el este (Piquer, 2010; Charrier, 2007; Muñoz, 2009; Arellano, 2019).

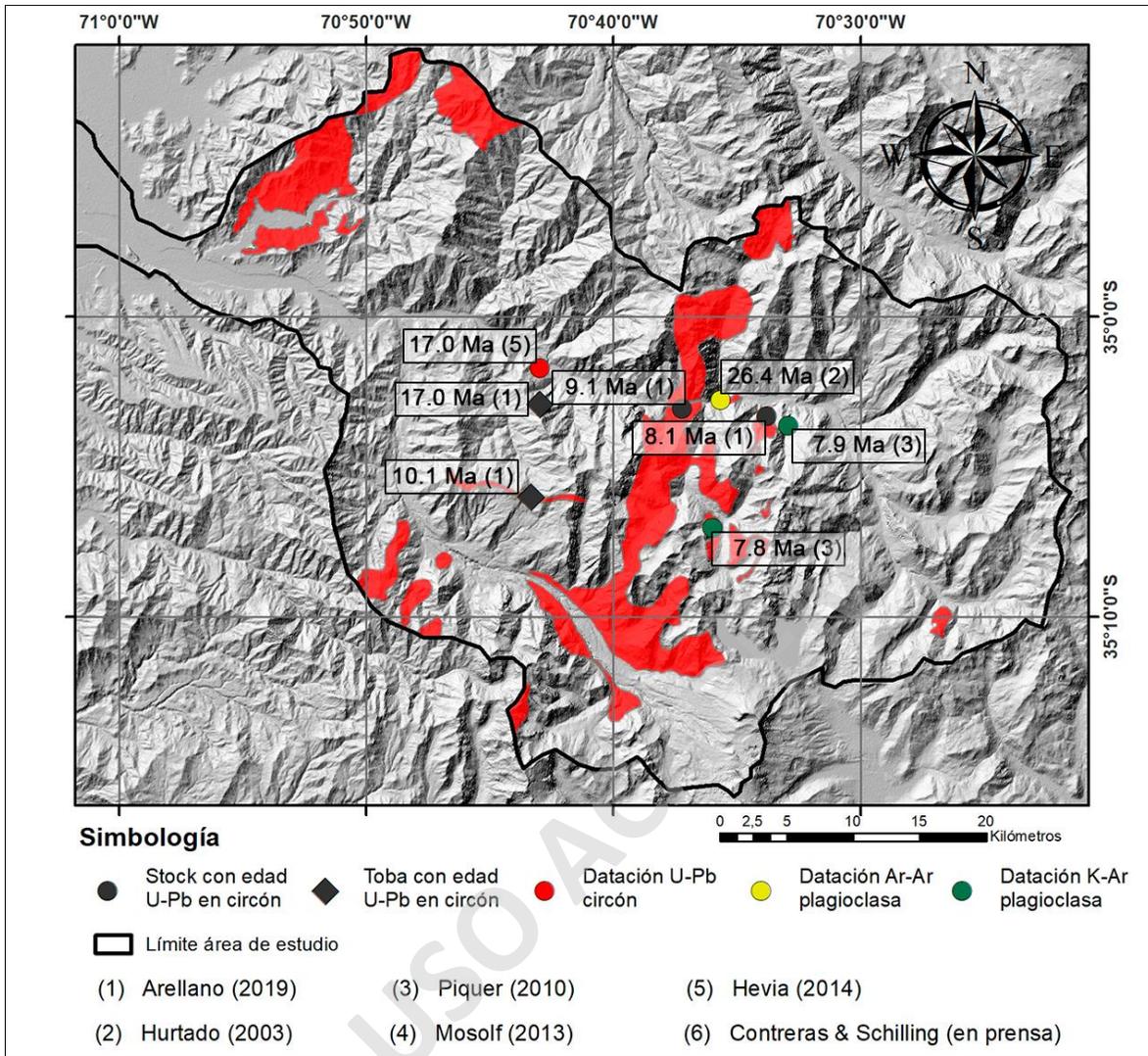


Figura 5: Distribución de dataciones radiométricas reportadas para el área de estudio por Hurtado (2003), Piquer (2010), Contreras y Schilling (2012), Mosolf (2013), Hevia (2014) y Arellano (2019), en rojo cuerpos intrusivos registrados en el área. Modificado de Arellano (2019).

### 3.2.3. Unidades No Consolidadas

#### 3.2.3.1. Depósitos aluviales (Pleistoceno - Holoceno)

Descritos por Contreras y Schilling (2012) como depósitos con morfologías de abanico, conos de deyección y coluvios, asociados a piedemontes y quebradas adyacentes. Los coluvios están formados por sedimento muy anguloso con mala selección y nula madurez textural. Los aluviones están formados por depósitos ricos en limo y arcilla, con contenidos variables de bloques, y con muy baja madurez textural.

### 3.2.3.2. Depósitos fluviales (Holoceno)

Descritos por Contreras (2012) como depósitos formados por los cursos fluviales activos. Compuestos por bloques y gravas no consolidadas, bien redondeadas, con moderada esfericidad, clastosoportados y polimícticos. Ocasionalmente estos fragmentos pueden estar imbricados. También incluyen escasos bancos de arenas y limos.

## 3.3. Marco Tectónico

### 3.3.1. Unidades Morfoestructurales

Las unidades morfoestructurales presentes en el área de estudio corresponden a la Precordillera y Cordillera Andina (Figura 6). La Cordillera Andina se encuentra formada por depósitos volcánicos y sedimentarios cenozoicos representados por las formaciones Abanico y Farellones, que predominan en el sector occidental, y por depósitos mesozoicos fuertemente deformados en el sector oriental. A latitud 35°S estas franjas están dispuestas en una dirección preferente NNE-SSW y presentan una altura promedio de 2500 m.s.n.m. (Charrier et al., 2002, 2007, Farías et al., 2008, 2010; Fock et al., 2006). Al sur de los 34°15'S, las unidades mesozoicas se caracterizan por albergar la deformación asociada al desarrollo de la faja plegada y corrida de Malargüe (Giambiagi y Ramos, 2002; Giambiagi et al., 2003; Fock, 2005; Fock et al., 2006; Farías, 2007; Farías et al., 2008).

El límite entre los dominios oriental y occidental estaría marcado por el sistema de fallas inversas El Diablo – Las Leñas – El Fierro, de importancia regional a lo largo de Chile Central (Godoy, 1991; Davidson, 1973; Fock et al., 2006; Farías et al., 2008; Tapia, 2015).

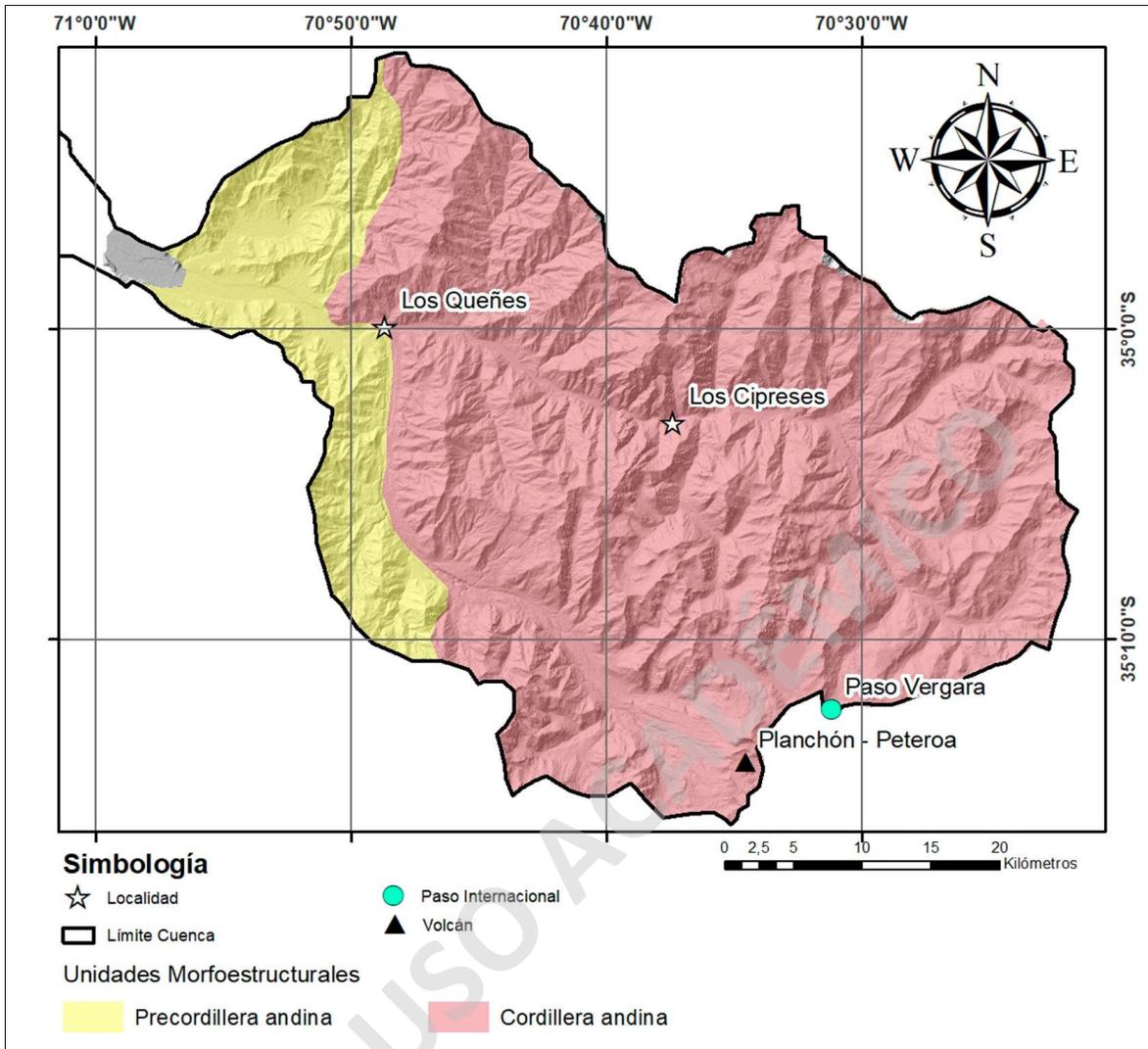


Figura 6: Disposición de las principales unidades morfoestructurales de orientación NS de la zona de estudio. En amarillo se destaca la Precordillera, mientras que en rojo se delimita la Cordillera Andina. Desarrollado a partir de información digital obtenida de la Universidad de La Frontera.

### 3.3.2. Estructuras

En el área de estudio han sido reconocidas estructuras características de un dominio compresivo, en donde se han registrado fallas inversas con vergencia hacia el este (e.g. Piquer, 2010; Hevia, 2014; Tapia, 2015; Muñoz et al, 2018). Algunas de ellas se han correlacionado con estructuras de gran relevancia a nivel regional. Estas estructuras presentan una orientación preferencial NNE-SSW (Figura 7). Las formaciones del Mesozoico y Cenozoico presentes en el sector se encuentran altamente deformadas y basculadas, en donde han sido registrados múltiples pliegues anticlinales y sinclinales (e.g. Morales, 2008; Tapia, 2015). A continuación, se describen las principales estructuras reconocidas, de este a oeste.

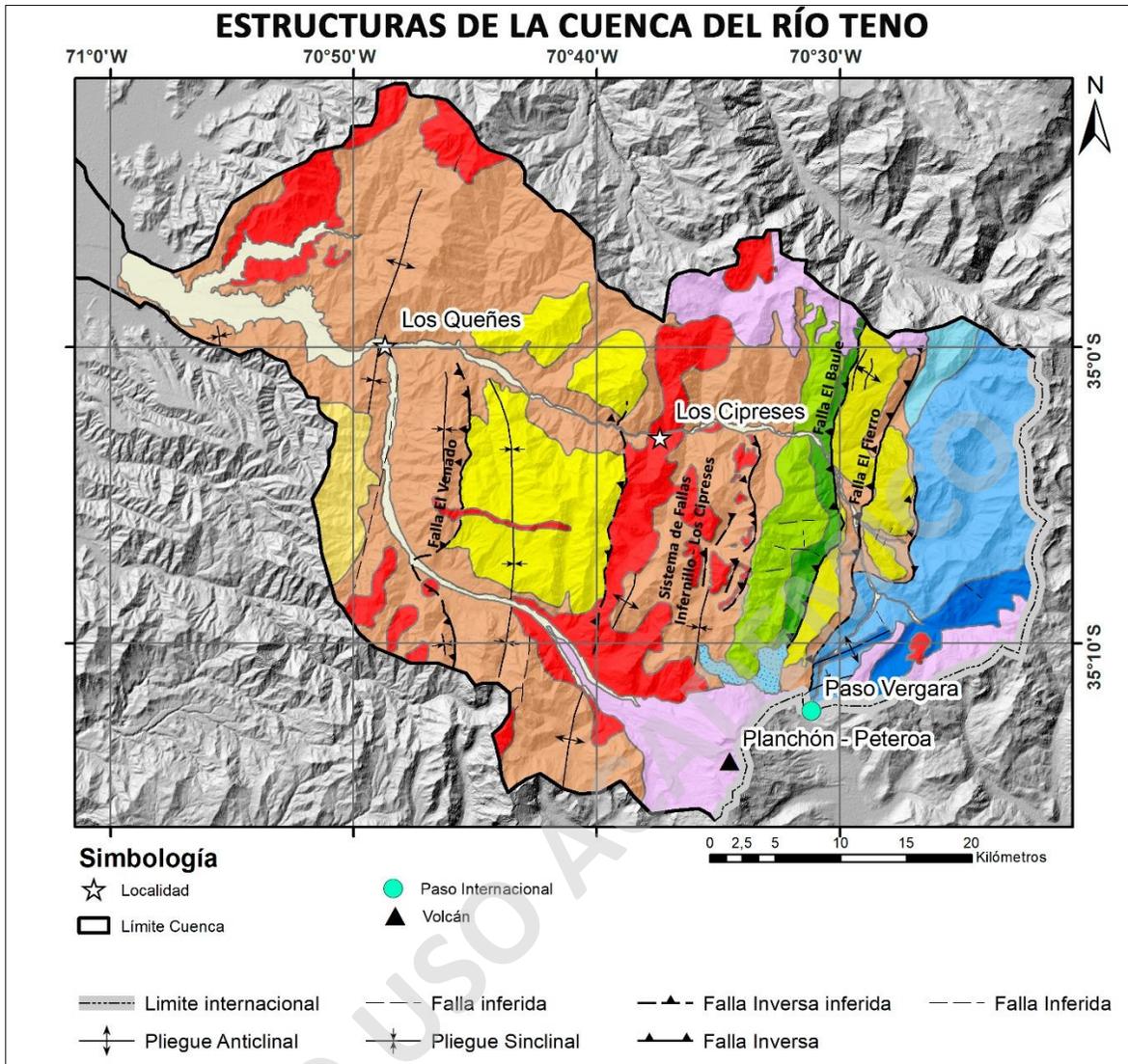


Figura 7: Principales estructuras presentes en el área de estudio, de una orientación preferencial NNE-SSW. Compilado realizado a partir de los trabajos de González y Vergara (1962), Piquer (2010), Contreras y Schilling (2012), Hevia (2014), Muñoz et al. (2018) y Arellano (2019).

### 3.3.2.1. Falla El Fierro

La Falla El Fierro pertenece a un sistema de falla regional (Charrier et al., 2005, Farías et al., 2010) que ha sido reconocido desde 33°30'S hasta 36°S (Astaburuaga, 2014; Charrier, 1973; Fock, 2005; Tapia, 2010), según su latitud se ha reconocido: Falla El Diablo a los 33°45'S (Fock et al., 2006], Falla Las Leñas-Espinoza a los 34°30'S (Charrier et al., 2002), y Falla El Fierro a los 35°S (Davidson, 1973). En el área de estudio se localiza en 70° 33'W y corresponde a la principal traza estructural presente en la región, con un rumbo aproximado NNE-SSW y un manteo de 45-50°W (Hevia, 2014; Tapia, 2015), su traza aflora en las quebradas Vega Chica y La Zorra (González, 2008).

Debido a las relaciones de contacto y a la ausencia de Abanico al este, la falla El Fierro y todo el sistema estructural ha sido interpretada como parte del sistema extensional del borde oriental de la Cuenca de Abanico, invertido durante el Mioceno temprano a medio (Charrier et al., 1996, 2002, 2005). La estructura pone en contacto tectónico rocas cenozoicas con rocas mesozoicas, cabalgando Abanico sobre Baños del Flaco (Tapia, 2015). Esta falla habría permitido la apertura de la cuenca en la etapa extensional y su inversión a partir del Mioceno en esta región (Godoy et al., 1999; Piquer et al., 2010, Farías et al., 2010). Piquer (2010) afirma que las rocas del bloque alzado presentan edades más jóvenes que el bloque yacente, lo cual indica que la inversión de la estructura no fue total.

### 3.3.2.3. Falla El Baule

Reconocida como una falla inversa de vergencia E y orientación N-S, en el área de estudio aflora a lo largo del estero Los Maitenes y en las nacientes del Río Malo. Esta estructura monta a Plan de los Yeuques sobre las secuencias volcánicas y sedimentarias de Farellones (Tapia, 2015).

Esta falla se habría desarrollado junto a la Falla El Fierro durante el Mioceno, en el periodo de deformación de la región occidental de la Cordillera Principal. Modelos realizados por Tapia (2015) asocian las fallas El Baule y El Fierro a fallas tipo *by-pass* y *short-cut*, respectivamente, las cuales se propagarían a partir de una falla inversa principal con manteo al W.

### 3.3.2.3. Sistema de fallas Infiernillo-Los Cipreses

Corresponde a estructuras menores de rumbo N20°E variando a N-S que afectan parte de las sucesiones pertenecientes a la Formación Abanico, generando pliegues de arrastre con vergencia oriental, ubicados aproximadamente 10 km al W de la Falla El Fierro (Piquer, 2010). A lo largo de la traza de estas estructuras se emplazan franjas de cuerpos intrusivos descritos por Piquer (2010) como dioritas y pórfidos riódacíticos de edad miocena.

Magnetotelúrica realizadas a lo largo del valle del Río Teno por Díaz (2007) mostró ambientes conductores subverticales de hasta 10 km de profundidad, interpretados como los conductos de ascenso magmático en el Mioceno tardío, que permitieron el emplazamiento de los intrusivos de Infiernillo-Los Cipreses.

Esto ha llevado a interpretar al sistema de fallas como una gran estructura de relevancia regional, que junto a la Falla El Fierro, constituyen las fallas de borde de cuenca que permitieron tanto la apertura como la inversión de la Cuenca de Abanico (Charrier et al. 2002, 2005; Fock et al. 2006; Farías et al., 2010).

#### 3.2.2.4. Falla Corona del Fraile

Hevia (2014) infiere esta falla a partir de evidencia de basculamiento de entre 16° y 25° hacia el SW de los estratos de la Formación Corona del Fraile, ubicados al W de la estructura y un contacto litológico abrupto con unidades intrusivas granodioríticas ubicadas al E de la estructura inferida. Está localizada aproximadamente 10 km al oriente de la falla El Venado y corresponde a una falla inversa que pone en contacto las unidades estratificadas de la Fm. Corona del Fraile y de la subyacente Formación Abanico con cuerpos intrusivos miocenos.

Parada (2008) reconoce la Falla Huemulina, de similares características, ya que es una falla inversa de vergencia hacia el este y rumbo NNE-SSW, ubicada inmediatamente al norte de la zona de estudio y correspondiente al límite oriental del bloque estructural Las Mulas. Hevia (2014) propone que debido a la proximidad y similitud son las estructuras del Sistema de Fallas Infernillo – Los Cipreses, esta estructura podría estar agrupada dentro del mismo sistema.

#### 3.2.2.5. Falla El Venado

Hevia (2014) reconoce esta estructura que aflora en la ladera E del Cordón El Venado y se prolonga hacia el sur del Río Claro, donde se puede observar la vergencia de la falla. El autor la caracteriza como una falla inversa de vergencia al E y rumbo aproximado N-S, localizada aproximadamente 20 km al W de la Falla El Fierro. Esta estructura cabalga unidades cenozoicas de la Fm. Abanico sobre unidades más jóvenes de la Fm. Corona del Fraile.

Los estratos sedimentarios de la Formación Abanico afloran al oeste de esta estructura y concentran una fuerte deformación intracutánea, presentando pliegues apretados en la línea de cumbres del Cordón El Venado (Hevia, 2014).

Se han reconocido estructuras de similares características tanto al norte como al sur de  $A = \pi r^2$  de estudio. Parada (2008) reconoce al norte del sector la Falla La Palma, con rumbo NNE-SSW y vergencia E. Hurtado (2003) reconoce al sur del sector una estructura equivalente, con vergencia al W.

### 3.4. Marco de Evolución Tectono-Estratigráfica

La evolución geológica de los Andes de Chile Central (26°-38°S) ha sido caracterizada mediante 3 etapas, propuestas por Mpodozis y Ramos (1990) como: (1) Ciclo tectónico Famatiniano; (2) Ciclo tectónico Gondwánico; (3) Ciclo tectónico Andino.

Las rocas más antiguas que afloran en el área de estudio corresponden a las sucesiones marinas de Nacientes del Teno, del Kimmeridgiano – Bajociano. Por lo tanto, la evolución geodinámica del valle del Río Teno se contextualiza en el Ciclo Tectónico Andino (Figura 8).

La tercera etapa, desarrollada entre mediados del Mesozoico y Cenozoico, se caracteriza por el reinicio de una subducción activa. A lo largo de este período, en el margen continental chileno se forma un arco volcánico ubicado en la actual Cordillera de la Costa, y una gran cuenca de trasarco extensional caracterizada por procesos de transgresiones y regresiones marinas (Charrier y Muñoz, 1994). Debido a pulsos y eventos compresivos posteriores, este arco magmático iría migrando hacia el este, hasta ubicarse en su posición actual a lo largo de del eje de la Cordillera Principal (Mpodozis y Ramos, 1989; Coira et al., 1982; Charrier et al., 2007). Luego se generaría una inversión y alzamiento de la cuenca de trasarco (Charrier y Muñoz, 1994). Entre el Cretácico tardío y el Eoceno temprano no se han encontrado evidencias que permitan reconstruir un modelo evolutivo en Chile Central, existiendo un hiato de ~17 Ma (e.g. Gana y Wall, 1997; Risetto, 2015; Tapia, 2015; Persico, 2016), que se caracteriza por una marcada discordancia erosiva entre las secuencias del Cretácico tardío y del Eoceno.

EDAD	ERA	PERIODO	CICLO TECTONICO	ETAPAS	SUBETAPAS	EVENTOS TECTONICOS	
10	CENOZOICO	NEOGENO	A N D I N O	Tercera	Segunda	Orogenia Pehuenche Extensión	
					Primera		Orogenia Incaica Transtensión
50	PALEOGENO	CRETACICO		Segunda	Segunda	Orogenia K-T Extensión	
					Primera		Orogenia Peruana Extensión
100	MESOZOICO			JURASICO	Primera	Segunda	
150						Primera	Subsidencia tectónica Emerción de la cuenca
200					Extensión	Subsidencia termal Subsidencia tectónica	

Figura 8: Ciclos tectónicos, orogenias y eventos en la evolución del margen continental del sur de Sudamérica (31°-37°S). Extraído de Charrier (2014).

### 3.4.1. Ciclo tectónico Andino en el área de estudio (~35°S)

La evolución del área de estudio comienza en el Jurásico medio, durante la primera sub-etapa del primer periodo del Ciclo Andino (Coira et al., 1982), en el contexto de una cuenca de trasarco extensional nombrada Cuenca Neuquina y con un arco volcánico geográficamente equivalente a la Cordillera de la Costa actual, formados por una subducción de tipo Mariana. En ella se deposita por subsidencia estructural la Formación Nacientes del Teno (Bajociano inferior – Oxfordiano superior) evidenciando un primer evento transgresivo sobre las rocas

volcánicas triásicas y un evento regresivo hacia finales del Jurásico Superior (e.g. Junkin y Gans, 2019), representado por las facies continentales de piedemonte de un arco volcánico de la Formación Río Damas (Kimmeridgiano) (Figura 9a). En este periodo se habría expandido el arco magmático hacia el este, tal como indicarían las facies volcánicas andesíticas con signatura de arco que caracterizan a la Fm. Río Damas (e.g. Rossel et al., 2014).

Durante el Jurásico Superior-Cretácico temprano ocurre subsidencia térmica y se produce un nuevo ingreso marino desde el oeste inundando toda la cuenca, lo que permitió la formación de extensos mares someros representados por la Formación Baños del Flaco (Titoniano) (Figura 9b). A comienzos del Cretácico Inferior, la Fase Araucana de carácter compresivo es marcada por depósitos continentales de la Formación Colimapu (Charrier et al, 2014). A finales del Cretácico Inferior las condiciones de subducción pasan a una de tipo chilena con un ángulo de subducción  $\sim 30^\circ$  y una convergencia con dirección NW – SE (e.g. Margirier et al., 2017), lo que se denomina Fase Peruana (Coira y otros, 1982). Esta fase invierte las cuencas, deforma y exhuma. Se erosiona completamente la Formación Colimapu, por lo que no aflora en el área de estudio, y parte de la Formación Baños del Flaco (Charrier, 1996). La inversión de la cuenca de trasarco y la formación de la cuenca de antepaís lo marca la depositación de conglomerados continentales de la BRCU (Cretácico Superior) (Charrier, 1996) que sobreyacen en discordancia a la Formación Baños del Flaco al norte del área de estudio (Figura 9c). BRCU habría tenido un principal aporte de sedimentos desde el oeste, provenientes del arco magmático Cretácico (Charrier, 2014; Astaburuaga, 2014; Tapia, 2015). En la misma cuenca extensional se depositarían las sucesiones volcánicas de Plan de los Yeuques (Figura 9d) durante el Campaniano – Daniano, al inicio de un periodo de intensa actividad volcánica (Muñoz et al., 2018; González y Vergara, 1962).

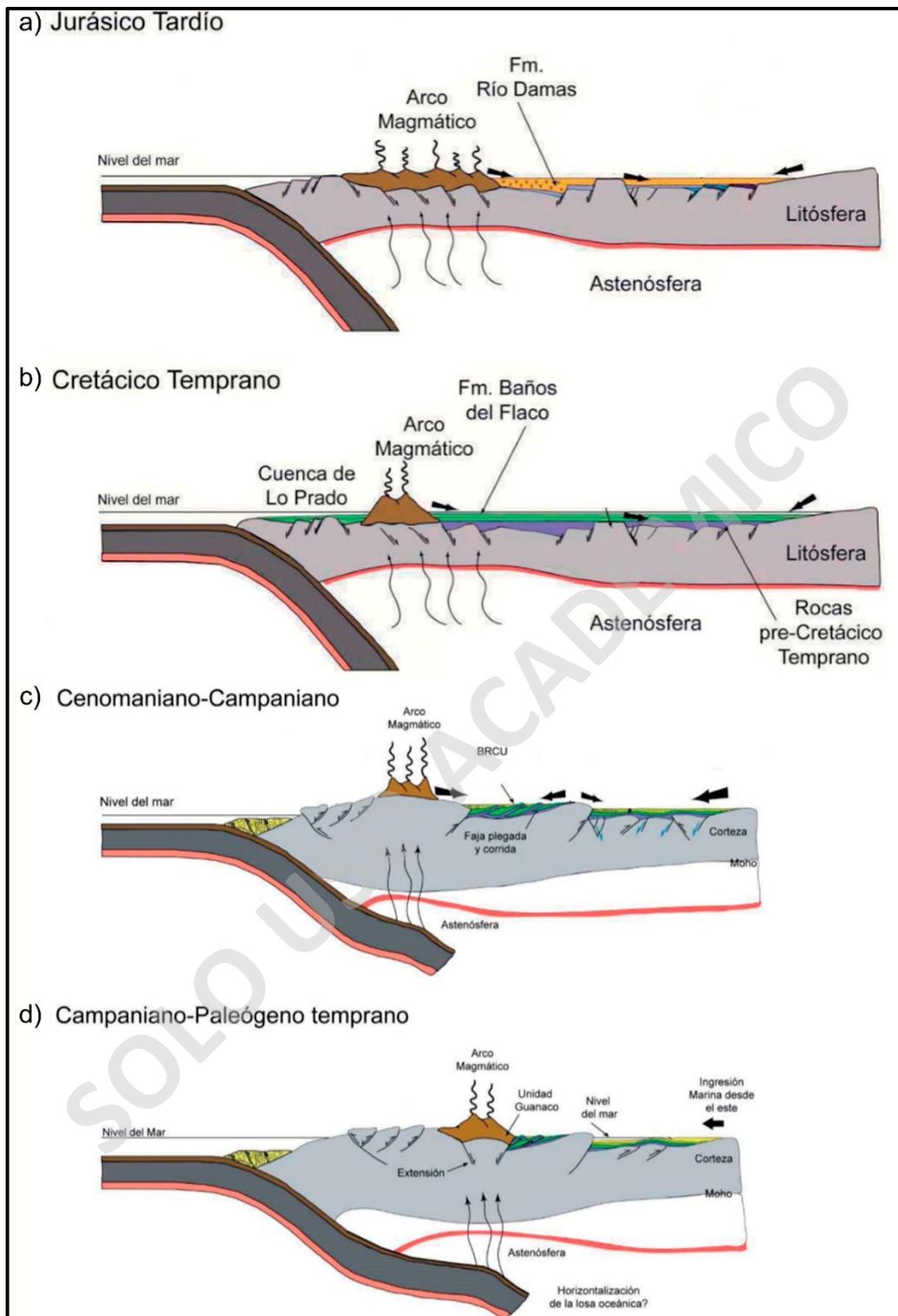


Figura 9: Evolución geológica y paleogeográfica en perfiles esquemáticos en torno a 35°S desde el Jurásico tardío hasta el Paleógeno temprano. a) Expansión del arco magmático y depósito de Río Damas durante un nuevo periodo extensional; b) Ingresión marina y desarrollo de la Cuenca de Lo Prado al oeste del arco magmático; c) Estructuración de las fajas plegadas y corridas junto con la acumulación de depósitos sinorogénicos; d) Estadío final de la fase compresiva, caracterizada por la migración del arco hacia el este, dominado por una deformación extensional, ingresión marina desde el este. Extraído de Tapia (2015).

A mediados del Eoceno, ocurre la Fase Incaica de carácter extensivo, que permite la acumulación de depósitos volcano-sedimentarios de la Formación Abanico (Eoceno superior-Mioceno inferior) en una cuenca con magmatismo de intraarco hasta el Oligoceno. Entre el Oligoceno superior y el Mioceno inferior ocurre la Fase compresiva Pehuenche, la cual deforma intensamente la Formación Abanico por la inversión de las fallas normales preexistentes, aquí se habrían comenzado a formar los grandes anticlinales que caracterizan la estructura a lo largo del valle del Tinguiririca (Tapia, 2015). Durante este periodo se depositan las sucesiones volcánicas de la Formación Farellones a partir del arco volcánico Mioceno (Moscoso et al., 1982; Vergara et al., 1988; Rivano et al., 1993; Tapia, 2015). En el Burdigaliano se depositan las unidades volcánicas y volcanoclásticas de la Fm. Corona del Fraile en un valle fluvial, los sedimentos tendrían una proveniencia a partir de la denudación de áreas volcánicas y graníticas alzadas durante los eventos de compresión del Mioceno.

En el transcurso del Mioceno, la compresión disminuye gradualmente, sin embargo, ocurren varios pulsos de deformación compresiva durante las fases Quechua y Diaguita (Plioceno) que ocasionaron fallamiento inverso. Esto produjo engrosamiento cortical y significativo alzamiento en la Cordillera Principal. Aquí se habrían desarrollado las fallas El Baule y El Fierro junto con los pliegues que deforman el miembro superior de la Fm. Farellones (Tapia, 2015). A partir del Plioceno las condiciones tectónicas del margen se han mantenido constantes (Melnick et al., 2006). Durante el volcanismo del Plioceno-Pleistoceno se depositaron las sucesiones volcánicas de la Formación Cola de Zorro, desde el arco volcánico en su posición actual (Vergara, 1982). Eventos volcánicos durante el cuaternario se mantienen en actividad, generando múltiples depósitos de unidades volcánicas en discordancia angular con el resto de las Formaciones reconocidas en el sector (Charrier, 1996). Los sistemas fluviales comenzaron a tener gran importancia debido a las grandes cantidades de sedimentos transportados desde la Cordillera de los Andes, originando los distintos depósitos aluviales, fluvio-aluviales y aluviales que rellenan el centro del valle y la Depresión Central.

## 4. MARCO PALEONTOLÓGICO

El patrimonio paleontológico está muy vinculado al geológico por la localización de los fósiles en el terreno y la información aplicada que éstos aportan para la comprensión de los procesos o eventos que han ocurrido a lo largo de la historia de la tierra (Rubilar, 2008). En 2008 es definido en el 1 simposio de paleontología en Chile como: “Los fósiles disponibles en las rocas o en particular los que integran colecciones científicas institucionales, así como los sitios o yacimientos paleontológicos donde están presentes o han sido encontrados...”.

El registro fósil presente en el área de estudio resulta de particular interés ya que se encuentra protegido mediante la Ley No. 17.288 de Monumentos Nacionales, donde abarca las piezas paleontológicas y los lugares donde se hallaren.

En las formaciones Nacientes del Teno, Baños del Flaco y Abanico, se ha registrado contenido fósil, a continuación, se revisa brevemente parte de la información disponible al respecto.

### 4.1. Nacientes del Teno

Estudios recientes de Junkin y Gans (2019) compilan información del registro fósil marino en la quebrada del río Nacimiento del Teno. Describen sucesiones apiladas de 10 – 50 cm de espesor de areniscas finas, limolitas y lutitas con escasas y tenues impresiones de restos de moluscos, y sin registro de ammonites. Junto a sucesiones de iguales características con abundante contenido de ammonites (Figura 10). En el mismo sector describe abundante presencia de ammonites contenidos en lutitas de grano fino a grueso intercaladas con conglomerados, calizas y areniscas de grano fino a grueso.

Ammonite specimen	Identification	Age	Unit specimen came from
A	? <i>Rehmannia</i> sp.	Early Callovian	Jnt <sub>A</sub>
B	? <i>Discosphinctes</i> sp.	Oxfordian	Jnt <sub>B</sub>
C	? <i>Perisphinctidae</i>	Oxfordian	Jnt <sub>B</sub>
D	<i>Neuquenicerias</i> cf. <i>biscissum</i> (Stehn)	Late Bathonian to early Callovian	Jnt <sub>A</sub>
E	? <i>Perisphinctidae</i>	Oxfordian	Jnt <sub>A</sub>
F1	? <i>Rehmannia</i> sp.	Late early to early middle Callovian	Jnt <sub>A</sub>
F2	? <i>Reineckeia</i> sp.	Early Callovian	Jnt <sub>A</sub>
G1	? <i>Rehmannia</i> sp. or ? <i>Tenuisphinctes</i> sp.	Early Callovian or early Oxfordian	Jnt <sub>B</sub>
G2	? <i>Rehmannia</i> sp. or ? <i>Tenuisphinctes</i> sp.	Early Callovian or early Oxfordian	Jnt <sub>B</sub>
G3	? <i>Rehmannia</i> sp. or ? <i>Tenuisphinctes</i> sp.	Early Callovian or early Oxfordian	Jnt <sub>B</sub>
G4	? <i>Neuquenicerias</i> sp.	Late Bathonian to early Callovian	Jnt <sub>B</sub>
H	? <i>Rehmannia</i> sp. or ? <i>Tenuisphinctes</i> sp.	Early Callovian or early Oxfordian	Jnt <sub>B</sub>
I	? <i>Rehmannia</i> sp. or ? <i>Tenuisphinctes</i> sp.	Early Callovian or early Oxfordian	Jnt <sub>B</sub>
J	? <i>Rehmannia</i> sp. or ? <i>Tenuisphinctes</i> sp.	Early Callovian or early Oxfordian	Jnt <sub>B</sub>
K	? <i>Caracolicerias</i> cf. <i>dunkeri</i> (Stein.)	Early to middle? Oxfordian	Jnt <sub>B</sub>
L	? <i>Perisphinctes</i> (? <i>Antiloceras</i> ) sp.	Oxfordian	Jnt <sub>B</sub>

Figura 10: Especies de ammonite identificados en la Formación Nacientes del Teno. Extraído de Junkin y Gans (2019)

## 4.2. Baños del Flaco

Estudios paleontológicos y estratigráficos de Vidal y Salazar (2018) en la ladera norte del valle del Río Tinguiririca describen abundante contenido fósil de amonites, bivalvos (ostras, cárdidos, pectínidos, inocerámidos, Pholadomyas), Turritella, braquiópodos, belemnites, escafópodos, algas, briozoos, equinoideos, corales coloniales Stelidioseris en posición de vida, huellas de dinosaurios, foraminíferos, serpúlidos y espículas de hialoesponjas, además de ooides, pisoides, pellets y calciesferas. Contenidos en estratos de conglomerados, calizas tipo wackestone, packstone y grainstone, areniscas y lutitas calcáreas.

## 4.3. Abanico

Sectores del valle de Tinguiririca, así como también en otros valles de la Cordillera Principal central, evidencian el amplio registro de mamíferos fósiles en la Formación Abanico (Croft et al., 2008). Una de las faunas de mamíferos terciarios más antiguas de Chile es la de Tapado, originaria del valle del río Tinguiririca. ca. 14 km al noroeste de las localidades que produjeron la Fauna Tinguiririca del Oligoceno más temprana (Hitz et al., 2006, en Croft et al., 2008). Dentro de los especímenes identificados se incluyen cf. Ernestokokenia (un "condilarto" didolodóntido), cf. Notonychops (potencialmente un notoungulado basal) y cuatro notoungulados: Notostylops sp. (Notostylopidae), Ignigena minisculus, (Interatheriidae), Eohyrax sp. (Hegetotheria) y Pleurostylodon sp. (Isotemnidae).

Uno de los conjuntos de mamíferos fósiles chilenos más importantes, y ciertamente el más conocido, es la fauna Tinguiririca de cerca de Termas del Flaco (35 ° S, 70 ° W) (e.g. Croft et al., 2008). Se han recolectado más de 350 especímenes de la localidad desde su descubrimiento en 1988, que representan dos docenas de especies de ungulados, marsupiales, xenartros y roedores nativos. Las dos especies de roedores se destacan por ser los primeros miembros registrados en América del Sur (e.g. Flynn et al., 2003; Croft et al., 2008).

## 5. DEFINICIÓN DE CONTEXTOS GEOLÓGICOS LOCALES PARA LA CARACTERIZACIÓN DEL PATRIMONIO GEOLÓGICO NACIONAL

En base a la información bibliográfica se proponen 9 contextos geológicos locales para comprender la evolución geológica de la zona de estudio e identificar los lugares más singulares y de mayor representatividad de cada contexto (Tabla 15 y Figura 11). Para la definición de estos, se utilizó como referencia los contextos geológicos chilenos definidos por Mourgues y Schilling (2012).

Tabla 15: Definición de los 9 contextos geológicos locales definidos para el valle del Río Teno. Se incluye una sección comparativa para establecer la equivalencia con los contextos geológicos nacionales para la caracterización del patrimonio geológico nacional definida por Mourgues et al., (2012).

Contexto Geológico Local	Definición	Equivalencia con los Contextos Geológicos Chilenos definidos por Mourgues et al. (2012)
<b>Ambientes fluvioaluviales del Cuaternario</b>	Incluye los depósitos y geoformas resultantes de los procesos fluviales y de remociones en masa del Pleistoceno – Holoceno. Incluye abanicos aluviales, coluviales y fluvioaluviales, caída de roca, entre otros.	Ambientes fluvioaluviales del Neógeno - Cuaternario
<b>Arco volcánico del Neógeno - Cuaternario</b>	Representado por las sucesiones volcánicas y volcanoclásticas de la Fm. Cola de Zorro y por las unidades volcánicas que afloran coronando las altas cumbres	Volcanismo Cuaternario
<b>Grandes estructuras de la cuenca del Teno</b>	Representado por las Fallas el Fierro, El Baule, Corona del Fraile, El Venado y el sistema de Fallas Infernillo – Los Cipreses	Mega Estructuras y Neotectónica de Chile
<b>Magmatismo del Paleógeno - Neógeno</b>	Representado por los Intrusivos Miocenos y Oligocenos emplazados en el área de estudio	Batolitos del Cenozoico y los grandes pórfidos cupríferos y depósitos de oro de Chile
<b>Depósitos continentales y arco volcánico del Paleógeno - Neógeno</b>	Representado por las sucesiones volcanosedimentarias de Abanico y las sucesiones volcánicas y volcanoclásticas de Farellones y Corona del Fraile	Depósitos Continentales Cenozoicos y sus fósiles de vertebrados
<b>Hiato estratigráfico del Cretácico - Paleógeno</b>	Representado por la discordancia angular presente entre las secuencias volcánicas del Cretácico Superior de la Fm. Plan de los Yeuques y las sucesiones volcánicas del Eoceno de la Fm. Abanico.	-
<b>Arco Volcánico del Cretácico Superior</b>	Representado por las sucesiones volcánicas y volcanoclásticas de la formación Plan de los Yeuques	Arco Volcánico del Mesozoico

<b>Series sedimentarias del Jurásico - Cretácico</b>	Representado por las sucesiones sedimentarias continentales de la formación Río Damas y la unidad BRCU	Series Continentales Mesozoicas y sus fósiles
<b>Ciclos marinos del Jurásico Medio - Jurásico Superior</b>	Representado por las secuencias marinas con contenido fósil de las formaciones Nacientes del Teno y Baños del Flaco.	Ciclos Marinos del Triásico - Jurásico

La distribución espacial de los CGL está intrínsecamente relacionada con la distribución de las unidades geológicas previamente nombradas en el área, las cuales se orientan en franjas N-S. Esto debido a que la definición de los CGL es realizada en base a las unidades y formaciones presentes, las que pueden ser agrupadas en periodos según el contexto representado dentro de la historia evolutiva del sector.

SOLO USO ACADÉMICO

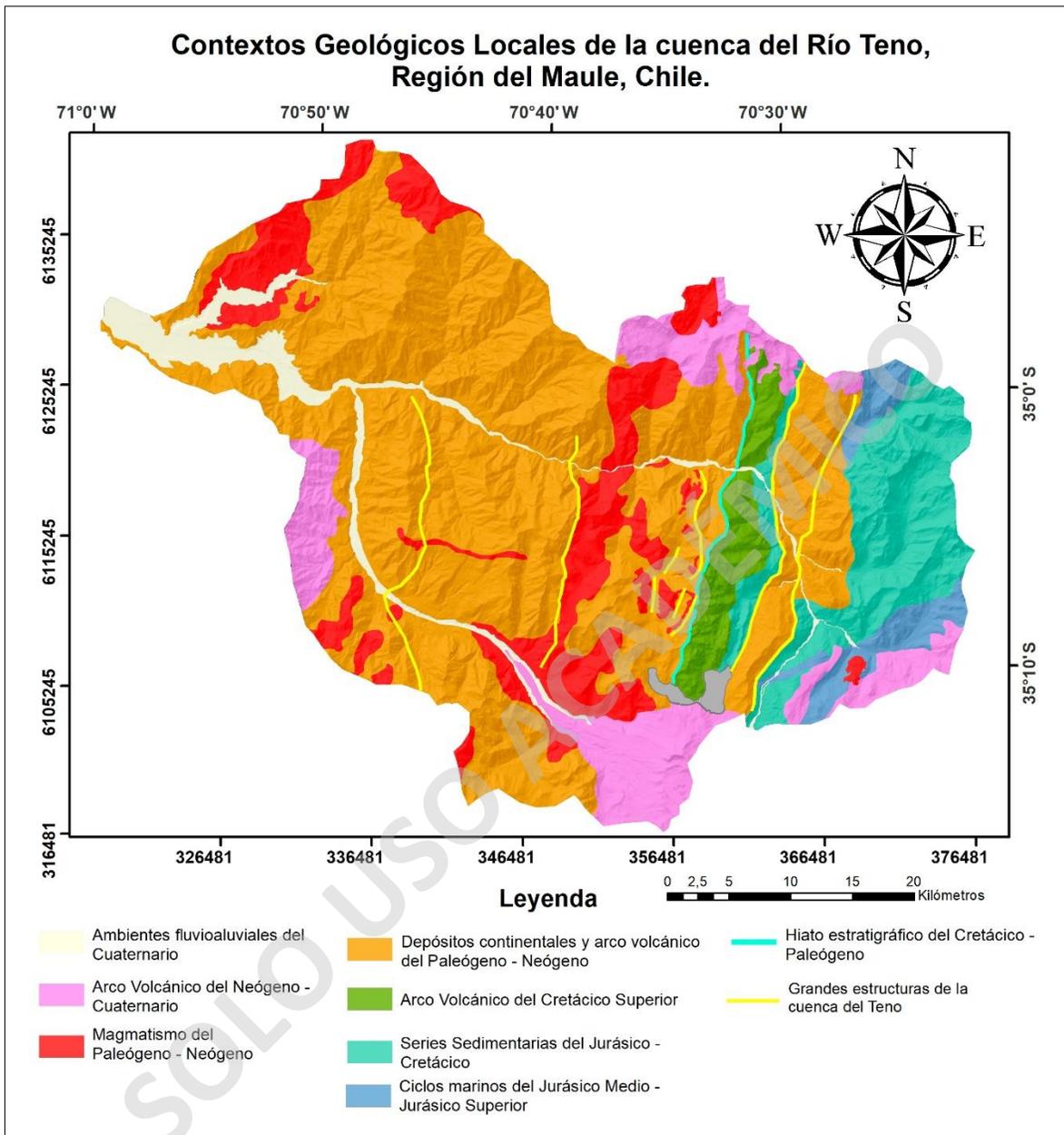


Figura 11: Distribución de los 9 Contextos Geológicos Locales definidos en la cuenca del río Teno.

## **6. 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 Romeral, 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.

### **6.1. Selección y caracterización de Lugares de Interés Geológico**

#### **6.1.1. Listado y Distribución de los Lugares de Interés Geológico identificados**

En esta sección se detallan los lugares de interés geológicos identificados en la cuenca del río Teno en base a la información bibliográfica y comunicación oral con sus habitantes. Este trabajo consiste en un primer acercamiento al patrimonio geológico enmarcado en contextos geológicos locales, por lo que el objetivo principal es seleccionar el mejor representante para cada uno. Los LIG identificados compiten cuantitativamente y se seleccionaron los de mejor calificación para cada contexto (Tablas 27, 28, 29, 30, ANEXO), en un escenario ideal con 10 CGL se seleccionarían 10 LIG.

En total se identifican 31 sitios de interés (Tabla 16), de los cuales 8 de ellos son seleccionados para su caracterización y evaluación cuantitativa en función de su VC, PUE, PUT y RD. Las razones son discutidas en el capítulo 6.

Tabla 16: Listado y distribución de los lugares de interés geológico identificados en la comuna de Romeral

LIG	Nombre	Coord. UTM Norte	Coord. UTM Este	Descripción	Estado
1	Brecha volcánica de Tenó	6122408	344147	Depósito volcanoclástico con clastos angulosos y mal seleccionados, con espacios donde clastos se han desprendido. Los agujeros dejados por los bloques caídos son utilizados por Loros Trichahues para anidar	No Seleccionado
2	Intrusivos de Infiernillo	6120392	353717	Valle encajonado ubicado en la traza de la falla Infiernillo, debido al control estructural se emplazaron cuerpos intrusivos.	Seleccionado
3	Valle Glacial Colgado	612041	359391	Morfología glacial de valle en forma de "U"	No Seleccionado
4	Facetas Triangulares	6118913	362269	Evidencia estructural a partir de rasgos geomorfológicos distintivos de formas triangulares.	No Seleccionado
5	Ignimbrita Obliterada con Vetilleo y Fallamiento	6117454	363199	Zona de alteración con roca obliterada y pequeños sets de discontinuidades en varias direcciones	No Seleccionado
6	Discordancia Angular	6115969	363841	Aparente discordancia angular, con buena estratificación observable de las dos unidades en contacto	No Seleccionado
7	Baños Termales San Pedro	6110798	365476	Pozos de aguas termales producto de un sistema geotermal cuya temperatura disminuye después del terremoto del 27 de febrero del 2010.	No Seleccionado
8	Mirador San Pedro - Falla Despegue	6110798	365474	Falla de plataforma y rampa; observable como nivel de despegue	Seleccionado
9	Mirador Surgencia	6150074	366283	Caudal de agua que se origina desde una ladera ubicada frente al mirador.	No Seleccionado
10	Río Damas	6110074	366283	Sucesión estratificada con intrusión de un dique curvado. Correlacionado espacialmente con la Formación Río Damas	Seleccionado
11	Toba Tigre	6109678	367521	Toba soldada con presencia de fiammes de tamaños superiores a los 20 cm x 5 cm en caras frescas. Las rocas se ubican como rodados en el eje central del valle.	No Seleccionado
12	Nivel Fosilífero de Nacientes del Tenó	6109108	368442	La estratigrafía, registro fósil y la correlación espacial con lo estudiado por referencia sugieren ser representativo de niveles sedimentarios de la Formación Nacientes del Tenó. Presenta de moldes de ammonites e icnofósiles.	Seleccionado
13	Deformación Syn-Depositacional	6108015	360080	Secuencia sedimentaria bien representada con estratos superiores altamente deformados, correlacionada espacialmente con Río Damas.	No Seleccionado

14	Localidad Fossilífera	6107364	359996	Rocas con presencia de fósiles carbonizados de materia vegetal de tamaño centimétrico. Los bloques en los cuales se encuentran estos fósiles están desprendidos de su afloramiento original.	No Seleccionado
15	Falla Lagunas de Teno	6107070	360086	Plano de falla con elementos de fácil reconocimiento (salbanda de falla, estrías de falla y lúnulas).	No Seleccionado
16	Contacto Erosivo de Fm. Abanico	6106083	360287	Secuencia estratigráfica de Fm. Abanico con un contacto erosivo fácilmente identificable.	No Seleccionado
17	Lagunas del Teno	6105886	360339	Punto de observación hacia sucesiones estratificadas correlacionadas con la Formación Plan de los Yeuques, lagunas de Teno, morfologías glaciares (valles colgados), y el volcán Planchón	Seleccionado
18	Mirador sucesiones volcánicas del Planchón	6103297	359475	Lugar amplio del cual se puede reconocer con facilidad la estratificación del edificio volcánico	No Seleccionado
19	Penitentes del Volcán Planchón	6101293	358743	Penitentes de roca observables hacia la cumbre del volcán Planchón	No Seleccionado
20	Glaciar cubierto	6100413	358673	Glaciar cubierto ubicado en la ruta de ascenso del volcán. En su base presenta una pequeña laguna glacial.	No Seleccionado
21	Sucesión estratificada del Planchón	6099808	358288	Sucesión de productos volcánicos bien representada y con distintas unidades de fácil reconocimiento debido a su contraste de colores y textura.	No Seleccionado
22	Cráter del Volcán Peteroa	6099472	357690	Cráter del volcán Peteroa con constante expulsión de gases, se presenta un glaciar de roca aledaño a esta morfología. Estos elementos están ubicados dentro de una caldera formada por el colapso parcial del edificio volcánico del volcán Planchón.	Seleccionado
23	Mirador Santa Rita	6120088	359213	Mirador con vista panorámica hacia el valle del río Teno, desde el cual se pueden observar estructuras fluviales.	Seleccionado
24	Formaciones de Teno	6119960	359226	Mirador ubicado en el sector sur del río Teno con vista panorámica hacia las formaciones Plan de los Yeuques, Abanico y a la unidad BRCU.	No Seleccionado
25	Formación Abanico	6122476	343731	Sucesión estratificada de aproximadamente 10m de potencia, ubicada a borde de la ruta J-55. Representa un depósito lacustre desarrollado en la cuenca de Abanico.	Seleccionado

26	Campo de Hummocks	6128086	329130	Sector con alta presencia de morfologías tipo Hummocks altamente cubiertas por vegetación. Algunos se encuentran cortados por el paso del camino vehicular, debido a esto se pueden observar las características internas de éstos.	No Seleccionado
27	Sucesión Abanico	6124000	334725	Pared estratificada de aproximadamente 20m de potencia, en la cual se diferencian fácilmente los estratos debido a la diferencia de colores y texturas. Ubicada a 10m del camino.	No Seleccionado
28	Cerro el Alto	6128763	335470	Alto topográfico de interés geomorfológico que permite interpretación de geoformas del valle del río Teno	No visitado
29	Cerro Corona del Fraile	6121787	342288	Depósitos volcánicos de la Fm. Corona del Fraile, con presencia de troncos fósiles, algunos en posición de vida, cuyos diámetros varían entre 5 y 20 cm.	No Visitado
30	Estero del Colorado	6124977	369242	Quebrada en donde aflora la formación Baños del Flaco, es un sector que presenta un importante registro fósil en constante extracción, según relatos de locatarios del lugar.	No visitado
31	Estero Los Pejerreyes	6127582	340946	Quebrada de origen fluvial, con presencia de rocas pulidas por acción fluvial. Presenta pozones de agua con atractivo paisajístico	No visitado

### 6.1.2. Definición de los Lugares de Interés Geológico seleccionados

Los 8 lugares de interés geológico seleccionados representan 8 de los 9 contextos geológicos locales definidos para la comuna. En esta sección se resumen las principales características que justifican la selección de cada propuesta de LIG. En la Figura 12 se detalla la distribución de los lugares de interés geológicos propuestos y definidos en los siguientes apartados.

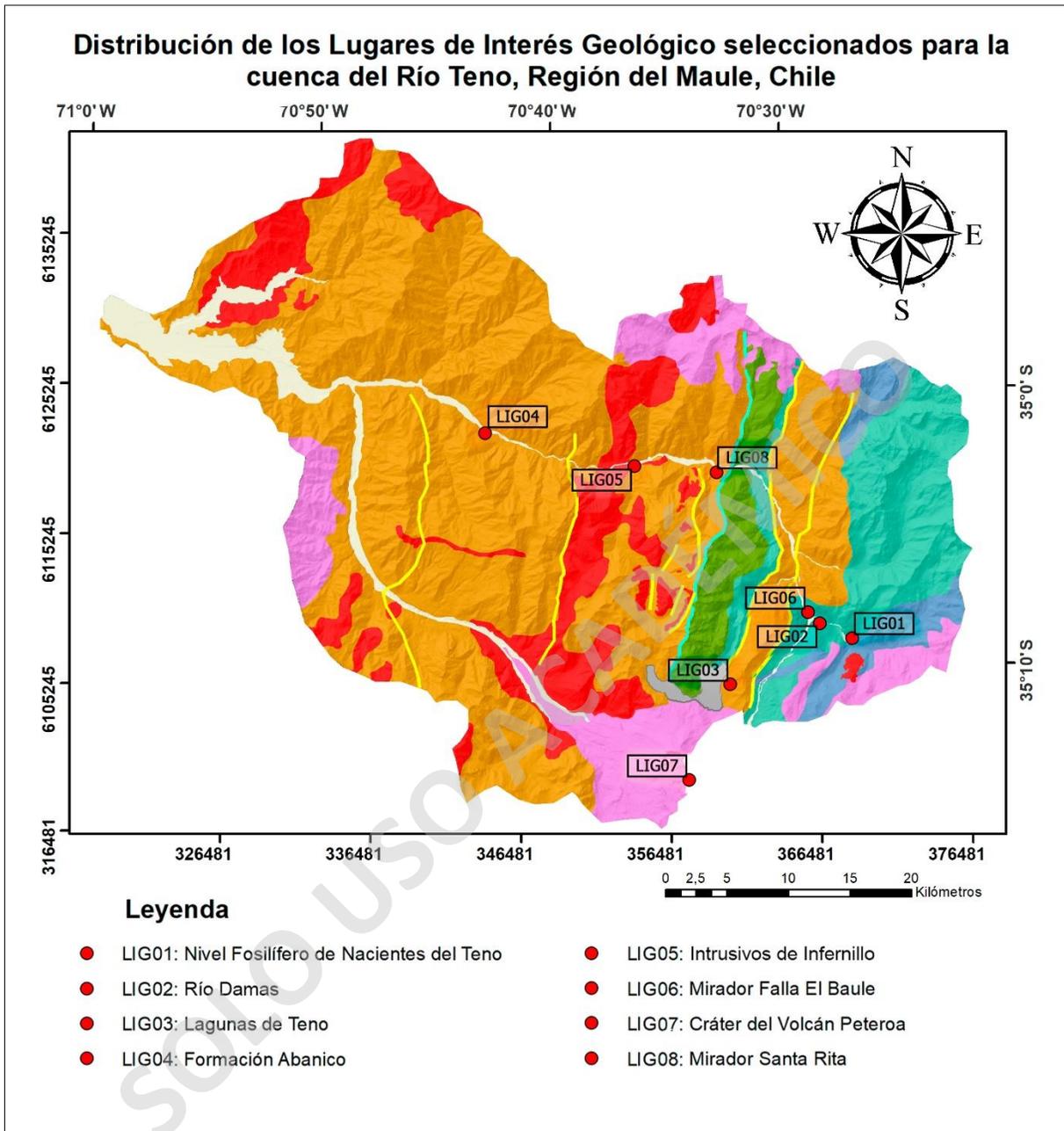


Figura 12 : Distribución de los 8 Lugares de Interés Geológico (LIG) propuestos y caracterizados para el valle del río Teno, región del Maule, Chile. Los puntos de color rojo indican la ubicación de cada LIG.

### 6.1.2.1. Lugar de Interés Geológico “Nivel Fosilífero de Nacientes del Teno” (LIG 01)

Ubicado 3 km hacia el este del Complejo Fronterizo Vergara, el lugar de interés Nivel Fosilífero de Nacientes del Teno posee un valor de principal interés estratigráfico, paleontológico y sedimentario. Se desarrolla en la unidad morfoestructural de la Cordillera Andina, y representa el contexto geológico local de ciclos marinos del Jurásico Medio – Jurásico Superior. Este LIG es la mejor representación en la comuna para evidenciar estructuras sedimentarias y realizar estudios estratigráficos.

El principal elemento geológico es una sucesión estratificada de al menos 80 m de espesor compuesta de areniscas, areniscas finas, lutitas, calizas y niveles de yeso. Contiene grietas de desecación y gotas de lluvia, así como también trazas y restos de ammonites de tamaño centimétrico variable y restos fósiles no identificados. Dada su litología, contenido fósil y ubicación espacial se correlaciona con la Formación Nacientes del Teno (Figura 13).

Considerando esta correlación, Junkin y Gans (2019) sugieren que la Formación Nacientes del Teno fue depositada en una cuenca sedimentaria producto de la erosión de estratovolcanes, y que la sucesión del LIG corresponde a un depósito de la zona bajo la base de olas, producto de corrientes de turbidez. Con presencia de areniscas, limolitas, lutitas y ondulitas lineales asimétricas.

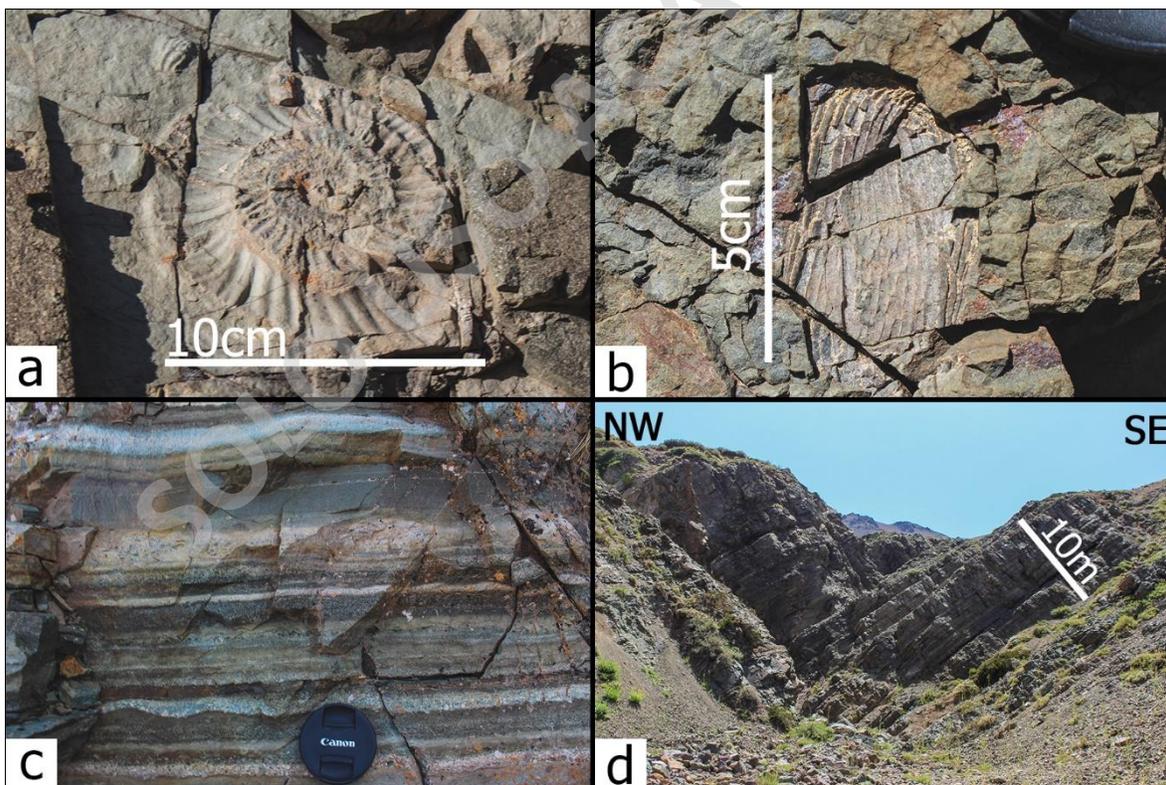


Figura 13: Lugar de interés geológico “Nivel Fosilífero de Nacientes del Teno”, a y b) Ejemplos de ammonite y molde externo de bivalvo respectivamente. c) Ejemplo de la excelente laminación de tamaño sub-centimétrica, la tapa del lente tiene un diámetro de 52 mm. d) Vista general del LIG.

### 6.1.2.2. Lugar de Interés Geológico “Río Damas” (LIG 02)

Ubicado a 2 km del Complejo Fronterizo Vergara, el LIG Río Damas posee un valor geológico estratigráfico y relación con los procesos magmáticos y estructurales. Se desarrolla en la unidad morfoestructural de la Cordillera Principal y es representativo del contexto geológico local Series sedimentarias del Jurásico – Cretácico. El lugar se encuentra íntegro y su acceso se realiza a través de un camino de ripio que comienza en la aduana chilena del paso fronterizo Vergara.

El elemento de principal interés corresponde a una sucesión estratificada color gris y gris rojizo, según correlación espacial con lo estudiado y observación a distancia, se sugiere que el sitio pertenece a la Formación Río Damas. Está intruída por un dique de color gris claro de espesor entre 40 – 50 cm que se emplaza a través de una falla inversa y presenta una curvatura cercana a los 90° (Figura 14, a y b). Se observa un contacto irregular entre una unidad con estratificación plana paralela y unidad brechosa (Figura 14, c y d).

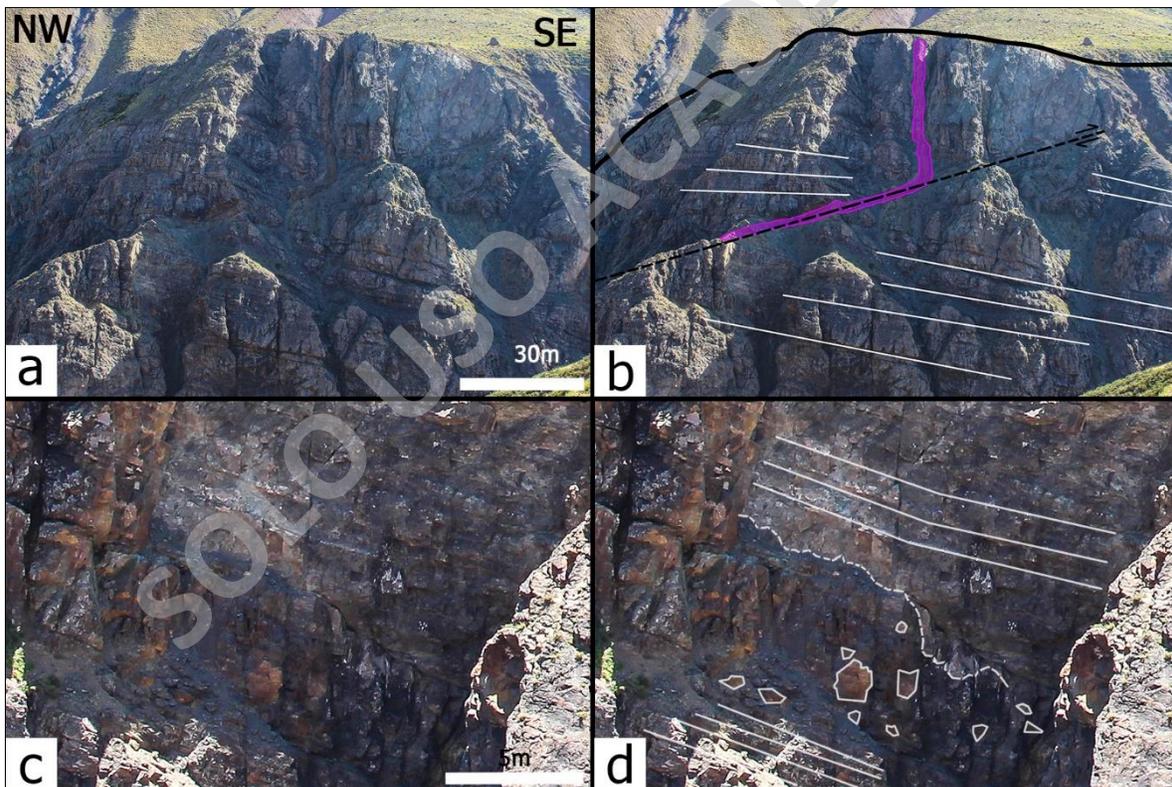


Figura 14: Lugar de interés geológico “Río Damas”, a) Vista general. b) Dique en morado, traza falla en línea punteada, orientación estratificación en blanco. c) Vista en detalle de “a”. d) Estratificación plano paralela en línea continua, contacto irregular en línea discontinua, clastos angulosos en polígonos.

### 6.1.2.3. Lugar de Interés Geológico “Lagunas de Teno” (LIG 03)

Ubicado en las Lagunas de Teno, y en el límite geográfico entre Chile y Argentina, el LIG posee un principal potencial de uso turístico y educativo, debido a la diversidad de elementos geológicos y belleza escénica. Se desarrolla en la unidad morfoestructural de la Cordillera Principal.

El elemento principal del LIG corresponde a una sucesión de estratos correlacionada espacialmente con la Formación Plan de los Yeuques, la cual representa al contexto geológico local del Arco Volcánico del Cretácico Superior. En este se observan diversos cambios en la orientación de los estratos producto de la deformación presente, y fallas geológicas. En la parte inferior se logra evidenciar parte de la unidad BRCU. Desde el LIG se puede observar el volcán Planchón y sus depósitos, siendo una de las geoformas más imponentes del paisaje. También se pueden observar las lagunas cordilleranas de Teno y morfologías glaciales de valles colgados sobre Plan de los Yeuques (Figura 15).

El mirador panorámico es amplio. Se puede utilizar por un grupo de 20 personas con comodidad.



Figura 15: Lugar de interés geológico “Lagunas de Teno”. En rosado, complejo volcánico Planchón – Peteroa. En verde claro, Plan de los Yeuques. En verde oscuro, BRCU. En línea discontinua, morfología valle colgado.

#### 6.1.2.4. Lugar de Interés Geológico “Formación Abanico” (LIG 04)

Ubicado en la quebrada del sector cordón el Venado. El LIG posee un principal potencial de uso educativo por su relevancia como modelo para representar procesos sedimentarios lacustres a personas con conocimiento geológico básico. Se desarrolla en la unidad morfoestructural de la Cordillera Principal y es un buen ejemplo del área para representar al contexto geológico local de los Depósitos continentales y Arco Volcánico del Paleógeno - Neógeno. Las condiciones de observación son óptimas, hay sectores cubiertos levemente por vegetación, lo que dificulta parcialmente el reconocimiento de elementos secundarios (Figura 16, a).

El principal elemento de interés del LIG es una secuencia estratigráfica de ~10 m de potencia que representa un ambiente continental lacustre. El sitio presenta una ritmicidad entre niveles finos de litarenitas de granulometría fina con fangolitas (Figura 16, b), y un estrato de ~1.3 m de dacita. En la secuencia se pueden observar estructuras como estratificación plano paralela, calcos de carga e inclusiones de material de estratos superiores dentro estratos inferiores, indicando una polaridad positiva. Estas características estratigráficas se correlacionan con la Formación Abanico descrita en la zona por Hevia (2014) y Cáceres (2019). El sitio es un buen ejemplo para entender y explicar los procesos lacustres, idealmente para estudiantes con un nivel de conocimiento geológico básico, en donde se pueden diferenciar por lo menos 3 litologías distintas con facilidad. Debido a esto, el sitio tiene un principal potencial de uso educativo.

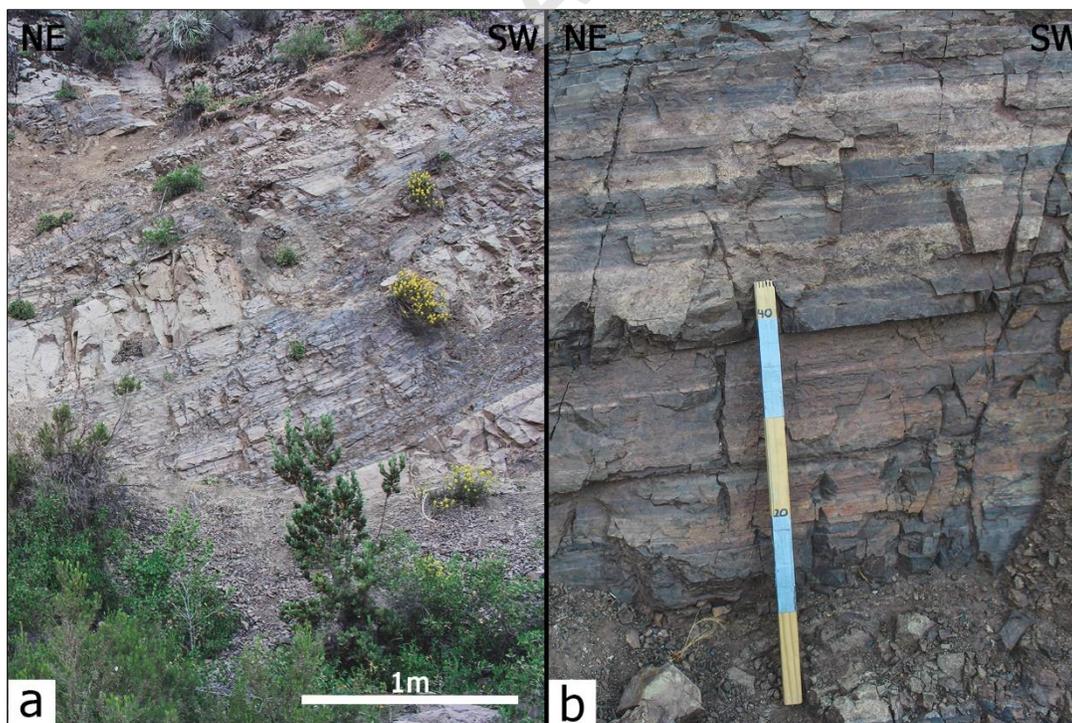


Figura 16: Lugar de interés geológico “Formación Abanico”, a) Vista general del afloramiento, se presenta levemente cubierta por vegetación. b) Ejemplo de la ritmicidad entre los niveles claros y oscuros de la sucesión, la escala se encuentra graduada en cm.

#### 6.1.2.5. Lugar de Interés Geológico “Intrusivos de Infernillo” (LIG 05)

Ubicado a 22.5 km de Los Queñes, el lugar de interés Intrusivos de Infernillo posee un interés estructural y petrológico. Se desarrolla en la unidad morfoestructural de la Cordillera Andina, y representa el contexto geológico local del Magmatismo del Paleógeno - Neógeno.

Este LIG es una buena representación en la comuna para evidenciar procesos magmáticos y la influencia de las fallas en el sistema de emplazamiento y modelado actual del paisaje.

El principal elemento de interés corresponde a los cuerpos intrusivos que afloran en el valle del río Infernillo, los que se impone en el paisaje ocupando la totalidad de la ladera oriental, con una altura aproximada de 15 – 20 metros (Figura 18). Piquer (2010) describe este intrusivo como dioritas y pórfidos riódacíticos de edad miocena, y que estos cuerpos se observan elongados a lo largo de la traza de una serie de estructuras menores de rumbo N20°E variando a N-S denominado como sistema de fallas Infernillo – Los Cipreses.

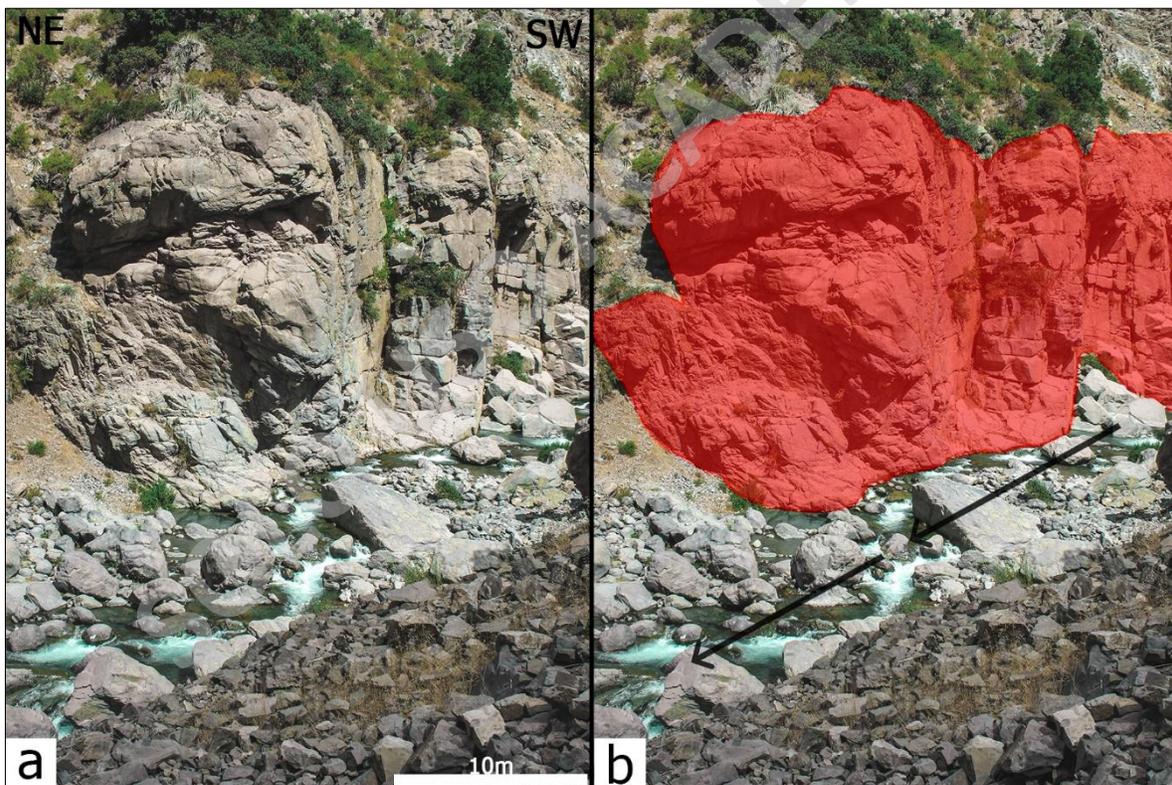


Figura 17: Lugar de interés geológico “Intrusivos de Infernillo”, se observa la pared rocosa correspondiente a los cuerpos intrusivos, en la base se encuentra el río Claro.

#### 6.1.2.6. Lugar de Interés Geológico “Mirador Falla El Baule” (LIG 06)

Ubicado en los baños termales San Pedro, a un costado de la aduana chilena del paso fronterizo Vergara. El LIG Cerro Mirador Falla El Baule posee un valor geológico de interés estructural. Se desarrolla en la unidad morfoestructural de la Cordillera Principal y es representativo del contexto geológico local de las Grandes estructuras de la cuenca del Teno. El mirador se haya en buenas condiciones, y es parte de la infraestructura de los baños termales de San Pedro.

El elemento principal del sitio corresponde a la falla El Baule, la cual es una estructura de rumbo N - S y de tipo plano – rampa marcando un nivel de despegue en donde se deslizan y alzan rocas mesozoicas de color rojizo de la unidad BRCU sobre rocas cenozoicas de color gris de Formación Farellones. Sobre ésta se hayan estratos blancos y rojos llamativos que posiblemente se repiten debido a una falla inferida (Figura 19). El sitio está ubicado a los pies de un gran cono de deyección y acompañado de la presencia de aguas termales, elementos que aumentan la diversidad geológica del sitio. Tapia (2015) describe esta estructura como una falla tipo *by-pass* que se propagaría a partir de una falla inversa principal con manteo al W y vergencia al E. Su potencial educativo es alto, ya que representa parte de los mecanismos que deformaron a las unidades del área de estudio.



Figura 18: Lugar de interés geológico “Mirador Falla El Baule”. En verde oscura, BRCU. En pardo claro, Farellones. Línea negra discontinua, falla inversa inferida.

#### 6.1.2.7. Lugar de Interés Geológico “Cráter del Volcán Peteroa” (LIG 07)

Ubicado al sur de la Laguna Teno y en el límite geográfico entre Chile - Argentina, el lugar de interés Cráter del Volcán Peteroa posee un valor de principal interés vulcanológico. Se desarrolla en la unidad morfoestructural de la Cordillera Andina, y representa el contexto geológico local del Arco volcánico del Neógeno - Cuaternario. Este LIG es la mejor representación en la comuna para estudiar y evidenciar la actividad magmática presente que caracteriza a la cordillera principal en la región del Maule y en la cuenca del Río Teno.

El principal elemento de interés corresponde a un cráter con constante emanación de gases, este posee una dimensión aproximada de  $200\text{ m}^2$  (Figura 20). Otros elementos de interés asociados al sitio son 4 cráteres de menor dimensión y sin fumarolas, aledaño a estos se emplaza un glaciár de roca. Un factor relevante de este LIG es que estos elementos se encuentran ubicados dentro de una caldera de  $\sim 4,7\text{ km}^2$  de área, en donde es posible observar estratificación en las paredes del escarpe de la caldera.

Sruoga (2008) le atribuye la formación de esta caldera a un gran evento de colapso gravitacional de la ladera occidental del volcán Planchón ocurrido durante su etapa de formación.



Figura 19: Lugar de interés geológico “Cráter del Volcán Peteroa”, en la imagen se observa el principal elemento de interés, un cráter con fumarola.

### 6.1.2.8. Lugar de Interés Geológico “Mirador Santa Rita” (LIG 08)

Ubicado en la quebrada Santa Rita, el LIG posee un principal potencial de uso educativo y turístico debido a la variedad de elementos de la geología y belleza escénica del paisaje. Se desarrolla en la unidad morfoestructural de la Cordillera Principal y es un buen ejemplo del área para representar al contexto geológico local de los Ambientes fluvioaluviales del Cuaternario. Las condiciones de observación son óptimas, hay sectores cubiertos densamente por vegetación, lo que dificulta el reconocimiento de elementos secundarios.

El elemento principal del LIG es el sistema fluvial del río Teno, el cual presenta en un corto tramo de observación múltiples morfologías fluviales con características locales de río trezado con divergencia y convergencia de canales, y barras transversales centrales (Figura 21). La forma del valle es más estrecha en el sector donde aflora la formación Plan de los Yeuques, y más abierta en donde aflora BRCU y Abanico, lo que evidencia diferencias en la competencia de las unidades que afloran durante la transecta del valle. Parte de los depósitos aluviales y coluviales que rellenan el valle se presentan actualmente cortados por el paso del río. Una de las características relevantes del LIG es la buena vista panorámica del valle del río Teno junto a su atractivo paisajístico, en donde se puede reconocer morfologías fluviales con facilidad, siendo un lugar interesante para entender y explicar procesos fluviales. Debido a esto, el sitio tiene un alto potencial de uso educativo y turístico.



Figura 20: Lugar de interés geológico “Mirador Santa Rita”, en celeste se destaca el río Teno y en amarillo sus depósitos. En Pardo claro, la Formación Abanico. En verde claro, la Formación Plan de los Yeuques. En verde oscuro, la unidad BRCU.

## 6.2. Valoración de los LIGs Seleccionados

La Tabla a continuación muestra los resultados cuantitativos obtenidos mediante la metodología ya mencionada de Brilha (2016). El color rojo corresponde a las peores calificaciones, es decir, valores menores a 200 para el VC, PUE y PUT, y valores mayores a 300 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.

Tabla 17: Resultado de la evaluación cuantitativa del VC, PUE, PUT y RD para los 8 lugares de interés geológico seleccionados.

CRITERIOS DE VALORACIÓN CUANTITATIVA DE LOS LIGs	PUNTAJES PARA LOS LIGs PROPUESTOS							
	LIG 01	LIG 02	LIG 03	LIG 04	LIG 05	LIG 06	LIG 07	LIG 08
VALOR CIENTÍFICO (VC)	310	230	225	180	210	230	330	150
POTENCIAL DE USO EDUCATIVO (PUE)	205	195	255	210	235	225	265	240
POTENCIAL DE USO TURÍSTICO (PUT)	170	200	205	215	230	210	245	220
RIESGO DE DEGRADACIÓN (RD)	120	45	125	190	155	115	195	140

## **7. DISCUSIONES**

### **7.1. Selección LIG**

El presente trabajo consiste en un acercamiento inicial al estudio del patrimonio geológico enmarcado en contextos geológicos locales, lo que deriva en las primeras propuestas de LIG en la zona para ser gestionadas en el proyecto Geoparque Pillanmapu. Uno de los objetivos iniciales consistió en inventariar sectores de fácil acceso, idealmente aledaños a la ruta J-55, por lo que el mayor porcentaje de la cuenca del río Teno se encuentra sin estudios patrimoniales. En particular en el sector del valle del río Claro no se logró el acceso, debido a la presencia de residencias privadas y caminos bloqueados, dificultando la logística de un área importante en la que esperaba registrar propuestas de LIG.

De los 31 sitios identificados, 27 fueron inventariados y sólo 8 seleccionados como propuestas de LIG, por lo que hay un CGL definido en este trabajo que no presentan un candidato seleccionado, este es el Hiato estratigráfico del Cretácico – Paleógeno. Respecto al anterior, se inventarió sólo un sitio enmarcado en ese contexto (Tabla 16, número 24), el cual fue descartado al no presentar la información y evidencias suficientes para considerarlo representativo de su contexto.

La cuenca del río Teno tiene un alto potencial patrimonial aún no estudiado, por lo que levantar más información y tener un mayor número de propuestas de LIG es muy beneficioso para el desarrollo del proyecto, ya que un registro más extenso y completo aumenta la competencia entre los sitios para representar un contexto geológico, permitiendo obtener un abanico de opciones más amplio para seleccionar el sitio con las características que mejor se adecúen a la narrativa de su contexto.

### **7.2. Análisis de Índices**

A continuación, se discutirán las posibles razones de las tendencias mostradas en los puntajes de los 8 LIG seleccionados (Tabla 17).

Respecto a los valores de VC, predominan valores medios con una mayor cercanía al límite inferior. Esto es reflejo del escaso conocimiento científico de la zona y porque actualmente la ciencia nacional no los utiliza como elementos de estudio o investigación. En general los elementos geológicos principales están muy bien preservados y las limitaciones para su uso son casi nulas. Los LIG 01 y 08 son los únicos con un alto VC, ambos fueron evaluados con el puntaje máximo de 4 puntos en el criterio de Representatividad, que al mismo tiempo es el de mayor peso en la ponderación, con un 30%. Además, ambos presentaron el puntaje máximo en el criterio Integridad y en conocimiento científico, ya que ambos sitios tienen estudios publicados en revistas internacionales.

Respecto al PUE y PUT no hay valores altos, dominan los puntajes medios a bajos, esto se relaciona principalmente a las malas condiciones de acceso, falta de infraestructura de seguridad, logística y baja densidad de población cercana, los que juntos representan a un 30% de la ponderación del ítem. El principal acceso al área de estudio corresponde a la ruta J-55, que es un camino de ripio que cruza desde la localidad de Los Queñes hasta la frontera internacional con Argentina, la ausencia de caminos pavimentados y las distancias mayores a 1km de los LIG a sitios donde pueda ingresar un bus, son características que disminuyen el potencial de uso educativo y turístico. La falta de cobertura celular, infraestructura y la ubicación lejana a zonas rurales es un factor que disminuye el PUT y PUE en los parámetros de seguridad y logística.

En el caso del RD, todos los LIG presentan una baja vulnerabilidad, lo que responde principalmente a la baja accesibilidad y a la falta de actividades que causen degradación de los elementos geológicos de interés, el único proyecto activo en la zona es la minera de cementos Bío-Bío, la cual explota un sector restringido correspondiente a los estratos calcáreos de la formación Baños del Flaco. La densidad de población de la comuna de Romeral es de 9.47 habitantes/km<sup>2</sup> (CENSO, 2017), este bajo valor es un factor favorable para que el RD sea bajo para todos los LIG, debido a la baja carga de visitantes que acceden a la zona

### **7.3. Metodología**

A nivel nacional no existe una metodología de valorización del patrimonio geológico que se ajuste a las características del país para desarrollar las estrategias de gestión, por lo que se utiliza la metodología propuesta por Brilha (2016). Esta metodología posee criterios cuya asignación de puntajes requiere ciertas correcciones de ajuste que debiesen realizarse a nivel nacional.

Un ejemplo de esto se evidencia en los puntajes para el PUE y PUT, ya que una de las razones de la falta de puntajes altos es que las ponderaciones respecto a condiciones de acceso, seguridad y logística perjudican a todos los sitios del área. En el contexto del proyecto es común las malas condiciones de acceso y la falta de infraestructura cercana que brinde servicios básicos, sobre todo en una zona tan adversa para estos puntos como lo es la cordillerana. Es por esto que se sugiere una futura modificación y adaptación al territorio estudiado.

La metodología utilizada permitió jerarquizar y ordenar los sitios según su respuesta numérica en cada criterio. La visualización por separado de las 4 propuestas de Brilha (2016) resultó en un factor beneficioso para sugerir propuestas de gestión en base a sus fortalezas y debilidades, buscando trabajar sobre los puntos positivos y negativos. Tener un registro

cuantitativo de cada sitio permite también reconocer las tendencias y distribuciones que se manifiestan en el territorio.

#### **7.4. Patrimonio geológico**

Al analizar las ponderaciones numéricas de los LIG surge la siguiente pregunta: ¿Tiene la cuenca del Río Teno un patrimonio geológico notable?

Chile es un país privilegiado en términos de patrimonio geológico, ya que posee alta geodiversidad. Esto mismo ocurre en el territorio estudiado, pese a que aún se posee poca información y que hay muchos sectores que aún no han sido estudiados con fines patrimoniales, la variedad del inventario responde a los numerosos procesos que se han desarrollado en la historia evolutiva de la cuenca.

Al realizar la ponderación numérica, se evidencia una debilidad en el PUE y PUT, sin embargo, su valor radica en cómo es gestionado el patrimonio en términos de infraestructura y en generar las condiciones adecuadas y seguras de observación, es decir, que el verdadero valor va más allá de los elementos ya presentes, por lo que es factible tomar medidas para que la valoración aumente.

Por lo tanto, el área de estudio contiene un gran valor en términos geológicos, y su potencial de aprovechamiento es vasto y variado, con una correcta gestión tiene la capacidad de convertirse en unos de los puntos geoturísticos principales de la región, y en una importante fuente de información para la educación.

#### **7.5. Comparación con otros ejemplos**

Uno de los referentes a nivel nacional es el Geoparque Kutralkura, ya que desde 2019 es el único representante nacional en la Red Mundial de Geoparques de la UNESCO. Está ubicado en la Región de la Araucanía y su extensión abarca gran parte de su sector cordillerano, misma morfología en la cual se desarrolla este trabajo. El proyecto cuenta con 15 Georrutas en las cuales se pueden visitar una amplia diversidad de LIG, lo que pone en evidencia el gran potencial que tiene el patrimonio geológico en el territorio cordillerano. Ejecutado desde el 2009 por SERNAGEOMIN, fusionaron y adaptaron las metodologías de Brilha (2005) y Pereira et al., (2007), mostrando que mediante una metodología cuantitativa se puede estimar y comparar exitosamente el valor de la zona.

Otro ejemplo de geoparque que también se posiciona en el sector cordillerano es el Cajón del Maipo, ubicado en la Región Metropolitana. Para realizar el inventario se utilizó como principal referencia la metodología de Brilha (2016), y cuentan con 40 LIG. En este proyecto también se presentaron considerables bajas en los puntajes de PUE y PUT para algunos sectores debido a las malas condiciones generales de acceso, seguridad y logística en

términos de turismo. Un ejemplo de esto son los valores ponderados de PUE en los valles de los ríos Maipo alto y Colorado, con 217 y 218 respectivamente, en comparación con los valores en los valles del río Yeso y río Maipo bajo de 263 y 265 respectivamente, los analistas del proyecto atribuyen esta baja a los puntos mencionados anteriormente.

Sin embargo, este proyecto también demuestra que la metodología a pesar de requerir ciertos ajustes se puede utilizar con éxito para la elaboración de un inventario de patrimonio geológico.

SOLO USO ACADÉMICO

## **8. EVOLUCIÓN PALEOGEOGRÁFICA Y GENÉTICA**

### **8.1. Mesozoico**

#### **8.1.1. Jurásico Superior**

Actividad extensional provocó la apertura de la cuenca de trasarco nombrada como Cuenca Neuquina (e.g. Charrier et al., 2014), esta subsidencia tectónica desarrolló un evento transgresivo en el cual ingresa agua al continente y se genera un ambiente subacuático. En estas condiciones es que se depositan las sucesiones estratificadas del LIG 01 “Nivel Fosilífero de Nacientes del Teno”, reflejándose en los estratos de lutitas, areniscas y calizas con alto contenido fósil marino. Areniscas con clastos de origen volcánico y ondulitas lineales asimétricas registradas por Junkins y Gans (2019) sugieren eventos de corrientes de turbidez, los cuales rellenaron la cuenca con aporte detrítico de origen volcánico. La información del LIG 01 se correlaciona con las sucesiones sedimentarias marinas descritas por Klohn (1960) y Davidson (1971) para la Formación Nacientes del Teno, siendo representativa de los procesos sedimentarios que rellenaron parte de la cuenca en su periodo de acumulación en el Oxfordiano.

Posteriormente en el Kimmeridgiano ocurre un evento de regresión el que genera un ambiente continental subaéreo. En este punto el principal aporte hacia la cuenca son sedimentos clásticos y productos volcánicos provenientes de una cordillera volcánica situada al oeste (e.g. Davidson, 1971). La sucesión estratificada del LIG 02 es correlacionada con la Formación Río Damas, se compone principalmente por brechas con clastos volcánicos, conglomerados, areniscas rojas e intercalaciones volcánicas, reflejando un ambiente de formación de piedemonte de la cordillera volcánica.

#### **8.1.2. Cretácico Superior**

En un periodo de intensa actividad volcánica el principal material de relleno de la cuenca correspondió a depósitos volcánicos y volcanoclásticos. La sucesión estratificada del LIG 03 “Lagunas de Teno” está correlacionada con la Formación Plan de los Yeuques. Descripciones de González y Vergara (1962) indican que está compuesta principalmente por basaltos, andesitas, tobas líticas y vítreas de composición ácida, e intercalaciones escasas de areniscas y conglomerados de retrabajo de material volcánico.

## 8.2. Cenozoico

### 8.2.1. Eoceno – Oligoceno

Actividad extensional provocó la apertura de una cuenca de intraarco nombrada Cuenca de Abanico (e.g. Fock, 2005). Esto permitió la acumulación de depósitos continentales, reflejados en sucesiones volcánicas, volcanoclásticas y sedimentarias clásticas descritas por anteriores autores (e.g. Charrier, 2002). La depresión del terreno ocasionado por las fuerzas tectónicas permite que se acumule agua para formar lagos continentales, generando ambientes lacustres (e.g. Nichols, 2009). La ritmicidad entre niveles de areniscas y fangolitas presentes en el LIG 04 se correlacionan con los depósitos lacustres descritos por Piquer (2010) para la Formación Abanico, siendo representativa de los procesos sedimentarios que rellenaron parte de la cuenca de Abanico durante su periodo de acumulación.

### 8.2.2. Oligoceno – Plioceno

El sistema de fallas Infernillo – Los Cipreses junto con la Falla El Fierro corresponden a las grandes estructuras que permitieron la apertura de la Cuenca de Abanico en el área de estudio, las cuales posteriormente fueron invertidas por cambios entre un régimen extensivo a compresivo. El LIG 05 “Intrusivos de Infernillo” se correlacionan con los cuerpos intrusivos de dioritas y pórfidos riódacíticos descritos por Piquer (2010), estos mismos están emplazados a lo largo de la traza de la Falla Infernillo, lo que refleja que durante esta época la estructuras actuaron como conductos que favorecieron el ascenso magmático. Siendo representativo de los procesos magmáticos que se desarrollaron en la zona durante el Oligoceno – Mioceno.

En el transcurso del Mioceno, la compresión disminuye gradualmente, sin embargo, ocurren varios pulsos de deformación compresiva durante el Plioceno que ocasionaron fallamiento inverso, lo que produjo engrosamiento cortical y alzamiento en la Cordillera Principal. La Falla El Baule, observable desde el LIG 06 alza rocas mesozoicas de la Formación Plan de los Yeuques sobre rocas cenozoicas de la Formación Farellones. Según lo descrito por Tapia (2015), está correlacionada genéticamente a estos pulsos compresivos ya que corta en el valle del río Tinguiririca a un anticlinal constituido por las Formaciones Plan de los Yeuques y Abanico, asociado a pulsos compresivos anteriores. Esto indicaría que la falla El Baule estuvo activa con posterioridad a la formación del anticlinal.

### 8.2.3. Pleistoceno – Holoceno

La concentración del magmatismo en la posición actual del arco permitió el desarrollo del complejo volcánico Planchón – Peteroa – Azufre. Según lo descrito por Sruoga (2008), la construcción del edificio comenzó con el volcán Azufre durante el Calabriano, posteriormente en un momento aún no precisado la actividad se reinicia en un nuevo conducto originando la construcción del Planchón. Su construcción fue rápida, generando flancos de alta pendiente e inestables mecánicamente, lo que se desencadenó en un colapso gravitacional de la ladera occidental. En la cima del volcán Planchón se preserva la zona de arranque de la avalancha, observable en el LIG 07 el anfiteatro abierto hacia el oeste. La última etapa en su evolución corresponde a la formación de los cráteres del Peteroa, presentes como elemento de interés principal del LIG 07, siendo los elementos más representativos del volcanismo cuaternario en la zona de estudio.

La erosión glacial y fluvial son responsables de la existencia de las mayores formas de relieve negativo en el valle. El río Teno es el principal curso de agua que corta transversalmente el relieve cordillerano, desarrollando morfologías y depósitos fluviales. En el LIG 08 se observan estos elementos, siendo representativo de los procesos actuales que modelan el relieve.

## **9. GESTIÓN**

Una vez identificados los lugares de interés geológico el objetivo es que la población pueda conocerlos, involucrarse con ellos y resignificar su valor. Buscando asegurar la preservación de los elementos que lo constituyen, y así lograr aprovechar su potencial. En el apartado 9.1 se postulan propuestas para realizar a nivel general en toda el área de estudio, por lo que todo el patrimonio geológico de la zona se ve involucrado en el desarrollo de estas acciones. El apartado 9.2 muestra de forma particular las actividades a desarrollar según las características de cada LIG. Finalmente, en el apartado 9.3 se proponen rutas orientadas al geoturismo que involucran parte de los LIG seleccionados y se complementan con algunos de los sitios no seleccionados por no ser los mejores representantes de su CGL.

### **9.1. Propuestas generales**

La primera medida a nivel general para gestionar el patrimonio geológico corresponde a la realización de un inventario de LIG. El presente trabajo en sí mismo corresponde al primer acercamiento a esta medida, sin embargo, se sugiere continuar con la identificación y caracterización de toda el área de la cuenca del río Teno. Para que sea posible gestionar un recurso es imprescindible conocer primero cómo es; donde esta y cuánto valor tiene.

La segunda medida a nivel general es asegurar su protección y cuidado. Se propone realizar la gestión mediante el Consejo de Monumentos Nacionales (CMN) para declarar al valle del río Teno como Santuario de la Naturaleza (SN). Un SN es definido en la ley 17.288 como: “...todos aquellos sitios terrestres o marinos que ofrezcan posibilidades especiales para estudios e investigaciones geológicas, paleontológicas, zoológicas, botánicas o de ecología, o que posean formaciones naturales, cuyas conservaciones sea de interés para la ciencia o para el Estado”. Es de suma importancia contar con apoyo legal que garantice la conservación del lugar.

### **9.2. Propuestas particulares**

Cuando se conoce el patrimonio geológico y se tiene un marco legal para su protección, se puede trabajar en las medidas de geoconservación y acciones referidas a la utilización del patrimonio para el beneficio de la sociedad, con acciones de investigación, didáctica, divulgación y turismo. A continuación, se postulan las propuestas particulares para cada LIG inventariado en este trabajo.

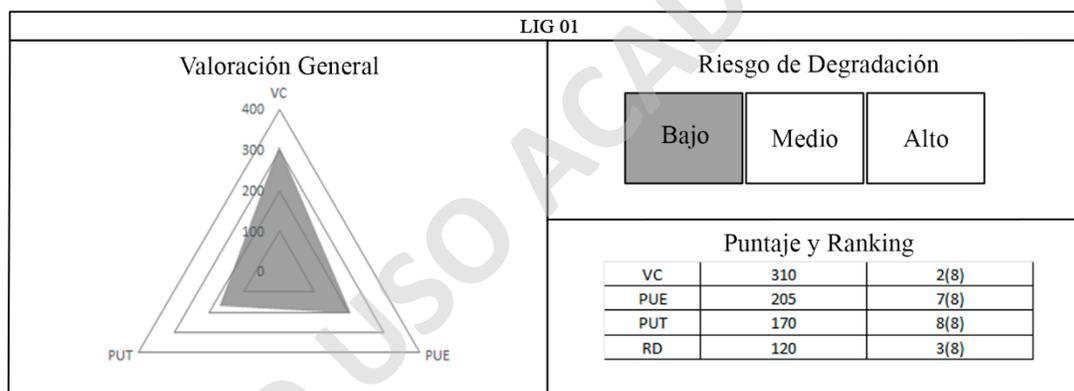
### 9.2.1. LIG 01 Nivel fosilífero de Nacientes del Teno

Este sitio se encuentra actualmente sin uso activo y con un principal valor científico (Tabla 18). Como primera propuesta, es necesario garantizar su protección antes de realizar medidas de divulgación, gracias al contenido fósil de la sucesión marina, este califica para ser registrado como Monumento Nacional según la ley 17.288. Las gestiones son a través del CMN y entra en la categoría de Monumento Arqueológico.

Se sugiere la elaboración de una columna estratigráfica a detalle para complementar la información bibliográfica existente y aumentar el valor del sitio. Al juntar esta información con trabajos como el de Junkin y Gans (2019) se puede aprovechar el sitio como herramienta didáctica a través de visitas guiadas.

También se sugiere la generación de un convenio con arrieros locales para mejorar la experiencia y accesibilidad de las visitas con paseos a caballo.

Tabla 18: Valoración de VC, PUE, PUT y RD del LIG 01



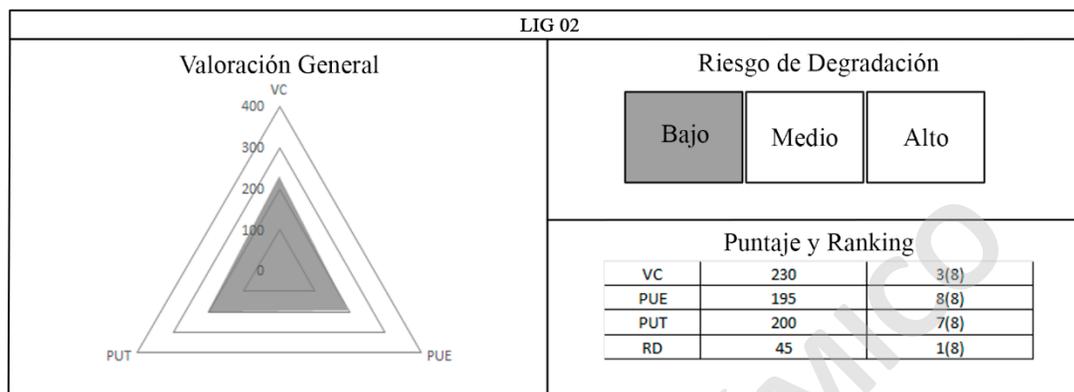
### 9.2.2. LIG 02 Río Damas

Este sitio se encuentra actualmente sin uso activo y con un principal valor científico (Tabla 19). El LIG no presenta elementos de gran singularidad y sus ponderaciones no son altas. Para aumentar su valor se sugieren estudios de análisis de muestras petrológicas y elaboración de columna estratigráfica para contar con información que aporte consistencia a la correlación con la Formación Río Damas.

Como uso turístico y educativo, el LIG es ideal para representar una cronología relativa de eventos geológicos, marcados por la depositación de los estratos, deformación y fallamiento, y finalmente la intrusión del dique. Siendo elementos de fácil reconocimiento para personas con un conocimiento básico sobre los procesos geológicos. Se sugiere que se habilite un

mirador seguro para su observación con información que permita comprender el LIG sin necesidad de un guía.

Tabla 19: Valoración de VC, PUE, PUT y RD del LIG 02



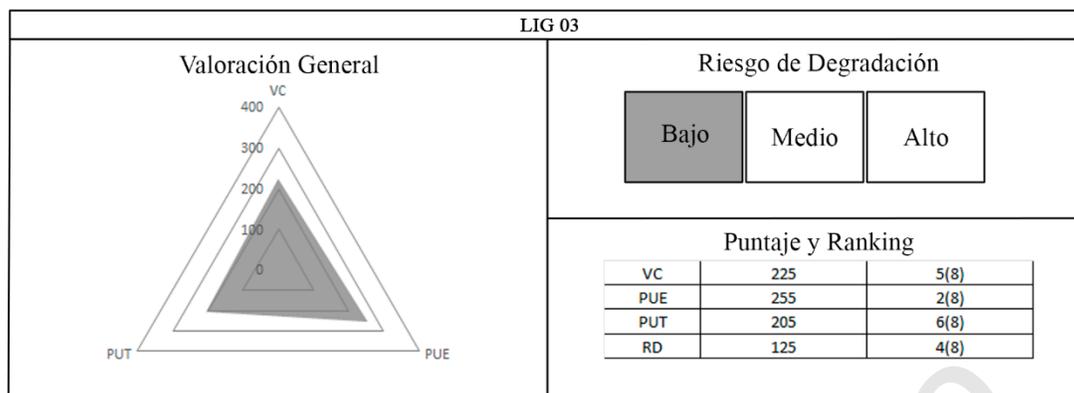
### 9.2.3. LIG 03 Lagunas de Teno

Este sitio no presenta actualmente uso activo desde el punto de vista geológico, sin embargo, es utilizado como destino turístico para paseos en kayak, cuenta con un principal valor educativo (Tabla 20). Es uno de los LIG que presenta mayor diversidad de elementos geológicos, permitiendo ser aprovechado como destino didáctico para distintos niveles de conocimiento geológico.

Para aumentar su valor es necesario mejorar la ruta de acceso vehicular ya que se encuentra en muy malas condiciones, actualmente se recomienda el uso de vehículos altos y de doble tracción. Se propone desarrollar visitas guiadas con respaldo informativo que permita la comprensión de los procesos geológicos asociados a los elementos que se observan.

Uno de los factores destacables del mirador de las Lagunas de Teno es su atractivo y belleza escénica, esto junto a su bajo RD permite que realicen sin grandes restricciones actividades de divulgación sobre el lugar. Se sugiere habilitar un mirador seguro para su observación con información que permita comprender el LIG sin necesidad de un guía.

Tabla 20: Valoración de VC, PUE, PUT y RD del LIG 03

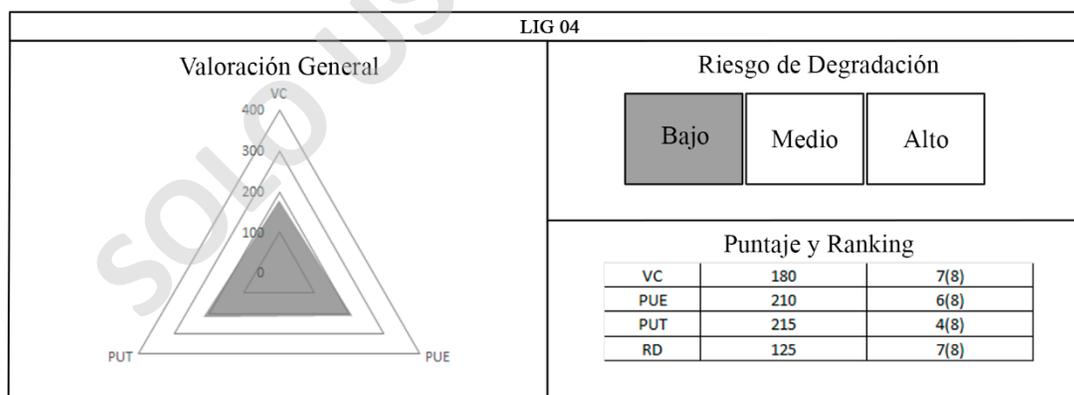


#### 9.2.4. LIG 04 Formación Abanico

Este sitio se encuentra actualmente sin uso activo y con un principal valor turístico (Tabla 21). El LIG presenta bajo VC y medio PUE-PUT, es de los sitios con más fácil acceso, sin embargo, su bajo atractivo escénico lo descarta como un lugar con gran potencial turístico.

El sitio es representativo de un ambiente lacustre, con elementos de fácil reconocimiento. Se sugiere habilitar un punto de observación seguro con información que permita comprender el LIG sin necesidad de un guía. También se sugiere utilizar como herramienta didáctica / interpretativa por estudiantes de las ciencias de la tierra.

Tabla 21: Valoración de VC, PUE, PUT y RD del LIG 04

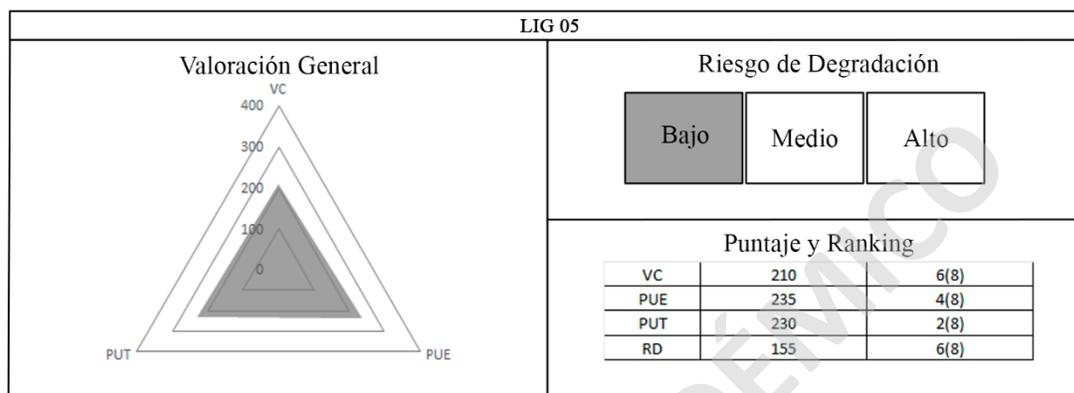


#### 9.2.5. LIG 05 Intrusivos de Infernillo

Actualmente el sitio es aprovechado ocasionalmente en actividades recreativas, por la presencia de piscinas de agua naturales formadas en el curso del río Infernillo, su principal valor es educativo (Tabla 22).

El lugar tiene fácil acceso y disponibilidad de espacio para estacionar vehículos, se sugiere colocar un panel informativo que permita comprender el LIG. También habilitar visitas guiadas para explicar los procesos involucrados, orientado a personas con un conocimiento básico sobre la geología.

Tabla 22: Valoración de VC, PUE, PUT y RD del LIG 05



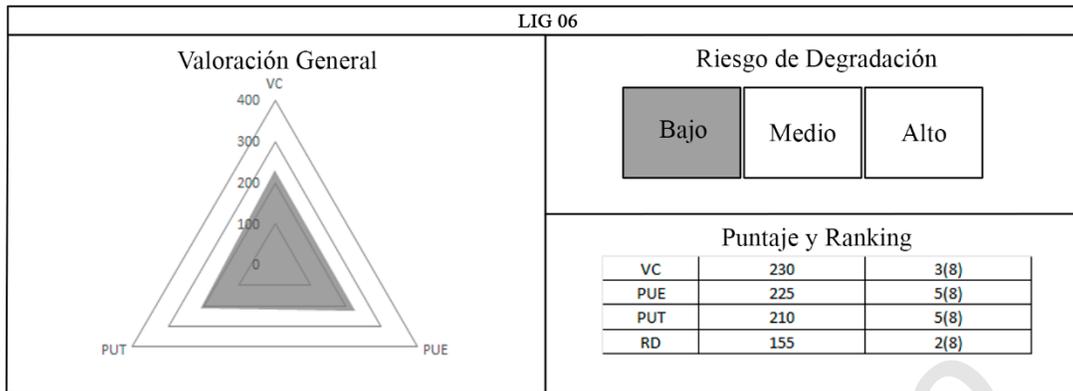
#### 9.2.6. LIG 06 Mirador Falla El Baule

Este sitio se encuentra actualmente sin uso activo y con un principal valor científico (Tabla 23). El LIG presenta un VC, PUE y PUT medios, siendo un lugar sin un particular atractivo paisajístico.

Los elementos de interés no son de fácil reconocimiento para personas sin conocimiento geológico, por lo que el potencial de aprovechamiento se centra en acciones de investigación y didácticas para personas con conocimiento geológico básico. Para aumentar su valor, se sugiere investigar el sitio con estudios estructurales para realizar una construcción y entender su evolución.

La ubicación del LIG coincide con las termas San Pedro, por lo que cuenta con infraestructura ya construida, sin embargo, está en malas condiciones. Se sugiere habilitar un punto de observación seguro y un panel informativo para identificar y comprender su geología.

Tabla 23: Valoración de VC, PUE, PUT y RD del LIG 06

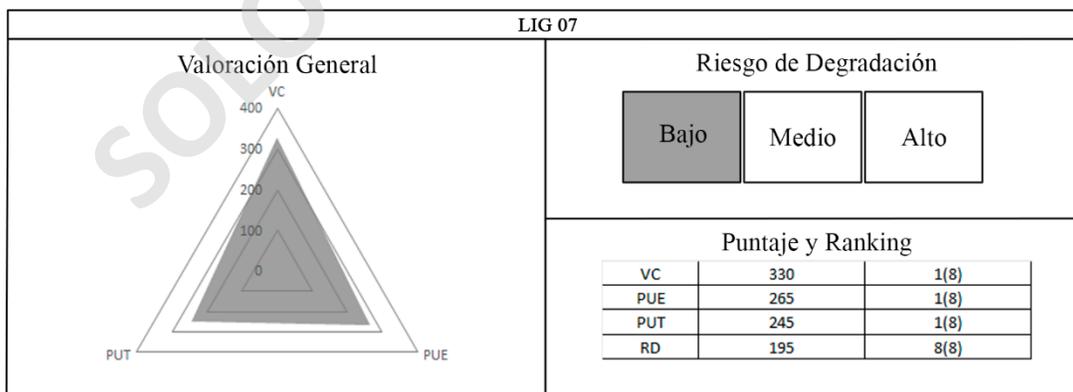


### 9.2.7. LIG 07 Cráter del Volcán Peteroa

Este sitio es uno de los que presenta mayor complejidad en términos de acceso. Presenta el VC más alto en el área (Tabla 24), siendo uno de los sitios con mayor atractivo paisajístico y potencial para generar interés en visitantes. El acceso no presenta un sendero marcado con claridad y la dificultad de ascenso al volcán es alta, por lo que su uso se basa en expediciones científicas y de montañismo.

El volcán es parte del plan de monitoreo y vigilancia del SERNAGEOMIN. Se sugiere realizar visitas anuales con registro fotográfico y científico que permita una posterior divulgación científica y educativa.

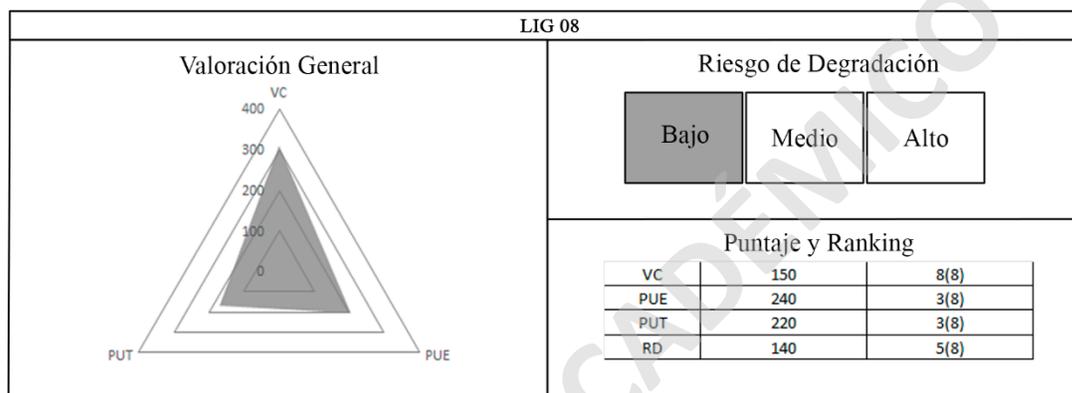
Tabla 24: Valoración de VC, PUE, PUT y RD del LIG 07



### 9.2.8. LIG 08 Mirador Santa Rita

Este sitio se encuentra actualmente sin uso activo y con un principal valor educativo (Tabla 25). No presenta elementos de gran singularidad, sin embargo, es un buen ejemplo para ilustrar procesos geológicos fluviales y para observar el valle del río Teno. Se sugiere habilitar un mirador seguro para la observación y uso turístico/didáctico, con información que permita comprender el LIG sin necesidad de un guía.

Tabla 25: Valoración de VC, PUE, PUT y RD del LIG 08



### 9.3. Rutas

Según la ubicación de los LIG y su cercanía se proponen las siguientes rutas geoturísticas:

#### 9.3.1. Ruta 1

Conformada por los LIG 01, 02 y 06, y por las propuestas 7 y 11 del listado de los LIG identificados en el sector (Tabla 16). Corresponde a un camino de baja exigencia física y duración aproximada de 1 hora ida y vuelta caminando desde el paso fronterizo Vergara (Figura 22). La ruta 1 permite la observación de: Fallas geológicas, aguas termales, sucesiones estratificadas continentales y marinas, rocas volcanoclásticas y fósiles.

La narrativa de la ruta es temporalmente regresiva desde el punto A hacia el D, en donde su principal característica es el cambio de los ambientes geológicos que formaron los elementos que se observan durante el trayecto, pasando de un ambiente continental a un ambiente marino.

En el punto A, el LIG06 “Mirador Falla El Baule” y la propuesta 7 “Baños termales San Pedro” representan respectivamente a las Grandes estructuras de la cuenca del Teno y al Arco volcánico del Neógeno – Cuaternario. La Falla el Baule es parte de las estructuras responsables del engrosamiento y alzamiento de la cordillera principal durante el Plioceno, a través de estructuras de similares características es que se permite el ascenso de fluidos magmáticos que aumentan el gradiente geotérmico. Reflejándose en la manifestación de las aguas termales.

El punto B se conecta al relato anterior al representar otro proceso en consecuencia de la generación de fallas geológicas, un dique emplazado en una de estas estructuras. La sucesión estratigráfica a la cual intruye se correlaciona con la Formación Río Damas y representa al contexto geológico local de las Series sedimentarias del Jurásico – Cretácico, periodo en el cual la principal fuente de aporte es la cordillera volcánica situada al oeste, en un ambiente continental de piedemonte.

El punto C consiste en grandes rocas piroclásticas desprendidas de su depósito original, por lo cual su ubicación temporal aún es incierta. Sin embargo, ayuda a visualizar texturas formadas en consecuencia de un ambiente volcánico continental.

Finalmente, en el punto D, se observa una sucesión estratificada cuyo ambiente de formación es marino, y contrasta con lo observado anteriormente durante la ruta. Evidenciando los grandes cambios evolutivos en donde inicialmente la zona de estudio estuvo cubierta por un gran cuerpo de agua durante un evento de transgresión.

Al finalizar la ruta, el observador podrá visualizar en un relato cronológico eventos de transgresión y regresión marina que provocan cambios considerables en el tipo de material

que rellena una cuenca durante su periodo de acumulación. Y en el rol de las estructuras de fallas desarrolladas en el área por un régimen compresivo.

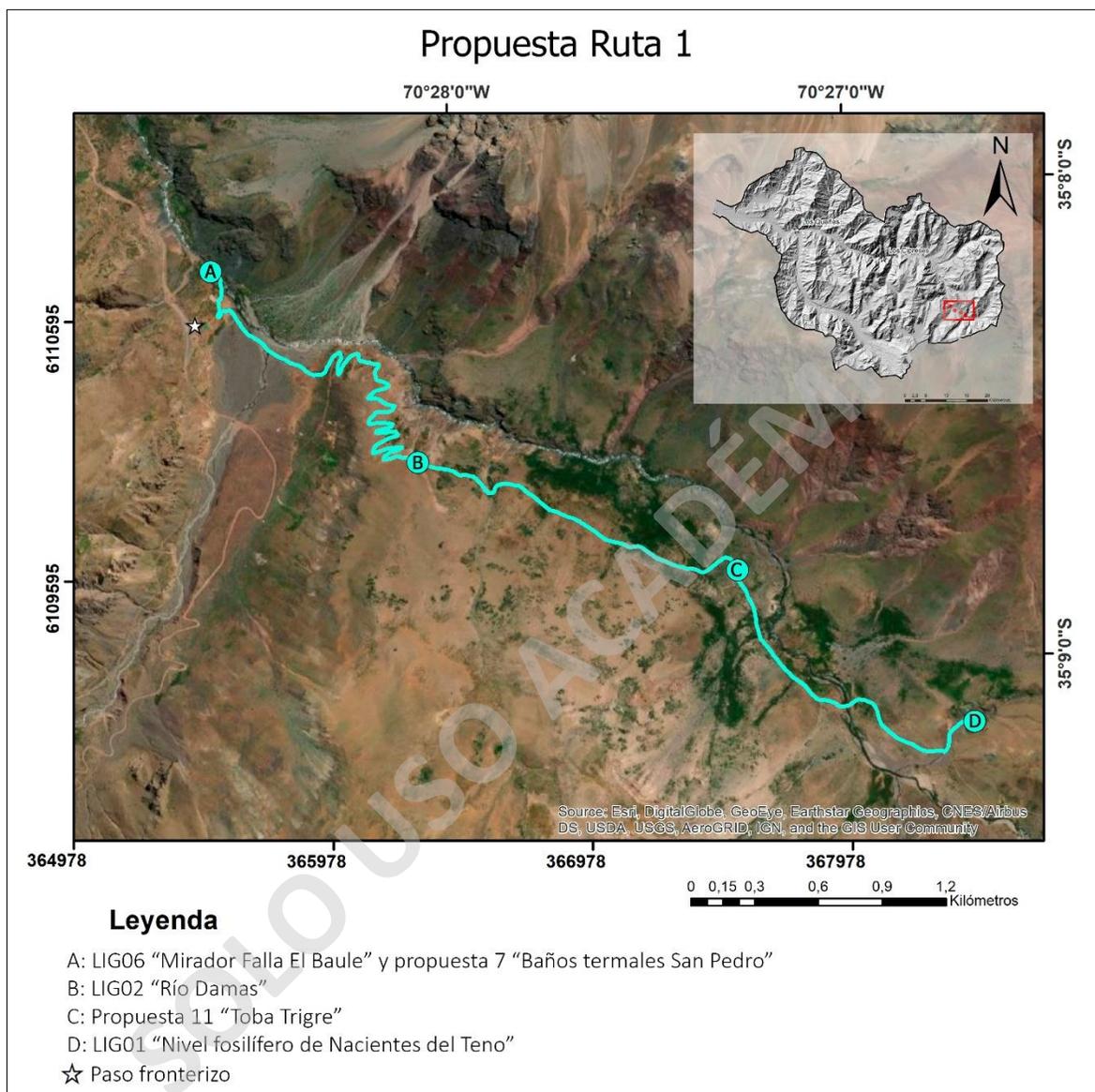


Figura 22: Ruta 1 propuesta para geoturismo, en celeste.

### 9.3.2. Ruta 2

Conformada por los LIG 03, 07 y por las propuestas 18, 19, 20 y 21 del listado de los LIG identificados en el sector (Tabla 16). Corresponde a un camino de alta exigencia física y duración aproximada de 10 horas ida y vuelta caminando desde el LIG 03 Lagunas de Teno (Figura 23). La ruta 2 permite la observación de: Volcanes, sucesiones volcánicas estratificadas, glaciares, cráteres y caldera volcánica.

La narrativa de la ruta es temporalmente progresiva desde el punto A hacia el F, su principal característica es ser una ruta completamente temática sobre los procesos volcánicos que se han manifestado en el área.

El punto A, LIG03 “Lagunas de Teno” da comienzo a la ruta representando al Arco volcánico del Cretácico Superior, el cual se ubicaba en lo que actualmente es la cordillera de la costa (Charrier, 2014). Esta parada es una mirada al pasado, hacia depósitos volcánicos de más de 60 millones de años de antigüedad, los cuales han sido modificados por los procesos evolutivos del área y actualmente se presentan deformados.

Desde el punto B hacia adelante, el salto temporal nos ubica en el Cuaternario. Durante el avance de la ruta se asciende por el complejo volcánico Planchón – Peteroa – Azufre, cuya construcción comenzó hace 1.2 millones de años aproximadamente (Sruoga, 2008). En B se observa con claridad el volcán Planchón con la estratificación propia de un estrato volcán, cuya construcción se realizó en un periodo de gran actividad dominado por el derrame de coladas delgadas y continuas.

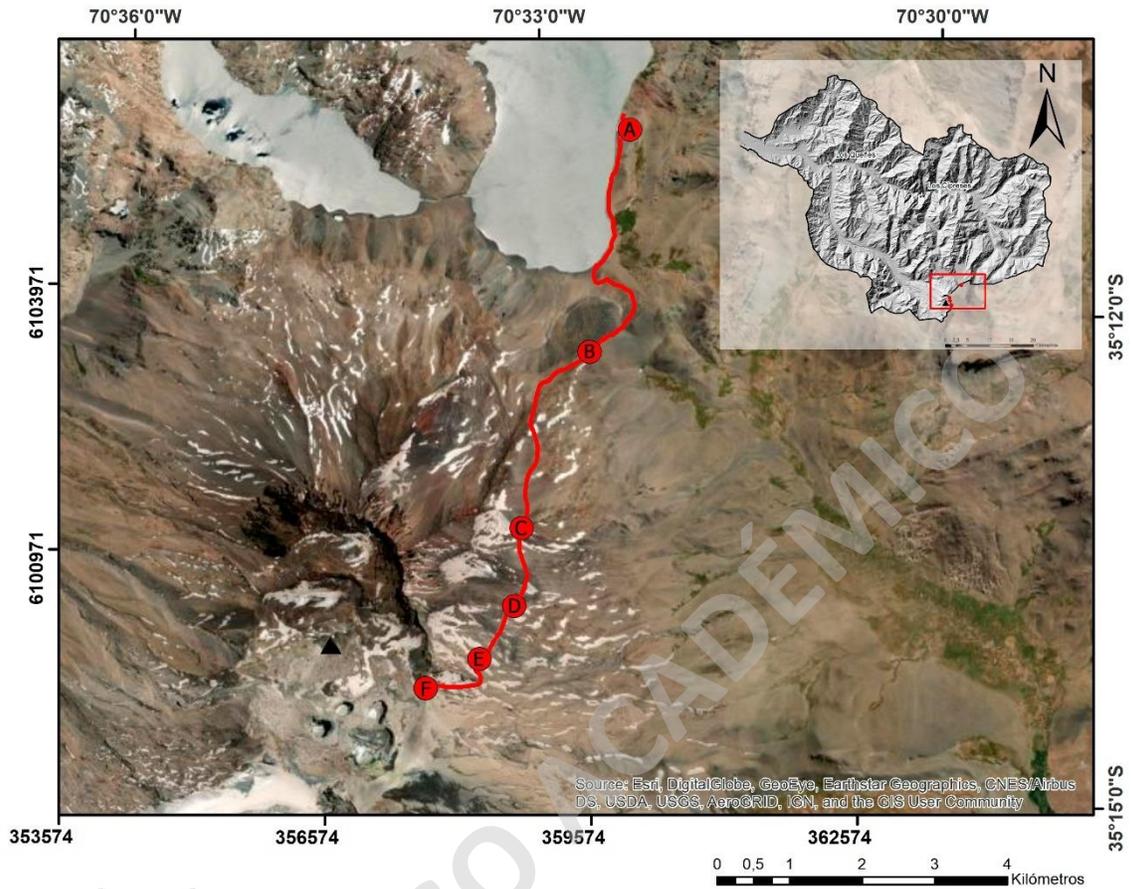
En el punto C se observan los mismos elementos de la parada anterior, pero con más cercanía y detalle, logrando evidenciar diques y filones manto, mediante los cuales ascendieron los fluidos magmáticos que permitieron su construcción. En el punto D la observación de glaciares cubiertos ilustra la estrecha relación que han mantenido con el volcán a lo largo de su historia evolutiva.

En el punto E se puede observar con claridad una sucesión estratificada que representa la variedad de los productos volcánicos, la cual presenta depósitos de corrientes de densidad piroclástica, coladas de lava y posibles depósitos de caída.

Finalmente, en el punto F LIG07 “Cráter del Volcán Peteroa”, se concluye la narrativa de la formación del volcán Planchón al observar la caldera formada en consecuencia de un gran evento de remoción en masa, en donde la ladera occidental del volcán sufrió de un colapso gravitacional. Actualmente la manifestación del volcán Peteroa está en los cuatro cráteres activos.

Al finalizar la ruta, el observador podrá visualizar y entender parte de la construcción y evolución de los volcanes que dominan la zona de estudio.

## Propuesta Ruta 2



### Leyenda

- A: LIG03 "Lagunas de Teno"
- B: Propuesta 18 "Mirador sucesiones volcánicas del Planchón"
- C: Propuesta 19 "Penitentes del volcán Planchón"
- D: Propuesta 20 "Glaciar cubierto"
- E: Propuesta 21 "Sucesión estratificada del Planchón"
- F: LIG07 "Cráter del volcán Peteroa"
- ▲ Complejo volcánico Planchón- Peteroa

Figura 23: Ruta 2 propuesta para geoturismo, en rojo.

## **10. CONCLUSIONES**

### **10.1. Respecto al patrimonio geológico**

Los LIG inventariados permiten validar la hipótesis inicial planteada, la cuenca del río Teno cuenta con un amplio y diverso patrimonio geológico en su sector precordillerano y cordillerano, el que representa los procesos de evolución geológica del territorio y es de utilidad científica, turística y educativa.

Los procesos de evolución geológica del territorio se manifiestan en 9 contextos geológicos locales, cuya narrativa abarca los principales hitos para entender la evolución geológica del sector desde el Jurásico Medio hasta el presente.

El área de estudio contiene al menos 8 lugares de interés geológico con utilidad científica, turística y educativa. Estos sitios son aprovechables como herramienta para diversificar las actividades locales en la comuna de Romeral.

Los LIG inventariados representan 8 de los 9 contextos locales, su gestión permite la construcción de 2 rutas geoturísticas que ilustran parte del relato evolutivo de la cuenca en el sector del valle del río nacimientos del Teno y en el complejo volcánico Planchón – Peteroa - Azufre. Cabe destacar que en las 2 rutas no se logra narrar por completo la evolución de la cuenca, se requiere de la visita de los LIG que aún no son parte de una ruta.

El área de estudio tiene el valor y las condiciones para continuar con estudios e investigaciones geológicas, y contiene elementos cuya conservación son de interés para la ciencia. La importancia y uso de este patrimonio geológico justifica la realización de medidas de conservación y protección para toda el área, cumpliendo las condiciones necesarias para ser declarado santuario de la naturaleza

### **10.2. Respecto a la metodología**

La definición de contextos geológicos locales es fundamental para el desarrollo del estudio del patrimonio geológico, al ser la información base para proceder con las labores de identificación y selección de los potenciales LIG. Su evaluación, mediante la metodología de Brilha (2016), valoriza eficazmente el contenido del inventario realizado, cumpliendo con el objetivo de seleccionar los LIG de mayor relevancia para cada contexto geológico local.

La valoración cuantitativa separada de los criterios de VC, PUT, PUE y RD es favorable al establecer eficazmente sugerencias de gestión para cada LIG, cumpliendo con el objetivo general del presente trabajo de generar propuestas de manejo patrimonial.

En su mayoría, las ponderaciones obtenidas no reflejan valores altos. Para el VC esto responde a la falta de estudios específicos en cada sitio y publicaciones que otorguen conocimiento científico a la zona. Se concluye que es necesario profundizar en el conocimiento que se tiene del área en general y de cada LIG, y se debe utilizar esta información con fines divulgativos para acercar el conocimiento a las comunidades locales y generar interés.

Para el PUE y PUT las razones de que no se presenten valoraciones altas son principalmente la baja accesibilidad y la falta de infraestructura que permita desarrollar visitas seguras a cada sitio. Se concluye que es necesario habilitar paradas seguras para el acceso de buses, mejorar la cobertura celular o instalar puntos de comunicación local, y habilitar servicios de emergencia en puntos estratégicos.

Si bien el uso de la metodología de Brilha (2016) permitió cumplir con los requerimientos del trabajo, no se ajusta en su totalidad a las características del territorio, principalmente en las consideraciones de acceso. Se concluye que es necesario realizar un ajuste antes de continuar con la realización del inventario para conseguir resultados más acordes al contexto cordillerano de la cuenca del río Teno.

### **10.3. Recomendaciones**

En el desarrollo de este trabajo se representaron 8 de los 9 contextos geológicos locales definidos, por lo tanto, se recomienda continuar con la identificación y selección de potenciales LIG para incluir en el inventario. Respecto al contexto no representado en este trabajo del “Hiato estratigráfico del Cretácico - Paleógeno” se sugiere un estudio de campo en los sectores de las quebradas del estero La Gloria y estero Santa Rita.

La identificación y selección de las propuestas de LIG para este trabajo, se realizó principalmente en las cercanías de la ruta J-55, con el fin de obtener lugares de fácil acceso como primera propuesta. Numerosos sectores de la cuenca no han sido investigados, lo que indica que aún existe mucha información geológica que no ha sido recopilada y considerada en el inventario. Se sugiere continuar con el desarrollo del trabajo, principalmente en el sector del valle del río Claro, el cual no fue visitado por limitaciones de acceso.

Respecto a la protección de la zona, es imprescindible contar con un marco legal que apoye y garantice la geoconservación. Se recomienda realizar la gestión y aplicar las medidas de protección otorgadas mediante la ley 17.288 de Monumentos Nacionales.

## 11. BIBLIOGRAFÍA

- Aguilera, F., Benavente, Ó., y Gutierrez, F. (2016). Eruptive activity of Planchón-Peteroa volcano for period 2010-2011, Southern Andean Volcanic Zone, Chile. *Andean Geology*, 43(1), 20–46.
- Aguirre, L. (1960). Geología de los Andes de Chile Central, provincia de Aconcagua. Instituto de Investigaciones Geológicas, Boletín 9: 70 p. Santiago
- 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.
- Arcos, J. (1987). Geología del Cuadrángulo Termas del Flaco, Provincia de Colchagua, VI Región, Chile. Memoria para optar al título de Geólogo, Universidad de Chile, Departamento de Geología, 122 p.
- Arellano, P. (2019). Petrogénesis del magmatismo Eoceno-Mioceno en Chile entre los 34°45′-35°15′S: Implicancias en la configuración y evolución paleogeográfica de la región. Tesis para optar al grado de Magíster en Ciencias mención Geología y Memoria para optar al Título de Geólogo, Universidad de Chile, Chile.
- Astaburuaga, D. (2014). Evolución estructural del límite Mesozoico-Cenozoico de la Cordillera Principal entre 35°30′ y 36°S, región del Maule, Chile. Tesis de Magister. Universidad de Chile. 140 p.
- Benado, J., Hervé, F., Schilling, M., y Brilha, J. (2018). Geoconservation in Chile: State of the Art and Analysis. *Geoheritage*, 11(3), 793–807.
- Biro-Bagoczky, L. (1964). Estudio sobre el límite Titoniano y el Neocomiano en la Formación Lo Valdés, Provincia de Santiago, principalmente en base a ammonoideos, Región Metropolitana, Chile. 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).
- Bruschi, V., y Cendrero, A. (2005). Geosite evaluation; can we measure intangible values? *Alpine and Mediterranean Quaternary*, 18(1), 293–306.
- Bruschi, V., Cendrero, A., y Albertos, J. (2011). A statistical approach to the validation and optimisation of geoheritage assessment procedures. *Geoheritage*, 3(3), 131–149.
- Cáceres, F. (2019). Identificación, caracterización y valoración de geositos, para la evaluación de un futuro geoparque, en torno al sector Los Queñes, Comuna de

- Romeral. Informe presentado para completar las exigencias del título de geólogo, Universidad Santo Tomás, Chile.
- Calderón, M., Hervé, F., Lohmar, S., Mourgues, F., Pinto, L., Schilling, M., Solari, M., Valenzuela, M., y Martínez, P. (2009). “Geosítios de la Sociedad Geológica de Chile: una herramienta de educación masiva en Geología, de valoración y preservación del Geopatrimonio, y de fomento del Turismo de Intereses Especiales”, XII Congreso Geológico Chileno, Santiago, S5\_005, 4 pp.
- 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, J., Durán, 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., López, J. (2008). Geodiversidad: concepto y relación con el patrimonio geológico. *Geo-Temas*, 10, 1299-1303.
- Carcavilla, L., Delvene, G., Díaz, E., García, 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.
- 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: 2337.
- 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. (1979). El Triásico de Chile y regiones adyacentes en Argentina: Una reconstrucción paleogeográfica y paleoclimática. *Comunicaciones* 26, 1-47.
- Charrier, R. (1981). Mesozoic and Cenozoic stratigraphy of the central Argentinian-Chilean Andes (32-35 S) and chronology of their tectonic evolution. *Zentralblatt Geologie Paläontologie* 1, p. 344-355.
- Charrier, R. (1984). Áreas subsidentes en el borde occidental de la cuenca tras-arco jurásicocretácica. Cordillera Principal Chilena entre 34° y 34°30'S. In *Congreso Geológico Argentino*, No. 9, Actas 2: 107-124. Buenos Aires.

- Charrier, R., Wyss, A., Flynn, J., Swisher, C., Spichiger, S., Zapatta, F. (1994). Nuevos antecedentes estratigráficos y estructurales para las Formaciones Coya-Machalí y Abanico, entre 33°50' y 35°S, Cordillera Principal Chilena. In Congreso Geológico Chileno, No. 7, Actas: 1316-1319.
- Charrier, R., Wyss, A., Flynn, J., Swisher, C., Norell, M., Zapata, F., McKenna, M., Novacek, M. (1996). New evidence for Late Mesozoic-Early Cenozoic evolution of the Chilean Andes in the Upper Tinguiririca Valley (35°S), Central Chile. *Journal of South American Earth Sciences* 9: 393-422.
- Charrier, R., Baeza, O., Elgueta, S., Flynn, J., Gans, P., Kay, S., Muñoz, N., Wyss, A., Zurita, E. (2002). Evidence of Cenozoic extensional basin development and tectonic inversión south of the flat-slab segment, southern Central Andes, Chile (33°36'S.L.). *Journal of South American Earth Sciences*. Volume 15, 117-139.
- Charrier, R., Bustamante, M., Comte, D., Elgueta, E., Flynn, J., Iturra, I., Muñoz, N., Pardo, M., Thiele, R., Wyss, A. (2005). The abanico extensional basin: regional extension, chronology of tectonic inversion and relation to shallow seismic activity and Andean uplift. *Neues Jahrbuch Fur Geologie Und Palaontologie-Abhandlungen* 236(1-2), p. 43-77.
- Charrier, R., Pinto, L., Rodríguez, M. (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.
- Charrier, R., Ramos, V.A., Tapia, F., Sagripanti, L. (2014). Tectono-stratigraphic evolution of the Andean Orogen between 31 and 37 S (Chile and Western Argentina), en: Sepúlveda, S.A., Giambiagi, L.B., Moreiras, S.M., Pinto, L., Tunik, M., Hoke, G:D. y Farías, M. (Eds), *Geodynamics Processes in the Andes of Central Chile y Argentina*. Geol. Soc. London, Spec. Publ. 399.
- Coira, B., Davidson, C., Mpodozis, C., Ramos, V. (1982). Tectonic and magmatic evolution of the Andes of northern Argentina and Chile. *Earth-Science Reviews*, Special Issue, 18, 303–332.
- Contreras, J., y Schilling, M. (2012). Hoja San Fernando – Curicó, Regiones del Libertador General Bernardo O'Higgins y del Maule. Servicio Nacional de Geología y Minería, Carta Geológica de Chile, Serie Geológica Básica, Santiago.
- Contreras, E., Grevemeyer, I., Flueh, E., Reichert, C. (2008). Upper lithospheric structure of the subduction zone offshore of southern Arauco peninsula, Chile, at 38°S. *J. Geophys. Res.* 113, B07303.
- Covacevich, V., Varela, J., Vergara, M. (1976). Estratigrafía y sedimentación de la Fm. Baños del Flaco al sur del río Tinguiririca, Cordillera de los Andes, Provincia de Curicó, Chile. En: *I Congreso Geológico Chileno*, Santiago, p. 191-211.

- Crowther, P., Wimbledon, W. (1988) The use and conservation of palaeontological sites. *Spec Pap Palaeont* 40:1–200.
- Davidson, J., y Vicente, J. (1973). Características paleogeográficas y estructurales del área fronteriza de las nacientes del Teno (Chile) y Santa Elena (Argentina) (Cordillera Principal, 35° a 35°15' de latitud sur). En: V Congreso Geológico Argentino, p. 11-55.
- Davidson, J. (1971). Tectónica y paleogeografía de la Cordillera Principal en el área de las Nacientes del Teno, Curicó, Chile. Memoria para optar al título de Geólogo, Universidad de Chile, Departamento de Geología, 160 p.
- DD., (1991). Digne Declaration. Declaration of the Rights of the Memory of the Earth. English translation used by ProGEO.
- 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.
- Díaz, E., Guillén, F., Mata, J., 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
- Drake, R., 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., Brusi i Belmonte, D., Pallí i Buxó, L., López Martínez, J., Palacio, J., y Vallejo, M. (1998). Geología ecológica, geodiversidad, geoconservación y Patrimonio Geológico de la Declaración de Girona. © IV Reunión Nacional de la Comisión de Patrimonio Geológico: Miraflores de la Sierra: Madrid: Junio-Julio de 1998: Comunicaciones, 1998, vol. 1, p. 69-72.
- Durán, J. (1999). El patrimonio geológico de España: situación actual y perspectivas de futuro. In I Simposium Transfronterizo sobre Patrimonio Natural, 7-20.
- Eder, W., Patzak, M. (2004) Geoparks—geological attractions: a tool for public education, recreation and sustainable development. *Episodes* 27(3):162–164
- Farías, M. (2007). Tectónica y erosión en la evolución del relieve de los Andes de Chile central durante el Neógeno. Tesis para optar al grado de Doctor en Ciencias, Mención Geología, Departamento de Geología, Universidad de Chile, 236 p.
- Farías, M., Charrier, R., Carretier, S., Martinod, J., Fock, A., Campbell, D., Cáceres, J., Comte, D. (2008). Late Miocene high and rapid surface uplift and its erosional response in the Andes of central Chile (33°-35°S). *Tectonics* 27(1), TC1005, 22 p.

- Farías, M., Comte, D., Charrier, R., Martinod, J., David, C., Tassara, A., Tapia, F., Fock, A. (2010). Crustal-scale structural architecture in central Chile based on seismicity and surface geology: Implications for Andean mountain building. *Tectonics* 29(3), TC3006, 22 p.
- Flynn, J. y Swisher, C. (1995). Chronology of the Cenozoic South American Land Mammal Ages. In: Bergreen, W., Kent, D., y Hardenbol, J. (eds) *Geochronology, Time-Scales, and Global Stratigraphic Correlation*. SEPM (Society for Sedimentary Geology), Special Publication 54, 317–333.
- Flynn, J., Croft, D., Hitz, R., Wyss, A. (2005a). The Tapado Fauna (Casamayoran SALMA), Abanico Formation, Tinguiririca Valley, central Chile. *Journal of Vertebrate Paleontology* 25: 57A.
- Flynn, J., Croft, D., Charrier, R., Wyss, A. (2005b). New Mesotheriidae (Mammalia, Notoungulata, Typotheria), geochronology and tectonics of the Caragua area, northernmost Chile. *Journ.*
- Fock, A. (2005). Cronología y tectónica de la exhumación en el Neógeno de los Andes de Chile central entre los 33° y los 34°S. Tesis para optar al grado de Magíster en Ciencias, Mención Geología, Departamento de Geología, Universidad de Chile, 179 p.
- 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.
- Fuertes, I., Fernández, E. (2012) Mapping geosites for geoheritage management: a methodological proposal for the Regional Park of Picos de Europa (León, Spain). *Environ Manag* 50:789–806.2017.
- Gana, P., Wall, R. (1997). Evidencias geocronológicas  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  y K-Ar de un hiatus cretácico superior-eoceno en Chile central (33-33° 30'S). *Andean Geology*, 24(2), 145-163.
- García, A., Carcavilla, L., Díaz, E., Vegas, J. (2014). Documento metodológico para la elaboración del Inventario Español de Lugares de Interés Geológico (IELIG). Área de Investigación en Patrimonio Geológico y Minero del IGME. Instituto Geológico y Minero de España (IGME).
- Giambiagi, L. y Ramos, V. (2002). Structural evolution of the Andes between 33°30' and 33°45'S, above the transition zone between the flat and normal subduction segment, Argentina and Chile. *Journal of South American Earth Sciences* 15(1), p. 99-114.

- Giambiagi, L., Ramos, V., Godoy, E., Álvarez, P., Orts, S. (2003). Cenozoic deformation and tectonic style of the Andes, between 33° and 34°S. *Tectonics* 22(4), p. 1041-1059.
- Giehm, C. (1960). Geología de la Cordillera de los Andes de Chile Central. *Bol. Inst. Inv. Geol.*
- 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., Yañez, G. y Vera, E. (1999). Inversion of an Oligocene volcano-tectonic basin and uplifting of its superimposed Miocene magmatic arc in the Chilean Central Andes: first seismic and gravity evidences. *Tectonophysics*, 306, 217–236.
- 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).
- González, A. (2008). Análisis estructural entre los valles del Río Tinguiririca y Teno, Cordillera Principal de Chile Central: Microsismicidad y Geología Superficial. Departamento de Geología, 90.
- González, O. y Vergara, M. (1962). Reconocimiento geológico de la Cordillera de los Andes entre los paralelos 35° y 38° latitud S. Instituto de Geología, Universidad de Chile, Publ. 24, 121 p
- 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.
- Grube, A. (1994) The national park system in Germany. In: O'Halloran D, Green C, Harley M, Stanley M, Knill J (eds) *Geological and Landscape Conservation*. The Geological Society, London, pp 175–180
- Haller, M. (2011). La erupción del volcán Peteroa (35°15'S, 70°18'O) 4 de septiembre de 201. *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, 68(2), 295–305.
- Henriques, M. H., Brilha, J. (2017). UNESCO Global Geoparks: a strategy towards global understanding and sustainability. *IUGS*, 40(4), 349-355.
- Henriques, M., Dos Reis, R., Brilha, J., Mota, T. (2011). Geoconservation as an emerging geoscience. *Geoheritage*, 3(2), 117-128.
- Hervé, F. (2011). “Los Dres. Amado Pissis y Juan Brügger, figuras de la geología de Chile”, en Número especial de la *Revista Chilena de Historia y Geografía* en el Centenario de su Fundación (1911- 2011), Santiago, Chile, pp. 207-222.
- Hervé, F., Schilling, M. Calderon, M. Solari, M., y Mourgues, A. (2012), “La difícil tarea de identificar y proteger el patrimonio geológico de Chile”, *XIII Congreso Geológico Chileno*, Antofagasta, pp. 896-898.

- Hevia, A. (2014). Evolución tectono-estratigráfica de depósitos Cenozoicos en la cuenca del río Teno, vertiente occidental de la Cordillera Principal. Memoria para optar al título de Geólogo, Departamento de Geología, Universidad de Chile, 70 p.
- Hitz, R., Flynn, J., Wyss, A. (2006). New basal Interatheriidae (Typotheria, Notoungulata, Mammalia) from the Paleogene of central Chile. *American Museum Novitates* 3520: 1-32.
- Hose, T. (2003). Geotourism in England: A Two-Region Case Study Analysis. En: Hose, T. A. (2008). *Towards a history of geotourism: definitions, antecedents and the future*. Geological Society, London, Special Publications, 300(1), 37-60.
- Hurtado, A. (2003). “Geología de la Cordillera de Los Andes entre los ríos Teno y Colorado, provincia de Curicó: Una contribución a la estratigrafía del Cenozoico”.
- 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
- 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.
- Melnick, D., Folguera, A. y Ramos, V. (2006). Geology of the Copahue volcano-Agrio caldera complex (37°50pS): structural control, volcanostratigraphy and regional tectonic implications. *Journal of South American Earth Sciences*, 22, 66–88.
- 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.
- Mosolf, J. (2013). Stratigraphy, structure, and geochronology of the Abanico Formation in the Principal Cordillera, central Chile: Evidence of protracted volcanism and implications for Andean tectonics. Tesis para optar al grado de Doctor en Ciencias Geológicas, Universidad de California, Santa Bárbara, 279 p.
- Mourgues, F., Schilling, M., Castro, C. (2012). Propuesta de definición de los Contextos Geológicos Chilenos para la caracterización del patrimonio geológico nacional. Resúmen XIII Congreso Geol. Chileno, Antofagasta: 890-892.
- Mpodozis, C. y Kay, S. (1990). Provincias magmáticas ácidas y evolución tectónica de Gondwana: Andes chilenos (28–31°S). *Revista Geológica de Chile*, 17, 153–180.
- Mpodozis, C., Ramos, V. (1989). The Andes of Chile and Argentina. In *Geology of the Andes and its Relation to Hydrocarbon and Mineral Resources* (Erickson, G., Cañas-Pinochet, M., Reinemund, J., editors). Earth Sciences Series, Circum-Pacific Council for Energy and Mineral Resources (11), 59-90.

- Muñoz, M., Deckart, K., Charrier, R., Fanning, M. (2009). New geochronological data on Neogene-Quaternary intrusive rocks from the high Andes of central Chile (33°15'34"00"S). En: XII Congreso Geológico Chileno, p. 8-008.
- Muñoz, M., Tapia, F., Persico, M., Benoit, M., Charrier, R., Farías, M., Rojas, A. (2018). Extensional tectonics during Late Cretaceous evolution of the Southern Central Andes: Evidence from the Chilean main range at ~ 35° S. *Tectonophysics* 744, p. 93-117.
- Nichols, G. (2009). *Sedimentology and stratigraphy*. Wiley-Blackwell, Second edition.
- Palacio, J., Sánchez, J., y Schilling, M. (2016). Patrimonio geológico y su conservación en América Latina. Situación y perspectivas nacionales. In *Patrimonio geológico y su conservación en América Latina. Situación y perspectivas nacionales*.
- Parada, R. (2008). "Análisis estructural del borde oriental de la Cuenca de Abanico en el valle del Río Teno, 7° región". Departamento de Geología, Universidad de Chile.
- Partarrieu, D. (2013). Inventario de geositos en la comuna de Lonquimay, para la creación del Geoparque Kütralkura, IX Región de la Araucanía. Memoria para optar al Título de Geólogo, Universidad de Chile, Chile.
- Pérez, R. (2018). Memoria de Título: 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. Universidad de Chile, 117.
- Persico, M. (2016). La Unidad Guanaco en el valle del río Tinguiririca (34°55'S): Características estratigráficas y geoquímicas e implicancias tectónicas para el Cretácico Tardío en el margen Andino. Memoria para optar al título de Geólogo, Departamento de Geología, Universidad de Chile, 119 p.
- Pinto, L., Muñoz, C., Charrier, R., y Nalpas, T. (2014). Influencia de la carga de los depósitos en la generación de fallas de atajo durante la inversión de una cuenca extensional: El caso de la cuenca de Abanico (Eoceno-Oligoceno), Andes de Chile central (33°-35°S). *Andean Geology*, 41(1).
- Piquer, J., (2005). Ambiente geológico del prospecto Infiernillo, Cordillera de Curicó, VII Región. Memoria de Título, Departamento de Geología, Universidad de Chile, Santiago. p. 100.
- Piquer, J., Castelli, J., Charrier, R., Yáñez, G. (2010). El Cenozoico del alto río Teno, Cordillera Principal, Chile central: estratigrafía, plutonismo y su relación con estructuras profundas. *Andean Geol.* 37, 32–53
- Ramos, V. (2008). The basement of the Central Andes: the Arequipa and related terranes. *Annual review of Earth and Planetary Sciences* 36, p. 289-324.
- Rivano, S. (1996). Geología de la Hojas Quillota y Portillo. 1: 250.000. Servicio Nacional de Geología y Minería. 191 p.

- 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).
- Rossel, P., Oliveros, V., Mescua, J., Tapia, F., Ducea, M.N., Calderón, S., Charrier, R., Hoffman, D. (2014). The Upper Jurassic volcanism of the Río Damas-Tordillo Formation (33°-35,5°S): Insights on petrogenesis, chronology, provenance and tectonic implications. *Andean Geol.* 41, 529–557.
- Servicio Nacional de Turismo (2015). Plan de acción Región del Maule, Sector Turismo - 2015. Ministerio de Economía, Fomento y Turismo, Chile.
- Sharples, C. (2002). Concepts and principles of geoconservation. Tasmanian Parks y Wildlife Service, Hobart, v. 3.
- Sruoga, P. (2008). El volcán Planchón-Peteroa, un modelo para armar. *Sitios de Interés Geológico de la República Argentina*, 46(1), 1–446.
- Tapia, F. (2010). Análisis estructural del sector occidental de la faja plegada y corrida de Malargüe en el curso superior del Río Colorado de Lontué (35°18' y 35°23'S), Región del Maule, Chile. Memoria de Título. Universidad de Chile. 102 p.
- Tapia, F. (2015). Evolución tectónica de los Andes centrales del sur durante el Cenozoico superior (34°45'S-35°30'S). Tesis para optar al grado de Doctor en Ciencias, mención Geología, Departamento de Geología, Universidad de Chile, 340 p.
- Tapia, F., Muñoz, M., Farías, M., Arellano, P., Persico, M. (2015). Hallazgo de estratos de edad Cretácico Tardío en el curso alto del río Tinguiririca (~34°55'S). Parte II: Implicancias Tectónicas. En: XIV Congreso Geológico Chileno, Actas digitales. La Serena, 4 p
- Thiele, R. (1980). Hoja Santiago, Región Metropolitana. Servicio Nacional de Geología y Minería, Carta Geológica de Chile (29) 21 p.
- UNESCO. (2005a). UNESCO and Sustainable Development. UNESCO, <http://unesdoc.unesco.org/images/0013/001393/139369e.pdf>. Accessed 9 October 2010
- UNESCO. (2005b). UN Decade of Education for Sustainable Development 2005 – 2014. The DESD at a glance. UNESCO Education Sector, ED/2005/PEQ/ESD/3, <http://unesdoc.unesco.org/images/0014/001416/141629e.pdf>, Accessed 18 October 2010.
- UNESCO. (2007). Global Geoparks Network. Guidelines and Criteria for National Geoparks seeking UNESCO's assistance to join the Global Geoparks Network, 10 p.
- UNESCO. (2019). Designación de nuevos geoparques mundiales de la UNESCO. Consejo ejecutivo, 206ª reunión.

- Vergara, M. y Munizaga, F. (1974). Age and evolution of the Upper Cenozoic andesitic volcanism in central-south Chile. *Geological Society of America, Bulletin*, 85, 603–606.
- 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.
- Wimbledon, W. A., Ishchenko, A., Gerasimenko, N., Karis, L., Suominen, V., Johansson, C., Freden, C. (2000). Geosites- an IUGS initiative: science supported by conservation. In: Barrettino, D., Wimbledon, WAP., Gallego, E. (eds). *Geological Heritage: Its Conservation and Management*. ITGE, Madrid, 73, 69-94.
- Zapatta, F. (1995). Nuevos antecedentes estratigráficos y estructura del área de Termas del Flaco, valle del río Tinguiririca, VI región, Chile. Memoria para optar al título de Geólogo, Universidad de Chile, Departamento de Geología, 122 p.
- Zhang, L., Wu, F., y Wang, Y. (2013). Quantitative evaluation of Geoheritages in Bayan nur National Geopark. *Advanced Materials Research*, 726–731, 1162–1168.

## 12. ANEXO A: METODOLOGÍA

Tabla 26: Ficha de descripción cualitativa extendida propuesta por Pérez (2018). En la estructura considera narrar la evolución del LIG y relacionar con los elementos culturales y de la biodiversidad.

CÓDIGO DEL LIG		NOMBRE DEL LIG		
Datum/Huso	Coordenada Este	Coordenada Sur	Altitud	
Propiedad del Terreno		Comuna	Localidad más cercana	
Estatal o Privada				
<b>Características generales</b>				
<p>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.</p>				
<b>Imagen o esquema</b>				
<p>Imagen o esquema representativo del elemento de interés principal, indicando las características de este.</p>				
<b>Descripción general</b>				
<p>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.</p>				
<b>Aspectos geológicos relevantes</b>				
<p>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:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Descripción del LIG: <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Elemento(s) principal(es) del sitio de interés.</li> <li>○ Dimensiones.</li> <li>○ Cantidad de elementos de la geodiversidad asociados al elemento principal.</li> <li>○ Unidad morfoestructural y unidades geológicas en las que se emplaza.</li> </ul> </li> <li>• Detalle del LIG: <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Descripción paleontológica, litológica, geomorfológica, entre otras. Se recomienda adjuntar fotografías de los elementos de interés específicos.</li> </ul> </li> </ul>				

<ul style="list-style-type: none"> <li>○ Descripción de los procesos de deformación o erosión del LIG.</li> <li>○ Edad e interpretación del proceso de formación.</li> <li>• Breve descripción de los elementos de la geodiversidad asociados al elemento principal.</li> </ul>
<p><b>Aspectos no geológicos relevantes</b></p> <p>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.</p>
<p><b>Estado de conservación</b></p> <p>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.</p> <p>Se adjunta una propuesta de polígono de protección que delimite los elementos principales y que facilite las medidas de gestión.</p>
<p><b>Propuesta de estudios científicos</b></p> <p>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.</p> <p>Se recomienda complementar con estudios de peligro geológico como aporte a la gestión del LIG.</p>
<p>Publicaciones que incluyen los elementos del sitio de interés, tanto los geológicos como los no geológicos.</p>

Tabla 27: Asignación de puntajes de Valor Científico (VC) para las propuestas de Lugar de Interés Geológico

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	LIG 13	LIG 14	LIG 15	LIG 16	LIG 17	LIG 18	LIG 19	LIG 20	LIG 21	LIG 22	LIG 23	LIG 24	LIG 25	LIG 26	LIG 27	

	Valor Científico (VC)																										
REPRESENTATIVIDAD	2	2	2	2	4	1	4	2	4	4	4	4	2	1	1	2	2	2	2	2	4	4	1	4	2	2	1
LOCALIDAD TIPO	1	1	0	1	1	1	1	1	1	0	0	2	0	0	0	0	1	2	1	1	2	2	0	1	1	0	0
CONOCIMIENTO CIENTÍFICO	4	2	0	0	2	2	2	2	2	0	0	4	0	0	0	0	2	2	1	4	4	4	0	2	2	4	2
INTEGRIDAD	2	4	2	4	2	1	2	4	4	4	4	4	4	2	4	4	4	4	2	1	2	4	4	4	2	2	
DIVERSIDAD GEOLÓGICA	0	1	0	1	0	0	4	2	2	0	0	4	1	1	1	1	4	1	1	2	1	2	1	4	1	1	
SINGULARIDAD	2	1	1	4	4	1	4	2	2	2	4	2	4	4	1	1	1	2	4	1	2	4	1	4	1	1	
LIMITACIONES DE USO	2	4	2	2	2	2	4	4	2	2	2	2	4	4	4	2	4	4	2	2	2	2	4	4	4	4	
<b>TOTAL</b>	13	15	7	14	15	8	21	17	17	12	14	22	15	12	11	10	18	17	13	13	17	22	11	23	13	13	
PARÁMETRO	PUNTAJE PONDERADO 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	LIG 13	LIG 14	LIG 15	LIG 16	LIG 17	LIG 18	LIG 19	LIG 20	LIG 21	LIG 22	LIG 23	LIG 24	LIG 25	LIG 26	LIG 27
	Valor Científico (VC)																										
REPRESENTATIVIDAD	60	60	60	60	120	30	120	60	120	120	120	120	60	30	30	60	60	60	60	60	120	120	30	120	60	60	30
LOCALIDAD TIPO	20	20	0	20	20	20	20	20	20	0	0	40	0	0	0	0	20	40	20	20	40	40	0	20	20	0	0
CONOCIMIENTO CIENTÍFICO	20	10	0	0	10	10	10	10	10	0	0	20	0	0	0	0	10	10	5	20	20	20	0	10	10	20	10
INTEGRIDAD	30	60	30	60	30	15	30	60	60	60	60	60	60	30	60	60	60	60	30	15	30	60	60	60	30	30	30
DIVERSIDAD GEOLÓGICA	0	5	0	5	0	0	20	10	10	0	0	20	5	5	5	5	20	5	5	10	5	10	5	20	5	5	5
SINGULARIDAD	30	15	15	60	60	15	60	30	30	30	60	30	60	60	15	15	15	30	60	15	30	60	15	60	15	30	15
LIMITACIONES DE USO	20	40	20	20	20	20	40	40	20	20	20	40	40	40	40	20	40	40	20	20	20	20	40	40	40	20	40
<b>TOTAL</b>	180	210	125	225	260	110	300	230	270	230	260	310	225	165	150	160	225	245	200	160	265	330	150	330	180	165	130

Tabla 28: Asignación de puntajes de Potencial de Uso Educativo (PUE) para las propuestas de Lugar de Interés Geológico

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	LIG 13	LIG 14	LIG 15	LIG 16	LIG 17	LIG 18	LIG 19	LIG 20	LIG 21	LIG 22	LIG 23	LIG 24	LIG 25	LIG 26	LIG 27
	Potencial de Uso Educativo (PUE)																										
VULNERABILIDAD	2	4	4	4	1	4	2	2	4	2	4	3	4	1	4	4	4	4	4	2	4	4	4	4	4	1	3
ACCESIBILIDAD	2	2	2	2	2	2	2	2	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	2	2	1	
LIMITACIONES DE USO	2	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	3	2	2	2	2	2	4	4	4	4	
SEGURIDAD	2	2	2	1	2	2	2	2	2	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	
LOGÍSTICA	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	



*Tabla 29: Asignación de puntajes de Potencial de Uso Turístico (PUT) para las propuestas de Lugar de Interés Geológico*

SOLO USO ACADÉMICO

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	LIG 13	LIG 14	LIG 15	LIG 16	LIG 17	LIG 18	LIG 19	LIG 20	LIG 21	LIG 22	LIG 23	LIG 24	LIG 25	LIG 26	LIG 27
	Potencial de Uso Turísticos (PUT)																										
VULNERABILIDAD	2	4	4	4	1	4	2	2	4	2	4	3	4	1	4	4	4	4	4	2	4	4	4	4	4	1	3
ACCESIBILIDAD	2	2	2	2	2	2	2	2	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	2	2	1
LIMITACIONES DE USO	2	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	3	2	2	2	2	2	4	4	4	4	4
SEGURIDAD	2	2	2	1	2	2	2	2	2	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2
LOGÍSTICA	2	1	1	2	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
DENSIDAD DE POBLACIÓN	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
ASOCIACIÓN CON OTROS VALORES	1	1	1	1	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
ESCENARIO	2	2	0	0	0	0	2	2	2	2	1	0	1	1	1	1	2	1	1	1	1	4	1	1	1	1	1
SINGULARIDAD	1	1	1	4	1	1	3	1	1	1	1	1	1	3	1	1	2	1	1	2	1	3	1	4	1	1	1
CONDICIONES DE OBSERVACIÓN	3	4	4	4	4	3	4	4	4	4	4	4	4	4	4	3	4	4	4	4	4	4	4	4	3	2	2
POTENCIAL INTERPRETATIVO	4	3	4	2	2	3	4	3	3	3	4	4	2	3	3	4	3	3	2	4	3	3	4	2	3	4	3
NIVEL ECONÓMICO	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
CERCANÍA A ÁREAS DE RECREACIÓN	4	4	3	4	3	3	4	4	4	4	4	3	4	4	4	4	3	4	4	4	4	4	4	4	4	3	4
<b>TOTAL</b>	<b>27</b>	<b>30</b>	<b>28</b>	<b>30</b>	<b>22</b>	<b>25</b>	<b>31</b>	<b>28</b>	<b>29</b>	<b>27</b>	<b>27</b>	<b>25</b>	<b>26</b>	<b>26</b>	<b>27</b>	<b>27</b>	<b>25</b>	<b>24</b>	<b>25</b>	<b>25</b>	<b>30</b>	<b>30</b>	<b>31</b>	<b>29</b>	<b>25</b>	<b>26</b>	
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	LIG 13	LIG 14	LIG 15	LIG 16	LIG 17	LIG 18	LIG 19	LIG 20	LIG 21	LIG 22	LIG 23	LIG 24	LIG 25	LIG 26	LIG 27
	Potencial de Uso Turísticos (PUT)																										
VULNERABILIDAD	20	40	40	40	10	40	20	20	40	20	40	30	40	10	40	40	40	40	40	20	40	40	40	40	40	10	30
ACCESIBILIDAD	20	20	20	20	20	20	20	20	10	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10	10	20	20	10	
LIMITACIONES DE USO	10	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	15	10	10	10	10	10	20	20	20	20	20	
SEGURIDAD	20	20	20	10	20	20	20	20	20	20	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	20	20	20	20	20	
LOGÍSTICA	10	5	5	10	5	5	5	5	5	5	5	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	
DENSIDAD DE POBLACIÓN	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
ASOCIACIÓN CON OTROS VALORES	5	5	5	5	0	0	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
ESCENARIO	30	30	0	0	0	0	30	30	30	30	15	0	15	15	15	15	30	15	15	15	15	60	15	15	15	15	
SINGULARIDAD	10	10	10	40	10	10	30	10	10	10	10	10	10	30	10	10	20	10	10	20	10	30	10	40	10	10	
CONDICIONES DE OBSERVACIÓN	15	20	20	20	20	15	20	20	20	20	20	20	20	20	20	15	20	20	20	20	20	20	20	20	15	10	10
POTENCIAL INTERPRETATIVO	40	30	40	20	20	30	40	30	30	30	40	40	20	30	30	40	30	30	20	40	30	30	40	20	30	40	30
NIVEL ECONÓMICO	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
CERCANÍA A ÁREAS DE RECREACIÓN	20	20	15	20	15	15	20	20	20	20	20	15	20	20	20	20	15	20	20	20	20	20	20	20	15	20	
<b>TOTAL</b>	<b>210</b>	<b>230</b>	<b>205</b>	<b>215</b>	<b>150</b>	<b>185</b>	<b>240</b>	<b>210</b>	<b>220</b>	<b>200</b>	<b>195</b>	<b>170</b>	<b>180</b>	<b>180</b>	<b>190</b>	<b>195</b>	<b>205</b>	<b>180</b>	<b>170</b>	<b>180</b>	<b>245</b>	<b>220</b>	<b>230</b>	<b>215</b>	<b>185</b>	<b>190</b>	

Tabla 30: Asignación de puntajes de Riesgo de Degradación (RD) para las propuestas de Lugar de Interés Geológico

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	LIG 13	LIG 14	LIG 15	LIG 16	LIG 17	LIG 18	LIG 19	LIG 20	LIG 21	LIG 22	LIG 23	LIG 24	LIG 25	LIG 26	LIG 27
	Riesgo de Degradación (RD)																										
DETERIORO DE ELEMENTOS GEOLÓGICOS	4	1	0	2	4	1	3	1	0	0	0	2	1	3	1	1	1	1	3	4	2	3	1	1	2	4	2
CERCANÍA A ÁREAS/ACTIVIDADES QUE POTENCIALMENTE CAUSAN DEGRADACIÓN	0	0	0	4	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	0
PROTECCIÓN LEGAL	3	4	1	4	4	4	2	2	1	1	1	2	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
ACCESIBILIDAD	2	2	2	2	2	2	2	2	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	2	2	1
DENSIDAD DE POBLACIÓN	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
<b>TOTAL</b>	10	8	4	13	15	8	8	6	3	3	2	5	6	8	6	6	6	6	8	9	7	8	7	7	9	15	8
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	LIG 13	LIG 14	LIG 15	LIG 16	LIG 17	LIG 18	LIG 19	LIG 20	LIG 21	LIG 22	LIG 23	LIG 24	LIG 25	LIG 26	LIG 27
	Riesgo de Degradación (RD)																										
DETERIORO DE ELEMENTOS GEOLÓGICOS	140	35	0	70	140	35	105	35	0	0	0	70	35	105	35	35	35	35	105	140	70	105	35	35	70	140	70
CERCANÍA A ÁREAS/ACTIVIDADES QUE POTENCIALMENTE CAUSAN DEGRADACIÓN	0	0	0	80	80	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	80	0
PROTECCIÓN LEGAL	60	80	20	80	80	80	40	40	20	20	20	40	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80
ACCESIBILIDAD	30	30	30	30	30	30	30	30	15	15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	15	15	30	30	15	
DENSIDAD DE POBLACIÓN	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
<b>TOTAL</b>	240	155	60	270	340	155	185	115	45	45	30	120	125	195	125	125	125	125	195	230	160	195	140	140	190	340	175

### 13. ANEXO B: FICHAS DE INVENTARIO DE LOS LIG

Tabla 31: Ficha cualitativa extendida para el LIG 01 Nivel Fossilífero de Nacientes del Teno.

<b>LIG01</b>		<b>NIVEL FOSILÍFERO DE NACIENTES DEL TENO</b>			
<b>DATUM/HUSO</b>	<b>COORD. ESTE</b>	<b>COORD. NORTE</b>	<b>ALTITUD [m.s.n.m]</b>		
WGS 1984 / 19 H	368442	6109108	2027		
<b>PROPIEDAD DEL TERRENO</b>		<b>COMUNA</b>	<b>LOCALIDAD MÁS CERCANA</b>		
PRIVADO		ROMERAL	LOS QUEÑES		
<b>CARACTERÍSTICAS GENERALES</b>					
<p>Lugar de interés de tipo estratigráfico, paleontológico y sedimentario. Excelente secuencia estratificada de areniscas, lutitas, calizas y niveles de yeso de la Formación Nacientes del Teno, representando parte de los ciclos marinos del Jurásico, específicamente un periodo transgresivo de la cuenca de tras arco del Jurásico superior. Se encuentra en óptimo estado, con potencial de uso educativo – científico muy alto y potencial turístico alto. Es posible observar estructuras sedimentarias delicadas como marcas de gotas de lluvia y grietas de desecación, además de varios moldes de ammonites y fósiles no determinados.</p>					
<b>IMÁGEN y/o ESQUEMA</b>					
A	Molde de ammonite en calizas de la Fm. Nacientes del Teno, edad Jurásico Superior.	B	Fósil no identificado en calizas de la Fm. Nacientes del Teno, edad Jurásico Superior.	C	Ejemplo de la excelente estratificación observable en el sitio de interés.
D	Vista a afloramiento de secuencias bien estratificadas de la Formación Nacientes del Teno.			E	Quebrada del sitio de interés. Se observa caída de agua que atraviesa el afloramiento de las rocas mesozoicas.
<b>DESCRIPCIÓN GENERAL</b>					
<p>El sitio se encuentra en un sitio privado sin control de entrada a aproximadamente 3 kilómetros a pie desde la aduana chilena del paso fronterizo Vergara, camino río arriba por un costado del Río Naciente. Es necesario cruzar al menos dos portones de alambre de púas y otro electrificado para</p>					

llegar a este punto. Las condiciones de observación del afloramiento son muy buenas, sin embargo, hay que escalar fuertes pendientes para ver algunos restos fósiles. Es posible trazar una ruta hasta este punto que enlaza desde el sitio LIG6 hasta el presente, con hermosas praderas del valle y abundante agua corriente, pudiéndose observar varios afloramientos como también geoformas glaciales.

#### ASPECTOS GEOLÓGICOS RELEVANTES

El principal elemento geológico es una gran secuencia muy bien estratificada de al menos 200 m de espesor compuesta de areniscas, areniscas finas, lutitas, calizas y niveles de yeso. Contiene estructuras sedimentarias de grietas de desecación y gotas de lluvia como también trazas fósiles *Macaronichnus* (?) y restos fósiles de ammonites de tamaño centimétrico variable (A) y restos fósiles no identificados (B). El sitio tiene un área de 93 m<sup>2</sup> y un perímetro de 1.33 km y se haya en la Cordillera Principal. Es parte de la Formación Nacientes del Teno de edad Jurásico superior, la cual representa un periodo de transgresión marina en la cuenca de trasarco del mesozoico. No está amenazada por procesos naturales de degradación más allá de una corriente de agua continua

#### ASPECTOS NO GEOLÓGICOS RELEVANTES

Tiene un curso de agua con poca corriente y profundidad que forma un pequeño salto de máximo 2 metros que atraviesa el afloramiento por la mitad, el cual permite que se expongan los estratos y refresca la quebrada.

#### ESTADO DE CONSERVACIÓN

Los restos fósiles se hayan protegidos por las siguientes leyes: "Ley N°17.288 de Monumentos Nacionales; Decreto Supremo N°484 de 1990. Reglamento Sobre Excavaciones y/o Prospecciones Arqueológicas, Antropológicas y Paleontológicas; Ley Pascua N°16.441 de 1966. Art.43". Sin embargo, el elemento principal no tiene ninguna protección legal y esta propenso a la extracción ilegal de fósiles.

#### PROPUESTA DE ESTUDIOS CIENTÍFICOS

Se recomienda levantamientos de columnas estratigráficas en detalle, determinación de especies fósiles presentes, interpretación de ambientes.

#### PUBLICACIONES QUE INCLUYEN LOS ELEMENTOS DEL LUGAR DE INTERÉS, TANTO LOS GEOLÓGICOS COMO LOS NO GEOLÓGICOS.

Giehm, C. K. (1960). Geología de la Cordillera de los Andes de Chile Central. Bol. Inst. Inv. Geol.; Parada Morales, R. E. (2008). Análisis Estructural del Borde Oriental de la Cuenca Terciaria de Abanico en el Valle del Río Teno, 7ma Región; Piquer, J., Castelli, J. C., Charrier, R., y Yáñez, G. (2010). El Cenozoico del alto río Teno, Cordillera Principal, Chile central: estratigrafía, plutonismo y su relación con estructuras profundas. *Andean geology*, 37(1), 32-53.

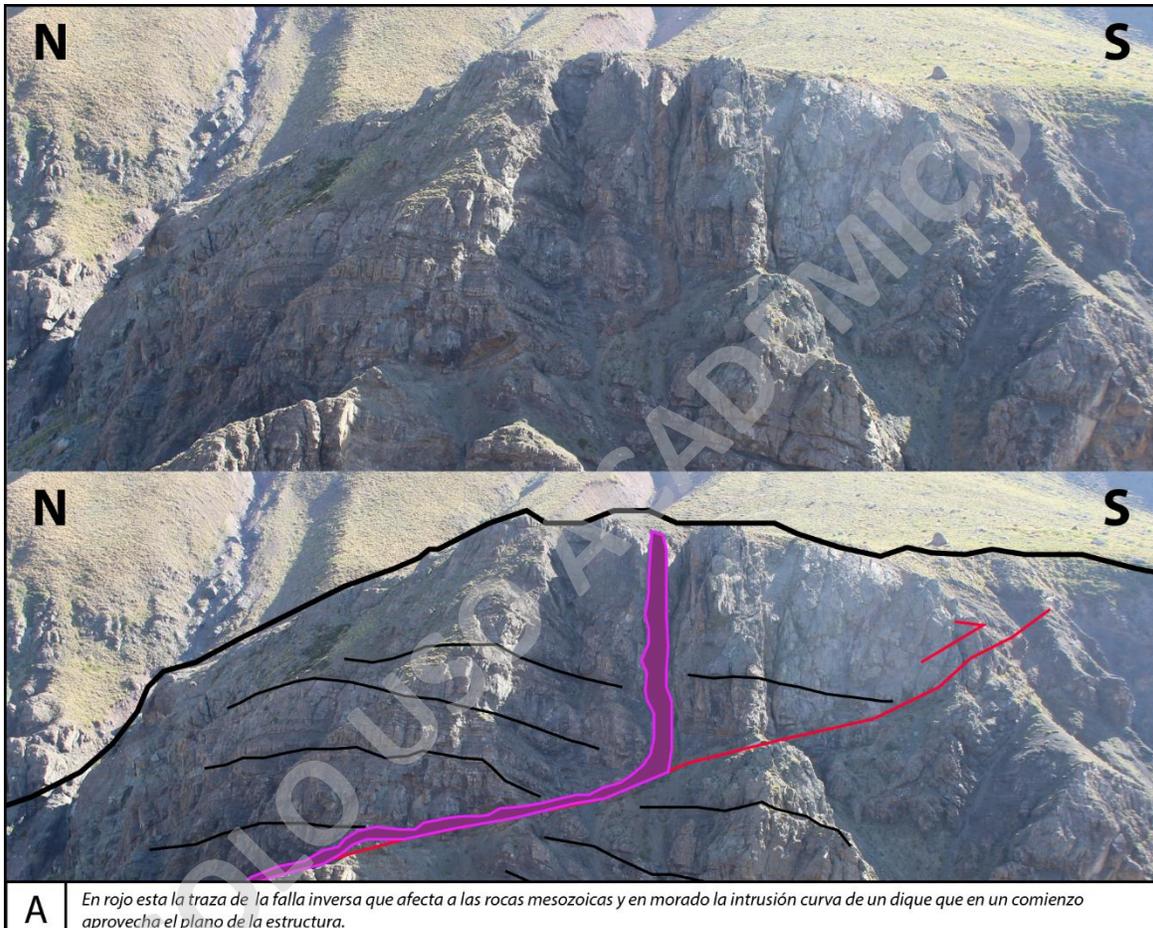
Tabla 32: Ficha cualitativa extendida para el LIG 02 Río Damas.

LIG02		Río Damas	
DATUM/HUSO	COORD. ESTE	COORD. NORTE	ALTITUD [m.s.n.m]
WGS 1984 / 19 H	366283	6110074	1995
PROPIEDAD DEL TERRENO	COMUNA	LOCALIDAD MÁS CERCANA	
PRIVADO	ROMERAL	LOS QUEÑES	
CARACTERÍSTICAS GENERALES			

Este sitio consiste en una secuencia de rocas mesozoicas afectadas por un aparente fallamiento inverso por el cual se emplaza un dique aprovechando esta debilidad estructural, este cuerpo se verticaliza en un punto, formando una geometría vistosa e inusual.

Esta estructura se emplaza en rocas de la Fm. Río Damas y representa al contexto geológico local de Series sedimentarias del Jurásico – Cretácico. El sitio presenta tanto un interés estructural como petrológico y estratigráfico, esto le da un alto potencial educativo y turístico gracias a una buena vista al valle del río Teno y sus nacientes.

#### IMÁGEN y/o ESQUEMA



#### DESCRIPCIÓN GENERAL

Es posible acceder a este mirador luego de una caminata de ~800 m desde la aduana chilena del paso fronterizo Vergara, en dirección hacia las nacientes del río Teno, con aproximadamente 120 m de desnivel. Se encuentra a un costado del camino de ripio y sin riesgos de degradación por factores antrópicos. Además, es enlazable en una georuta a pie con los geositos desde LIG6 hasta LIG12 en dirección a las nacientes del río Teno.

#### ASPECTOS GEOLÓGICOS RELEVANTES

Ubicado en la unidad morfoestructural de la Cordillera Principal, el LIG corresponde a un elemento geológico representativo del contexto de Series sedimentarias del Jurásico - Cretácico. El elemento principal se trata de una aparente falla inversa de rumbo NE que afecta a las rocas mesozoicas pardo verdosas bien estratificadas de la Fm. Río Damas, en donde un dique de color

pardo anaranjado, probablemente de edad cenozoica aprovecha esta debilidad en un comienzo para luego verticalizarse hacia la superficie.

#### **ASPECTOS NO GEOLÓGICOS RELEVANTES**

Desde el punto se tiene una buena vista hacia el Valle del río Vergara y Teno, lo que aumenta su atractivo turístico.

#### **ESTADO DE CONSERVACIÓN**

Actualmente todos los elementos del sitio de interés se hayan desprotegidos y libres de procesos naturales o antrópicos de degradación potenciales. Todos los elementos tienen un uso principal científico y un uso turístico secundario.

#### **PROPUESTA DE ESTUDIOS CIENTÍFICOS**

Revisión estratigráfica del afloramiento, determinación de la litología y datación del evento de intrusión del dique.

#### **PUBLICACIONES QUE INCLUYEN LOS ELEMENTOS DEL LUGAR DE INTERÉS, TANTO LOS GEOLÓGICOS COMO LOS NO GEOLÓGICOS.**

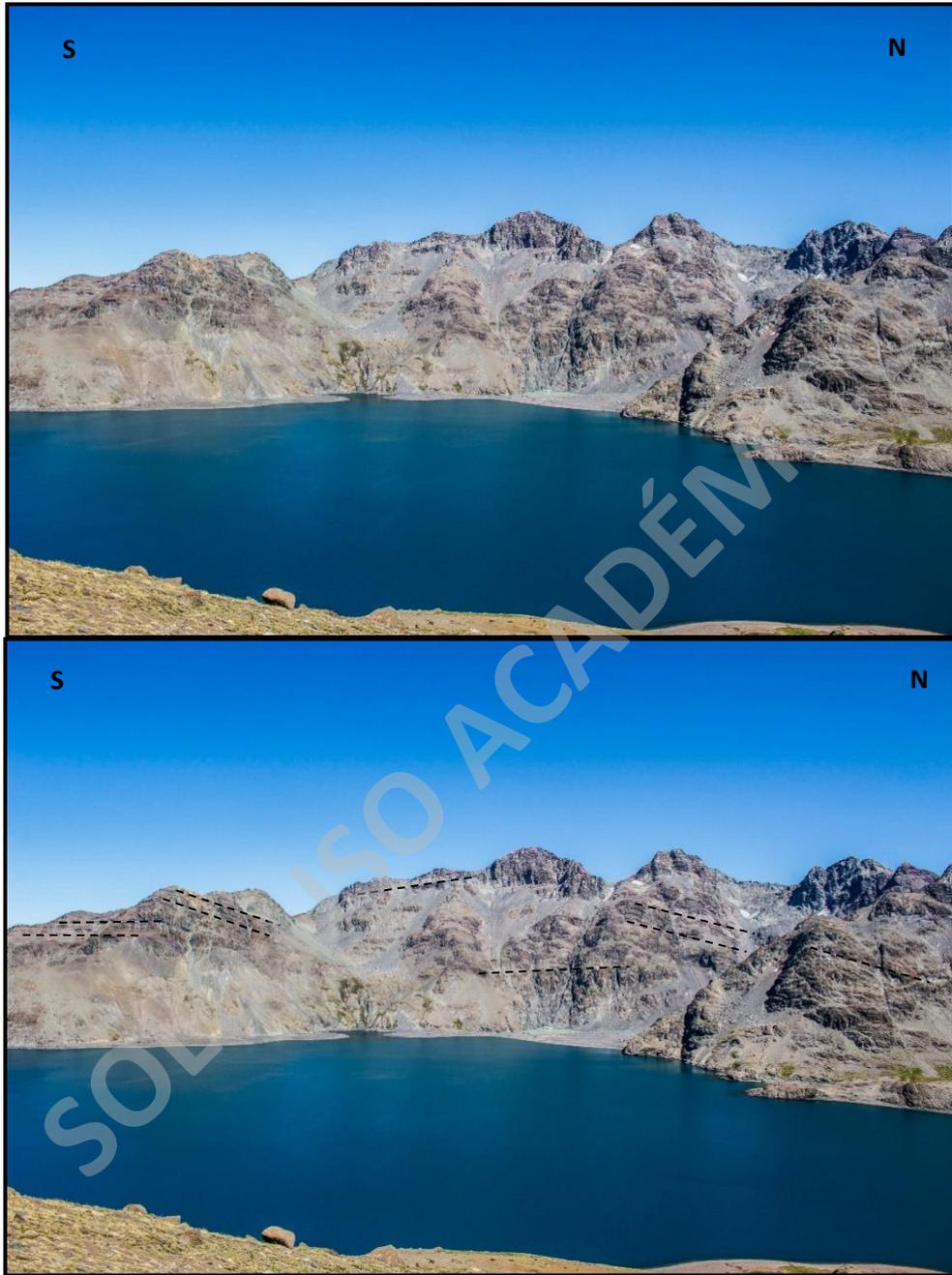
Parada Morales, R. E. (2008). Análisis Estructural del Borde Oriental de la Cuenca Terciaria de Abanico en el Valle del Río Teno, 7ma Región; Piquer, J., Castelli, J. C., Charrier, R., y Yáñez, G. (2010).

El Cenozoico del alto río Teno, Cordillera Principal, Chile central: estratigrafía, plutonismo y su relación con estructuras profundas. *Andean geology*, 37(1), 32-53

Tabla 33: Ficha cualitativa extendida para el LIG 03 Mirador Lagunas de Teno.

<b>LIG 03</b>		<b>Mirador Lagunas de Teno</b>		
<b>DATUM/HUSO</b>	<b>COORD. ESTE</b>	<b>COORD. NORTE</b>	<b>ALTITUD [m.s.n.m]</b>	
WGS84/19H	360339	6105886	2871	
<b>PROPIEDAD DEL TERRENO</b>		<b>COMUNA</b>	<b>LOCALIDAD MÁS CERCANA</b>	
Estatal		Romeral	Los Queñes	
<b>CARACTERÍSTICAS GENERALES</b>				
<p>Ubicado en la ribera este de la laguna Teno oriental, el lugar de interés geológico Mirador Lagunas de Teno fue seleccionado debido a la buena vista panorámica de parte de la formación Plan de los Yeuques, gran belleza escénica y a la alta variedad de elementos geológicos que se pueden observar desde este lugar, además de tener un espacio suficiente como para detenerse con un grupo de 15-20 personas cómodamente. En la vista Oeste se observa una gran pared estratificada correspondiente a las rocas volcánicas y volcanoclásticas de la formación Plan de los Yeuques, con diversas fallas. Al suroeste el paisaje está dominado por el volcán Planchón</p> <p>El principal elemento de interés geológico en el LIG es la secuencia estratificada de la formación Plan de los Yeuques, la cual representa al contexto geológico local del Arco Volcánico del Cretácico Superior. El sitio está bien conservado y tiene un bajo riesgo de degradación, el potencial de uso científico y educativo/turístico es alto debido a la variedad de elementos que se pueden observar y analizar desde el mirador.</p>				

## IMÁGEN y/o ESQUEMA



## DESCRIPCIÓN GENERAL

El acceso al lugar se realiza mediante un sendero simple de aproximadamente 2km desde el acceso vehicular más cercano, el último tramo de 500 m es con una pendiente mayor con gran cantidad de material suelto, desde el mirador la vista es panorámica (180°) en donde se observan distintos elementos geológicos estructurales, geomorfológicos y vulcanológicos.

Su principal potencial de uso científico es el análisis estructural de la disposición de los estratos con el fin de aportar información a la evolución del área de estudio, respecto al uso turístico su enfoque está en el bello paisaje compuesto por las lagunas de Teno y el volcán Planchón. Existen puntos de recarga de agua en pequeñas vertientes de agua cuyo flujo avanza en dirección a las Lagunas.

### ASPECTOS GEOLÓGICOS RELEVANTES

Ubicado en la unidad morfoestructural de la Cordillera principal y casi en el límite geográfico entre Chile - Argentina, el elemento geológico principal en el LIG corresponde a la sucesión de los estratos de la fm. Plan de los Yeuques (PdLY). Se observan diversos cambios en la orientación de estos estratos producto de la deformación presente, además de fallas inferidas. En la parte inferior se logra evidenciar parte de la unidad BRCU.

Estudios de Gonzalez y Vergara (1962), mencionan que la formación Plan de los Yeuques, del Cretácico Superior, se compone de estratos volcánicos y volcanoclásticos que fueron depositados en una cuenca extensional durante la iniciación de un periodo de intensa actividad volcánica, por lo que representa al contexto geológico local del arco volcánico del Cretácico Superior.

Un elemento geológico asociado de gran relevancia es el volcán Planchón, del cual se observa parte de la estratificación de sus depósitos. Este corresponde a un volcán activo de 3600 msnm, siendo una de las geoformas más imponentes del sector (siguiente Figura). El volcán Planchón representa el contexto geológico “Volcanismo Cuaternario”.

Otros elementos observables desde el mirador son las 2 lagunas cordilleranas y morfologías glaciares de valles colgados sobre la pared de la secuencia estratigráfica de la formación PdLY.



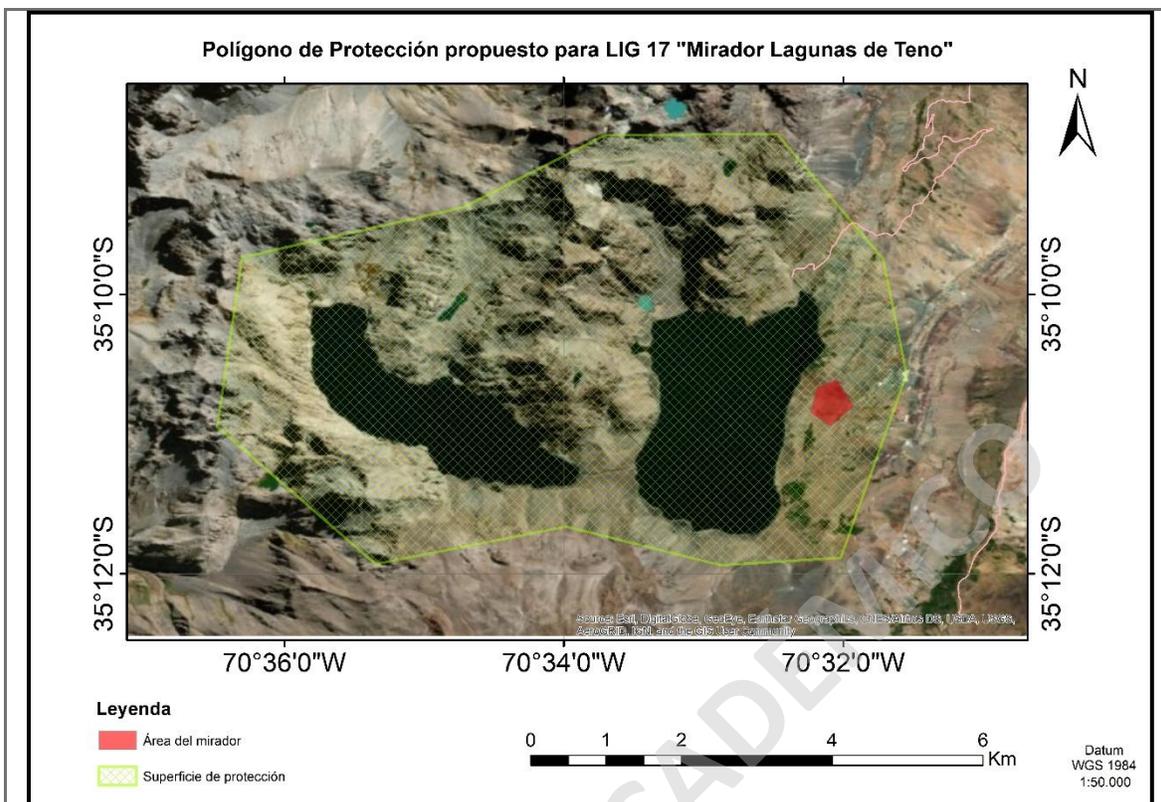


#### **ASPECTOS NO GEOLÓGICOS RELEVANTES**

El lugar presenta gran diversidad de flora (silvestre y arbustos) y fauna (Lagartijas y patos correntinos)

#### **ESTADO DE CONSERVACIÓN**

El LIG se encuentra íntegro y la actividad antrópica es prácticamente nula, por lo que se le considera un agente de degradación de baja relevancia y no existe protección legal en el sector. Se propone el polígono de protección de la siguiente figura.



### PROPUESTA DE ESTUDIOS CIENTÍFICOS

- Análisis de las estructuras presentes en la formación, cinemática y evolución
- Estudio de paleolimnología en las lagunas para estudiar efectos de cambio climático y calidad de agua.

### PUBLICACIONES QUE INCLUYEN LOS ELEMENTOS DEL LUGAR DE INTERÉS, TANTO LOS GEOLÓGICOS COMO LOS NO GEOLÓGICOS.

- Hevia, A., 2014. "Evolución tectono-estratigráfica de depósitos cenozoicos en la cuenca del río Teno, vertiente occidental de la cordillera principal". Memoria para optar al título de Geólogo, Departamento de Geología, Universidad de Chile O43
- Piquer, J., 2005. "Ambiente geológico del prospecto Infiernillo, Cordillera de Curicó, VII Región". Memoria de Título, Departamento de Geología, Universidad de Chile, Santiago. p. 100
- Piquer, J. Castelli, J.C.; Charrier, R.; Yañez, G. 2010. "El Cenozoico del alto Río Teno, Cordillera Principal, Chile central: estratigrafía, plutonismo y su relación con estructuras profundas.

Tabla 34: Ficha cualitativa extendida para el LIG 04 Formación Abanico.

<b>LIG 04</b>	<b>Formación Abanico</b>		
<b>DATUM/HUSO</b>	<b>COORD. ESTE</b>	<b>COORD. NORTE</b>	<b>ALTITUD [m.s.n.m]</b>
19H	343731	6122476	820
<b>PROPIEDAD DEL TERRENO</b>		<b>COMUNA</b>	<b>LOCALIDAD MÁS CERCANA</b>
Estatal		Romeral	Los Queñes
<b>CARACTERÍSTICAS GENERALES</b>			
<p>El LIG Formación Abanico corresponde a una pared estratificada de ~10 m de altura. Corresponde a una ritmicidad entre niveles centimétricos sedimentarios finos con niveles métricos ígneos extrusivos. La secuencia representa un ambiente continental lacustre asociado a la formación Abanico. El lugar es de principal interés estratigráfico y representa al contexto geológico local de los Depósitos continentales del Paleógeno – Neógeno.</p> <p>El lugar se encuentra bien conservado y sin riesgos potenciales de ser afectado por actividades antrópicas, se ubica a 10 – 15 m del camino principal y su visualización está cubierta levemente por vegetación. Su potencial de uso turístico y educativo son intermedios.</p>			
<b>IMÁGEN y/o ESQUEMA</b>			
			

## DESCRIPCIÓN GENERAL

El LIG se ubica en un costado de la ruta J-55, ~10 km al Oeste de la localidad de Los Queñes en un lugar con espacio para 2 – 3 autos estacionados y sin restricción de acceso. El elemento de interés está parcialmente cubierto por vegetación, con buenas condiciones de observación. Actualmente no es utilizado y su potencial de uso es medio en turístico y educativo. En el sitio hay riesgo leve de caída de roca, en la base del afloramiento hay gran acumulación de material suelto, lo que dificulta el mantenerse con estabilidad.

## ASPECTOS GEOLÓGICOS RELEVANTES

Ubicado en la unidad morfoestructural de la Cordillera Principal, el LIG representa al contexto geológico local de los depósitos continentales del Paleógeno – Neógeno.

El principal elemento de interés corresponde a la secuencia estratificada, la que ya ha sido previamente correlacionada por Hevia (2014) y Cáceres (2019) como parte de la formación Abanico.

Corresponde a una ritmicidad entre niveles centimétricos de Litarenitas medias a finas, monomíticas con clastos volcánicos oscuros de esfericidad alta y mal redondeamiento, clastosoportados y bien seleccionadas. Con niveles centimétricos de fangolitas, con estratificación plano paralela, inclusiones y calcos de carga, donde estas dos últimas estructuras evidencian una polaridad positiva en el afloramiento. En medio, la secuencia presenta un nivel métrico de dacita, con textura hipocristalina Porfírica, con fenocristales de plagioclasa de hasta 6 mm, también presenta cuarzo y hornblenda.

La secuencia tiene un manto y dirección de manto de 30/90.

La ritmicidad entre los estratos de baja granulometría, buena selección, estratificación plano paralela y presencia de rocas volcánicas extrusivas sugieren un ambiente lacustre para la secuencia.

Hevia (2014) describe la litología observada en el mismo sitio como: Una sucesión de estratos sedimentarios continentales que incluyen arenisca media, arenisca fina monomítica, arenisca conglomerádica con clastos volcánicos subredondeados centimétricos y fangolita. Estas últimas presentan laminación decimétrica y se encuentran intercaladas con arenisca fina monomítica de buena selección. Si bien existe un predominio de rocas sedimentarias, hacia la base de la unidad se presenta un estrato métrico correspondiente a una toba lítica.



**ASPECTOS NO GEOLÓGICOS RELEVANTES**

El LIG no presenta elementos no geológicos de relevancia
<b>ESTADO DE CONSERVACIÓN</b>
<p>El sitio se encuentra en buenas condiciones y sin potenciales riesgos de degradación por agentes antrópicos, el lugar es de muy fácil acceso y de simple reconocimiento inicial de los elementos geológicos de relevancia</p> <p>Se adjunta una propuesta de polígono de protección del LIG.</p>
<b>PROPUESTA DE ESTUDIOS CIENTÍFICOS</b>
Levantamiento de columna estratigráfica a detalle con interpretación de ambiente y correlación con columnas previas de la formación correspondiente.
<b>PUBLICACIONES QUE INCLUYEN LOS ELEMENTOS DEL LUGAR DE INTERÉS, TANTO LOS GEOLÓGICOS COMO LOS NO GEOLÓGICOS.</b>
<p>Hevia Cruz, A. F. (2014). Evolución Tectono-estratigráfica de depósitos cenozoicos en la cuenca del río Teno, vertiente occidental de la cordillera principal.</p> <p>Cáceres (2019). Identificación, caracterización y valoración de geositos, para la evaluación de un future geoparque, en torno al sector los Queñes, comuna de Romeral.</p>

Tabla 35: Ficha cualitativa extendida para el LIG 05 Intrusivos de Infernillo.

<b>LIG 05</b>		<b>Intrusivos de Infernillo</b>		
<b>DATUM/HUS O</b>	<b>COORD. ESTE</b>	<b>COORD. NORTE</b>	<b>ALTITUD [m.s.n.m]</b>	
WGS84/19H	353717	6120392	1109	
<b>PROPIEDAD DEL TERRENO</b>		<b>COMUNA</b>	<b>LOCALIDAD MÁS CERCANA</b>	
Público		Romeral	Los Queñes	
<b>CARACTERÍSTICAS GENERALES</b>				
<p>El lugar de interés geológico Intrusivos de Infernillo es un sitio de interés petrológico y estructural, ya que corresponde a un gran cuerpo intrusivo que está emplazado en la traza de la falla Infernillo, sobre la cual desciende actualmente el Río del Infernillo. El lugar es</p>				

utilizado recreacionalmente por locatarios debido a unos pozos de agua que se forman en el mismo cauce.

El LIG Intrusivos de Infernillo está asociado al contexto geológico local del Magmatismo del Neógeno, ya que el principal elemento de interés geológico corresponde al cuerpo intrusivo, el cual se impone al observar el paisaje en el valle. Se encuentra bien conservado, sin grandes riesgos de degradación por actividades antrópicas, su principal potencial de uso es educativo y turístico.

### **IMÁGEN y/o ESQUEMA**



### **DESCRIPCIÓN GENERAL**

El sitio está ubicado a 22.3 km desde la localidad de Los Queñes, a un costado de la ruta J-55 en dirección hacia el paso fronterizo Vergara, y tiene espacio suficiente para estacionar entre 4 – 6 vehículos.

Su potencial de uso educativo es el estudio petrológico del cuerpo intrusivo y el control estructural mediante el cual se emplaza este cuerpo. Su potencial de uso turístico está en el atractivo paisajístico del sitio, en donde destaca la presencia de las rocas intrusivas en las paredes del valle y el cauce del río que modela el paisaje actual.

### **ASPECTOS GEOLÓGICOS RELEVANTES**

Ubicado en la unidad morfoestructural de la Cordillera principal, el LIG presenta elementos geológicos representativos del Magmatismo del Neógeno.

El principal elemento de interés corresponde al cuerpo intrusivo que aflora en el valle del río Infernillo, el que se impone en el paisaje ocupando la totalidad de una ladera del río, con una altura aproximada de 15 – 20 metros. Piquer (2010) menciona que los intrusivos emplazados corresponden a dioritas y pórfidos riódacíticos de edad miocena, y que estos cuerpos se observan elongados a lo largo de la traza de una serie de estructuras menores de rumbo N20°E variando a N-S denominado como sistema de fallas Infernillo – Los Cipreses.

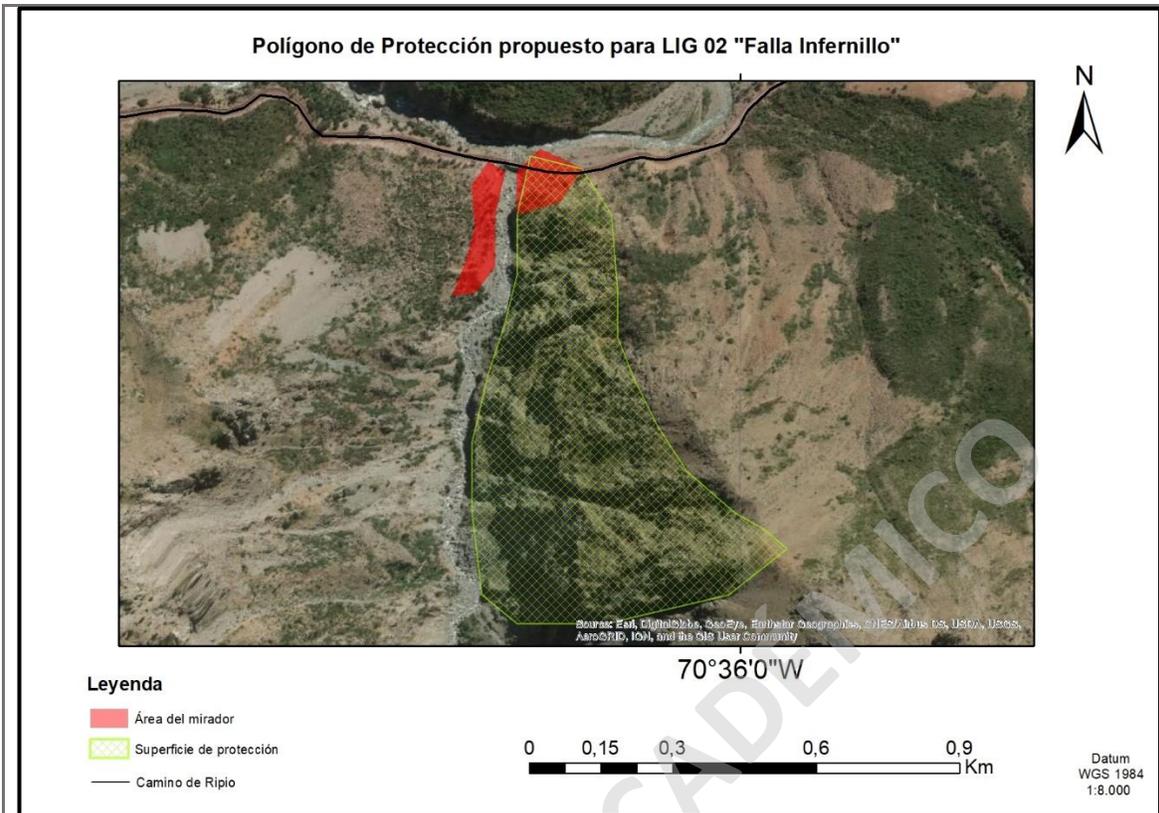
Estudios geofísicos de magnetotelúrica realizados por Díaz (2007) permitieron concluir que las estructuras de este sistema de fallas permitieron el ascenso magmático y emplazamiento de estos cuerpos intrusivos. Según autores como Charrier (2002, 2005), Fock (2006) y Farías (2010), estas estructuras son de relevancia regional, ya que constituyen las fallas de borde de cuenca que permitieron la apertura y posterior inversión de la cuenca de Abanico en el área de estudio.

#### **ASPECTOS NO GEOLÓGICOS RELEVANTES**

El lugar no presenta elementos no geológicos de relevancia.

#### **ESTADO DE CONSERVACIÓN**

El LIG se encuentra íntegro y la actividad antrópica no presenta un riesgo, ya que principalmente el sitio es utilizado por turistas que utilizan los pozos de agua y por kayakistas, por lo que se les considera un agente de degradación de baja relevancia. Se propone el polígono de protección de la siguiente figura.



### PROPUESTA DE ESTUDIOS CIENTÍFICOS

#### PUBLICACIONES QUE INCLUYEN LOS ELEMENTOS DEL LUGAR DE INTERÉS, TANTO LOS GEOLÓGICOS COMO LOS NO GEOLÓGICOS.

- Charrier, R.; Bustamante, M.; Comte, D.; Elgueta, S.; Flynn, J.; Iturra, N.; Muñoz, N.; Pardo, M.; Thiele, R.; Wyss, A. 2005. "The Abanico extensional basin: regional extension, chronology of tectonic inversion and relation to shallow seismic activity and Andean uplift". Neues Jahrbuch Fur Geologie Und Paleontologie-Abhandlugen, v.236, P 43-77.
- Hevia Cruz, A. F. (2014). Evolución Tectono-estratigráfica de depósitos cenozoicos en la cuenca del río Teno, vertiente occidental de la cordillera principal.
- Piquer, J. Castelli, J.C.; Charrier, R.; Yañez, G. 2010. "El Cenozoico del alto Río Teno, Cordillera Principal, Chile central: estratigrafía, plutonismo y su relación con estructuras profundas."

Tabla 36: Ficha cualitativa extendida para el LIG 06 Mirador Falla El Baule.

<b>LIG06</b>	<b>MIRADOR FALLA EL BAULE</b>		
<b>DATUM/HUSO</b>	<b>COORD. ESTE</b>	<b>COORD. NORTE</b>	<b>ALTITUD [m.s.n.m]</b>
WGS 1984 / 19 H	<b>365474</b>	<b>6110798</b>	1754
<b>PROPIEDAD DEL TERRENO</b>	<b>COMUNA</b>	<b>LOCALIDAD MÁS CERCANA</b>	
PÚBLICO	<b>ROMERAL</b>	LOS QUEÑES	
<b>CARACTERÍSTICAS GENERALES</b>			
<p>Mirador con buena vista a elementos estructurales geológicos tales como una falla tipo plano – rampa asociada a un nivel de despegue y una posible falla que repita los estratos blancos y rojizos. Presente un interés geológico primordialmente estructural y representa los eventos compresivos Cenozoicos que provocaron la inversión de la cuenca de intraarco de Abanico.</p> <p>El mirador se haya en buenas condiciones, capaz de albergar al menos 15 personas. Tiene un potencial didáctico medio a alto y un potencial turístico medio. Sin embargo, el mirador es parte de la infraestructura de los baños termales de San Pedro, lo cual puede aumentar su potencial turístico y educativo.</p>			
<b>IMÁGEN y/o ESQUEMA</b>			



## DESCRIPCIÓN GENERAL

Es posible acceder a los estacionamientos de los baños termales en cualquier tipo de vehículo por un camino de ripio. Desde ahí se debe caminar 100 m aproximadamente para subir al mirador, el cual cuenta con una plataforma de madera de 20 m<sup>2</sup> aproximadamente, ideal para la instalación de paneles interpretativos. Las condiciones de observación al principal elemento geológico y aquellos asociados son óptimos, pero la plataforma se encuentra amenazada por caída de rocas. Es posible trazar una ruta desde este geosítio hasta el geosítio LIG12 de aproximadamente 3 km, abarcando varios geosítios propuestos con acceso a agua corriente en todo el camino y vista al valle del río Teno.

## ASPECTOS GEOLÓGICOS RELEVANTES

El elemento principal del geosítio corresponde a la falla tipo plano – rampa ubicada en un nivel de despegue en donde se deslizan y alzan las rocas sobre el plano. Es observable a distancias considerables y se ubica en la Cordillera Principal, afectando a rocas cenozoicas de la Formación Abanico. Sobre esta se haya estratos blancos y rojos llamativos de BRCU que aparentemente se repiten por una falla interpretada. Mientras hacia el sur de la plataforma, existe un contacto por falla de rocas mesozoicas bien estratificadas con rocas volcanoclásticas cenozoicas. En cuanto a la dimensión de la plataforma, esta es de 20 m<sup>2</sup>.

## ASPECTOS NO GEOLÓGICOS RELEVANTES

Se encuentra a un costado del río Vergara con afluentes de aguas termales.

<b>ESTADO DE CONSERVACIÓN</b>
Este sitio se encuentra desprotegido legalmente en aspectos naturales y turísticos. Actualmente la infraestructura carece de mantención, siendo su estado íntegro hasta el momento, pero propenso a deteriorarse.
<b>PROPUESTA DE ESTUDIOS CIENTÍFICOS</b>
Se sugiere un análisis estructural general del valle del río Teno para tener certeza y claridad respecto a la presencia de estructura y el rol en la evolución geológica del área. Levantamiento de columnas estratigráficas y dataciones de estratos para una redefinición de las formaciones presentes en el valle.
<b>PUBLICACIONES QUE INCLUYEN LOS ELEMENTOS DEL LUGAR DE INTERÉS, TANTO LOS GEOLÓGICOS COMO LOS NO GEOLÓGICOS.</b>
Parada Morales, R. E. (2008). Análisis Estructural del Borde Oriental de la Cuenca Terciaria de Abanico en el Valle del Río Teno, 7ma Región.

Tabla 37: Ficha cualitativa extendida para el LIG 07 Cráter del Volcán Peteroa.

<b>LIG 07</b>	<b>Cráter del Volcán Peteroa</b>		
<b>DATUM/HUSO</b>	<b>COORD. ESTE</b>	<b>COORD. NORTE</b>	<b>ALTITUD [m.s.n.m]</b>
WGS84/19H	357690	6099472	3467
<b>PROPIEDAD DEL TERRENO</b>	<b>COMUNA</b>	<b>LOCALIDAD MÁS CERCANA</b>	
Estatal	Romeral	Los Queñes	
<b>CARACTERÍSTICAS GENERALES</b>			
El lugar de interés geológico Cráter del volcán Peteroa fue seleccionado debido a la particularidad de sus elementos. Es un sitio de principal interés vulcanológico debido a la presencia de 4 cráteres dentro de una caldera, en los cuales se forman pequeños lagos en determinadas estaciones del año, además uno de ellos posee una importante fumarola que pone en evidencia la actividad volcánica subterránea. El complejo volcánico Planchón–Peteroa se encuentra en estado activo y se asocia al contexto geológico del Volcanismo Cuaternario. El LIG se presenta bien conservado, con alta la probabilidad de que sea destruido en caso de ocurrir una erupción. Además, tiene un alto potencial de uso científico y turístico.			
<b>IMÁGEN y/o ESQUEMA</b>			



### **DESCRIPCIÓN GENERAL**

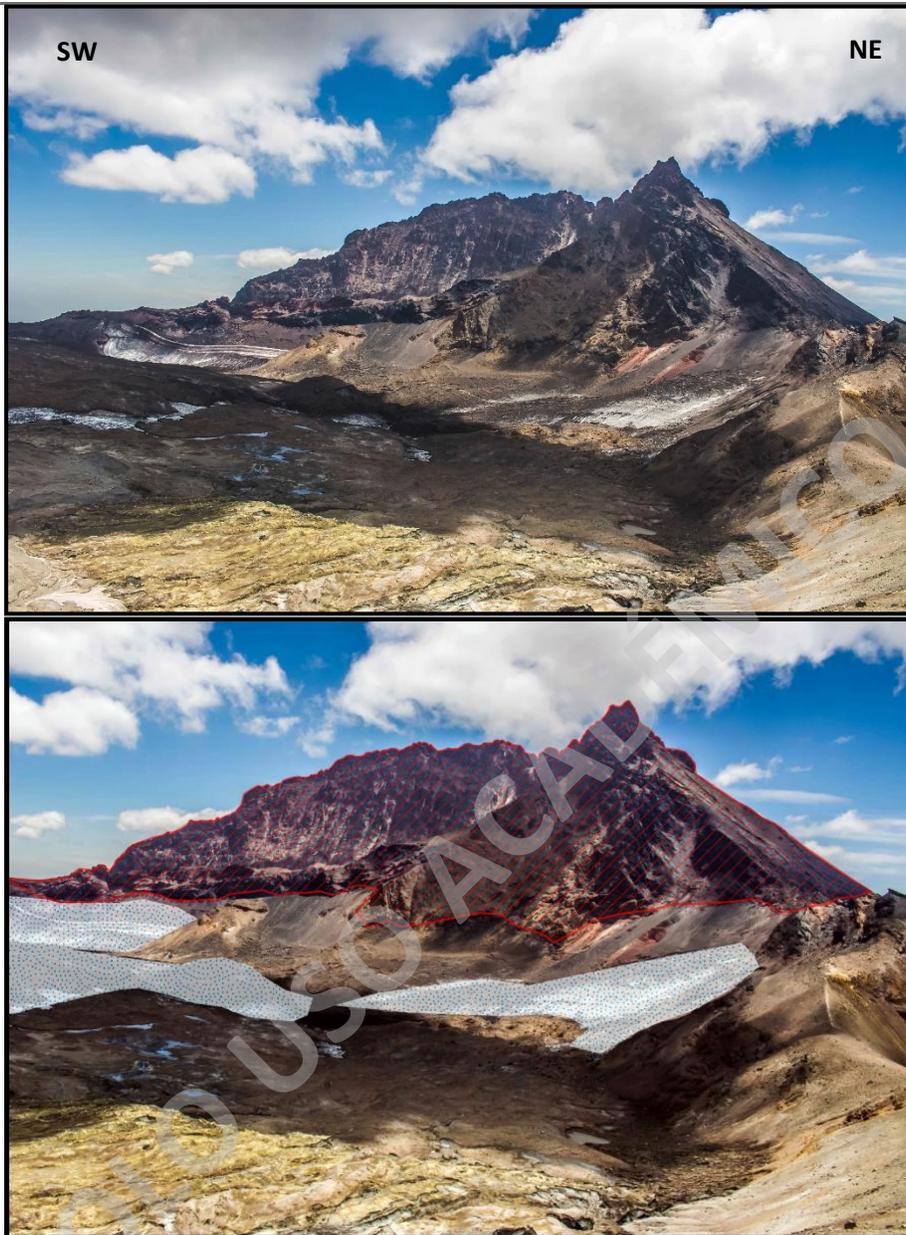
El acceso al lugar se realiza mediante un sendero poco desarrollado y de alta exigencia, su extensión es de ~10km desde el acceso vehicular más cercano en las lagunas de Teno. Su principal potencial de uso científico es el monitoreo de la actividad del complejo volcánico y su emanación de productos, respecto al uso turístico su enfoque estaría dirigido a un público que tenga experiencia en senderismo y un buen estado físico.

La ruta de acceso puede tardar entre 5-6 horas y si existen puntos de recarga de agua en pequeñas escorrentías de agua generadas por el derretimiento de los glaciares de roca observados durante el ascenso.

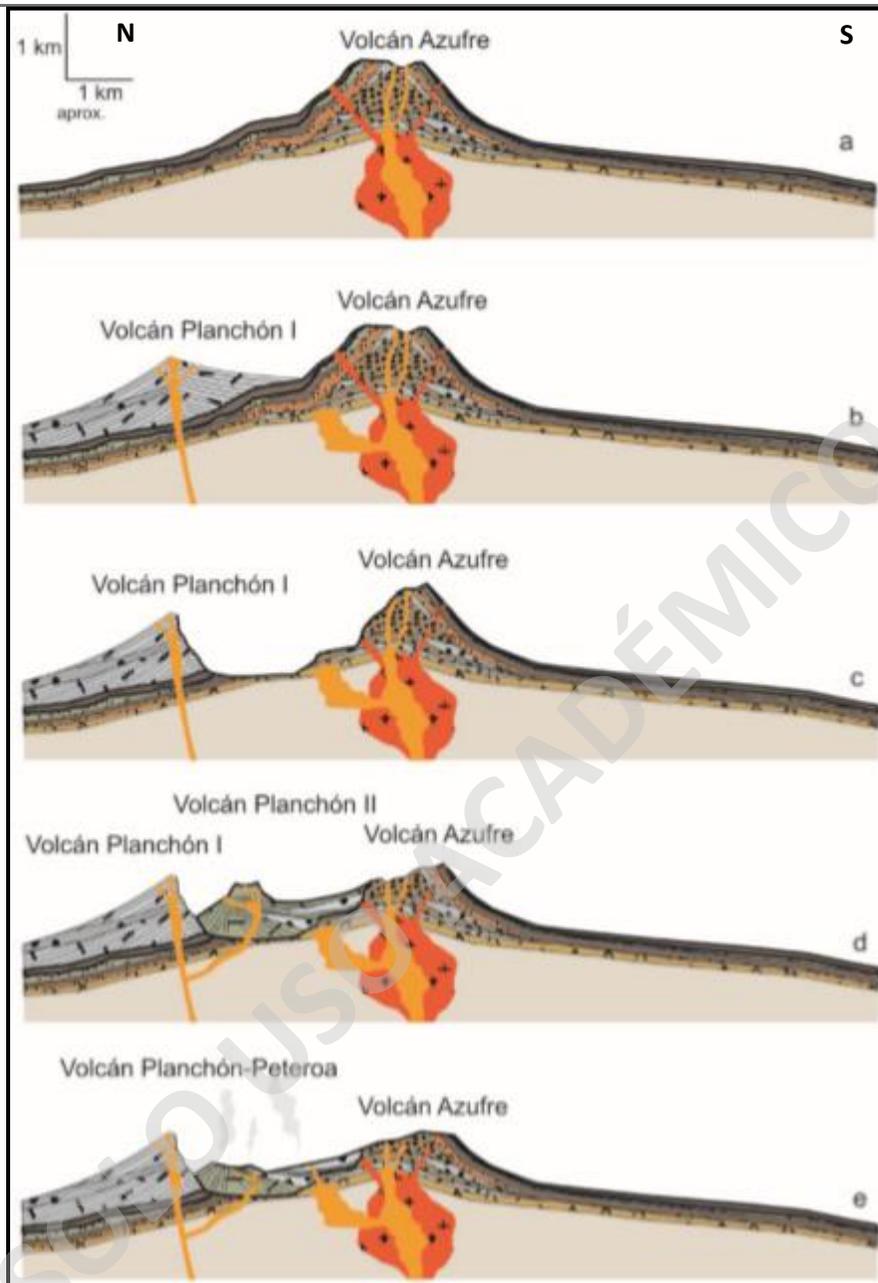
### **ASPECTOS GEOLÓGICOS RELEVANTES**

Ubicado en la unidad morfoestructural de la Cordillera principal y en el límite geográfico entre Chile y Argentina, el LIG corresponde a un elemento geomorfológico representativo del contexto del volcanismo cuaternario.

El principal elemento de interés corresponde al cráter con fumarola, el cual posee una dimensión de ~220 m<sup>2</sup> y evidencia la actividad volcánica que existe actualmente en el sector. Por consiguiente, este LIG representa el contexto geológico “Arco Volcánico Actual”. Otros elementos asociados al sitio son 5 cráteres más de menor dimensión y sin fumarolas, una caldera volcánica de ~4,7 km<sup>2</sup> en la que están inmersos dichos cráteres, varios glaciares de roca que rellenan la caldera y finalmente la estratificación que se puede observar en la ladera sur del volcán Planchón.



Sruoga en 2008 le atribuye 3 eventos de formación al complejo volcánico, la formación de la caldera está asociada a un gran colapso gravitacional de la ladera occidental del volcán Planchón dando origen a una avalancha volcánica, la tercera etapa corresponde a la actual del complejo Planchón – Peteroa, esta se habría iniciado hace 14.000 años y corresponde a un periodo de alta explosividad y bajo volumen de productos. El modelaje actual del paisaje también tiene una importante influencia glaciaria.



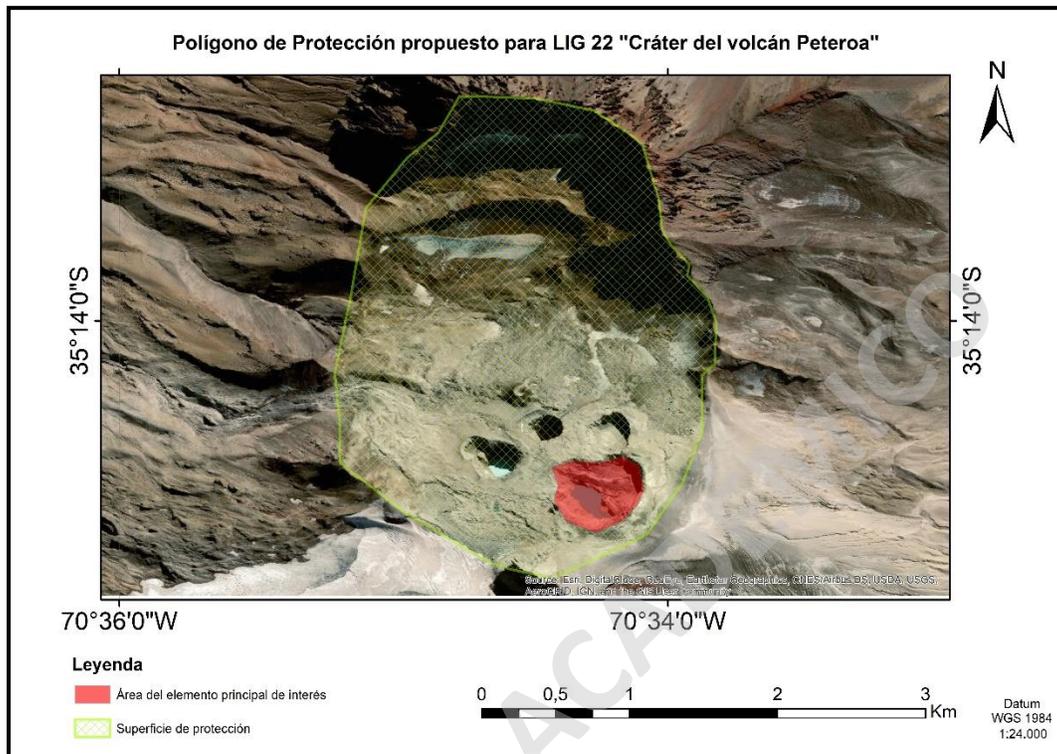
### ASPECTOS NO GEOLÓGICOS RELEVANTES

El lugar no presenta elementos no geológicos de relevancia.

### ESTADO DE CONSERVACIÓN

El LIG se encuentra íntegro y la actividad antrópica es prácticamente nula, por lo que se le considera un agente de degradación de baja relevancia.

El principal agente geológico que podría afectar al lugar de interés sería un nuevo evento volcánico, sin embargo, para el potencial científico esto aportaría más elementos de estudio para el sitio. Se propone el polígono de protección de la siguiente figura



### PROPUESTA DE ESTUDIOS CIENTÍFICOS

- Monitoreo volcánico, principalmente geoquímica de fluidos en fumarola, debido a la presencia de glaciares que potencialmente podrían generar escorrentía de fluidos contaminados
- Análisis de peligro y riesgo geológico asociado a la actividad volcánica

### PUBLICACIONES QUE INCLUYEN LOS ELEMENTOS DEL LUGAR DE INTERÉS, TANTO LOS GEOLÓGICOS COMO LOS NO GEOLÓGICOS.

- Aguilera, F., Benavente, Ó., y Gutierrez, F. (2016a). Eruptive activity of Planchón-Peteroa volcano for period 2010-2011, Southern Andean Volcanic Zone, Chile. *Andean Geology*, 43(1), 20–46.
- Haller, M. J. (2011). LA ERUPCIÓN DEL VOLCÁN PETEROA (35°15'S, 70°18'o) 4 de septiembre de 201. *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, 68(2), 295–305.
- Sruoga, P. (2008). El volcán Planchón-Peteroa un modelo para armar. *Sitios de Interés Geológico de la República Argentina*, 46(1), 1–446.

Tabla 38: Ficha cualitativa extendida para el LIG 08 Mirador Santa Rita.

<b>LIG 08</b>	<b>Mirador Santa Rita</b>		
<b>DATUM/HUSO</b>	<b>COORD. ESTE</b>	<b>COORD. NORTE</b>	<b>ALTITUD [m.s.n.m]</b>
19H	359213	6120088	1470
<b>PROPIEDAD DEL TERRENO</b>	<b>COMUNA</b>	<b>LOCALIDAD MÁS CERCANA</b>	
Estatal	Romeral	Los Queñes	
<b>CARACTERÍSTICAS GENERALES</b>			
<p>El LIG Mirador Santa Rita es un sitio con visión panorámica despejada hacia el valle del río Teno, del cual se pueden observar y entender morfologías características de los cauces fluviales.</p> <p>Este lugar es de principal interés sedimentológico y geomorfológico y representa al contexto geológico local de los Ambientes fluvioaluviales del cuaternario.</p> <p>El lugar se encuentra bien conservado y sin riesgos potenciales de ser afectado por actividades antrópicas. Su principal potencial de uso es turístico, y se acompaña principalmente por la belleza escénica observable desde el sitio</p>			
<b>IMÁGEN y/o ESQUEMA</b>			



**DESCRIPCIÓN GENERAL**

El acceso es mediante un sendero de media – baja exigencia de longitud 1.3 km y 200 m de desnivel, está bien marcado. El mirador está ubicado al final del sendero en el cual se encuentra un portón de madera abandonado y en muy malas condiciones, el que se puede cruzar con facilidad.

Las condiciones de observación son óptimas. No posee peligros geológicos relevantes asociados al lugar de interés.

### **ASPECTOS GEOLÓGICOS RELEVANTES**

Ubicado en la unidad morfoestructural de la Cordillera Principal, el LIG representa al contexto geológico local de los ambientes fluvioaluviales del cuaternario.

El elemento geológico de relevancia corresponde al río Teno, en el cual se pueden observar con facilidad y en un corto tramo, distintas morfologías. Dentro del alcance visual, en el extremo Este del río se presenta sinuoso y con distintos canales, característico de un río trezado, durante el próximo kilómetro de extensión hacia el Oeste su sinuosidad disminuye y continúa por un caudal único, a su vez el valle se encajona en el tramo que cruza por la formación Plan de los Yeuques, lo que disminuye la extensión lateral de sus depósitos y evidencia diferencias en la competencia de las unidades que afloran en el sector

Finalmente en el extremo Oeste desde el punto de observación, se vuelve a separar en distintos canales, en donde se pueden observar depósitos de tipo barras transversales. Elementos geológicos secundarios que se pueden observar son depósitos aluviales cubiertos casi en su totalidad por vegetación, por lo que se dificulta su reconocimiento y depósitos coluviales, ambos son cortados por el paso del río.

Hevia (2014) describe que los depósitos más recientes se encuentran en los fondos de las quebradas y corresponden a diferentes tipos de unidades morfoestratigráficas de baja consolidación: en los fondos de las quebradas del Río Teno y del Río Claro y en sus principales esteros tributarios, aparecen depósitos fluviales actuales y terrazas fluviales. Se componen de arena, grava y clastos redondeados desde tamaño centimétrico hasta bloque, en general de carácter polimíctico. Se observan barras longitudinales y laterales, en algunos casos con imbricación de clastos.

### **ASPECTOS NO GEOLÓGICOS RELEVANTES**

El sendero de acceso al LIG cuenta con diversidad floral de alto atractivo escénico.

### **ESTADO DE CONSERVACIÓN**

El sitio se encuentra en buenas condiciones y sin potenciales riesgos de degradación por agentes antrópicos, el sendero de acceso y la reja abandonada a medio camino fue parte de la infraestructura de antiguas campañas de exploración minera.

Se adjunta una propuesta de polígono de protección del LIG.

### **PROPUESTA DE ESTUDIOS CIENTÍFICOS**

Posibles estudios científicos que complementen la información actual del lugar 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 LUGAR DE INTERÉS, TANTO LOS GEOLÓGICOS COMO LOS NO GEOLÓGICOS.**

SOLO USO ACADÉMICO