



**UNIVERSIDAD
DE ATACAMA**

FACULTAD DE INGENIERÍA
Departamento de Geología

**PROPUESTA DE GEOSITIOS, MEDIANTE LA DESCRIPCIÓN DE
MORFOLOGÍAS, ESTRUCTURAS Y AFLORAMIENTOS LITOLÓGICOS EN
EL VALLE DEL HUASCO, REGIÓN DE ATACAMA, CHILE.**

“Trabajo de titulación presentado en conformidad a los requisitos para obtener el título
de GEÓLOGO”

Profesor Guía: Nicoll Castillo Jorquera

Javiera Nicole Valentina Sola Rojas

Copiapó, Chile 2023

*A mis padres Carmen Gloria Rojas y Jaime Sola.
Por siempre creer en mí.
Mis ejemplos de esfuerzo, perseverancia y resiliencia.*

RESUMEN

El Valle de Huasco alberga un valioso geopatrimonio derivado de diferentes procesos geológicos ocurridos, así como de la actividad minera que caracteriza la zona. No obstante, su protección resulta ineficiente, evidenciada por la existencia de un solo geositio en la zona, esta carencia contrasta con su potencial educativo, científico y turístico. Evidentemente, es necesario identificar, evaluar y promover adecuadamente este patrimonio geológico. Es por esto que en el presente trabajo se realiza la creación de un inventario de geositios y rutas geopatrimoniales para preservar, enriquecer culturalmente, fomentar el geoturismo y la geoeducación en la zona.

Para la evaluación de casos de estudio se emplearon fichas descriptivas que contienen ubicación geológica detallada, ubicación, conceptos de geociencias, esquemas y fotografías, junto con tablas de valoración. Inicialmente, se preseleccionaron dieciséis casos de estudio que presentan un patrimonio geológico o minero reconocido, abarcando diez sitios de tipo: paleontológico, estructural, sedimentario, geomorfológico, petrográfico y/o mineralógico- que fueron cuantitativamente evaluados-, y seis sitios de tipo patrimonial minero, sometidos a una evaluación cualitativa-cuantitativa.

Tras un proceso de selección, se proponen trece geositios finales, de los cuales nueve son de tipo: paleontológico, estructural, sedimentario, geomorfológico, petrográfico y/o mineralógico; mientras que cuatro son de tipo minero. Tres casos de estudio no son seleccionados, siendo dos de ellos de tipo patrimonial minero. Con los sitios elegidos se crearon tres mapas geopatrimoniales acompañados de rutas patrimoniales correspondientes: “Ruta Geológica, Embalse Santa Juana - Chancoquín”, “Ruta Geológica, Quebrada de Pinte y alrededores” y “Ruta Patrimonial Minera”. Esta planificación facilitará el acceso de guías turísticos y visitantes a los sitios seleccionados.

PALABRAS CLAVE: GEOSITIO – GEOPATRIMONIO - PATRIMONIO MINERO – GEOTURISMO – VALLE DEL HUASCO

ABSTRACT

The Huasco Valley encloses a valuable geoheritage derived from different past geological processes, as well as from the mining activity which characterizes the zone. Nevertheless, its protection turns out to be insufficient, being this evidenced by the existence of only one geodiversity site in the zone. This lacking contrasts with its educational, scientific, and touristic potential. Evidently, it is necessary to properly identify, evaluate, and promote this geological patrimony, thus, in the present research the creation of a inventory of geodiversity sites and geoheritage routes is carried out in order to preserve, to culturally enhance, and to encourage geotourism and geoeducation in the zone.

For the evaluation of the cases of study, there were employed descriptive cards which contained detailed geological information, location, geosciences concepts, schemes, and photographs, along with titration tables. At first, there were preselected sixteen cases of study which possessed a recognized geological or mining heritage, enwidening ten sites of types: paleontological, structural, sedimentary, geomorphological, petrographic, and/or mineralogical, which were quantitatively evaluated. And six sites of mining heritage type, subjected to a qualitative-quantitative evaluation.

After a selection process, thirteen final geodiversity sites are proposed, from which nine are of type: paleontological, structural, sedimentary, geomorphological, petrographic, and/or mineralogical, while four are of mining heritage type. Three cases of study are not selected, being two of them of mining heritage type. With the chosen sites, there were created three geoheritage maps with corresponding patrimony routes: “Ruta Geológica, Embalse Santa Juana - Chancoquín”, “Ruta Geológica, Quebrada de Pinte y alrededores” and “Ruta Patrimonial Minera”, this planning will facilitate the access of tourist guides and visitors to the selected sites.

KEYWORDS: GEODIVERSITY SITES - GEOHERITAGE – MINING HERITAGE – GEOHERITAGE – HUASCO VALLE

ÍNDICE

RESUMEN	iii
ABSTRACT	iv
Capítulo 1: INTRODUCCIÓN	1
1.1 Planteamiento del problema	3
1.2 Hipotesis.....	3
1.3 Objetivo general	4
1.4 Objetivos específicos.....	4
Capítulo 2: MARCO TEÓRICO	5
2.1 Geodiversidad o diversidad geológica.....	5
2.2 Patrimonio Geológico o geopatrimonio	5
2.3 Geositio o sitio de geodiversidad	6
2.4 Geoconservación	7
2.5 Geoturismo	8
2.6 Geoparque o parques geológicos.....	9
2.7 Patrimonio geomorfológico.....	9
2.8 Patrimonio paleontológico	10
2.9 Patrimonio minero	11
Capítulo 3: METODOLOGÍA	12
3.1 Etapa pre terreno y catalogación	12
3.1.1 Fotointerpretación.....	12
3.1.2 Selección de casos de estudio	12
3.2 Etapa de terreno	12
3.3 Etapa de valoración	13
3.3.1 Caracterización	13

3.3.2	Etapa de cuantificación o etapa cualitativa-cuantitativa.....	15
3.3.3	Etapa de clasificación y diagnóstico.....	25
3.4	Elaboración de mapas geopatrimoniales	28
Capítulo 4:	MARCO GEOLÓGICO.....	29
4.1	Geomorfología Principal	29
4.2	Geología Local	30
4.2.1	Unidades Estratificadas.....	30
4.2.2	Unidades Intrusivas.....	35
4.2.3	Unidades Metamórficas	36
4.2.4	Depósitos No Consolidados.....	37
4.3	Geología Estructural.....	38
Capítulo 5:	RESULTADOS	39
5.1	Selección de casos de estudio.....	39
5.2	Etapa de caracterización.....	40
5.2.1	Pliegamiento Alto del Carmen (VH-1).....	40
5.2.2	Fallas, Estratificaciones y Contactos de Chancoquín (VH-2)	46
5.2.3	Estructuras Sedimentarias y Zona Arqueológica Chancoquín (VH-3).....	57
5.2.4	Estratos Fosilíferos Chancoquín (VH-4)	66
5.2.5	Morfología de Quebrada de Pinte:El Indio, La Pirámide y El Escorpión(VH-5)	78
5.2.6	<i>Slump</i> de Quebrada de Pinte (VH-6)	90
5.2.7	Conjunto de Fallas inversas Quebrada de Pinte (VH-7).....	95
5.2.8	Set de Fallas El Portillo (VH-8).....	100
5.2.9	Embalse Santa Juana (VH-9).....	104
5.2.10	Terrazas Fluviales Freirina (VH-10).....	110
5.2.11	Huantemé (VH-11).....	116

5.2.12 Capote Aurífero (VH-12).....	123
5.2.13 Sosita (VH-13).....	132
5.2.14 Fundición Chañarcito de Canto del Agua (VH-14)	141
5.2.15 Planta de Cobalto “La Cobaltera” (VH-15).....	149
5.2.16 Quebraditas y Labrar de Cobre (VH-16)	153
5.3 Etapa de cuantificación o etapa cualitativa-cuantitativa	165
5.3.1 Etapa de cuantificación.....	165
5.3.2 Etapa cualitativa-cuantitativa.....	167
5.4 Rutas Patrimoniales	170
5.4.1 Ruta Geológica, Embalse Santa Juana - Chancoquín	170
5.4.2 Ruta Geológica: Quebrada de Pinte y alrededores	172
5.4.3 Ruta Patrimonial Minera.....	173
Capítulo 6: DISCUSIONES	175
6.1 Análisis de la metodología	175
6.1.1 Casos de estudio de interés de tipo paleontológico, estructural, sedimentario, geomorfológico, petrográfico y mineralógico.	175
6.1.2 Casos de estudio de tipo patrimonio minero.....	175
6.2 Análisis de resultados de casos de estudio	176
6.2.1 Casos de estudio de interés de tipo paleontológico, estructural, sedimentario, geomorfológico, petrográfico y mineralógico.	176
6.2.2 Casos de estudio de tipo patrimonio minero.....	178
6.3 Análisis de los resultados del inventario de geositos y rutas patrimoniales...	180
Capítulo 7: CONCLUSIONES	183
BIBLIOGRAFÍA	185
ANEXOS	194

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 5.1.1: Ubicación de Plegamiento Alto del Carmen y propuesta de mirador. En amarillo se señala la vía C-489 y en azul el camino de tierra. Elaboración propia.	41
Figura 5.1.2: Imagen tomada en terreno de pliegues, desde la zona propuesta como mirador. De izquierda a derecha se encuentra primeramente el sinforme cerrado y simétrico, en segundo lugar, el antiforme sin cresta, en tercero, el sinforme abierto y asimétrico y en cuarto el antiforme abierto y asimétrico.	44
Figura 5.1.3: Imagen editada para mostrar de manera gráfica los pliegues. De izquierda a derecha se encuentra primeramente el sinforme cerrado y simétrico, en segundo lugar, el antiforme sin cresta, en tercero, el sinforme abierto y asimétrico y en cuarto el antiforme abierto y asimétrico. Indicando con S: sinforme; A: antiforme. Elaboración propia.	44
Figura 5.2.1: Imagen satelital donde se visualizan la zona nombra Fallas, Estratificaciones y Contactos de Chancoquín. En amarillo se señala la vía C-495, en azul av. Los Perales, en amarillo la vía C-487 y en verde el camino de <i>trekking</i> . Elaboración propia.....	47
Figura 5.2.2: Imagen con vista hacia el norte donde se observa el contacto litológico entre Unidad de Areniscas Calcáreas y Calizas y Unidad de Calizas. Además de un cabalgamiento en la Unidad de Calizas.	51
Figura 5.2.3: Fotografía editada donde se aprecia de color morado la Unidad de Areniscas Calcáreas y Calizas; de celeste Unidad de Calizas, y en amarillo los Depósitos Aluviales y Fluviales. Se observa el contacto por falla inversa, entre la Unidad de Areniscas Calcáreas y Calizas y Unidad de Calizas. Estructuralmente se presenta un cabalgamiento (líneas verdes) en la Unidad de Calizas, una falla inversa y otras fallas que producen el pliegue por flexión de falla (líneas rosadas), de derecha a izquierda se observa un anticlinal, sinclinal y anticlinal. En la imagen A: anticlinal y S: sinclinal.....	52
Figura 5.2.4: Imagen con vista hacia el norte donde se observa de mejor manera la magnitud del cabalgamiento de la Unidad de Calizas.	53
Figura 5.2.5: Fotografía editada donde se aprecia de color morado la Unidad de Areniscas Calcáreas y Calizas; de celeste Unidad de Calizas, y en amarillo los Depósitos Aluviales y Fluviales. Estructuralmente se presenta un cabalgamiento (líneas moradas) en la Unidad de Calizas, una falla inversa y otras fallas inferidas. Además de un pliegue por flexión de falla (líneas rosadas), que de derecha a izquierda se dispone; un anticlinal, un sinclinal y un anticlinal.....	54
Figura 5.2.6: Cartel a la entrada de Chancoquín que advierte que es una zona arqueológica y que legalmente está prohibido alterar el sector o sacar muestras.	55
Figura 5.2.7: Litología de unidad Areniscas Calcáreas y Calizas. A) Arenisca calcárea de tamaño de grano muy fino, con 90% de feldespatos, 5% de cuarzo y 5% de fragmentos líticos. B) <i>Mudstone</i> de tamaño de grano muy fino, con empaquetamiento matriz soportada.	55
Figura 5.2.8: Fósiles de Rynchinellidos de roca <i>Packstone</i> de la unidad de Calizas.....	56
Figura 5.2.9: Roca <i>Packstone</i> perteneciente a la unidad de calizas. Restos de braquiópodos, con restos de conchas recristalizadas, cementación de cavidades, con crecimiento en drusa de cuarzo.	56
Figura 5.3.1: Ubicación y accesos al sector Estructuras Sedimentarias y Zona Arqueológica Chancoquín. En rojo se muestra la vía C-495, en azul av. Los Perales y en amarillo la vía C-487. Elaboración propia.	58

Figura 5.3.2: Estructura sedimentaria de estratificación lenticulares, con tipo de lentes aislados, en roca arcosa. Estas estructuras miden de 8 a 35 cm de largo y 5 cm a 12 cm de alto. Abajo de estos lentes se encuentran estructuras laminadas. En la roca también hay petroglifos de la cultura Molle y Ánimas, que posiblemente representan guanacos.	62
Figura 5.3.3: Estructuras sedimentarias en arcosa, en el lado izquierdo de la imagen se hayan laminaciones paralelas y en el lado derecho laminaciones cruzadas.....	63
Figura 5.3.4: Estructuras sedimentarias. A) Laminaciones cruzadas en roca arcosa, con un espesor de 0,5 cm. B) Arenisca arcosa con estructuras sedimentarias. En la zona superior izquierda se encuentran óndulas escalonadas (<i>climbing ripples</i>) y el resto de las estructuras sedimentarias que se observan, corresponden a laminaciones paralelas con espesor de 0,5 cm a 1 cm.	63
Figura 5.3.5: Fósiles de la zona. A) Resto de esqueleto de erizo, con relleno sedimentario en roca <i>mudstone</i> , el que mide 5 cm de largo y 1,5 cm de alto. B) Fósiles de tallos en roca <i>wackestone</i> , que se encuentran dispuestos al azar y en forma de cúmulos, el largo varía de 5 cm a 50 cm.	64
Figura 5.3.6: Petroglifos de la zona en bloque rodado, asociados a la cultura Molle y Ánimas, que representan personas y guanacos.	64
Figura 5.4.1: Ubicación y accesos a Estratos Fosilíferos Chancoquín. En rojo se muestra la vía C-495, en azul av. Los Perales, en amarillo la vía C-487 y en verde el camino de <i>trekking</i> . Elaboración propia.	67
Figura 5.4.2: Zona de estudio Estratos Fosilíferos Chancoquín, que se postula como geositio, en ella se encuentra un contacto geológico por concordancia con continuidad, entre la Unidad de Areniscas Calcáreas y Calizas con la Unidad Fosilífera. La parte del cerro que es de color oscuro es la Unidad de Areniscas Calcáreas y Calizas, la parte de color amarillo es la Unidad Fosilífera.	72
Figura 5.4.5: Columna estratigráfica de Estratos Fosilíferos Chancoquín.	74
Figura 5.4.6: Leyenda y simbología de columna estratigráfica de Estratos Fosilíferos Chancoquín	75
Figura 5.4.7: Rocas de Estratos Fosilíferos Chancoquín. A) lutita calcárea, contiene 95% de matriz y 5% de clastos, color gris oscuro. B) muestra de roca perteneciente a la Unidad de Areniscas Calcáreas y Calizas, corresponde a una arenisca calcárea de tamaño arena muy fina, con 90% de feldespatos, 5% de fragmentos líticos y 5% de cuarzo. C) muestra de roca de la Unidad de Areniscas Calcáreas y Calizas, es una <i>mudstone</i> de empaquetamiento matriz soportada, con calcita de habito radial y fibroso.	76
Figura 5.4.8: Unidad de Gravas Oligomicticas, compuesta por 65% de clastos y 35% de matriz. En cuanto al tamaño de los clastos, estos exhiben una variabilidad que abarca desde 0,5 cm hasta 10 cm, los cuales son angulares a muy angulares.....	77
Figura 5.4.9: Construcciones del área Estratos Fosilíferos Chancoquín	77
Figura 5.5.1: Ubicación Morfología de Quebrada de Pinte: El Indio, La Pirámide y El Escorpión. En amarillo se señala la vía C-495, en rojo la vía C-493, en azul el acceso sin camino apto para 4x4 y en verde el camino para <i>trekking</i> . Elaboración propia.	79
Figura 5.5.2: Imagen extraída y modificada de Rojas, 2021. De izquierda a derecha se observa El Indio, La Pirámide y El Escorpión. También se muestra la geomorfología del sector. De verde se encuentran las terrazas fluviales, de celeste la llanura de inundación, en morado los abanicos aluviales más antiguos y en amarillo los abanicos aluviales más recientes.....	84

Figura 5.5.3: Esquema que representa la fragmentación que sufrió la roca debido a la meteorización, que posteriormente es removida por la erosión. Elaboración propia en programa Adobe Illustrator. A) Zona antes de sufrir erosión y meteorización. B) Roca fragmentada y removida, se indica con 1, 2, 3 el orden de formación de las morfologías. Primero (1) se forma La Pirámide, segundo (2) El Escorpión, y por último (3) El Indio. C) Morfologías formadas debido a la erosión y meteorización.	85
Figura 5.5.4: Fotografía tomada en terreno, donde se puede observar parte de la morfología característica del sector, donde las rocas estratificadas toman la forma de La Pirámide (1) y más atrás se observa El Escorpión (2).....	86
Figura 5.5.5: Columna estratigráfica de morfología La Pirámide. Elaboración propia en programa Adobe Illustrator.	87
Figura 5.5.6: Leyenda y simbología de columna estratigráfica de La Pirámide.	88
Figura 5.5.7: Litología de la Pirámide. A) Granodiorita de tamaño de grano medio a fino, compuesta por 60% de plagioclasas, 30% de cuarzo y 10% de feldespatos alcalinos. B) Andesita de tamaño de grano fino, contiene 95% de plagioclasas y 5% de cuarzo.....	88
Figura 5.5.8: Wackestone de El Escorpión, contiene 20% de clastos y 80% de matriz, presenta fósiles de braquiópodos.	89
Figura 5.5.9: Fotografía tomada en terreno, donde se puede observar parte de la morfología característica del sector, El Indio, donde las rocas estratificadas toman la forma de la cara de un indio y su expresión.	89
Figura 5.6.1: Ubicación <i>Slump</i> de Quebrada de Pinte. En amarillo se señala la vía C-493 y en azul la vía C-495. Elaboración propia.	91
Figura 5.6.2: Imagen tomada en terreno, desde el camino de Quebrada Pinte. <i>Slump</i> que se encuentra en Quebrada de Pinte.....	93
Figura 5.6.3: Imagen tomada en terreno. <i>Slump</i> que se encuentra en Quebrada de Pinte, se puede observar desde más cerca.	93
Figura 5.6.4: Esquema de formación de <i>Slump</i> de Quebrada de Pinte. Elaboración propia en programa Adobe Illustrator.	94
Figura 5.7.1: Ubicación de El Conjunto de Fallas inversas Quebrada Pinte. En amarillo se señala la vía C-495 y en azul se señala el lugar de acceso a la zona que no tiene camino. Elaboración propia.	96
Figura 5.7.2: Fotografía tomada en terreno de las seis fallas inversas.....	98
Figura 5.7.3: Edición de la fotografía, donde se observan en las líneas blancas los planos de fallas que muestran el sentido del movimiento de las seis fallas inversas. A continuación, se detalla el desplazamiento de los bloques de las fallas, según el número que tienen en la imagen, A) 2 m; B) 1 m; C) 2,5 m; D) 2,5 m; E) 5 m y F) 0,5 m,.....	98
Figura 5.7.4: <i>Wackestone</i> con presencia de restos fósiles de braquiópodos, los que están macerados, por tanto, no es posible diferenciarlos. Se identifica neomorfismo de calcita y crecimiento en drusa de este mismo mineral, el cual rellena cavidades.	99
Figura 5.8.1: Ubicación y accesos a Set de Fallas El Portillo. En amarillo se muestra la vía C-495 y en rojo el camino de tierra. Elaboración propia.	101
Figura 5.8.2: Set de fallas, en flanco derecho de un pliegue sin forme. Fotografía tomada en terreno.....	103
Figura 5.8.3: Edición de la fotografía. Donde en blanco se encuentran las fallas normales y de rojo las fallas inversas.	103

Figura 5.9.1: Ubicación y accesos a Embalse Santa Juana. En rojo se muestra la vía C-485. Elaboración propia.	105
Figura 5.9.2: Embalse Santa Juana. Imagen tomada en terreno, desde el mirador.....	108
Figura 5.9.3: Embalse Santa Juana. Se muestran los estratos inclinados, falla que se exhibe desde el actual nivel del agua y la zona de falla. Imagen tomada en terreno, desde el mirador, la cual ha sido modificada.	108
Figura 5.9.4: Roca Mudstone, que se encuentra cercana al mirador	109
Figura 5.10.1: Ubicación y accesos Terrazas Fluviales. En azul se muestra el bypass Freirina y en verde la vía C-46. Elaboración propia.	111
Figura 5.10.2: Terrazas fluviales de Freirina observadas desde el mirador.....	114
Figura 5.10.3: Fotografía modificada para mostrar con distintas tonalidades de amarillo los niveles de terrazas fluviales presentes en la imagen. F0, F1, F2, F3, F4; representan los diferentes niveles aterrazados en la imagen.	114
Figura 5.10.4: Terrazas fluviales de Freirina, observadas dentro de la misma ciudad. En la imagen se muestran cinco niveles aterrazados, incluso la fotografía es tomada sobre una de estas terrazas. Imagen extraída de Castillo, 2016.....	115
Figura 5.10.5: Cinco niveles de terrazas de Freirina, con las distintas tonalidades de amarillo se muestran los.....	115
Figura 5.11.1: Ubicación y accesos Huantemé. En rojo se muestra la vía C-520. Elaboración propia.	117
Figura 5.11.2: Fotografía tomada desde una zona más alta, desde el sector norte del área de estudio. Se pueden observar las casas y calles de sector, las que miraban hacia la entrada de la mina.	120
Figura 5.11.3: Fotografía de “la casona”, en ella se ven las divisiones que tiene el lugar, por lo que se piensa que pudo ser una oficina o la casa del administrador de la mina. Imagen extraída de Pizarro (2022).	121
Figura 5.11.4: Fotografías que muestran el daño de la infraestructura. A) Se ha sacado la cañería del baño. B) Fueron robados los marcos de las ventanas. C) Falta de techumbre. D) Paredes rayadas por terceros. Imagen extraída de Pizarro (2022).	121
Figura 5.11.5: Litología de Huantemé. A) Brecha volcanoclástica, con brechización adicional producto de fluidos ricos en fierro (Brecha de magnetita). Con una leve alteración a óxidos de hierro (Hematita, Jarosita y Goetita). BA: Brecha volcanoclástica; Mg: Magnetita masiva. B) Muestra de mano de tonalita de yacimiento Huantemé, en ella se pueden observar de manera macroscópica cristales de cuarzo y plagioclasa. (Pizarro, 2022). Imágenes extraídas y modificadas de Pizarro (2022).	122
Figura 5.11.6: Superficie del rajo Huantemé,.....	122
Figura 5.12.1: Ubicación y accesos Capote Aurífero. En rojo se muestra la vía C-442 y en azul el camino de tierra. Elaboración propia.	124
Figura 5.12.2: Vista lateral de planta de procesamiento de cianuro. Se identifica la base del chancador principal, cilindros y dos oficinas secundarias.	127
Figura 5.12.3: Vista frontal de planta de procesamiento de cianuro. Se identifica la base del chancador principal, cilindros y dos oficinas secundarias.	128
Figura 5.12.4: Imagen extraída de Pérez, 2019. Chancador principal de Capote. a) Vista superior de chancador, con un diámetro de 2,5 metros, construido de concreto. b) Vista interior de la base del chancador, con un alto de 4 metros aproximadamente (Pérez, 2019).	128

Figura 5.12.5: Imagen extraída de Pérez, 2019. a) Galería principal con puerta rectangular y marco de madera, con unas medidas de 1,5 m de ancho y 2 m de largo. b) Principal veta aurífera de Capote, de ancho milimétrico y una actitud de N30W;40NE (Pérez, 2019).

..... 129

Figura 5.12.6: Muestra de mano y corte transparente de la Cuarzodiorita Melanocrática. a) Muestra de mano de Capote, presenta textura fanerítica, holocristalina y tamaño de grano medio. b) Corte transparente en nicols cruzados, se observa la textura holocristalina y tamaño promedio del cristal de 1mm. Se presentan plagioclasas alterada a sericita. c) Corte transparente en luz polarizada plana, donde se observa las biotitas y hornblendas, alteradas a clorita, además de alteración a arcilla de las plagioclasas. Simbología: Bt: Biotita; Plg: Plagioclasa; Hb: Hornblenda; Qz: Cuarzo; Arc: Alteración a arcilla; Clo: Alteración a clorita (Pérez, 2019). Imagen extraída Pérez (2019)..... 130

Figura 5.12.7: Muestras de mano de la mineralización de Capote aurífero..... 131

Figura 5.13.1: Ubicación y accesos a Sosita. En rojo se muestra la Ruta 5, en azul la vía C-442 y en verde la vía C-452. Elaboración propia..... 133

Figura 5.13.2: fotografía actual de Mina La Sosita. Imagen extraída de Pizarro (2022).

..... 137

Figura 5.13.3: muestras de brecha volcanoclástica. A) Muestra de mano, se observan los clastos de andesita porfídica, con diversidad de tamaños y angulosos. Se aprecian variedad de colores, entre los que se destaca la zona verdosa, que se asocia a una alteración clorita – epidota. B) Corte transparente en nicols cruzados, se observa un clasto de composición andesítica, diferenciándose los cristales de cuarzo y plagioclasa, también la matriz andesítica con cemento calcáreo, con algunos cristales de calcita. Simbología: Qz: Cuarzo; Cc: Calcita. C) Corte transparente en nicols paralelos. Matriz de colores grises y marrones, cemento calcáreo y plagioclasas fuertemente alteradas a arcilla (color gris), de color negro se encuentran los clastos de andesita. D) Corte transparente en nicols cruzados. Detalle de un clasto de la brecha volcanoclástica, donde se refleja la textura esquelética de cuarzo en plagioclasa, denotando un intercrecimiento de cristales. En la parte superior se observa cemento calcáreo y en la parte inferior un clasto de composición andesítica. Simbología: Qz: Cuarzo; Plg: Plagioclasa (Pizarro, 2022). Imagen extraída de Pizarro (2022)..... 137

Figura 5.13.4: contacto por falla entre la unidad intrusiva microdiorita de color rojizo, con la nidad due brecha volcanoclástica de color morado. En la zona superior se observa un cúmulo de magnetita. Simbología: MD: Microdiorita; BA: Brecha Volcanoclástica; Mg: Magnetita (Pizarro, 2022). Imagen extraída de Pizarro (2022)..... 138

Figura 5.13.5: roca de unidad microdiorita. A) Muestra de mano, la roca tiene textura porfídica, con fenocristales principalmente de plagioclasas, que son los pequeños puntos de color blanco. B) Corte transparentes en Nicols Cruzados, en el centro se ubica un feldespato alterado a arcilla y sericita, cubriendo completamente el cristal y de colores claros se observan los cuarzos. También se observan cristales de biotita con una leve a moderada alteración a clorita. Fld: Feldespato; Bt: Biotita; Src: Sericita; Opc: Opacos; Qz: Cuarzo (Pizarro, 2022). Imagen extraída de Pizarro (2022). 138

Figura 5.13.6: muestra de unidad skarn de actinolita A) Muestra de mano de actinolita, de color pardo se encuentra la actinolita y de color gris oscuro la magnetita. Presenta un hábito fibroso moderado a leve, por el metamorfismo de contacto (Pizarro, 2022). B) Corte transparente en nicols cruzados. En el centro se encuentra un cristal de actinolita (color

azul y amarillo) con textura fibrosa y alrededor en color oscuro, magnetita masiva (Pizarro, 2022). Imagen extraída de Pizarro (2022).....	139
Figura 5.13.7: magnetita masiva de color gris oscuro y en forma de cúmulo (Pizarro, 2022). Imagen extraída de Pizarro (2022).....	139
Figura 5.13.8: zona oeste del antiguo laboreo a rajo abierto.	140
Figura 5.14.1: Ubicación y accesos Chañarcito de Canto del Agua.....	142
Figura 5.14.2: Fundición Chañarcito de Canto del Agua, complejo industrial más grande de la región de Atacama para la época.	145
Figura 5.14.3: Vestigio de las oficinas administrativas de la Fundición Chañarcito de Canto del Agua. Atrás de ella en la zona NW se pueden observar dos diques.	145
Figura 5.14.4: Escoria del proceso de la fundición del cobre de Chañarcito de Canto del Agua.	146
Figura 5.14.5: Rocas de Fundición Chañarcito de Canto del Agua. A) Muestra de mano de la Unidad Diorita Cuarcifera de Carrizal Alto. B) Muestra de mano de la Unidad de Diques de Microdiorita Porfídica de Carrizal Alto. Extraídas y modificadas de Costa (2019).	146
Figura 5.14.6: Muestra de mano de la zona oxidada de Carrizal Alto. a) Crisocola en pátina y atacamita en vetillas. b) Eritrina y algunos óxidos de cobre. Extraído de Costa (2019).	147
Figura 5.14.7: Muestra de mano de zona hipógena de Carrizal Alto, provenientes de los desmontes. a) Veta de cuarzo con calcopirita. b) Eritrina y calcopirita. c) Veta de cuarzo con siderita y piritita como minerales de alteración. d) Molibdenita. Extraída de Costa (2019).	147
Figura 5.14.8: Sección pulida de la muestra de zona de sulfuros de Carrizal Alto. a) Rechazo pulido de la muestra, en la que se encuentra calcopirita.	148
Figura 5.15.1: Ubicación y accesos a Planta de Cobalto “La Cobaltera”. En azul se muestra la vía C-526. Elaboración propia.....	150
Figura 5.15.2: Fotografía tomada con dron, que muestra el estado actual de La Cobaltera.	152
Figura 5.16.1: Ubicación y accesos Quebraditas y Labrar de Cobre. En azul se muestra la vía C-526 y en rojo el camino de tierra. Elaboración propia.	154
Figura 5.16.2: Cementerio de Quebraditas. a) Mausoleo de la Sociedad de Obreros de Socorros Mutuos, construido en el año 1907. b) Tumba decorada con reja de fierro y otro mausoleo de menor tamaño. c) Tumba decorada con madera, del año 1878. d) Lápida de una mujer fallecida en noviembre de 1898. Imagen extraída de Costa (2019).	158
Figura 5.16.3: Vista frontal de la Planta de Quebraditas, con parte de su infraestructura en buen estado de conservación. Imagen extraída y modificada de Castillo (2016).	159
Figura 5.16.4: Escuela de Quebraditas, bien preservada y protegida por ley N°17.288 de Monumentos Nacionales. Imagen extraída de Castillo (2016).	159
Figura 5.16.5: Interior y fachada de la Escuela de Quebraditas en la actualidad. a) Pared lateral de la escuela, que se encuentra dañada, pero conservada. b) Primer piso desde el interior de la escuela, con rayados realizados por visitantes. c) Paredes y pilar con grietas, además de rayados de visitantes. d) Escaleras construidas con madera, también se pueden observar rayados a los costados (Costa, 2019). Imagen extraída de Costa (2019).	160

Figura 5.16.6: Chimeneas de Labrar, que funcionaban junto a hornos de reverbero para fundir mineral de cobre, y que eran alimentadas principalmente por el mineral de Quebraditas. a) Dos chimeneas que se encuentran trizadas y curvadas en su parte más alta. b) Tercera chimenea que fue elaborada con bloques de la escoria de la planta (Costa, 2019). Imagen extraída de Costa (2019).....161

Figura 5.16.7: Muestra de mano de la Unidad de Filitas. Las motas que presentan se deben a que la roca estaba cercana al contacto intrusivo. Imagen extraída de Costa (2019).....161

Figura 5.16.8: Cortes transparentes de la Unidad de Filitas. a) y b) Muestran los acumulados de cuarzo y muscovita, siguiendo la foliación de la roca, a) nicoles cruzados y b) luz polarizada plana. En c) y d) Se observan dos foliaciones en la roca, una correspondiente a biotitas y otra que corresponde a muscovitas, c) nicoles cruzados y d) en luz polarizada plana (Costa, 2019). Imagen extraída de Costa (2019)..... 162

Figura 5.16.9: Muestra de mano y cortes transparentes de la Unidad de Cuarzo Diorita. a) Muestra de mano de una cuarzo diorita. b) Corte transparentes en nicoles cruzados, se observa biotita, cuarzo y plagioclasas alteradas a sericita. c) Mismo corte transparente de b, pero en luz polarizada plana, se observa biotita alterada a clorita. Imagen extraída de Costa (2019)..... 163

Figura 5.16.10: Muestra de mano de la zona de óxidos de Labrar, mina Socavón. a) Muestra con alta ley de óxidos, se destaca la crisocola. b) Zona mixta, se observa brochantita y calcopirita. c) Milonita con óxidos de cobre (crisocola). Imagen extraída de Costa (2019)..... 164

Figura 5.17.1: Ruta Geológica, Embalse Santa Juana - Chancoquín. De color rojo se encuentra la ruta, que incluye la vía C-485, C-495, C-499 y C-487. De color amarillo se indica una ruta alternativa, correspondiente a la vía C-495. Los geositios de la ruta son: Embalse Santa Juana (P1), Plegamiento Alto del Carmen (P2), Fallas, Estratificaciones y Contactos Chancoquín (P3) y Estratos Fosilíferos Chancoquín (P4). Elaboración propia..... 171

Figura 5.17.2: Ruta Geológica, Quebrada de Pinte y alrededores. De color rojo se encuentra la ruta, que incluye las vías C-495 y C-493, las que son aptas para todo tipo de vehículo. De color amarillo se indican las rutas de senderismo. Los geositios considerados son: Set de Fallas El Portillo (P1), Conjunto de Fallas inversas Quebrada de Pinte (P2), Slump de Quebrada de Pinte (P3) y Morfología de Quebrada de Pinte: El Indio, La Pirámide y El Escorpión (P4). Elaboración propia..... 172

Figura 5.17.3: Ruta Patrimonial Minera. De color rojo se encuentra la ruta, que incluye las vías C-440, C-442, C-456, C-450, C-46, C-494 y C-526. Los geositios considerados son: Fundición Chañarcito de Canto del Agua (P1), Capote Aurífero (P2), Planta de Cobalto “La Cobaltera” (P3), Quebraditas (P4) y Labrar de Cobre (P5)..... 174

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 3.1: Características del potencial geositio, tabla de elaboración propia y modificada de Brilha (2005); Pereira (2007); Partarrieu (2013).....	14
Tabla 3.2: Definición de los criterios a evaluar en los sitios de interés. Elaboración propia, basado en Brilha (2005).....	15
Tabla 3.3: Criterios intrínsecos al geositios para la cuantificación de los casos de estudio, modificada de Brilha (2005).....	17
Tabla 3.4: Criterios relacionados con el uso del geositio, para la cuantificación de los casos de estudio, modificada de Brilha (2005).....	18
Tabla 3.5: Criterios relacionados con la necesidad de protección del geositio, para la cuantificación de los casos de estudio, modificada de Brilha (2005).....	19
Tabla 3.6: Descripción de criterios intrínsecos (P1) para casos de estudio de tipo patrimonio minero.....	20
Tabla 3.7: Descripción del parámetro potencial uso (P2) para casos de estudio de tipo patrimonio minero.....	21
Tabla 3.8: Descripción del parámetro de necesidad de protección (P3) para casos de estudio de tipo patrimonio minero.....	21
Tabla 3.9: Descripción del parámetro importancia-contexto (P4) para casos de estudio de tipo patrimonio minero.....	22
Tabla 3.10: Valoración para parámetro criterio intrínseco. Modificado de Bunter (2007).....	23
Tabla 3.11: Valoración para parámetro potencial de uso. Extraída de Bunter (2017).....	24
Tabla 3.12: Valoración del parámetro necesidad de protección. Modificada de Bunter (2017).....	24
Tabla 3.13: Valoración del parámetro importancia-contexto. Extraída de Bunter (2017).....	25
Tabla 3.14: Valores de los criterios de cuantificación, para considerar a un geositio de carácter nacionales o internacionales. Tabla extraída de Brilha (2005).....	26
Tabla 3.15: Rango de análisis para los resultados de cuantificación de sitios. Extraído de Bunter (2017).....	28
Tabla 5.1: Valores de las sumatorias A, B, C y valor Q, para los casos de estudio de VH-1 a VH-10. En rojo están los valores mínimos, y en verde los valores máximos.....	165
Tabla 5.2: Resumen de la clasificación y cuantificación final (Q) para los casos de estudio de interés de tipo paleontológico, estructural, sedimentario, geomorfológico, petrográfico y mineralógico.....	166

Tabla 5.3: Resumen de los valores Q_t (P1), Q_t (P2), Q_t (P3), Q_t (P4), la sumatoria total de Q_t y los valores ponderados de X, Y, Z, W para los sitios de tipo patrimonio minero. Modificado de Bunter (2017).....	168
Tabla 5.4: Clasificación de los casos de estudios. Modificado de Bunter (2017).....	169
Tabla 5.5: Detalle de los geositos incluidos en la Ruta Geológica, Embalse Santa Juana - Chancoquín. Modificado de Travella (2021).....	171
Tabla 5.6: Detalle de los geositos incluidos en la Ruta Geológica, Quebrada de Pinte y alrededores. Modificado de Travella (2021).....	173
Tabla 5.7: Detalle de los geositos incluidos en la Ruta Patrimonial Minera. Modificado de Travella (2021).....	174

Capítulo 1: INTRODUCCIÓN

La geología es la ciencia que da a conocer los fenómenos que han ocurrido en la tierra desde su existencia hasta la actualidad, explicando la evolución de la tierra a través del tiempo. A pesar de lo anterior, aún parte de la sociedad no comprende la importancia de la geología. Por medio del patrimonio geológico, con su diversidad de paisajes; se genera conciencia de la geología, además de enseñar, entender e incentivar el interés por las ciencias de la tierra. Junto a las ventajas culturales, turísticas, sociales y recreativas, que posee el geopatrimonio.

El cuidado y protección por el geopatrimonio, comienza con la idea de la conformación de geoparques, la que surge de parte de Martini y Zouros (1996) en el trigésimo Congreso Geológico Internacional de Beijing. Así nace en 1997 el programa de Geoparque UNESCO, donde se determinó que un Geoparque Europeo debe combinar la protección y promoción del patrimonio geológico, además de abarcar características geológicas, mineralógicas, geofísicas, geomorfológicas y paleontológicas. Para febrero de 2004 en París se establece la Red Mundial de Geoparques UNESCO (Zouros, 2004). En la página web de la UNESCO, se menciona que en la actualidad existen 195 geoparques en 48 países, de los cuales solo 11 pertenecen a América Latina y el Caribe, y uno se ubica en Chile, llamado geoparque “Kütralkura”, lo que evidencia que Chile y Latinoamérica se encuentran en desventaja de la protección, conciencia y cuidado del patrimonio geológico, por lo que es de suma importancia trabajar en el resguardo del geopatrimonio y realizar estudios que incluyan inventario de geositios, caracterización y evaluación de diversas zonas.

La Región de Atacama tiene diez geositios, entre los cuales se encuentran la Tonalita Orbicular de Caldera, Sismitas de la desembocadura del Río Copiapó, Plutón Cerros del Vetado, Duna del Cerro Bramador, Diques del Morro Copiapó, Caos de Puquios, Huellas de Dinosaurios de la Quebrada Descubridora, Yacimiento Paleontológico Cerro Ballena, Zoológico de Piedra (Sociedad Geológica de Chile, 2023), y en el año 2021 fue incluido los Estratos Marinos Fosilíferos Jurásicos de Quebrada Pinte.

El Valle del Huasco, ubicado en la Región de Atacama, a los 28,5° S es un gran valle transversal semiárido. La geología de este sector se describe en las cartas Freirina -

El Morado, Carrizal Bajo – Chacritas, Vallenar – Domeyko, y El Tránsito. Describiendo unidades como Complejo Epimetamórfico Chañaral, Formación San Félix, Formación La Ternera, Estratos del Verraco, Formación Lautaro, Formación Picudo, Formación Punta del Cobre, Formación Totoralillo, Formación Pabellón, Formación Cerrillos y Gravas del Río Huasco. Las principales estructuras son la Falla Agua de los Burros y Falla El Lorito (Arévalo *et al.*, 2009), ambas de gran magnitud y que controlan estructuralmente a una parte del Valle del Huasco. La Falla Agua de los Burros corresponde a una falla normal, que posteriormente se reactivó como falla inversa con una dirección NS-NNE y con una inclinación variable (Garrido, 2009; Urresty, 2009; Guaita, 2015), esta falla es de tipo piel gruesa con una profundidad de 15 kilómetros aproximadamente (Perroud, 2017), la que actuó como el borde de la cuenca en la que se depositó la Formación Cerrillos (Arévalo *et al.*, 2009). Los fósiles que se presentan son variedades de amonites y bivalvos, los que se exhiben en la Formación Pabellón, Formación Totoralillo y Formación Punta del Cobre (Arévalo *et al.*, 2009).

Debido a que la Región de Atacama posee una gran cantidad de yacimiento minerales, el Valle del Huasco no está exento de la explotación minera, por lo que existen diversos vestigios mineros, varios asociados a que en la zona se presentó el mayor auge minero desde la mitad del siglo XVIII hasta fines del siglo XX, trabajándose yacimientos de oro, plata y cobre (Pérez, 2019).

Aun con la riqueza patrimonial minera y geopatrimonial del Valle del Huasco, solo existe un geositio en la zona, llamado “Estratos Marinos Fosilíferos Jurásicos de Quebrada Pinte”, por lo que es necesario proteger y promover el geopatrimonio del sector, lo que se logra por medio de un inventario de geositios, como es el caso de esta investigación.

Es necesario evaluar los diversos rasgos geológicos anteriormente nombrados, mediante un inventario de geositios, para generar rutas patrimoniales; así aportar a la difusión de los resultados de la investigación, para concientizar sobre la importancia del patrimonio geológico en el Valle del Huasco. La zona en la que se realizará el estudio abarca desde la costa del Valle del Huasco, hasta la precordillera, ascendiendo al Valle del Tránsito, incluyendo la franja férrea donde se encuentran los antiguos distritos mineros de la comuna de Vallenar.

1.1 Planteamiento del problema

El mantenimiento y cuidado del geopatrimonio es de suma importancia para las ciencias de la Tierra y la sociedad, ya que por medio de este se puede obtener información relevante para investigaciones científicas, además entrega herramientas y conocimientos para formar profesionales de la geociencia, también actúa como una herramienta que enriquece la cultura y economía de una localidad, además de aportar en la enseñanza de las ciencias en la etapa escolar, incentivando a los niños desde pequeños el interés por la ciencia y el cuidado del geopatrimonio.

La alta riqueza geopatrimonial del Valle del Huasco debe ser protegida, pero actualmente la protección de las zonas con un alto valor patrimonial en el Valle del Huasco es insuficiente, reflejado en la existencia de un solo geositio en el sector. Por lo cual en el presente estudio se busca incluir geositios; generando un listado de geositios potenciales, para posteriormente realizar una evaluación de estas zonas, y finalmente crear rutas patrimoniales de los casos de estudio clasificados como geositios.

Esta investigación tiene una relevancia social, geológica, científica y turística, puesto que se incluirán nuevos geositios, que permitirán educar y concientizar a la comunidad del cuidado de estas zonas. Resaltando la importancia científica y geológica, los sitios evaluados en el presente trabajo podrían servir como ilustraciones de procesos geológicos, y podrán ser nuevamente estudiados para realizar publicaciones científicas.

1.2 Hipotesis

El abundante patrimonio geológico del Valle del Huasco, heredado de diferentes procesos geológicos, conlleva a que la zona sea un atractivo turístico, científico y geológico. Su geomorfología tales como terrazas fluviales, aluviales y marinas, abanicos aluviales, además de diferentes fallas, pliegues y afloramientos, lo hace un lugar idóneo para exponer y enseñar los procesos geológicos que han ocurrido, aportar conocimiento científico y realizar actividades didácticas. Por lo que el Valle del Huasco es un lugar con alto potencial para la realización de un inventario de geositios y rutas patrimoniales, asimismo por medio de la divulgación, acercar la información a la comunidad, generando conciencia del geopatrimonio local.

1.3 Objetivo general

Realizar un inventario de geositios, mediante el estudio a detalle de morfologías, estructuras y afloramientos, para la generación de rutas geopatrimoniales en el Valle del Huasco.

1.4 Objetivos específicos

- Caracterizar puntos con alto potencial para las propuestas de geositios, basados en su valor científico y educativo.
- Proponer mapas geopatrimoniales, en el que se muestren los nuevos geositios y rutas patrimoniales respectivas.
- Difusión y socialización de los resultados de la investigación con la comunidad.

Capítulo 2: MARCO TEÓRICO

2.1 Geodiversidad o diversidad geológica

Se habla por primera vez de geodiversidad 1991 en la reunión internacional de geoconservación (Burek y Potter, 2002; Carcavilla *et al.* 2007). Este concepto ha ido variando en el tiempo, ya que sus interpretaciones han tenido distintos matices. En 1998 se tiene la primera referencia en español de geodiversidad, en las actas de la IV Reunión Nacional de la Comisión de Patrimonio Geológico de la Sociedad Geológica de España, que se llevó acabo en Miraflores de la Sierra en Madrid, aquí Van-Halen presenta el libro “Patrimonio Geológico de la Comunidad de Madrid” (Nieto, 2001; Carcavilla *et al.*, 2008). En esta reunión, Duran et al. (1998) define geodiversidad como diversidad geológica, pero no expone una definición más precisa.

Nieto (2001) define geodiversidad como una variedad de caracteres geológicos, que dependen de la región en que se encuentre, por tanto, cuando se define la geodiversidad de una zona, se debe considerar la escala, local, regional y global. A lo largo de los años, siguen surgiendo nuevas definiciones para geodiversidad, es así como Carcavilla et al. (2008) afirman que un geositio, es un terreno que presenta diversidad de rasgos geológicos, con rasgos geológicos finitos que resultan de procesos geológicos concretos, dichos elementos se deben estudiar de forma unitaria y en conjunto, relacionándolos entre ellos. En la actualidad el concepto de geodiversidad sigue siendo un tema de discusión en geología, basado en la jerarquización y relación con la geoconservación y patrimonio geológico (Gray y Gordon, 2020).

2.2 Patrimonio Geológico o geopatrimonio

El patrimonio geológico se define como el conjunto de recursos naturales, no renovables geológicos o elementos geológicos de valor científico, turístico, paisajístico, educativo y/o cultural, el cual incluye estructuras geológicas, formas de terreno, acumulaciones sedimentarias, minerales, rocas, meteoritos, yacimientos minerales, fósiles y suelos (Carcavilla *et al.*, 2008). El patrimonio debe permitir reconocer, interpretar y estudiar los procesos geológicos, la historia y evolución de la tierra. Las disciplinas que conforman el patrimonio geológico son geomorfología, geología ambiental,

paleontología, estratigrafía, hidrogeología, petrografía, tectónica, mineralogía, etc. (Cendrero, 1996; Gray, 2004; Brilha, 2005; Carcavilla *et al.*, 2008; Carcavilla, 2011; Carcavilla, 2014; Gray, 2018).

Todo trabajo de patrimonio geológico debe tener como base un buen conocimiento geológico del territorio, para poder identificar cuándo un lugar tiene una importancia especial y cuándo no. Los ejes fundamentales son la realización de un inventario de geosítios, desarrollo de la legislación adaptada a las necesidades de protección, programas de geoconservación y divulgación (Carcavilla, 2011).

La valoración del patrimonio geológico se realiza con criterios objetivos que permiten una estimación cualitativa y cuantitativa. Esta valoración se hace con tres aspectos: valor intrínseco, potencialidad de uso y riesgo de degradación. El patrimonio geológico está compuesto por conjuntos de geosítios, que son lugares con elementos geológicos relevantes. Para definirlo se debe realizar un inventario de geosítios, lo que lo convierte en un concepto cuantitativo (Busquets, 2000; Nieto, 2001; Carcavilla, 2014).

2.3 Geosítio o sitio de geodiversidad

Son áreas donde se presenta uno o varios elementos de geodiversidad. Los geosítios están geográficamente delimitados, se encuentra de forma continua en el espacio y presenta un valor desde el punto de vista científico, cultural, medio ambiental, social, pedagógico y/o turístico. Esta zona debe ser ejemplo de representación de procesos geológicos activos (Brilha, 2005; García Cortes y Carcavilla, 2013; Carcavilla, 2014). Los geosítios también pueden ser encontrados como “Lugares de Interés Geológico” (LIGs), geotopos o georrecursos (Carcavilla, 2014).

Localmente, la Sociedad Geológica de Chile (SGCh) define un geosítio como “un afloramiento, o varios afloramientos vecinos, que contienen un objeto geológico de valor, que vale la pena preservar. Su identificación y posterior preservación contribuirá a la difusión de los valores de la ciencia geológica en el país”. Por otro lado, SERNAGEOMIN lo define como: “un lugar determinado del territorio, donde está presente uno o más componentes de la geodiversidad, con características destacadas o singulares que le

otorgan alto valor en: el estudio y/o educación de las Ciencias de la Tierra, cultura o actividades recreativas”.

La importancia de la protección de los geositos, radica en evitar su degradación, lo que es posible por medio de los inventarios de geositos y divulgación de los mismos. Al definir un geosito se debe considerar: representatividad y/o singularidad del registro geológico, formas de relieve importante, contenido paleontológico, presencia de elementos tectónicos singulares, singularidad mineralógica, sedimentaria o petrográfica, y por último registro paleoambiental o paleogeográfico que muestre la evolución geográfica regional (Carcavilla *et al.*, 2007; 2014).

El escenario actual nacional contempla que en las 16 regiones de Chile, se presentan sitios de geodiversidad, teniendo un total 85 geositos, de los cuales 10 pertenecen a la Región de Atacama, estos son: Tonalita Orbicular de Caldera, Sismitas de la desembocadura del Río Copiapó, Plutón Cerros del Vetado, Duna del Cerro Bramador, Diques del Morro Copiapó, Caos de Puquios, Huellas de Dinosaurios de la Quebrada Descubridora, Yacimiento Paleontológico Cerro Ballena, el Zoológico de Piedra y Estratos Marinos Fosilíferos Jurásicos de Quebrada Pinte (Sociedad Geológica de Chile, 2023).

2.4 Geoconservación

Se define como el conjunto de técnicas y medidas para asegurar la conservación del geopatrimonio y de la geodiversidad, que son estrategias, programas y acciones. Basada en el conocimiento del valor de los lugares a conservar, valor intrínseco, fragilidad, procesos genéticos que intervienen en su formación, evaluación de las amenazas presentes o potenciales que produzcan degradación y su posible evolución en el futuro. Su objetivo es el estudio del patrimonio geológico para su conservación, teniendo en cuenta que al ser destruida una de estas zonas, es una pérdida irreversible (Carcavilla, 2007, 2014).

La geoconsecación también busca mantener el ritmo natural de los procesos geológicos activos y permitir su evolución. Además, se dedica al mantenimiento de los

valores culturales, paisajísticos y estéticos, que tengan relación con el geopatrimonio, y sus aplicaciones económicas, turísticas y recreativas (Carcavilla, 2014).

Debido a la falta de políticas públicas y colaboración de las instituciones que las impulsan, además del poco conocimiento de los profesionales sobre la conservación y geociencias, es que Chile se encuentra en desventaja en esta área en comparación de América Latina y Europa, considerando que Chile recién se está iniciando en la geoconservación (Benado, 2018).

2.5 Geoturismo

Pertenece a la versión específica de la rama del turismo llamada ecoturismo. En él se aprecia la geología y geomorfología de los paisajes, con su interpretación y base científica, se logra incentivar la educación geocientífica y el disfrute de todo tipo de turista (Carcavilla, 2007). Orienta actividades económicas, por lo que generalmente hay un objetivo lucrativo (Dowling y Newsome, 2006; Carcavilla, 2007).

Etimológicamente se divide en los vocablos geo y turismo. El primero proviene del término griego Gaia, que quiere decir madre Tierra, por tanto, el geoturismo debe mostrar a los turistas características particulares, destacadas y/o únicas de la tierra y de los procesos que ocurren en ella (Carcavilla *et al.*, 2011). Por otra parte, la Organización Mundial del Turismo de las Naciones Unidas define turismo como “las actividades que realizan las personas (turistas) durante sus viajes y estancias en lugares distintos al de su entorno habitual, por un periodo consecutivo inferior a un año y mayor a un día, con fines de ocio, por negocios o por otros motivos”.

El geoturismo trabaja con el potencial geológico que posee un sector, el marco socioeconómico local y las expectativas de los visitantes. Por otra parte, se considera que las ofertas de geoturismo que mayormente funcionan son aquellas donde los habitantes conocen, valoran y promueven la geología de la zona, manifestando un sentido de pertenencia y orgullo en la comunidad, por la misma razón, es de suma importancia que en primera instancia exista una estrategia de divulgación enfocada en los habitantes del sector (Carcavilla *et al.*, 2007). Cabe destacar que el trabajo no termina con la divulgación,

para que el geoturismo tenga éxito se debe realizar un marco e infraestructura adecuado que permita aprovechar el potencial del lugar y la conservación del geositio. (Carcavilla, 2011).

2.6 Geoparque o parques geológicos.

Martini y Zouros (1996) hablan por primera vez de geoparque en el 30° Congreso Geológico Internacional de Beijing, con el fin de cuidar y proteger el patrimonio geológico. Por medio de esta preocupación, es que nace el programa Geoparque UNESCO en 1997 definiendo que un Geoparque Europeo debe proteger y promover el geopatrimonio (Zouros, 2004).

En junio del 2000 se crea La Red Europea de Geoparques, incentivada por la Unión Europea, su objetivo es la protección del geopatrimonio y promover el desarrollo sostenible del territorio. En febrero del 2004, se crea la Red Mundial de Geoparques UNESCO, en París (Zouros, 2004).

Un geoparque es una zona que protege y promueve su geopatrimonio. Estos parques deben tener un patrimonio geológico, mineralógico, geofísico, paleontológico y/o geográfico, también puede incluir interés ecológico, histórico, arqueológico o cultural. Además, debe tener cierta cantidad de lugares geológicos importantes en cuanto a su interés científico, atractivo estético, rareza o valor educativo (Zouros, 2004).

2.7 Patrimonio geomorfológico

Tipo de patrimonio geológico que está constituido por las geoformas y morfogénesis del pasado y presente, es un recurso natural no renovable, que tiene un valor científico, cultural, económico, educativo y/o estético, que permite conocer, estudiar e interpretar los diferentes procesos que modelaron la Tierra y cómo se configuró (Caballero, 2003; Panizza y Piacente, 2003; Carcavilla, 2007; Pereira, 2007).

Dentro de este patrimonio, podemos encontrar elementos geomorfológicos unitarios como terrazas, crestas, escarpes, etc. Y espacios de la geografía física, tales como

relieves de origen volcánico, valles fluviales, cavidades kársticas, cañones fluviales, etc., también incluye todo a lo que el ser humano se refiere como paisaje (Caballero, 2003).

La importancia del patrimonio geomorfológico radica en que la mayor parte del tiempo es más fácil para el público en general familiarizarse con él, y se pueden comprender de manera más rápida los procesos geológicos que han ocurrido en el lugar. Por tanto, debe ser un espacio natural protegido, por su interés escénico y estético, que capta la atención del turista (Carcavilla *et al.*, 2007).

2.8 Patrimonio paleontológico

Es el conjunto de restos directos de organismos o partes de organismos y restos indirectos, resultantes de sus acciones biológicas, esto incluye impresiones y huellas de sus actividades vitales, que se han conservado en el registro fósil. Se le ha asignado un valor cultural, científico y didáctico, que permite reconstruir la evolución biológica y geológica del sector, formas de vida que habitaron en el lugar y el ambiente del pasado (Morales, 1996; Carcavilla, 2014).

Se divide en patrimonio paleontológico inmueble y mueble. El primero se refiere a los yacimientos fosilíferos y ejemplares in situ o afloramientos con interés por la conservación, abundancia, singularidad e importancia científica. En el patrimonio paleontológico mueble, los ejemplares están ex – situ, como colecciones fósiles museísticas o científicas, ejemplares concretos y exposiciones de fósiles. Estas muestras se pueden encontrar ubicadas en museos, exposiciones locales, centros de investigación o interpretación (Morales, 1996; Carcavilla, 2014).

El patrimonio paleontológico tiene un potencial geoturístico, que puede estar presente en museos, yacimientos acondicionados, itinerarios o parques temáticos, en diferentes escalas (Carcavilla *et al.*, 2011). Posee un gran interés científico debido a que permite reconstruir la historia geológica, por esta misma razón es importante su cuidado y protección. Al tener interés social, económico, comercial y cultural está expuesto a ser expoliado, incluso llegando a tener mayor vulnerabilidad que otros elementos del patrimonio geológico, además de considerar otros factores de riesgo como erosión, urbanización, vertederos, obras públicas o explotación minera (Morales, 1996; Carcavilla,

2014). El objetivo del patrimonio paleontológico es proteger y conservar, divulgando el conocimiento científico para el uso y disfrute de toda la sociedad, acercando la paleontológica al público general (Carcavilla, 2014).

En Chile para la protección, cuidado, resguardo y conservación del patrimonio cultural y natural, existe la Ley N°17.288, que considera a los fósiles y zonas donde se encuentren, bienes patrimoniales, asimismo son protegidos mediante la categoría Santuario de la Naturaleza o Monumento Histórico. El Decreto Supremo N°484 de 1990 establece el reglamento para realizar excavaciones y prospecciones arqueológicas, antropológicas y paleontológicas, mencionando que toda excavación paleontológica con fines científicos debe tener el permiso correspondiente.

2.9 Patrimonio minero

Es el conjunto de restos de material directos o indirectos, relacionados con la actividad minera e industrial del pasado, siendo la historia de los pueblos que surgieron por medio de la actividad minera, que conforma la memoria colectiva de una población, puede incluir documentos, estructuras, muebles e inmuebles, objetos, instalaciones y elementos inmateriales afines con la actividad minera del pasado. Su importancia radica en que muestra el desarrollo y evolución de la actividad minera e industrial de la zona (Benito, 1998; Cañizares, 2003; Carcavilla, 2014). Posee un vínculo con el patrimonio geológico, ya que las explotaciones mineras se desarrollan arriba de los yacimientos minerales, por tanto, hay una conexión con el patrimonio histórico, industrial y arqueológico, así como con la historia industrial, tecnológica, económica y social (Carcavilla, 2014).

Por medio de la conservación el patrimonio minero puede aportar a la economía local por medio de visitas a terreno, los beneficios económicos pueden ser directos como mano de obra, inversiones en infraestructura y el entorno, e indirectos como desarrollo local y turismo (Carcavilla, 2014; Álvarez, 2004).

Capítulo 3: METODOLOGÍA

3.1 Etapa pre terreno y catalogación

Se recopila información bibliográfica de la geología del Valle del Huasco, junto con información de geositios, geopatrimonio, geodiversidad y geoturismos. De la información reunida, se enfatiza en las investigaciones que mencionan posibles geositios en el sector de estudio. También se reúne información de investigaciones de otros sectores donde se han realizado estudios similares, se resalta trabajos que utilizan metodologías similares a las que se sustentan este trabajo como inventarios de geositios, fichas, identificación, clasificación, cuantificación, diagnóstico y divulgación.

3.1.1 Fotointerpretación

Por medio del programa Google Earth Pro se fotointerpretan fallas, pliegues, litologías, redes de drenaje, abanicos aluviales, conos coluviales, depósitos aluviales, vegetación y terrazas fluviales, que podrían ser consideradas como futuros geositios del Valle del Huasco.

3.1.2 Selección de casos de estudio

Con la información bibliográfica recaudada y la fotointerpretación de los posibles geositios, se crea una lista de potenciales geositios en el Valle del Huasco. Los geositios que se escogen para ser evaluados son de tipo geomorfológicos, estructurales, mineralógicos, hidrogeológicos, estratigráficos, paleontológico, sedimentológicos y petrográficos. Los que presentan diferentes escalas, desde pequeñas a grandes dimensiones.

3.2 Etapa de terreno

Durante noviembre y diciembre del 2022, se visita la zona del Valle del Huasco, por un periodo de 6 días, mapeando los lugares que se encuentran en el listado, caracterizándolos y clasificándolos.

En cada una de las zonas que se visitan se sacan fotografías, con los códigos VH- (Número de geositio en la lista) – (número de fotografía tomada en dicho sector). Se realizan columnas estratigráficas, sedimentarias y esquemas georreferenciados y

escalados. De ser necesario se extraen muestras, con los códigos VH – (Número de geositio en la lista) – (número de muestra del lugar). Se miden pliegues, fallas y estratificaciones por la medición círculo completo. Se describen, fotografían e identifica la tafonomía y taxonomía de los fósiles.

3.3 Etapa de valoración

Se valoran, clasifican y caracterizan los potenciales geositios con la información bibliográfica e información recaudada en terreno. Primeramente, se realiza una caracterización del sitio con una ficha, posteriormente, dependiendo del tipo de potencial geositio presente es la metodología que se usará para la evaluación. Si el sitio presente es de carácter paleontológico, estructural, sedimentario, geomorfológico, petrográfico y mineralógico, la valoración se realiza por medio de metodología cualitativa. En cambio, si el sitio es de tipo patrimonio minero, su valoración se realiza por una metodología cualitativa-cuantitativa. Finalmente, se efectúa una clasificación y diagnóstico, que determina si la zona puede considerarse como geositio.

3.3.1 Caracterización

En esta etapa por medio de una ficha se caracteriza el potencial geositio, desde información básica hasta detallada. Basándose en las observaciones en terreno y/o información bibliográfica.

Se realiza un análisis macroscópico detallado de las muestras obtenidas en terreno por medio de la lupa, reconociendo texturas, tamaño de cristal, minerales, alteraciones e identificar algunos procesos geológicos ocurridos. Las rocas ígneas son clasificadas por Streckeisen (1974), las sedimentarias por Pettijohn (1987) y Dunham (1962), según corresponde.

Con las fotografías e información recaudada en terreno de los fósiles, se identifica la relación entre ellos y se les da una edad geológica relativa. Esta misma edad geológica será de utilidad para las rocas que contienen a dichos fósiles.

A continuación, se detalla la tabla 3.1 de caracterización la cual fue modificada de Brilha (2005); Pereira (2007); Partarrieu (2013).

Tabla 3.1: Características del potencial geositio, tabla de elaboración propia y modificada de Brilha (2005); Pereira (2007); Partarrieu (2013).

Características generales	
Nombre del geositio	
Código	
Localización	
País	
Región	
Provincia	
Localidad	
Coordenadas UTM	
Dimensiones	
Vías de acceso y poblados cercanos	
Tipo de Vehículos para acceso	
Distancia hasta carretera con doble vía	
Tipo de protección	
Distancia a punto más próximo a acceso en mini bus	
Distancia a punto más próximo a acceso en auto	
Distancia a punto más próximo a acceso en vehículo 4x4	
Distancia hasta pueblo/ciudad más cercana	
Tipo de zona más cercana urbana/rural	
Características geológicas	
Interés geológico (paleontológico, estructural, sedimentario, etc)	
Ubicación y accesos	
Descripción del sector	
Fotografías	

3.3.2 Etapa de cuantificación o etapa cualitativa-cuantitativa.

Se evalúan diferentes criterios o parámetros de los potenciales geositios, los que tienen un valor, obteniendo un puntaje total para la zona. Si el sitio es de tipo paleontológico, estructural, sedimentario, geomorfológico, petrográfico y mineralógico, se realiza una cuantificación, y si es de tipo patrimonio minero, se realiza una metodología cualitativa-cuantitativa.

3.3.2.1 Etapa de cuantificación para casos de estudio de interés de tipo paleontológico, estructural, sedimentario, geomorfológico, petrográfico y mineralógico.

La cuantificación se efectúa según Brilha (2005) que considera 3 principales categorías: criterios intrínsecos al geositio, criterios relacionados con el uso del geositio y criterios relacionados con la necesidad de protección del geositio. A continuación, se definen cada uno de los criterios (tabla 3.2).

Tabla 3.2: Definición de los criterios a evaluar en los sitios de interés. Elaboración propia, basado en Brilha (2005).

Criterio principal	Criterio secundario	Definición
A. Criterios intrínsecos al geositio	A.1 Abundancia/rareza	Números de elementos similares dentro de la zona de estudio.
	A.2 Extensión	Tamaño superficial del geositio en m ² .
	A.3 Grado de conocimiento científico	Cantidad y tipo de publicaciones que se han realizado sobre el geositio, lo que refleja la importancia para la comunidad científica.
	A.4 Utilidad como modelo de los procesos geológicos	Posibilidad del geositio para representar un proceso geológico determinado.
	A.5 Diversidad de elementos de interés	Cantidad de elementos de interés: paleontológicos, mineralógicos, tectónicos, petrográficos, geomorfológicos, etc.
	A.6 Tipo de lugar	Capacidad del geositio para ser considerado como referencia o ejemplo de su categoría.
	A.7 Asociación con elementos culturales.	Presencia de elementos que son considerados patrimonio cultural, como de tipo histórico, arqueológico, artístico, etc.
	A.8 Asociación con otros elementos del medio ambiente	Presencia de flora y fauna particular de la región en estudio.

Tabla 3.2: Continuación.

	A.9 Estado de conservación	Condiciones de conservación que presenta el geositio, al momento de realizar su evaluación.
B. Criterios relacionados con el uso del geositio	B.1 Posibilidad de realizar actividades (científicas, educativas, turísticas, recreativas)	Potencial del geositio para llevar a cabo actividades científicas, pedagógicas, recreativas y turísticas
	B.2 Condiciones de observación	Los geositios con las mejores condiciones de observación son favorables.
	B.3 Accesibilidad	A mayor facilidad para ingresar al geositio, mayor valoración
	B.4 Proximidad a los pueblos	Distancia a la que se encuentran los servicios que se le pueden ofrecer a los visitantes del geositio.
	B.5 Número de habitantes	Cantidad de habitantes en un radio de 25Km. Con este criterio se evalúa la existencia de un potencial público para el geositio.
	B.6 Condiciones socioeconómicas	Se evalúa el ingreso per cápita, educación y desempleo en la zona de estudio. En caso de tener dificultad para obtener esta información se debe utilizar las estadísticas relativas del municipio.
C. Criterios relacionados con la necesidad de protección del geositio	C.1 Amenazas actuales o potenciales	Los geositios que se encuentran lejos de zonas urbanas o industriales, tendrán mayor valoración.
	C.2 Situación actual	Tienen mayor valoración los geositios que no tienen ningún tipo de protección legal.
	C.3 Interés en la minería	Tienen mayor valoración los geositios sin ningún interés minero, debido a que este interés dificulta la conservación.
	C.4 Régimen de propiedad	Tienen mayor valoración los geositios que se encuentran en zonas públicas, ya que facilita su clasificación y conservación.
	C.5 Fragilidad	Se favorecen los geositios que tienen más posibilidades de resistir a la intervención humana.

Se realiza una cuantificación (tabla 3.3; tabla 3.4; tabla 3.5) de los diferentes lugares que se visitan, evaluando criterios intrínsecos al geositio (tabla 3.3), criterios relacionados con el uso del geositio (tabla 3.4) y criterios relacionados con la necesidad de protección del geositio (tabla 3.5), de esta forma se asignan puntajes, que en las etapas posteriores serán decisivos para indicar si la zona reúne características para un geositio (basadas en Brilha, 2005). Dichas tablas se utilizan para todos los geositios, exceptuando los sitios de valor patrimonial minero.

Tabla 3.3: Criterios intrínsecos al geositios para la cuantificación de los casos de estudio, modificada de Brilha (2005).

Nombre del geosito	
Código	
A. Criterios intrínsecos al geosito	
A.1 Abundancia/Rareza	Valor
Solo hay un ejemplo en el área	5
Hay 2-4 ejemplos	4
Hay 5-10 ejemplos	3
Hay 11-20 ejemplos	2
Hay más de 20 ejemplos	1
A.2 Extensión (m²)	Valor
Más de 1.000.000	5
100.000 – 1.000.000	4
10.000 – 100.000	3
1.000 – 10.000	2
Menos de 1.000	1
A.3 Grado de conocimiento científico	Valor
Más de una tesis de doctorado o maestría y más de un artículo en una revista internacional.	5
Por lo menos una tesis de doctorado o maestría o más de un artículo publicado en una revista internacional o más de cinco artículos publicados en revistas nacionales.	4
Por lo menos un artículo publicado en una revista internacional o cuatro artículos publicados en revistas nacionales.	3
Algunas notas breves publicadas en revistas nacionales o artículos publicados en revistas regionales/locales o una publicación de pregrado.	2
No hay publicaciones.	1
A.4 Utilidad como modelo de los procesos geológicos	Valor
Muy útil	5
Moderadamente útil	3
Inútil	1
A.5 Diversidad de elementos de interés (mineralógicos, paleontológicos, petrológicos, estratigráficos, tectónicos)	Valor
Cinco o más tipos de interés	5
Cuatro tipos de interés	4
Tres tipos de interés	3
Dos tipos de interés	2
Un tipo de interés	1
A. Criterios intrínsecos al geosito	
A.6 Tipo de lugar	Valor
Es reconocido como un sitio modelo en el área bajo estudio	5
Se reconoce como un sitio estándar "secundario"	3
No se reconoce como una ubicación estándar	1
A.7 Asociación con elementos culturales (arqueológicos, históricos, artísticos)	Valor
Hay evidencia de interés arqueológico y de otro tipo	5
Existe evidencias arqueológicas o de algún tipo	4
Existen vestigios arqueológicos	3
Hay elementos de interés no arqueológico	2
No hay otros elementos de interés	1

Tabla 3.3: Continuación

A.8 Asociación con otros elementos del medio ambiente	Valor
Flora y fauna destacadas por su abundancia, grado de desarrollo o se presentan especies de gran interés.	5
Presencia de fauna o flora de interés moderado	3
Ausencia de otros elementos naturales de interés	1
A.9 Estado de conservación	Valor
Perfectamente preservado, sin evidencia de deterioro	5
Poco deteriorado	4
Hay excavaciones, acumulaciones o construcciones que no impiden la observación de sus características esenciales	3
Existen numerosas excavaciones, acumulaciones o construcciones en donde se encuentran las características de interés del geositio	2
Muy deteriorado	1

Tabla 3.4: Criterios relacionados con el uso del geositio, para la cuantificación de los casos de estudio, modificada de Brilha (2005).

Nombre del geositio	
Código	
B. Criterios relacionados con el uso del geositio	
B.1 Posibilidad de realizar actividades (científicas, educativas, turísticas, recreativas)	Valor
Es Posible realizar actividades científicas y educativas	5
Es posible realizar actividades científicas o educativas	3
Son posibles otros tipos de actividades	1
B.2 Condiciones de observación	Valor
Óptimas	5
Razonables	3
Difíciles	1
B.3 Accesibilidad	Valor
Acceso directo desde las carreteras nacionales	5
Acceso desde las carreteras secundarias	4
Acceso desde carreteras no pavimentadas, pero fácilmente transitables por vehículos de motor	3
El geositio está situado a menos de 1 Km de alguna carretera utilizable por vehículos de motor	2
El geositio está situado a más de 1 Km de alguna carretera utilizable por los vehículos de motor	1
B.4 Proximidad a los pueblos	Valor
Hay un pueblo con más de 10.000 habitantes y una variedad de ofertas hoteleras a menos de 5 Km.	5
Hay un pueblo de menos de 10.000 habitantes, con una oferta hotelera limitada, a menos de 5 Km.	4
Hay un pueblo con una oferta hotelera a 5 a 20 Km de distancia	3
Hay un pueblo con una oferta hotelera a 20 a 40 Km de distancia	2
Sólo hay una ciudad con una oferta hotelera a más de 40 Km de distancia	1
B.5 Número de habitantes	Valor
Hay más de 100.000 habitantes en un radio de 25 Km	5
Hay entre 50.000 y 100.000 habitantes en un radio de 25 Km	4
Hay entre 25.000 y 50.000 habitantes en un radio de 25 Km	3
Hay entre 10.000 y 25.000 habitantes en un radio de 25 Km	2
Hay menos de 10.000 habitantes en un radio de 25 Km	1
B.6 Condiciones socioeconómicas	Valor
El PIB y los niveles de educación en la zona, son superiores al promedio nacional.	5
El PIB y los niveles de educación en la zona son equivalentes al promedio nacional.	3
El PIB y los niveles de educación en la zona son peores que el promedio nacional.	1

Tabla 3.5: Criterios relacionados con la necesidad de protección del geositio, para la cuantificación de los casos de estudio, modificada de Brilha (2005).

Nombre del geositio	
Código	
C. Criterios relacionados con la necesidad de protección del geositio	
C.1 Amenazas actuales o potenciales	Valor
Zona rural, no sujeta al desarrollo urbano o industrial o a la construcción de infraestructuras	5
Una zona intermedia, sin planes específicos de desarrollo concreto, pero con posibilidades en el futuro cercano	3
Área incluida en zonas de fuerte expansión urbana o industrial o en lugares donde se planea la construcción de infraestructuras	1
C.2 Situación actual	Valor
Geositio sin ningún tipo de protección legal	5
Geositio incluido en una zona con protección legal (red natural, protección municipal, etc.)	3
Geositio incluido en un área protegida integrada en el sistema nacional de áreas protegidas (SNAP)	1
C.3 Interés en la minería	Valor
El geositio está situado en una zona sin ningún tipo de interés minero	5
El geositio está situado en una zona con minerales de interés	4
El geositio está situado en una zona con importantes reservas de materiales de bajo valor unitario, aunque no se pretende explotarlo de ninguna manera	3
El geositio está situado en una zona con importantes reservas de materiales de bajo valor unitario donde se permite su explotación	2
El geositio está situado en una zona de gran interés minero con un alto valor unitario y con concesiones activas	1
C.4 Régimen de propiedad	Valor
Tierras de propiedad del estado	5
Tierras de propiedad municipal	4
Tierras parcialmente públicas y privadas	3
Tierras privadas, con un solo propietario	2
Tierras privadas, con más de un propietario	1
C.5 Fragilidad	Valor
Aspectos geomorfológicos que, por su gran tamaño, relieve, etc., apenas se ven afectados por las actividades humanas	5
Grandes estructuras geológicas o secuencias estratigráficas de dimensiones kilométricas que pueden ser degradadas por intervenciones humanas, pero es poco probable que sea destruida	4
Su tamaño es hectométrico que pueden ser destruidos en gran parte por intervenciones no muy intensivas	3
Estructuras, formaciones sedimentarias o rocosas de un tamaño que puede ser fácilmente destruido por intervenciones humanas menores	2
Estructura de dimensiones métricas, que pueden ser destruidos por pequeñas intervenciones o depósitos minerales o paleontológicos. Fácil depreciación	1

3.3.2.2 Etapa cualitativa-cuantitativa y de valoración para los casos de estudio de tipo patrimonio minero.

Se utiliza la metodología propuesta por Bunster (2017); debido a que la metodología utilizada anteriormente no es la más adecuada para los sitios de valor patrimonial minero. Esta metodología es de tipo cualitativa-cuantitativa. Se consideran 4 parámetros principales para evaluar en los diferentes sitios de valor patrimonial que se

visitan: criterio intrínseco (tabla 3.6), potencial uso (tabla 3.7), necesidad de protección (tabla 3.8), importancia-contexto (tabla 3.9). Cada uno de dichos parámetros se divide en sub-parámetros, con lo que se realiza una cuantificación.

En el presente estudio, es relevante señalar que se ha efectuado una modificación en el sub-parámetro denominado "riesgos geológicos". La variación realizada implica que a medida que el riesgo geológico aumenta, se asigna una valoración mayor, en contraposición con la evaluación previa donde se otorga una valoración más elevada a menor riesgo geológico. Además, considerando el contexto minero característico de la región de Atacama, se ha incorporado el sub-parámetro "interés en la minería", el cual se fundamenta y adapta a partir de Brilha (2005).

Tabla 3.6: Descripción de criterios intrínsecos (P1) para casos de estudio de tipo patrimonio minero.

Parámetro	Sub-Parámetro	Descripción
Criterios intrínsecos (P1)	Rareza	Tendrán mayor valor los sitios más atípicos en la región. Su valoración depende de la cantidad de sitios similares dentro de la región del área de estudio.
	Representatividad	Considera las características representativas del sitio en cuanto a la actividad minera y lo que la rodea, además del contexto social e histórico. Entre más características originales se conserven, mayor valoración.
	Extensión superficial	Cantidad de superficie en hectáreas que ocupe el sitio. A mayor extensión, mayor importancia.
	Estado de conservación	Conservación que presenta el sitio. La evaluación depende del deterioro o preservación que presenta el sitio cuando se le evalúa.
	Calidad visual	Se tendrá una alta calidad visual cuando uno o más características visuales contribuyan a un valor del paisaje, resaltando sobre otros paisajes.
	Estabilidad	Características que permiten un equilibrio estable o que permitan que el sitio vuelva a su estado de equilibrio al sufrir una perturbación. En las faenas mineras, tendrán mayor valoración las que presenten mayor estabilidad estructural.

Tabla 3.7: Descripción del parámetro potencial uso (P2) para casos de estudio de tipo patrimonio minero.

Parámetro	Sub-Parámetro	Descripción
Potencial uso (P2)	Accesibilidad	Entre más fácil sea el acceso al sitio de interés patrimonial, mayor valoración.
	Disponibilidad	Disposición del sitio a ser utilizado. Se evalúa según los permisos que se le puedan conceder para hacer uso del sitio.
	Utilidad didáctica	Capacidad que tienen los sitios o los elementos de participar en la enseñanza de los procesos y/o actividades mineras o la cultura de la zona de estudio.
	Proximidad a centro poblado	Que tan cercano al sitio se encuentra un poblado que pueda proporcionar servicios de alojamiento y alimentación a los visitantes.
	Uso actual	Los sitios que tenga alguna protección legal, tendrán mayor valoración.
	Potencial de realizar actividades	Capacidad del sitio o elementos para realizar actividades turísticas, pedagógicas, recreativas, científicas y/o de carácter minero.

Tabla 3.8: Descripción del parámetro de necesidad de protección (P3) para casos de estudio de tipo patrimonio minero.

Parámetro	Sub-Parámetro	Descripción
Necesidad de protección (P3)	Vulnerabilidad	Evalúa el daño que pueden sufrir los sitios o elementos debido a agentes externos asociados a la urbanización, industria y expansión poblacional. Entre mayor sea la vulnerabilidad del sitio a agentes externos, mayor valoración.
	Grado de protección legal	Tendrán una mayor valorización los sitios que no tengan ningún tipo de protección legal.
	Interés industrial	Tendrán una mayor valoración los sitios que se encuentren bajo amenaza debido a proyectos industriales, extractivos o energéticos.
	Régimen de propiedad	Tendrán mayor valoración los sitios que se encuentren en áreas públicas, así será más fácil su clasificación y conservación.
	Peligro geológico	Probabilidad que posee el sitio a sufrir algún riesgo geológico, como deslizamientos, aluviones, inundaciones, volcanismos, remociones en masa, etc. A mayor riesgo geológico, mayor valoración.
	Interés en la minería	Tienen mayor valoración los geositos sin ningún interés minero, debido a que este interés dificulta la conservación.

Tabla 3.9: Descripción del parámetro importancia-contexto (P4) para casos de estudio de tipo patrimonio minero.

Parámetro	Sub-Parámetro	Descripción
Importancia-Contexto (P4)	Desarrollo económico	Tendrán mayor valoración los sitios que han aportado en la producción, distribución y consumo a nivel local y/o nacional, a lo largo de la historia.
	Desarrollo social	Se privilegiará todos aquellos sitios que permitieron el desarrollo del capital humano y capital social dentro de la zona. Involucra un avance o cambio positivo en las relaciones de individuos, grupos e instituciones en una sociedad. En el caso de las faenas mineras, la utilización de elementos de seguridad es producto de un desarrollo social, en cuanto a los derechos de los trabajadores y su desarrollo humano.
	Avance tecnológico	Se refiere a los inventos que para la época permitieron un desarrollo evolutivo, mejorando los procesos y/o calidad de vida. En las faenas mineras un ejemplo sería la incorporación de equipos que tienen nuevas tecnologías o la utilización de nuevos procesos productivos.
	Importancia histórica	Sitio o elementos que en el pasado eran de gran importancia, por lo que en la actualidad son estudiados y/o admirados.
	Desarrollo cultural	Tendrán mayor valoración los sitios que han tenido relación con el desarrollo de las religiones, organizaciones sociales, costumbres, herramientas, valores, lenguaje, artefactos, etc.
	Conflicto ambiental	Tendrán mayor valoración los sitios que no tengan conflictos ambientales actuales, ya sea con las comunidades o de tipo legal.

Los sub-parámetros tienen una valoración de 0 a 3. En algunos sub-parámetros no existe la valoración 0, debido a que no es posible que el sub-parámetro que se evalúa no esté presente. Por ejemplo, en el sub-parámetro de extensión superficial, no se podrá tener una valoración de 0, ya que es imposible que el sitio no tenga una extensión. Por otra parte, cabe mencionar que al no tener la información requerida de un sub-parámetro, la valoración es 0.

Bunter (2007), menciona “existirán sub-parámetros críticos”. Estos son los que harán casi imposible o dificultarán cualquier tipo de proyecto enfocado en el uso de sitios de valor patrimonial minero y por lo tanto su gestión en un futuro. Estos son: accesibilidad, disponibilidad, estabilidad y estado de conservación. Por ejemplo, si un sitio o elemento no tiene caminos habilitados será imposible acceder, y el proyecto será inviable. Asimismo, si no hay disponibilidad mediante permisos. La estabilidad también es un parámetro crítico en el caso de las minas, debido a que, si no cumple con condiciones

estructurales adecuadas y estabilidad de las labores se corre el riesgo de peligros de diversa índole. Finalmente, el estado de conservación también puede ser un parámetro crítico, en la medida que exista un grave deterioro el que atente con la comprensión del sitio o elemento”

A continuación, se presentan 4 tablas (tabla 3.10, tabla 3.11, tabla 3.12, tabla 3.13), las que se utilizan en la valoración, se dividen según cada parámetro: criterio intrínseco (tabla 3.10), potencial uso (tabla 3.11), necesidad de protección (tabla 3.12) e importancia-contexto (tabla 3.13). Extraídas de Bunter (2007).

Tabla 3.10: Valoración para parámetro criterio intrínseco. Modificado de Bunter (2007).

Criterio intrínseco	Criterio	Valor
Rareza	Más de 10 ejemplos en la región	0
	Entre 5 a 10 ejemplos en la región	1
	Entre 1 a 4 ejemplos en la región	2
	Un ejemplo en la comuna	3
Representatividad	Nulo	0
	Bajo	1
	Medio	2
	Alto	3
Extensión superficial	Menor a 1 hectárea	1
	Entre 1 a 5 hectáreas	2
	Mayor a 5 hectáreas	3
Estado de conservación	Grave deterioro	0
	Dañado pero conservado	1
	Leve deterioro (superficial)	2
	Bien conservado	3
Calidad visual	Imperceptible	1
	Media	2
	Alta	3
Estabilidad	Baja	1
	Media	2
	Alta	3

Tabla 3.11: Valoración para parámetro potencial de uso. Extraída de Bunter (2017).

Potencial uso	Criterio	Valor
Accesibilidad	Sin Camino	0
	Intransitable	1
	Regular	2
	Excelente	3
Disponibilidad	No asequible, por ningún medio	0
	Permiso particular	1
	Permiso nacional	2
	Permiso municipal	3
Utilidad didáctica	Baja	1
	Media	2
	Alta	3
Proximidad a centro poblado	Existe población con servicio > 20 Km	0
	Población lejana (5 – 20 Km)	1
	Población cercana (<5 Km)	2
	Inserto en un centro poblado	3
Uso actual	Nula divulgación y uso	1
	Sin divulgación, pero es usado (interés cultural, histórico, paisajístico).	2
	Promovido y usado por su interés cultural, histórico, paisajístico	3
Potencialidad de realizar actividades	Bajo	1
	Medio	2
	Alto	3

Tabla 3.12: Valoración del parámetro necesidad de protección. Modificada de Bunter (2017).

Necesidad de protección	Criterio	Valor
Vulnerabilidad	Baja actividad de población urbana	1
	Mediana debido a la actividad urbana e industrial	2
	Alta actividad poblacional, urbanística e industrial	3
Grado de protección legal	Incluido dentro de un área protegida a nivel nacional	1
	Incluido dentro de un área protegida a nivel local	2
	Ningún tipo de protección	3
Interés industrial	Nulo	0
	Bajo	1
	Medio	2
	Alto	3
Régimen de propiedad	Privado, uno o más propietarios	1
	Parcialmente público y privado	2
	Público	3
Peligro geológico	Bajo	1
	Medio	2
	Alto	3
Interés en la minería	Se encuentra situado en una zona sin ningún interés minero	0
	Está situado en una zona con minerales de interés	1
	Ubicado en una zona con reservas de materiales de bajo valor unitario	2
	Está situado en una zona de gran interés minero con un alto valor unitario y concesiones activas	3

Tabla 3.13: Valoración del parámetro importancia-contexto. Extraída de Bunter (2017).

Importancia-contexto	Criterio	Valor
Desarrollo económico	Ninguno	0
	A nivel local	1
	A nivel nacional	2
	A nivel local y nacional	3
Desarrollo social	Ninguno o bajo	1
	A nivel local	2
	A nivel nacional	3
Avances tecnológicos	Nulo	0
	Bajo	1
	Medio	2
	Alto	3
Desarrollo cultural	Bajo	1
	Medio	2
	Alto	3
Importancia histórica	Nula	0
	Leve	1
	Media	2
	Alta	3
Conflicto ambiental	Conflicto ambiental vigente	1
	Existencia de algún conflicto ambiental en el pasado, o presencia de elementos peligrosos para la vida humana, flora y/o fauna	2
	Ningún tipo de conflicto ambiental	3

Para el caso de la metodología de Bunter (2017), se ha modificado el sub-parámetro peligro geológico, porque se considera que la metodología esta errada en este punto, debido a que una zona que tiene un bajo peligro geológico no tiene una alta necesidad de protección.

3.3.3 Etapa de clasificación y diagnóstico

3.3.3.1 Clasificación y diagnóstico para los casos de estudio de interés de tipo paleontológico, estructural, sedimentario, geomorfológico, petrográfico y mineralógico

Se realiza un análisis de la información obtenida en las etapas anteriores, determinando si la zona clasifica como un geositio, el análisis se basa en Brilha (2005).

El primer análisis que se realiza consiste en determinar si el geositio clasifica como de tipo nacional o internacional (tabla 3.14). Para que esto suceda, los geositios deben tener los siguientes valores:

Tabla 3.14: Valores de los criterios de cuantificación, para considerar a un geositio de carácter nacionales o internacionales. Tabla extraída de Brilha (2005).

$A1 \geq 3$ $A3 \geq 4$ $A6 \geq 3$ $A9 \geq 3$	$B1 \geq 3$ $B2 \geq 3$
--	----------------------------

En caso de que el geositio no presente estos valores, será considerado como un geositio de alcance regional.

Posteriormente, se realiza un diagnóstico en el que se asigna una puntuación a los geositios, entre mayor sea el valor de la cuantificación final, mayor importancia tendrá el geositio. Este diagnóstico se realiza por medio de las fórmulas extraídas de Brilha (2005). Una de ellas se utiliza para los geositios de tipos nacionales o internacionales y la otra para los geositios de tipos locales o regionales:

- Geositios nacionales o internacionales

$$Q = \frac{2A+B+1.5C}{3} \quad (\text{Ecuación 3.1})$$

- Geositios locales o regionales

$$Q = \frac{A+B+C}{3} \quad (\text{Ecuación 3.2})$$

Dónde: A, B y C son la suma de los parámetros anteriormente descritos. Q corresponde a la cuantificación final, entre mayor sea su valor, mayor será la importancia del geositio.

Se determinan los casos de estudios que se consideran como geositios, con los valores obtenidos de la sumatoria A, sumatoria B, sumatoria C y el valor de Q, los sitios con el menor valor para cada uno de los parámetros mencionados se descartan como geositios.

3.3.3.2 Clasificación y diagnóstico para los casos de estudio de tipo patrimonio minero

Se sigue con la metodología de Bunter (2017). Para obtener el puntaje de los parámetros (P1, P2, P3, P4), se realiza la sumatoria de cada sub-parámetro (Sp) según corresponde, llamándose esta fórmula Qtp:

$$Qtp = \sum Sp \quad (\text{Ecuación 3.3})$$

$$Qt(P1, P2, P3, P4) = \sum_{i=1}^6 Spi \quad (\text{Ecuación 3.4})$$

Para la cuantificación de cada parámetro, se tendrán las variables X, Y, Z, W, representando a los parámetros P1, P2, P3, P4, respectivamente. Donde n es el número de sub-parámetros con información.

$$X, Y, Z, W = \frac{Qtp}{3*n} \quad (\text{Ecuación 3.5})$$

$$X = \frac{Qt1}{3*n} \quad (\text{Ecuación 3.6})$$

$$Y = \frac{Qt2}{3*n} \quad (\text{Ecuación 3.7})$$

$$Z = \frac{Qt3}{3*n} \quad (\text{Ecuación 3.8})$$

$$W = \frac{Qt4}{3*n} \quad (\text{Ecuación 3.9})$$

Si algún sitio se encuentra sin información en uno o más de los sub-parámetros, hay que considerar que por cada parámetro (Pi), se debe tener como mínimo 3 sub-parámetros con información, para aplicar esta metodología.

Por medio de rangos, se analizan los resultados obtenidos en la cuantificación de parámetros, con valores insuficientes, aceptables y destacados (tabla 3.15). Se utiliza los resultados de X, Y, Z, W. A continuación, se presenta la tabla para el análisis de datos, extraída de Bunter (2017).

Tabla 3.15: Rango de análisis para los resultados de cuantificación de sitios. Extraído de Bunter (2017).

Rango	Rótulo	Descripción
<0.45	Insuficiente	Todos los valores bajos el 40% son insuficientes para que se asuma un sitio con algún valor patrimonial minero. Se recomienda mejorar la información, si es el caso.
0.45 – 0.7	Aceptable	Se considera que el sitio evaluado tiene valor patrimonial minero.
>0.7	Destacado	Estos valores serán destacados ya que en algún parámetro este valor muestra que posee una fortaleza que debe ser valorada.

Se debe considerar que, si el parámetro intrínseco es alto, representa una fortaleza. Si el parámetro potencial de uso es alto, indica que el sitio cumple con las características necesarias para ser utilizado. Por otra parte, en caso de que el parámetro necesidad de protección es alto, representa una debilidad, ya que es necesario un trabajo en la protección del sitio. Finalmente, el parámetro importancia-contexto representa variables externas al sitio, que hacen que este cobre valor (Bunter, 2017).

3.4 Elaboración de mapas geopatrimoniales

Se digitalizan las columnas estratigráficas, sedimentarias y esquemas realizados en terreno por medio del programa Adobe Illustrator, identificando los procesos geológicos ocurridos.

Con la información adquirida se generan tres mapas geopatrimoniales con rutas patrimoniales para geositios del Valle del Huasco. Se extrae la imagen desde el programa SAS Planet, que es importada al programa Arcgis 10.3, realizando el mapa geopatrimonial, con sus respectivas rutas geopatrimoniales, que reúnen geositios de las mismas o similares área geológicas.

Capítulo 4: MARCO GEOLÓGICO

4.1 Geomorfología Principal

La geomorfología de las latitudes 27° y 33° S, no presenta llanura intermedia, esto se debe a que hay una subducción plana (*flat slab*), por lo que las unidades fisiográficas son: Planicie Litoral, Cordillera de la Costa, Precordillera y Cordillera Occidental (Salazar, 2012). Esta subducción plana también produce la ausencia de valles fluviales transversales y vulcanismo activo (Urresty, 2009). Para la zona de estudio, sólo se abarcarán las unidades geomorfológicas Cordillera de la Costa, Precordillera y una unidad geomorfológica llamada Depresión de Domeyko.

La Cordillera de la Costa se encuentra conformada por cadenas montañosas con una dirección aproximada norte sur (Garrido, 2009). Entre las latitudes 27 a 29° S presenta una altitud de baja a moderada, que varía de los 500 m s.n.m a los 1.700 m s.n.m, teniendo la máxima altura en la zona norte, la que disminuye hacia el sur. La dirección de las quebradas principales es norte-sur, esto se debe a que es controlada estructuralmente por el Sistema de Falla de Atacama (Charrier *et al.*, 2007).

Al sur del río Huasco se encuentra una unidad geomorfológica particular del sector, llamada Depresión de Domeyko. Se localiza entre las latitudes 28°47' S a 29°9' S, limitada en el este por la Cordillera de los Andes y en el oeste por la Cordillera de la Costa (Garrido, 2009). Presenta una disminución de la altura en comparación de las demás unidades geomorfológicas que la rodean, variando entre 900 - 1300 m s.n.m. Su superficie está inclinada hacia el oeste y su relieve es bajo (Garrido, 2009; Urresty, 2009).

En el Valle del Huasco transcurre el río Huasco, compuesto de dos principales afluentes, el río del Tránsito, que se origina en el Valle del Tránsito y el río del Carmen, ubicado en el Valle del Carmen. El río Huasco posee una cuenca de 9.850 km² de área y está siendo intervenido por el Embalse Santa Juana. Atraviesa la ciudad de Vallenar y desemboca en la ciudad de Huasco (Arévalo *et al.*, 2009). Cabe mencionar que la provincia de Huasco se caracteriza por presentar un relieve maduro y un pedimento bien preservado (Aguilar *et al.*, 2013; Guaita, 2015).

4.2 Geología Local

En la zona de estudio se hallan rocas, formaciones y estructuras que datan del Carbonífero hasta la actualidad, que se encuentran en las cartas geológicas Geología del Área Freirina - El Morado (Welkner *et al.*, 2006), Geología del Área Carrizal Bajo - Chacritas (Arévalo & Welkner, 2008), Geología del Área Vallenar – Domeyko (Arévalo *et al.*, 2009) y Geología de la Hoja el Tránsito (Moscoso *et al.*, 2010), con lo que se caracteriza las formaciones y unidades según su edad, litología y relación de contacto, tal como se expone a continuación.

4.2.1 Unidades Estratificadas

- **Formación San Félix (Triásico medio bajo)**

Definición y relación de contacto

Secuencia transgresiva-regresiva, con un espesor de más de 4.000 m, compuesta de sedimentos clásticos de grano grueso a fino. Esta formación aflora en la alta cordillera en la cuenca El Tránsito (28°30' a 29°S). Tiene un contacto concordante con los Estratos del Verraco (Reutter, 1974, Ribba, 1985, Charrier *et al.*, 2007).

Edad y litología

La base corresponde a una sucesión de conglomerados con clastos tamaño guijarro y areniscas, con intercalaciones de calizas que contienen crinoideos, luego se presentan una secuencia turbidítica de 3.000 m de espesor, y el techo se compone de areniscas estratificadas y conglomerados con intercalaciones pelíticas. Según los fósiles marinos que presenta, se asocia una edad Anisiana temprana a media (Reutter, 1974, Ribba, 1985, Charrier *et al.*, 2007).

- **Formación La Ternera (Triásico superior - Jurásico inferior)**

Definición y relación de contacto

Sucesión de lutitas, areniscas y conglomerados, con intercalación de carbón y niveles de plantas fosilizadas, cubierta por calizas, de un espesor mayor a 1.800 m. Compuesta por dos miembros, el Miembro inferior de tipo sedimentario clásticos, con intercalaciones lenticulares volcánicas, troncos y flora fósil de edad triásica. Y el Miembro superior de tipo volcánico. Se encuentra cubierto por la Formación Lautaro, con un

contacto concordante en algunos sectores, y en otros en contacto por discordancia angular (Brüggen, 1950; Jensen, 1979; Charrier *et al.*, 2007; Moscoso, 2010).

Edad y litología

La litología para el Miembro inferior consiste en areniscas arcosas, con tamaño de grano grueso y de color pardo rojizo, areniscas cuarcíferas que contienen restos de troncos fósiles, conglomerados de color blanco y pardo rojizo, con clastos de composición granítica y riolítica (Charrier *et al.*, 2007; Moscoso *et al.*, 2010). La litología del Miembro superior consiste en lavas andesíticas, con fenocristales de plagioclasas, alterados a epidota; las lavas presentan una textura traquítica y amigdaloidal (Charrier *et al.*, 2007; Moscoso *et al.*, 2010). Según los fósiles vegetales que se hallan en esta formación, se asocia una edad del Triásico superior al Jurásico inferior (Brüggen, 1950; Moscoso *et al.*, 2010).

- **Estratos del Verraco (Triásico superior - Jurásico inferior)**

Definición y relación de contacto.

Sucesión volcánica, compuesta por lavas andesitas y basálticas, intercaladas con brechas, conglomerados, areniscas y calizas marinas con presencia de fósiles. Con un contacto concordante en el techo con la Formación San Félix (Reutter, 1974; Moscoso *et al.*, 2010).

Edad y litología.

Compuesta por rocas volcánicas como lavas, brechas, y tobas andesíticas; intercaladas con conglomerados, areniscas de grano medio, calizas con fósiles marinos como ammonoideos. Se le asigna una edad Triásico superior a Jurásico inferior, esto debido a su fauna fósil, designada por la presencia de restos del fósil *Ammonoidea* Ident., que indica una edad triásica superior (Reutter, 1974; Ribba, 1985; Moscoso *et al.*, 2010).

- **Formación Lautaro (Jurásico inferior bajo - medio bajo)**

Definición y relación de contacto.

Secuencia marina calcárea bien estratificada, compuestas por areniscas, calizas, margas, areniscas calcáreas, calcilitas, calcoarenitas y conglomerados, destacada por su alto contenido de restos fósiles. Conformado tres miembros; Miembro Manflas, Miembro Quebrada de la Iglesia y Miembro Amolanas. La potencia que posee es de 1.700 m y aflora en la precordillera de Vallenar. En su base se encuentra en un contacto por discordancia angular con la Formación La Ternera, y en su techo un contacto paraconcordante con la Formación Lagunillas y en discordancia con la Formación Algarrobal (Segerstrom 1959; Von Hillebrandt, 1973; Reutter, 1984 y Moscoso *et al.*, 2010).

Edad y litología.

Compuesta por calizas, areniscas calcáreas, lutitas, calcarenitas, margas, coquinas, areniscas líticas y conglomerados, con restos fósiles de bivalvos y ammonoideos. Se asocia una edad del Sinemuriano al Bajociano. La edad Sinemuriana se interpreta por la presencia del fósil *Perisphinctidae* Ident. (Segerstrom 1959; Von Hillebrandt, 1973; Reutter, 1984 y Moscoso *et al.*, 2010).

- **Formación Picudo (Jurásico superior)**

Definición y relación de contacto.

Sucesión volcano-sedimentaria, compuesta de una sección basal sedimentaria de 1.500 m de espesor y una sección superior volcánica. La potencia de la formación varía de los 250 - 2.600 m. Sobreyace a la Formación Lautaro por discordancia angular (Reutter, 1974; Moscoso 2010 *et al.*; Salazar, 2012).

Edad y litología.

La sección sedimentaria se compone de paraconglomerados y ortoconglomerados, con matriz de volcarenitas feldespática. La sección volcánica está compuesta por andesitas amigdaloidales de clinopiroxeno, litocristalinas de composición dacíticas, tobas de lapilli, tobas líticas y andesitas basálticas de olivino. Debido a su correlación estratificada con la

Formación Lautaro y Formación Algarrobal, se le asigna una edad del Jurásico superior (Reutter, 1974; Nasi *et al.*, 1990; Moscoso *et al.*, 2010).

- **Formación Punta del Cobre (Jurásico superior - Valanginiano)**

Definición y relación de contacto.

Secuencia volcánica y sedimentaria muy heterogénea, de estratificación gruesa. Está en un contacto concordante, tanto en el techo con la Formación Nantoco, como en la base con la Formación La Negra (Welkner *et al.*, 2006; Arévalo & Welkner, 2008; Moscoso *et al.*, 2010).

Litología.

Compuesta por tobas, lavas, conglomerados, brechas, calizas, areniscas, volcarenitas verdes, brechas verdes, coladas andesíticas y tranquiandesítica. Esta formación se separa en tres miembros. La sección inferior, es volcánica andesítica y volcanoclástica con calizas subordinadas, con un espesor aproximado de 2.500 m. La sección intermedia, es volcánica ácida y clástica, con un espesor aproximado de 400 m. Y la sección superior, es de tipo volcánica, que incluye calizas intercaladas (Welkner *et al.*, 2006; Arévalo & Welkner, 2008; Moscoso *et al.*, 2010).

- **Formación Totalillo (Barremiano)**

Definición y relación de contacto

Definida por primera vez en el valle del río Copiapó, como una serie homogénea de margas de color amarillo a rosado pálido, con altas cantidades de ammonites de una edad Barremiana inferior. En el área del Valle del Huasco, las rocas asociadas a esta formación poseen un mayor contenido lítico, con un espesor que varía de 100 - 300 m. La Formación Totalillo sobreyace al del Miembro superior de la Formación Nantoco y a la sección superior de la Formación Punta del Cobre (Arévalo *et al.*, 2009; Moscoso *et al.*, 2010).

Edad y litología

Se compone de calcarenitas y calcilitas limosas bioclásticas, ricas en líticos volcánicos, con estratos delgados a gruesos, y se intercalan con rocas volcánico-detriticas.

Según los fósiles de ammonites *Shasticrioceras* y *Emericiceras*, se asocia a una edad del Barremiano (Arévalo *et al.*, 2009; Moscoso *et al.*, 2010).

- **Formación Pabellón (Barremiano superior – Aptiano)**

Definición y relación de contacto

Unidad definida en el Valle del río Copiapó, como una serie de rocas sedimentarias marinas carbonatadas y detríticas, levemente deformada, presenta capas de chert e intercalaciones de sedimentos clásticos. En la zona del Valle del Huasco la Formación Pabellón alcanza un espesor de 500 m y se compone de calcilitas limoarenosas, calcarenitas, arcosas y abundantes intercalaciones volcanodetríticas. La Formación Pabellón sobreyace a la Formación Totalillo, y subyace en un contacto concordante y por falla normal a la Formación Cerrillos (Arévalo *et al.*, 2009; Moscoso *et al.*, 2010).

Edad y litología

La zona inferior de la Formación Pabellón se conforma por calcilitas con estratificaciones media, ocasionalmente se intercala con calcarenitas bioclásticas ricas en líticos. La zona media se constituye de calcarenitas bioclásticas, con trazas fósiles similares a *Thalassinoides sp.*, en menor medida bancos de volcarenitas, con fósiles de bivalvos. La edad que se le asigna a esta formación, en el área sur de Copiapó es Barremiano superior. Por otra parte, en la localidad de El Molle Alto, se identifica el ammonites *Neodeshayesites*, con lo que se asocia a la edad Albiano inferior para la parte superior de la formación (Arévalo *et al.*, 2009; Moscoso *et al.*, 2010).

- **Formación Cerrillos (Albiano – Campaniano)**

Definición y relación de contacto

Secuencia de aspecto heterogéneo, de color verdoso a rojizo, originalmente definida en el valle del río Copiapó, como una serie clástica y volcánica; presenta dos miembros, el miembro inferior de areniscas y conglomerados tobáceos, y el miembro superior de brechas, coladas de andesitas y tobas. En la zona del Valle del Huasco se estima un espesor mínimo de 3.000 m y sobreyace de forma concordante a la Formación Pabellón (Arévalo *et al.*, 2009; Moscoso *et al.*, 2010).

Edad y litología

Conformada por una sección basal de tipo sedimentaria clástica a tobácea, con pequeñas intercalaciones calcáreas; una sección superior de tipo volcánica andesítica a andesítica basáltica. La sección basal se conforma por paraconglomerados bien estratificados, con clastos redondeados de composición andesíticos y dacíticos, matriz soportada, los que se van alternando con areniscas. La sección superior se constituye por una serie volcánica gris violáceo a verdosa, que contiene coladas andesíticas a andesíticas basálticas. Cercano al embalse Santa Juana se intercalan tobas soldadas cristalinas. Se le asigna una edad Albiana por la correlación con la Formación Pabellón; y una edad del Campaniano, debido a que la edad mínima de los intrusivos que cortan la formación es de 71Ma (Arévalo *et al.*, 2009; Moscoso *et al.*, 2010).

4.2.2 Unidades Intrusivas

- **Diorita Cuarcífera San Juan (174 Ma)**

Definición y relación de contacto.

Cuerpo intrusivo de composición diorítica cuarcífera a diorítica, el cual está en contacto por intrusión con el Complejo Epimetamórfico Chañaral (Welkner *et al.*, 2006).

Edad y litología.

Las dioritas se componen de biotita y anfíbolita de grano medio, las cuales varían a monzodioritas cuarcíferas de biotita y anfíbolita. Los feldespatos presentan una alteración argílica y los minerales máficos han sido reemplazados por actinolita y/o clorita (Welkner *et al.*, 2006).

- **Diorita San Antonio (152 – 149 Ma)**

Definición y relación de contacto.

Plutón homogéneo de composición diorítica, que está en contacto por metasedimentos con el Complejo Epimetamórfico Chañaral y está intruido por diques afaníticos y microdioríticos de piroxenos, los cuales presentan una dirección NNO (Arévalo & Welkner, 2008).

Edad y litología

Dioritas con tamaño de grano de medio a grueso, isótropas o con una clara foliación magmática de plagioclasas y minerales máficos alineados. Las lineaciones de los minerales a lo largo de los planos de foliación son subverticales (Arévalo & Welkner, 2008).

- **Complejo Plutónico Retamilla (127 – 126 Ma)**

Definición y relación de contacto

Cuerpo plutónico dividido en tres subunidades plutónicas tabulares, que desde el nivel inferior al superior consisten en: unidad inferior granodiorítica a tonalítica, unidad media diorítica y unidad superior microgranítica. Se halla en contacto por intrusión y por falla, con la sección inferior de Formación Punta del Cobre (Arévalo *et al.*, 2009; Moscoso *et al.*, 2010).

Edad y litología

La unidad inferior está formada por granodioritas y tonalitas de grano medio, con textura inequigranular a porfídica, con minerales ferromagnesianos. Por otra parte, la unidad superior se compone de dioritas y dioritas cuarcíferas de grano medio, ocasionalmente textura porfídica, y presenta biotita y anfíbola. Según las dataciones de $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ en biotitas y hornblendas, a la subunidad de granodioritas y tonalitas, se le asigna una edad $127,1 \pm 0,8$ Ma. (Arévalo *et al.*, 2009; Moscoso *et al.*, 2010).

4.2.3 Unidades Metamórficas

- **Complejo Epimetamórfico Chañaral (Devónico – Carbonífero)**

Definición y relación de contacto

Definido por Godoy y Lara en 1998, como un complejo de rocas metasedimentarias – metaareniscas y filitas, ocasionalmente intercalado con metabasitas y metacalizas, que incluye facies de “mélange”. En la zona de estudio, el complejo se expone desde la Quebrada Carrizal al valle del río Huasco. Además, es intruído por la Diorita de San Antonio (Arévalo *et al.*, 2009).

Edad y litología

Se compone de metareniscas, pizarras, filitas y cuarcitas, usualmente afectadas por metamorfismo de bajo a muy bajo grado, que se manifiesta por la agrupación de clorita, albita, muscovita, calcita y cuarzo.

Se le asigna una edad Devónico-Carbonífero inferior, debido a que subyace a los Estratos de Llanos de Chocolate, de edad Pérmica (Arévalo *et al.*, 2009).

4.2.4 Depósitos No Consolidados

- **Gravas del río Huasco (Mioceno – Plioceno)**

Definición y relación de contacto

Depósitos aluviales y fluviales aterrizados, que se ubican a ambos lados del río Huasco, perceptibles desde 6 km de la desembocadura del río. Se encuentran en contacto por discordancia con los depósitos litorales del Pleistoceno - Holoceno en la desembocadura del río Huasco. El rasgo morfológico más destacable de estos depósitos son las terrazas, llegando a ser continuas hasta por 15 km de longitud (Arévalo *et al.*, 2009).

Edad y litología

Compuestas por gravas y ripios, pobremente consolidados a levemente cementados. Los fragmentos que las conforman son heterocomposicionales, bien redondeados, de tamaño variado de 1 a 30 cm, en una matriz de arena guijarrosa. Presenta estratificaciones gruesas, con cambios sutiles en el tamaño de grano.

Su edad es del Mioceno – Plioceno, la que se estimó de manera estratigráfica, ya que estos depósitos subyacen a los depósitos litorales de edad Pleistoceno – Holoceno. Por geocronología K-Ar en vidrio de las cenizas vítreas, de la terraza más antigua, se calcula una edad de $13,0 \pm 1,5$ Ma (Arévalo *et al.*, 2009).

4.3 Geología Estructural

La geología estructural de la zona de estudio se caracteriza por dos dominios morfoestructurales, la Cordillera Frontal al este, y la Cordillera de la Costa al oeste (Moscoso & Mpodozis, 1988; Moscoso *et al.*, 2010).

La Cordillera Frontal presenta un tipo de deformación de escama gruesa. Es la unidad principal del Orógeno andino, con una edad del Paleozoico superior y Triásico de composición granodiorítica, granítica y tonalítica, que intruye a unidades metamórficas precarboníferas. Bloques del basamento cristalino paleozoico, están limitados por fallas de alto ángulo, que se han interpretado como fallas inversas o que se han reactivado como fallas inversas (Ribba *et al.*, 1988; Urresty, 2009; Moscoso *et al.*, 2010).

La Cordillera de la Costa exhibe un tipo de deformación de escama delgada, compuesto por rocas jurásicas y cretácicas de tipo sedimentarias y volcánicas, intruídas por plutones del Cretácico superior. Las estratificaciones presentan sinclinales y anticlinales con longitudes de onda mayor a los 3 km, limitados por fallas de alto ángulo (Moscoso & Mpodozis, 1988; Salazar, 2012). En el transcurso del Cretácico se conformaron hemigrabenos y grabenos, los que acomodaron al Grupo Chañarcillo y a la Formación Cerrillos (Moscoso *et al.*, 2010; Salazar, 2012).

Capítulo 5: RESULTADOS

5.1 Selección de casos de estudio

De acuerdo a la metodología propuesta y al trabajo de terreno, se seleccionan los siguientes puntos para ser evaluados como potenciales geositios:

1. Plegamiento Alto del Carmen
2. Fallas, estratificaciones y contactos de Chancoquín
3. Estructuras sedimentarias y Zona Arqueológica Chancoquín
4. Estratos Fosilíferos Chancoquín
5. Morfología de Quebrada de Pinte: El Indio, La Pirámide y El Escorpión
6. Slump de Quebrada de Pinte
7. Conjunto de Fallas inversas Quebrada de Pinte
8. Set de Fallas El Portillo
9. Embalse Santa Juana
10. Terrazas Fluviales Freirina
11. Huantemé
12. Capote Aurífero
13. Sosita
14. Fundición Chañarcito de Canto del Agua
15. Planta de Cobalto “La Cobaltera”
16. Quebraditas y Labrar de Cobre

5.2 Etapa de caracterización

A continuación, se presentan 16 fichas correspondientes a los potenciales geosítios seleccionados.

5.2.1 Plegamiento Alto del Carmen (VH-1)

Características generales	
Nombre del geosítio	Plegamiento Alto del Carmen
Código	VH-1
Localización	
País	Chile
Región	Atacama
Provincia	Huasco
Localidad	Alto del Carmen
Coordenadas UTM	6.811.912N y 376.656 E (donde se encuentra) 6.817.251N y 354.971 E (desde donde se puede observar)
Dimensiones	0.36 km ²
Vías de acceso y poblados cercanos	
Tipo de Vehículos para acceso	Todo tipo de vehículo
Distancia hasta carretera con doble vía	48.7 km
Tipo de protección	Sin protección
Distancia a punto más próximo a acceso en mini bus	1,43 km
Distancia a punto más próximo a acceso en auto	1,43 km
Distancia a punto más próximo a acceso en vehículo 4x4	225 m
Distancia hasta pueblo/ciudad más cercana	0 km (insertado en Alto del Carmen)
Tipo de zona más cercana urbana/rural	Rural

Características geológicas

Interés geológico (paleontológico, estructural, sedimentario, etc.)

Tectónico, estratigráfico, petrográfico y geomorfológico

Ubicación y accesos

El plegamiento se ubica dentro de la demarcación territorial de la localidad de Alto del Carmen. Para acceder al Plegamiento Alto del Carmen desde la ciudad Vallenar, se prescribe la ruta C-485, situada en la salida sureste de la ciudad. Después de transitar aproximadamente 41 km, se debe doblar hacia la derecha para acceder a la vía C-489. Tras recorrer medio kilómetro por esta última, se arriba al núcleo urbano de Alto del Carmen, desde donde ya se logra una perspectiva visual los pliegues en cuestión

Con el propósito de optimizar la observación de los pliegues, se sugiere la creación de un mirador ubicado frente a dicho rasgo estructural. Este emplazamiento proporcionaría una perspectiva más detallada y enriquecedora. Para acceder a esta ubicación, se recomienda seguir la ruta C-489, recorrer aproximadamente 0,5 km desde la salida sur de Alto del Carmen. Posteriormente, se debe girar a la derecha, iniciando una caminata en ascenso de 100 metros por la ladera del cerro que conducirá al mirador propuesto.

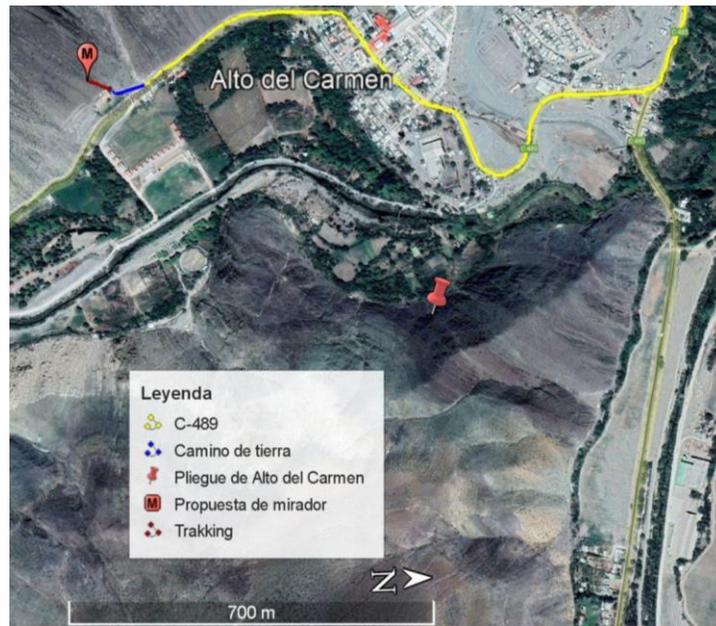


Figura 5.1.1: Ubicación de Plegamiento Alto del Carmen y propuesta de mirador. En amarillo se señala la vía C-489 y en azul el camino de tierra. Elaboración propia.

Descripción del sector

Alto del Carmen es modelado por una serie de pliegues, que deforman a la Formación Cerrillos, los que comienzan en la zona NE de la comuna y terminan en la zona SW. La secuencia de pliegues que se observa de izquierda a derecha en la imagen (Figura 5.1.2, 5.1.3, y 5.1.4) son de tipo sinforme cerrado y simétrico, siguiendo un antiforme, cuya cresta esta erosionada, posteriormente observa otro sinforme abierto y asimétrico, y por último un antiforme abierto y asimétrico, donde según Moscoso (2010), este último, sería un pliegue anticlinal con un flanco invertido.

El plegamiento producido en la zona se debe al dominio estructural del sector, donde Moscoso (2010) indica que el tipo de deformación es de piel delgada, y que a gran escala la deformación es un sinclinal de flexura monoclinal, de una edad posterior a los 80 Ma, con vergencia al oeste, que origina que rocas volcánicas y plutónicas del Cretácico superior se expongan. Los manteos de estas rocas volcánicas disminuyen de forma paulatina desde los 80°O en la localidad del Alto del Carmen, a manteos suaves en la quebrada Algarrobal y el embalse Santa Juana (Moscoso *et al.*, 2010).

Los pliegues son deformaciones dúctiles que se generan en la corteza terrestre, en rocas sedimentarias, metamórficas y volcánicas. Se originan debido a un esfuerzo compresivo, por lo que las rocas se pliegan y la corteza se acorta y engrosa. Los tipos de pliegues que más comúnmente se pueden encontrar son los sinclinales y anticlinales. Los sinclinales tienen una forma cóncava o de surco, por otra parte, los anticlinales una forma convexa o de arqueamiento (Tarbuck, 2013).

Dentro de la litología se presenta una intercalación de grauvacas feldespáticas, caliza margosa y lutitas.

- Caliza margosa: roca carbonatada de color gris, con un tamaño de grano de arena muy fina y presencia de carbonato cálcico como cemento. Su grado de selección va de moderada selección a pobremente seleccionado, el grado de redondeamiento es de subredondeado a subangular, contiene 40% de matriz y 60% de clastos, su empaquetamiento es matriz soportada, es inmadura texturalmente, y la fábrica es

Descripción del sector

isótropa. Compuesta por 65% de fragmentos líticos, 20% de cuarzo y 15% de feldespatos (figura 5.1.5A).

- Lutita: roca sedimentaria detrítica de color café grisáceo, presenta un tamaño de grano de fino a muy fino, sus clastos son angulares a subangulares, contiene 3% de clastos y 97% de matriz, el empaquetamiento es matriz soportada, el cemento es de sílice, inmadura texturalmente y una fábrica isótropa. Compuesta 100% por fragmentos líticos (figura 5.1.5B).
- Grauvaca feldespática: roca sedimentaria detrítica de color pardo, con un tamaño de grano de arena fina a muy fina, su grado de selección va de moderadamente seleccionado a pobremente seleccionado, el grado de redondeamiento es redondeado a subredondeado, con 30% de clastos y 70% de matriz, el empaquetamiento es matriz soportada, texturalmente inmadura, contiene cemento de sílice, y una fábrica isótropa. Compuesta por 60% de feldespatos, 25% de fragmentos líticos y 15% de cuarzo (figura 5.1.5C)

Por su posición estratigráfica y petrología, el Plegamiento Alto del Carmen se correlaciona con la Formación Cerrillos, descrita en la hoja geológica El Tránsito (Moscoso *et al.*, 2010) como una sucesión sedimentaria-volcánica de color verdoso y rojizo, de edad Albiano al Turnoniano, formada de brechas, areniscas y conglomerados intercaladas con aisladas coladas andesíticas-basálticas y tobas riolíticas de ceniza.

Fotografías



Figura 5.1.2: Imagen tomada en terreno de pliegues, desde la zona propuesta como mirador. De izquierda a derecha se encuentra primeramente el sinforme cerrado y simétrico, en segundo lugar, el antifforme sin cresta, en tercero, el sinforme abierto y asimétrico y en cuarto el antifforme abierto y asimétrico.

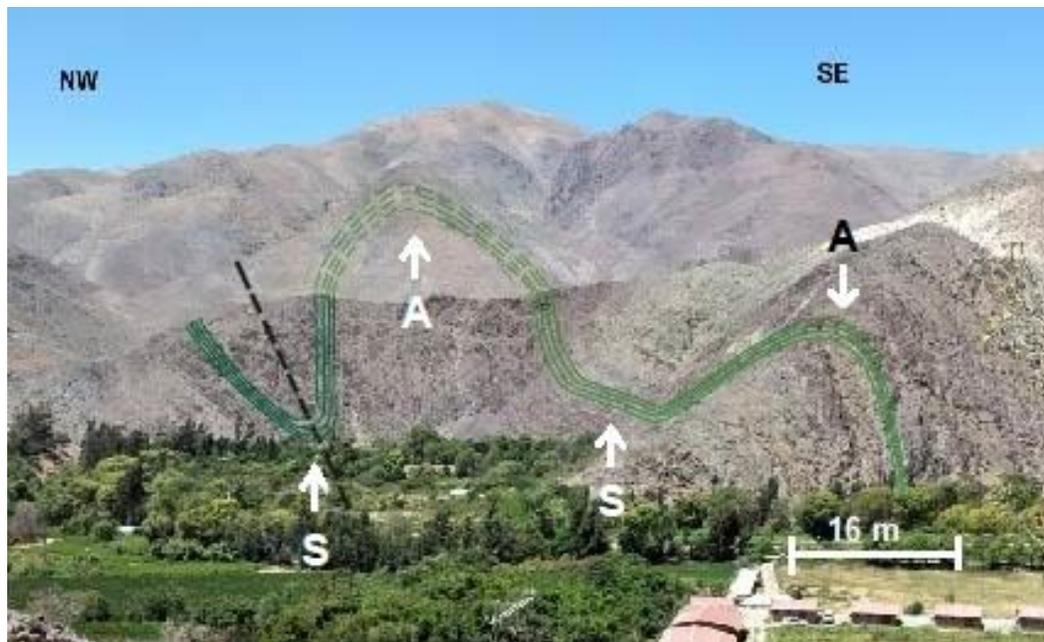


Figura 5.1.3: Imagen editada para mostrar de manera gráfica los pliegues. De izquierda a derecha se encuentra primeramente el sinforme cerrado y simétrico, en segundo lugar, el antifforme sin cresta, en tercero, el sinforme abierto y asimétrico y en cuarto el antifforme abierto y asimétrico. Indicando con S: sinforme; A: antifforme. Elaboración propia.

Fotografías



Figura 5.1.4: Imagen modificada y extraída de Google Earth Pro, donde muestra el plegamiento de la zona.

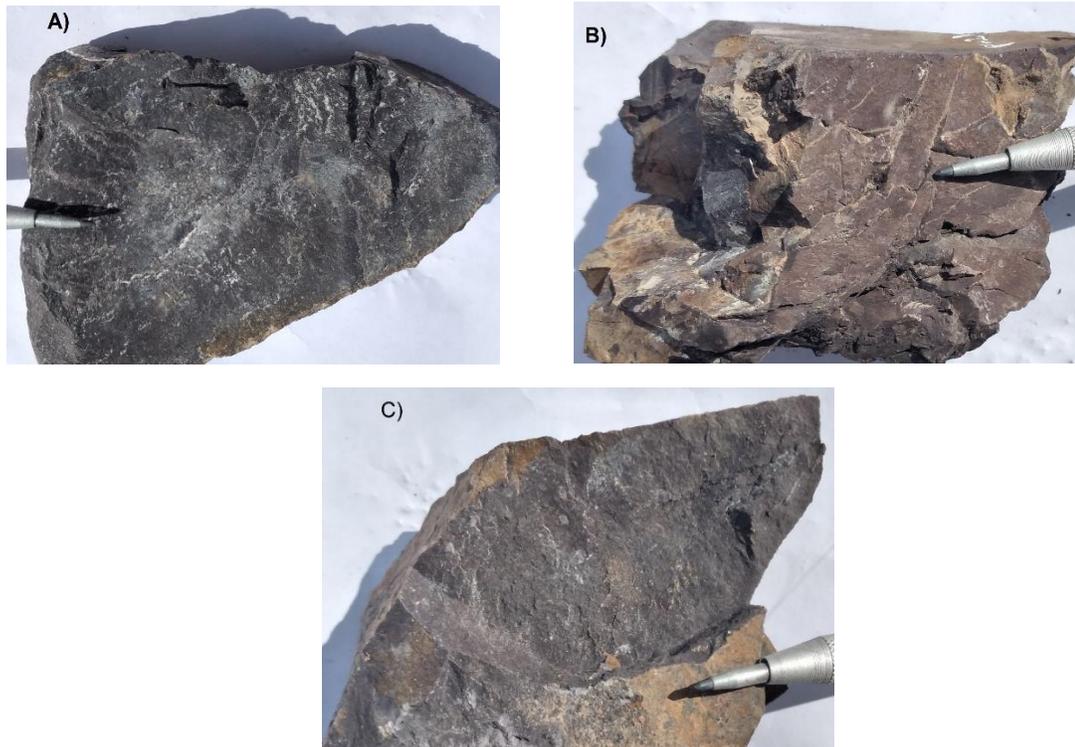


Figura 5.1.5: Litología de Pliegue de Alto del Carmen. A) Caliza margosa de tamaño de grano de arena fina a muy fina, compuesta de 65% de fragmentos líticos, 20% de cuarzo y 15% de feldespatos. B) Lutita con contenido de 3% de clastos y 97% de matriz, de color café grisáceo. C) Grauvaca feldespática de tamaño de grano de arena fina a muy fina, contiene 60% de feldespatos, 25% de fragmentos líticos y 15% de cuarzo

5.2.2 Fallas, Estratificaciones y Contactos de Chanchoquín (VH-2)

Características generales	
Nombre del geosítio	Fallas, Estratificaciones y Contactos de Chanchoquín
Código	VH-2
Localización	
País	Chile
Región	Atacama
Provincia	Huasco
Localidad	Chanchoquín
Coordenadas UTM	6.811.912N y 376.656E
Altitud	1.509 m s.n.m.
Dimensiones	2 km ²
Vías de acceso y poblados cercanos	
Tipo de Vehículos para acceso	Todo tipo de vehículo
Distancia hasta carretera con doble vía	80 km
Tipo de protección	Ley N° 17.288 de Monumentos Nacionales y Normas Relacionadas (protege al patrimonio paleontológico y arqueológico de la zona).
Distancia a punto más próximo a acceso en mini bus	615 m
Distancia a punto más próximo a acceso en auto	615 m
Distancia a punto más próximo a acceso en vehículo 4x4	46.7 m
Distancia hasta pueblo/ciudad más cercana	10.8 km (Chanchoquín)
Tipo de zona más cercana urbana/rural	Zona rural (Chanchoquín)

Características geológicas

Interés geológico (paleontológico, estructural, sedimentario, etc.)	Paleontológico, estructural y estratigráfico.
---	---

Ubicación y acceso

Aproximadamente a 11 km del poblado de Chancoquín, se ubican los Estratos Fosilíferos Chancoquín, a un costado de la vía C-487. Se accede desde la ciudad de Vallenar por la ruta C-485, ubicada en la salida SE de la ciudad. Al recorrer aproximadamente 41 km, tomar la vía C-495 durante 24 km. Posteriormente doblar a la derecha en Av. Los Perales, para llegar al pueblo de Chancoquín, al recorrer 650 metros por Av. Los Perales, se pasará a la vía C-487, y desde aquí se deben avanzar 10 km aproximadamente.



Figura 5.2.1: Imagen satelital donde se visualizan la zona nombra Fallas, Estratificaciones y Contactos de Chancoquín. En amarillo se señala la vía C-495, en azul av. Los Perales, en amarillo la vía C-487 y en verde el camino de *trekking*. Elaboración propia.

Descripción del sector

Zona con presencia de fallas, sectores estratificados, contacto por falla, y fauna asociada a los periodos Triásico y Jurásico, compuesta de invertebrados marinos (figura 5.2.2, 5.2.3, 5.2.4, y 5.2.5).

El sector presenta un alto grado de preservación, sin evidencia de impactos antrópicos. Los fósiles del lugar tienen un alto riesgo de ser extraídos por los turistas, debido al atractivo visual que producen y a que en algunos sectores las rocas están desintegradas, por lo que los fósiles han sido removidos favorecidos por la gravedad. El sitio está protegido por la Ley de Monumentos Nacionales N°17.288 (1970), por ser una zona arqueológica (figura 5.2.6) y poseer restos fósiles.

Las unidades geológicas del sector son:

- Unidad Areniscas Calcáreas y Calizas: alternancia de areniscas calcáreas y mudstone, intersectadas por un cuerpo hipabisal de color gris, observado al lado este de las unidades litológicas (figura 5.2.2).
 - ❖ Areniscas calcáreas: roca de color morado, con tamaño de grano muy fino y con cemento de carbonato de calcio. Se encuentra muy bien seleccionada, con un grado de redondeamiento de redondeado a muy redondeado, con un 3% de matriz y 97% de clastos, un empaquetamiento clastos soportado, super madura texturalmente, y con fábrica isótropa. Contiene un 5% de fragmentos líticos, 5% de cuarzo y 90% de feldspatos (figura 5.2.7A).
 - ❖ *Mudstone*: roca sedimentaria carbonática de color pardo, con tamaño de grano muy fino. Macroscópicamente no se observa presencia de fósiles. Con un empaquetamiento matriz soportada y cemento de micrita (figura 5.2.7B).

Por la posición estratigráfica de la Unidad de Areniscas Calcáreas y Calizas, se correlaciona con la Formación La Ternera.

- Unidad de Calizas: constituida de *mudstones* y *packstones*.
 - ❖ *Mudstone*: roca sedimentaria carbonática de color pardo, con tamaño de grano fino. Se encuentra bien seleccionada a moderadamente seleccionada, con 10%

Descripción del sector

de granos y 90% de matriz, un empaquetamiento matriz soportada, y con fábrica isótropa. Contiene fósiles de gastrópodos macerados.

- ❖ *Packstone* pardo rojizo: roca sedimentaria carbonática de color pardo rojizo y tamaño de grano fino a medio. Presenta 60% de fósiles y 40% de matriz, con empaquetamiento clastos soportada, y con fábrica isótropa. Los fósiles presentes son de gastrópodos, bivalvos, *Thalassinoides* y moldes internos de gastrópodos y bivalvos macerados.
- ❖ *Packstone* pardo amarillento: roca sedimentaria carbonática de color pardo amarillento, de tamaño de grano fino. Contiene 70% de fósiles y 30% de matriz, con empaquetamiento clastos soportada, y con fábrica isótropa. Los fósiles presentes son terebrátula, ostrea, rinchonellas (figura 5.2.8), y otro braquiópodos, que al estar macerados, no son identificables. Los restos de braquiópodos, presentan conchas recristalizadas, cementación de cavidades, con crecimiento en drusa de cuarzo y neomorfismo, además de restos de moldes internos (figura 5.2.9).

Por su posición estratigráfica y petrología de la Unidad de calizas, se correlaciona con la Formación Lautaro.

Según la hoja geológica El Tránsito (Moscoso *et al.*, 2010) en la zona se encuentran dos formaciones:

- Formación La Ternera: de edad Triásico superior a Jurásico inferior. Compuesta de lavas andesíticas, tobas riolíticas y dacíticas, brechas, con intercalaciones de areniscas y limonitas.
- Formación Lautaro: de edad Jurásico inferior bajo a Jurásico medio bajo. Consiste en una sucesión marina calcárea arenosa, compuesta por margas, conglomerados con cemento calcáreo, calizas, areniscas calcáreas y fosilíferas.

Descripción del sector

En la zona se halla una falla de tipo inversa, que debido a la compresión que la produce, pone en contacto la Formación La Ternera con La Formación Lautaro. En este mismo sector, la Formación Lautaro está siendo modelada por un anticlinal, sinclinal y anticlinal (Moscoso *et al.*, 2010). En el sector se encuentran fallas con actitudes 278/85 y 105/58. Las fallas son fracturas originadas en la corteza terrestre, las que generan un desplazamiento en la zona, produciéndose un bloque de techo y un bloque de muro, el techo es la roca sobre la superficie de la falla y el muro es la roca por debajo de la superficie de falla. Existen las fallas normales, en las que el bloque de techo baja con respecto al bloque de muro. Y las fallas inversas, donde el bloque de techo sube con respecto al bloque de muro (Tarbuck, 2013).

En la zona se identifica una falla inversa, que pone en contacto la Formación La Ternera con la Formación Lautaro. Además, en la unidad de calizas se identifica un cabalgamiento, que se muestra en líneas verdes en la figura 5.2.3, que es una falla inversa con una inclinación menor a los 30°, por lo que el bloque de techo se mueve casi horizontal al bloque de muro (Tarbuck, 2013), lo que da el aspecto de que un bloque está sobre el otro. Por otra parte, en la imagen se observa que en la unidad de calizas se presenta un pliegue por flexión de falla (indicado con líneas moradas en la figura 5.2.3 y líneas rosadas en la figura 5.2.5), el cual es provocado por las fallas que están en líneas segmentadas en la foto (figura 5.2.3). Este tipo de pliegues se producen por el movimiento de bloque de falla a lo largo de la superficie, con lo que el bloque se va flexionando (figura 5.2.5), constituidas cuando las capas son desplazadas a lo largo de un cabalgamiento (Padilla, 2021), en este caso específicamente de derecha a izquierda se encuentra un anticlinal, sinclinal y anticlinal (figura 5.2.3), donde los sinclinales son los que tienen una forma cóncava o de surco, y los anticlinales son los de forma convexa o de arqueamiento (Tarbuck, 2013).

Fotografías



Figura 5.2.2: Imagen con vista hacia el norte donde se observa el contacto litológico entre Unidad de Areniscas Calcáreas y Calizas y Unidad de Calizas. Además de un cabalgamiento en la Unidad de Calizas.

Fotografías

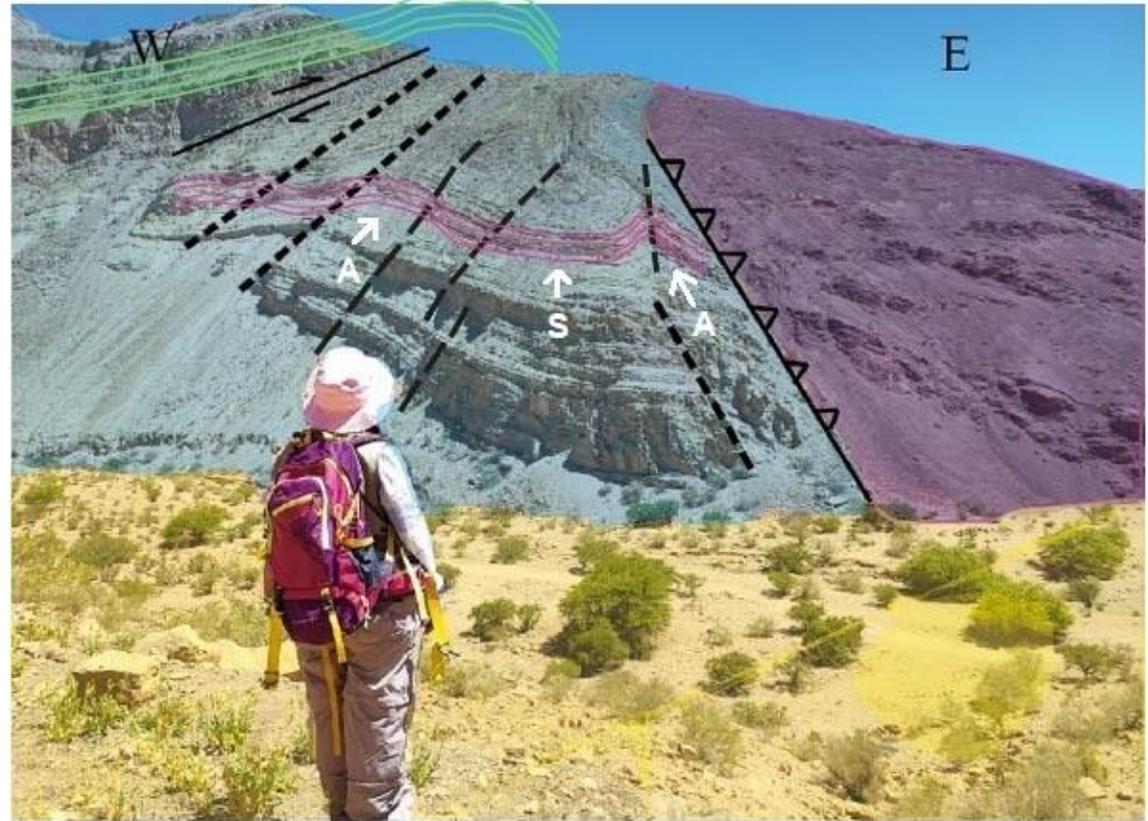


Figura 5.2.3: Fotografía editada donde se aprecia de color morado la Unidad de Areniscas Calcáreas y Calizas; de celeste Unidad de Calizas, y en amarillo los Depósitos Aluviales y Fluviales. Se observa el contacto por falla inversa, entre la Unidad de Areniscas Calcáreas y Calizas y Unidad de Calizas. Estructuralmente se presenta un cabalgamiento (líneas verdes) en la Unidad de Calizas, una falla inversa y otras fallas que producen el pliegue por flexión de falla (líneas rosadas), de derecha a izquierda se observa un anticlinal, sinclinal y anticlinal. En la imagen A: anticlinal y S: sinclinal.

Fotografías



Figura 5.2.4: Imagen con vista hacia el norte donde se observa de mejor manera la magnitud del cabalgamiento de la Unidad de Calizas.

Fotografías

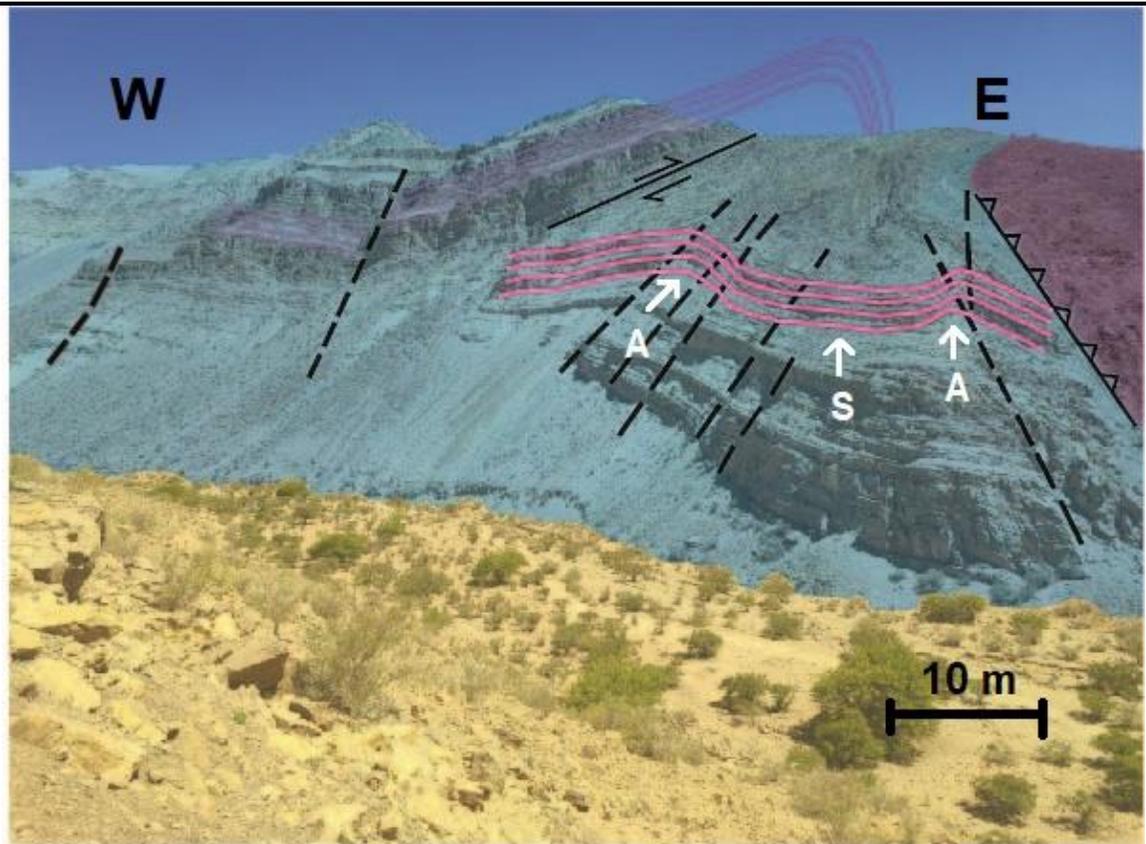


Figura 5.2.5: Fotografía editada donde se aprecia de color morado la Unidad de Areniscas Calcáreas y Calizas; de celeste Unidad de Calizas, y en amarillo los Depósitos Aluviales y Fluviales. Estructuralmente se presenta un cabalgamiento (líneas moradas) en la Unidad de Calizas, una falla inversa y otras fallas inferidas. Además de un pliegue por flexión de falla (líneas rosadas), que de derecha a izquierda se dispone; un anticlinal, un sinclinal y un anticlinal.

Fotografías



Figura 5.2.6: Cartel a la entrada de Chancoquín que advierte que es una zona arqueológica y que legalmente está prohibido alterar el sector o sacar muestras.

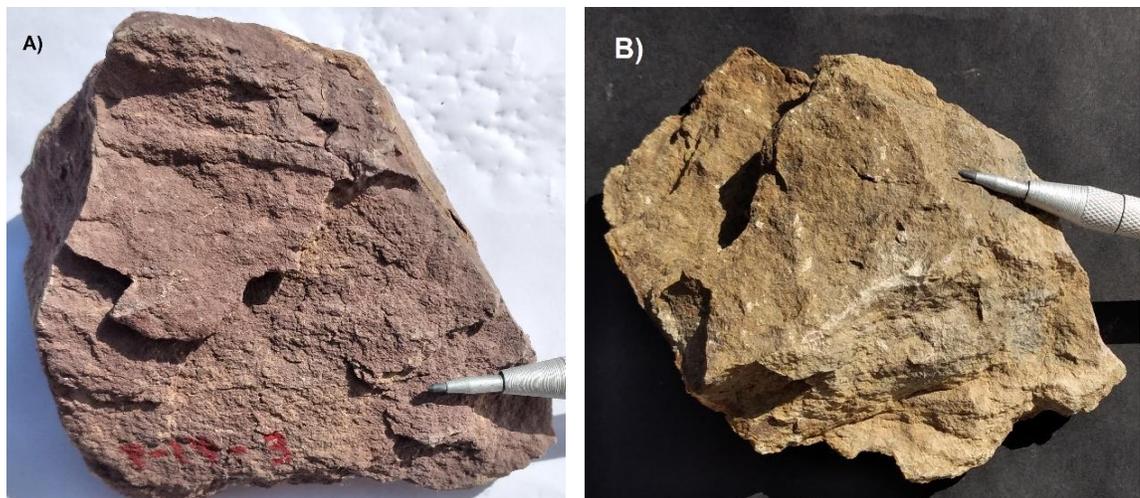


Figura 5.2.7: Litología de unidad Areniscas Calcáreas y Calizas. A) Arenisca calcárea de tamaño de grano muy fino, con 90% de feldespatos, 5% de cuarzo y 5% de fragmentos líticos. B) *Mudstone* de tamaño de grano muy fino, con empaquetamiento matriz soportada.

Fotografías



Figura 5.2.8: Fósiles de Rynchonellidos de roca Packstone de la unidad de Calizas.



Figura 5.2.9: Roca *Packstone* perteneciente a la unidad de calizas. Restos de braquiópodos, con restos de conchas recristalizadas, cementación de cavidades, con crecimiento en drusa de cuarzo. Además, se observan restos de moldes internos

5.2.3 Estructuras Sedimentarias y Zona Arqueológica Chanchoquín (VH-3)

Características generales	
Nombre del geosítio	Estructuras Sedimentarias y Zona Arqueológica Chanchoquín
Código	VH-3
Localización	
País	Chile
Región	Atacama
Provincia	Huasco
Localidad	Chanchoquín
Coordenadas UTM	6.820.857 N y 380.790 E
Altitud	1.908 m s.n.m.
Dimensiones	0,19 km ²
Vías de acceso y poblados cercanos	
Tipo de Vehículos para acceso	Camioneta 4x4
Distancia hasta carretera con doble vía	85,41 km
Tipo de protección	Ley N° 17.288 de Monumentos Nacionales y Normas Relacionadas (protege al patrimonio paleontológico y arqueológico de la zona).
Distancia a punto más próximo a acceso en mini bus	5 km
Distancia a punto más próximo a acceso en auto	5 km
Distancia a punto más próximo a acceso en vehículo 4x4	200 m
Distancia hasta pueblo/ciudad más cercana	17.41 km (Chanchoquín)
Tipo de zona más cercana urbana/rural	Zona rural (Chanchoquín)

Características geológicas

Interés geológico (paleontológico, estructural, sedimentario, etc.)	Paleontológico y sedimentario.
---	--------------------------------

Ubicación y acceso

Ubicado aproximada a 17 km de Chancoquín, se encuentran las Estructuras Sedimentarias y la Zona Arqueológica Chancoquín, adyacente a la vía C-487. El acceso a esta área desde Vallenar implica tomar la vía C-485, localizada en la salida SE de la ciudad. Tras recorrer alrededor de 41 km, girar a la izquierda para ingresar a la vía C-495, continuando el trayecto por 24 km. Posteriormente, girar a la derecha en la av. Los Perales, para llegar al poblado de Chancoquín. Al avanzar 650 m por la avenida Los Perales, se accede a la vía C-487. Desde este punto, se debe recorrer una distancia aproximada de 17 km, el área de estudio se ubicará en el lado derecho del camino.

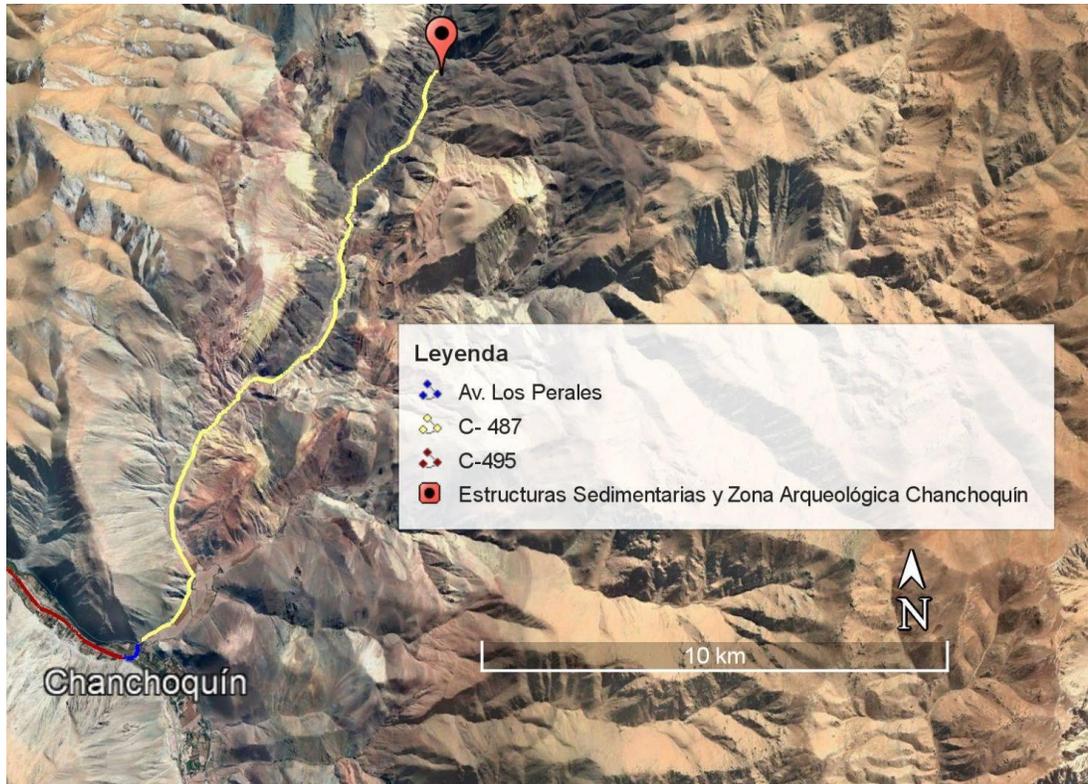


Figura 5.3.1: Ubicación y accesos al sector Estructuras Sedimentarias y Zona Arqueológica Chancoquín. En rojo se muestra la vía C-495, en azul av. Los Perales y en amarillo la vía C-487. Elaboración propia.

Descripción del sector

Si bien lo que más destaca del área es la arqueología representada por petroglifos, la geología también toma relevancia. Geológicamente lo que es más destaca la zona son las estructuras sedimentarias, representadas por estratificaciones lenticulares (Figura 5.3.2), laminaciones paralelas (Figura 5.3.3), laminaciones cruzadas (Figura 5.3.4A) y óndulas escalonadas (*climbing ripples*) (Figura 5.3.4B). En cuanto a la fauna fósil se presentan trazas de *Thalassinoides* y de *Skolithos*, restos de erizo (Figura 5.3.5A) y restos de tallos fósiles dispuestos al azar, pero con algunos cúmulos (Figura 5.3.5B). Cabe destacar que todo lo anteriormente descrito, se observó en bloques rodados, por tanto, se encuentran descontextualizados.

Los petroglifos de la zona le dan un valor agregado a este potencial geosítio. Estos pertenecen a la cultura Molle y Ánimas, pueblos alfareros prehispánicos que habitaron el lugar, antecesores de los Diaguitas. En los petroglifos se identifican pumas, personas y guanacos (Figura 5.3.6). Lamentablemente el sector ha sido dañado por visitantes que han rayado los petroglifos, a pesar de estar protegido por la Ley de Monumentos Nacionales N°17.288 (1970).

La zona litológicamente se encuentra conformada por arcosas, *wackestone* y *mudstone*, las cuales son descritas a continuación.

- Arcosa: roca sedimentaria detrítica de color pardo rosáceo, con tamaño de grano muy fino y con un leve contenido de carbonato de calcio como cemento. Se encuentra muy bien seleccionado a bien seleccionado, con clastos redondeados a muy bien redondeados, contiene 3% de matriz y 97% de clastos, su empaquetamiento es clastos soportados, es madura texturalmente y su fábrica isótropa. Compuesto por 85% de feldespatos, 10% de cuarzo y 5% de fragmentos líticos (figura 5.3.7A).

Se disponen estratificaciones lenticulares de rango de tamaño de 8 cm a 3 cm de largo y 5 cm a 12 cm de alto, de color pardo más oscuro que el resto de la roca, este tipo de lentes son aislados, ya que no se encuentran conectados entre sí. Lamentablemente han sido afectadas por rayones, lo que es un daño irreparable

Descripción del sector

para el sitio (figura 5.3.2). Estas estructuras sedimentarias son mecánicas-depositacionales de tipo planares, originadas por una corriente que experimenta variación en su energía y aporte sedimentario (Ponce, 2018).

También se hallan laminaciones paralelas y laminaciones cruzadas. Las laminaciones paralelas tienen un espesor de 1cm, y las laminaciones cruzadas un espesor de 0,5 cm, ambas de color pardo, más oscuro que el resto de la roca (figura 5.3.3). Ambos tipos de laminaciones son estructuras sedimentarias mecánicas-depositacionales de tipo planares. Por una parte, las laminaciones paralelas, son dos superficies paralelas depositadas por un fluido. Y las laminaciones cruzadas son una serie de estratos que se inclinan hacia la superficie sedimentaria principal o están inclinadas con respecto al horizonte, estas estructuras están separadas por una superficie de no deposición o de erosión (Tarbuck, 2013; Ponce, 2018).

En este mismo tipo de roca existen óndulas escalonadas (*climbing ripples*) aisladas, junto a laminaciones paralelas, las cuales tienen un espesor de 0,5 cm a 1 cm (Figura 5.3.4B), que son estructuras sedimentarias mecánicas de tipo lineal, producidas por una corriente unidireccional con carga de sedimento suspendido (Ponce, 2018).

- *Wackestone* pardo rojizo: roca sedimentaria carbonatada de color pardo rojizo, con tamaño de grano muy fino y un alto contenido de carbonato de calcio en su matriz. Contiene 30% de bioclastos y 70% de matriz, empaquetamiento matriz soportada y fábrica isótropa. Los bioclastos se encuentran fragmentados, por lo que no es posible identificar su filo (Figura 5.3.7B).
- *Mudstone*: roca sedimentaria carbonatada de color gris, con tamaño de grano fino. Contiene un 5% de bioclastos y 95% de matriz micrítica, empaquetamiento matriz soportada y fábrica isótropa. Presenta restos de esqueleto de erizo, que mide 5 cm de largo y 1,5 cm de alto (figura 5.3.5A).

Descripción del sector

- *Wackestone* pardo: roca sedimentaria carbonatada de color pardo, con tamaño de grano fino. Contiene 20% de bioclastos y 80% de matriz micrítica, con fábrica isotropa. Compuesto de fósiles de tallos, los cuales tienen un largo variable de 5 cm a 50 cm, dispuesto al azar y ocasionalmente en cúmulos (figura 5.3.5B), por tanto, algunas zonas de la roca tienen empaquetamiento matriz soportada y en otros clastos soportado.

Según la Hoja del Tránsito (Moscoso *et al.*, 2010) las formaciones de este sector son:

- Formación La Ternera: edad del Triásico superior al Jurásico inferior. Constituida por andesitas, brechas, tobas riolíticas-dacíticas, con intercalaciones de limonitas y areniscas.
- Formación Lautaro: de una edad Jurásico inferior bajo a Jurásico medio bajo. Consiste en una sucesión marina calcárea arenosa, compuesta por margas, conglomerados con cemento calcáreo, calizas, areniscas calcáreas y fosilíferas.

Las estructuras sedimentarias representan la disposición geométrica que obtienen los sedimentos en su etapa de sedimentación, o en una etapa posterior muy cercana a la depositación (Cheel, 2005). Indican los procesos mecánicos, químicos y biológicos por los que pasan los sedimentos durante la acumulación, cuando estaban en la superficie o cercana a ésta (Pettijohn, 1957).

Las estructuras sedimentarias mecánicas se producen por la depositación de los sedimentos, las que pueden ser planares o lineales. En las planares los rasgos geométricos se desarrollan en los planos, tanto por geometría externa como interna del estrato. En las estructuras lineales los rasgos geométricos de la estructura se forman de manera lineal (Ponce, 2018).

Las Icnofacies de *Skolithos* son de tipo marinas de sustrato blando, son estructuras en forma de U o excavaciones verticales cilíndricas, originadas por organismos suspensi-

Descripción del sector

voros y predadores pasivos, se producen en condiciones de energía moderada a alta, con un alto material orgánico particulado y aguas bien oxigenadas, en ambientes de oleaje, desde costas dominadas por mareas hasta planicies intermedias arenosas inferiores, deltas de flujo y reflujo, deltas de bahía de desembocadura, *inlets* mareales y en ambientes marinos profundos (Ponce, 2018). Las icnofacies de *Thalassinoides* son estructuras producidas por excavaciones con componentes horizontales y verticales, sin pared y con ramificaciones en forma de “Y” o “T”, pueden ser de domicilio o alimentación de crustáceos decápodos, se generan en ambientes marinos marginales, marinos someros, marinos profundos y continentales (Ponce, 2018).

Fotografías



Figura 5.3.2: Estructura sedimentaria de estratificación lenticulares, con tipo de lentes aislados, en roca arcosa. Estas estructuras miden de 8 a 35 cm de largo y 5 cm a 12 cm de alto. Abajo de estos lentes se encuentran estructuras laminadas. En la roca también hay petroglifos de la cultura Molle y Ánimas, que posiblemente representan guanacos.

Fotografías



Figura 5.3.3: Estructuras sedimentarias en arcosa, en el lado izquierdo de la imagen se hayen laminaciones paralelas y en el lado derecho laminaciones cruzadas.



Figura 5.3.4: Estructuras sedimentarias. A) Laminaciones cruzadas en roca arcosa, con un espesor de 0,5 cm. B) Arenisca arcosa con estructuras sedimentarias. En la zona superior izquierda se encuentran óndulas escalonadas (*climbing ripples*) y el resto de las estructuras sedimentarias que se observan, corresponden a laminaciones paralelas con espesor de 0,5 cm a 1 cm.

Fotografías

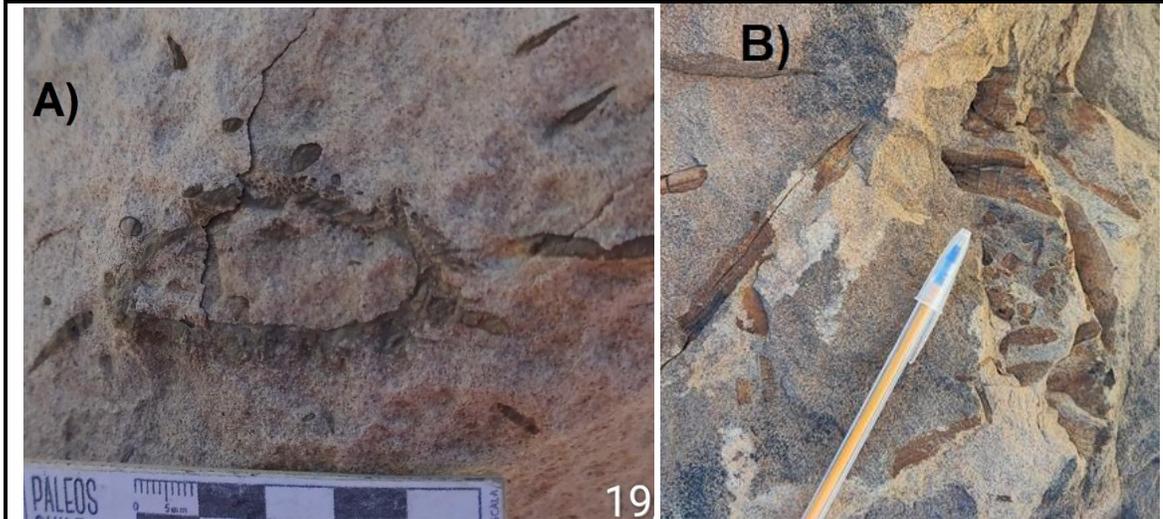


Figura 5.3.5: Fósiles de la zona. A) Resto de esqueleto de erizo, con relleno sedimentario en roca *mudstone*, el que mide 5 cm de largo y 1,5 cm de alto. B) Fósiles de tallos en roca *wackestone*, que se encuentran dispuestos al azar y en forma de cúmulos, el largo varía de 5 cm a 50 cm.



Figura 5.3.6: Petroglifos de la zona en bloque rodado, asociados a la cultura Molle y Ánimas, que representan personas y guanacos.

Fotografías



Figura 5.3.7: Rocas de Estructuras Sedimentarias y Zona Arqueológica Chancoquín. A) Arenisca arcosa de grano muy fino, compuesta por 85% de feldespatos, 10% de cuarzo y 5% de fragmentos líticos. B) *wackestone* de tamaño de grano muy fino, con 30% de bioclastos y 70% de matriz micrítica.

5.2.4 Estratos Fosilíferos Chanchoquín (VH-4)

Características generales	
Nombre del geosito	Estratos Fosilíferos Chanchoquín
Código	VH-4
Localización	
País	Chile
Región	Atacama
Provincia	Huasco
Localidad	Chanchoquín
Coordenadas UTM	6.814.280 N y 376.249 E
Altitud	1.580 m s.n.m.
Dimensiones	1,51 km ²
Vías de acceso y poblados cercanos	
Tipo de Vehículos para acceso	Todo tipo de vehículo
Distancia hasta carretera con doble vía	77,26 km
Tipo de protección	Ley N° 17.288 de Monumentos Nacionales y Normas Relacionadas (protege al patrimonio paleontológico y arqueológico de la zona).
Distancia a punto más próximo a acceso en mini bus	300 m
Distancia a punto más próximo a acceso en auto	300 m
Distancia a punto más próximo a acceso en vehículo 4x4	185 m
Distancia hasta pueblo/ciudad más cercana	8 km (Chanchoquín)
Tipo de zona más cercana urbana/rural	Zona rural (Chanchoquín)

Características geológicas

Interés geológico (paleontológico, estructural, sedimentario, etc.)

Paleontológico, estructural, geomorfológico y estratigráfico.

Ubicación y acceso

Ubicado aproximada a 17 km de Chancoquín, se encuentran las Estructuras Sedimentarias y la Zona Arqueológica Chancoquín, adyacente a la vía C-487. El acceso a esta área desde Vallenar implica tomar la vía C-485, localizada en la salida SE de la ciudad. Tras recorrer alrededor de 41 km, girar a la izquierda para ingresar a la vía C-495, continuando el trayecto por 24 km. Posteriormente, girar a la derecha en la av. Los Perales, para llegar al poblado de Chancoquín. Al avanzar 650 m por la avenida Los Perales, se accede a la vía C-487. Desde aquí se deben avanzar 7,4 km aproximadamente, el área de estudio se encontrará a mano izquierda del camino, donde ya se puede observar el área de estudio, por lo que se propone como mirador. Si se quiere ascender el cerro para llegar al área hay que hacer un *trekking* de aproximadamente 600 m, de dificultad media alta.

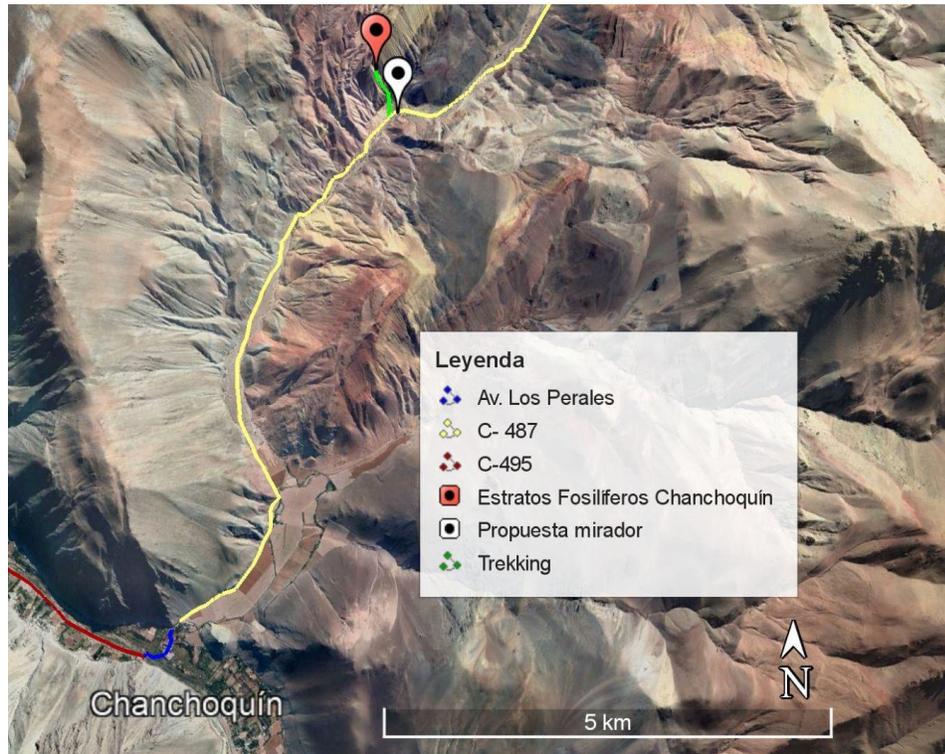


Figura 5.4.1: Ubicación y accesos a Estratos Fosilíferos Chancoquín. En rojo se muestra la vía C-495, en azul av. Los Perales, en amarillo la vía C-487 y en verde el camino de *trekking*. Elaboración propia.

Descripción del sector

En la zona se hallan estratificaciones, contactos litológicos, fallas y fauna asociada a los periodos Triásico y Jurásico, compuesta de invertebrados marinos (figura 5.4.2). Además de un valor agregado debido a la arqueología presente.

El sector se encuentra poco deteriorado, sin evidencia de alteraciones de terceros, aun así, los fósiles son susceptibles a sufrir deterioros debido a causas naturales como meteorización, erosión o por causas antrópicas. La zona está protegida por la Ley de Monumentos Nacionales N°17.288 (1970), por ser una zona arqueológica (figura 5.2.6) y poseer contenido fosilífero.

En cuanto a la paleontología presente, se evidencia una fauna marina del Triásico y Jurásico como *Litotrochus* (Figura 5.4.3A), *Weyla alata* (Figura 5.4.3B), *Rhynchonella*, terebrátula, variedad de otros braquiópodos no identificados, artejos de crinoideos (Figura 5.4.4A) y bivalvos desarticulados. Cabe mencionar que parte de los fósiles han sido afectados por degradación cuyo transporte favorecido por la gravedad, ha descontextualizado su posición estratigráfica (figura 5.4.3A y 5.4.3B).

Las estructuras frágiles encontradas presentan las tendencias 316/89, 116/75 y 24/78, destacándose una falla inversa que se puede observar desde la zona que se propone como mirador, con una medición 205/23.

Geomorfológicamente destaca la presencia de abanicos aluviales, conos aluviales y la llanura de inundación que abarca el sector del camino.

En la zona de base a techo se describen las siguientes unidades geológicas (figura 5.4.5):

- Unidad de lutita calcárea: roca sedimentaria detrítica de color gris oscuro, con tamaño de grano de arena muy fina en una matriz de limo, una moderada presencia de cemento carbonatado, se encuentra muy mal seleccionada, con clastos de redondeados a subredondeados contiene 95% de matriz y 5% de clastos, el empaquetamiento es matriz soportada y fábrica isótropa (Figura 5.4.7A).

- Unidad de areniscas calcáreas y calizas: consiste en una alternancia de areniscas calcáreas y *mudstone*, unidad de color pardo rosáceo.

Las areniscas calcáreas son de color morado, con un tamaño de arena muy fina y contienen cemento de carbonato de calcio. Se encuentra muy bien a bien seleccionada; con un grado de redondeamiento de redondeado a muy redondeado, con 3% de matriz y 97% de clastos; un empaquetamiento clastos soportados; es super madura texturalmente, y su fábrica es isótropa. Contiene un 5% de fragmentos líticos, 5% de cuarzo y 90% de feldespatos (Figura 5.4.7B).

La *mudstone* es una roca carbonática de color pardo, con tamaño de grano muy fino. Se encuentra muy bien a bien seleccionada; con un grado de redondeamiento de muy redondeado a redondeado, sin presencia de fósiles, empaquetamiento matriz soportada y fábrica isótropa. Con presencia de una capa de calcita, con hábito radial y fibroso (Figura 5.4.7C).

Según la posición estratigráfica de la unidad de areniscas calcáreas y calizas, se correlaciona con la Formación La Ternera.

- Unidad fosilífera: compuesta de *packstone* y *wackestone*, unidad de color amarillo.

La capa que se encuentra en la base corresponde a una roca *wackestone* pardo amarillento de arena fina: de color pardo amarillento, con un tamaño de arena fina; que están muy bien a bien seleccionados, y redondeados a sub redondeados. Con un 15% de clastos y 85% de matriz; empaquetamiento matriz soportada y fábrica isótropa. Se hallan restos fósiles de *Weyla alata*, y *Calliostoma*. La orientación del estrato es de 291/50.

Sobreyaciendo se dispone una capa compuesta por *packstone* gris claro y *wackestone* amarillenta de arena muy fina. La roca *packstone* gris claro: contiene clastos de tamaño de arena muy fina y subredondeados. Con un 60% de clastos y 40% de matriz y empaquetamiento clastos soportados, fábrica isótropa, encontrándose macerada y fuertemente erosionada. Los fósiles que contiene son bivalvos desarticulados, braquiópodos y corales, no identificables debido al proceso de maceración. También se presentan *wackestone* amarillenta de arena

muy fina: de color amarillento, con clastos de tamaño de arena muy fina y redondeados. Contiene 20% de bioclastos y 80% de matriz; con un empaquetamiento matriz soportada y fábrica isótropa, con restos fósiles de *Weyla alata*, bien preservadas. La orientación de la capa es 310/34.

El estrato se compone en su base por una *packestone* amarillenta y en el techo por una *wackestone* amarillenta de arena fina. La *packstone* amarillenta: contiene clastos de tamaño de arena fina; bien seleccionados y bien redondeados, estos clastos se encuentran reagrupados y no consolidados, con 60% de bioclastos y 40% de matriz; empaquetamiento clastos soportada, y fábrica isótropa. En el techo se encuentra una *wackestone* amarillenta de arena fina: de color amarillento, con clastos de tamaño de arena fina; muy bien seleccionados y bien redondeados, los cuales están reorientados y macerados, contiene 20% de bioclastos y 80% de matriz; empaquetamiento matriz soportada y fábrica isótropa, con presencia de artejos de crinoideos (figura 5.4.4A). Esta capa tiene una orientación 302/32. En ambas rocas se observan restos fósiles de *Litotrochus*, *Weyla alata*, *Rhynchonella*, terebratulas (figura 5.4.4B), y colonia de briozoo (figura 5.4.4C).

Según su posición estratigráfica y petrología, la unidad fosilífera se correlaciona con la formación Lautaro. Cabe mencionar que la unidad fosilífera está en un contacto concordante con la unidad de areniscas calcáreas y calizas (figura 5.4.2).

- Unidad de Gravas Oligomíticas (Figura 5.4.8): depósito medianamente consolidado de color morado, con clastos de tamaño variado de 0,5 cm a 10cm. Con un grado de selección de pobremente seleccionado y grado de redondeamiento de angular a muy angular, compuesto por 65% de clastos y 35% de matriz, con un empaquetamiento matriz soportada, fábrica isótropa, una matriz arcillosa y cemento de carbonato de calcio, la capa tiene una orientación 104/38. La composición de los clastos es de areniscas feldespáticas y calizas. Se observan restos fósiles de *Rhynchonella* y otro tipo de braquiópodos no identificables, desprendidos de la Unidad Fosilífera.

Según la Hoja del Tránsito (Moscoso, 2010) las formaciones de este sector son:

- Formación La Ternera: edad del Triásico superior al Jurásico inferior. Constituida por andesitas, brechas, tobas riolíticas-dacíticas, con intercalaciones de limonitas y areniscas.
- Formación Lautaro: de edad Jurásico inferior bajo a Jurásico medio bajo. Consiste en una sucesión marina calcárea arenosa, compuesta por margas, conglomerados con cemento calcáreo, calizas, areniscas calcáreas y fosilíferas.

Las fallas son fracturas producidas en la corteza terrestre, que han generado un desplazamiento en la zona, identificándose el bloque de techo y el bloque de muro, el techo es la roca que se encuentra sobre la superficie de la falla y el muro es la roca por debajo de la superficie de falla. Las fallas inversas son verticales, donde el bloque de techo sube con respecto al bloque de muro, provocadas por un esfuerzo compresivo, por lo general su ángulo de buzamiento es menor a 45° . Las fallas normales son verticales, donde el bloque de techo baja con respecto al bloque de muro, provocadas por esfuerzos extensivos, por lo general su ángulo de buzamiento es cercano a los 60° (Tarbuck, 2013).

Al inicio de esta zona de estudio se encuentran restos de una construcción asociada a la cultura Molle, correspondiente a una choza (figura 5.4.9A). Siguiendo la quebrada aguas abajo se halla una choza construida por ganaderos que viven temporalmente en estos sectores para alimentar a sus animales (figura 5.4.9B), los materiales utilizados para su construcción son totora, brea y rocas. Estos vestigios arqueológicos se presentan frecuentemente, los que le dan un valor agregado al área.

Fotografías



Figura 5.4.2: Zona de estudio Estratos Fosilíferos Chanchoquín, que se postula como geositio, en ella se encuentra un contacto geológico por concordancia con continuidad, entre la Unidad de Areniscas Calcáreas y Calizas con la Unidad Fosilífera. La parte del cerro que es de color oscuro es la Unidad de Areniscas Calcáreas y Calizas, la parte de color amarillo es la Unidad Fosilífera.



Figura 5.4.3: Fauna fósil de Estratos Fosilíferos Chanchoquín, que han sido afectados por degradación cuyo transporte favorecido por la gravedad, ha descontextualizado su posición estratigráfica. A) *Litotrochus*, se observa restos de concha y líneas de crecimiento. B) Molde interno y resto de concha de *Weyla*, que ha sufrido abrasión.

Fotografías



Figura 5.4.4: Fauna Fósil de Estratos Fosilíferos Chancoquín. A) Artejos de crinoideos en la unidad fosilífera. B) Fósiles de *Rhynchonellas* y terebratulas C) Colonia de briozoo en roca Packstone amarillenta, de la Unidad Fosilífera.

Imágenes

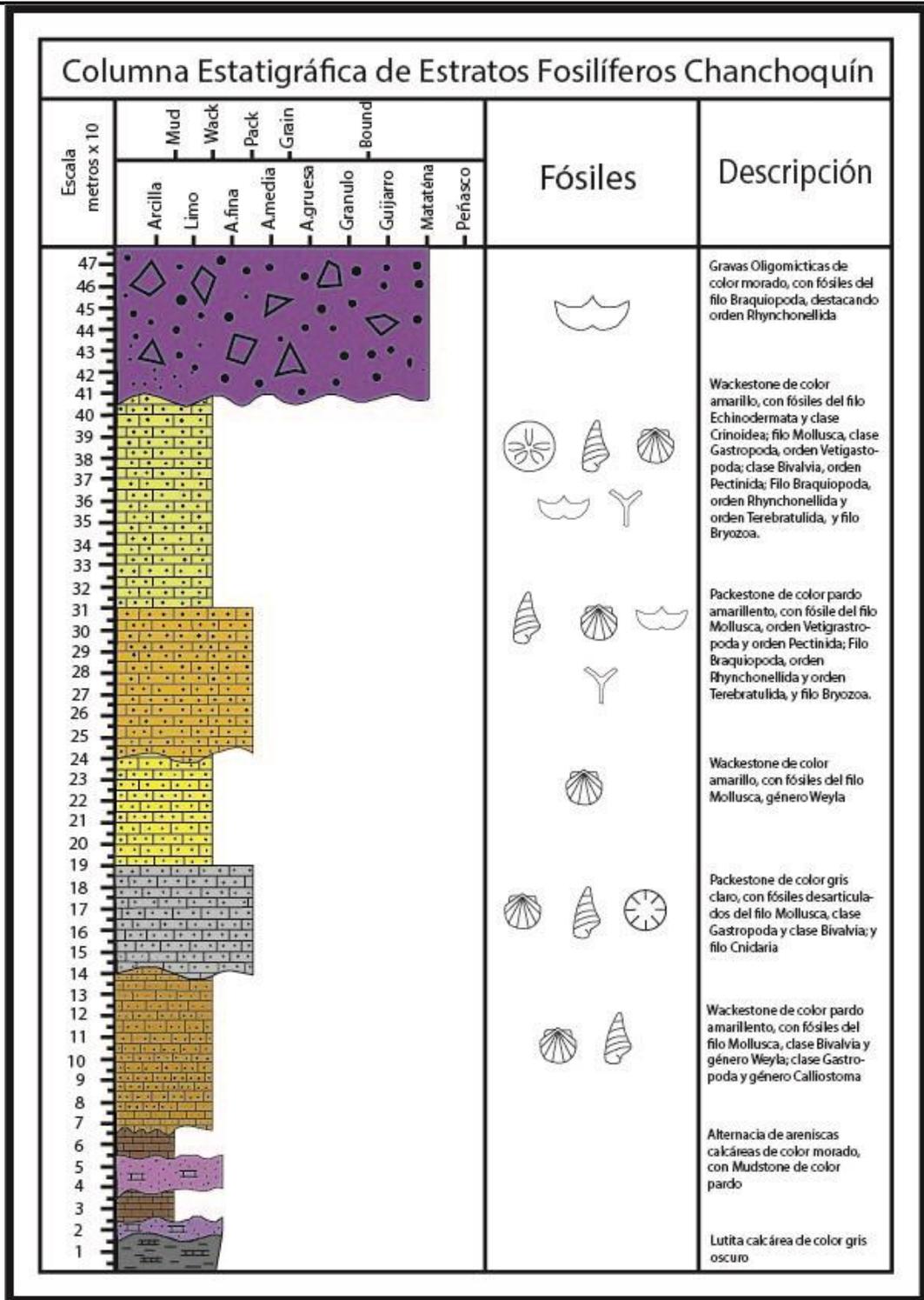


Figura 5.4.5: Columna estratigráfica de Estratos Fosilíferos Chancoquín.

Imágenes

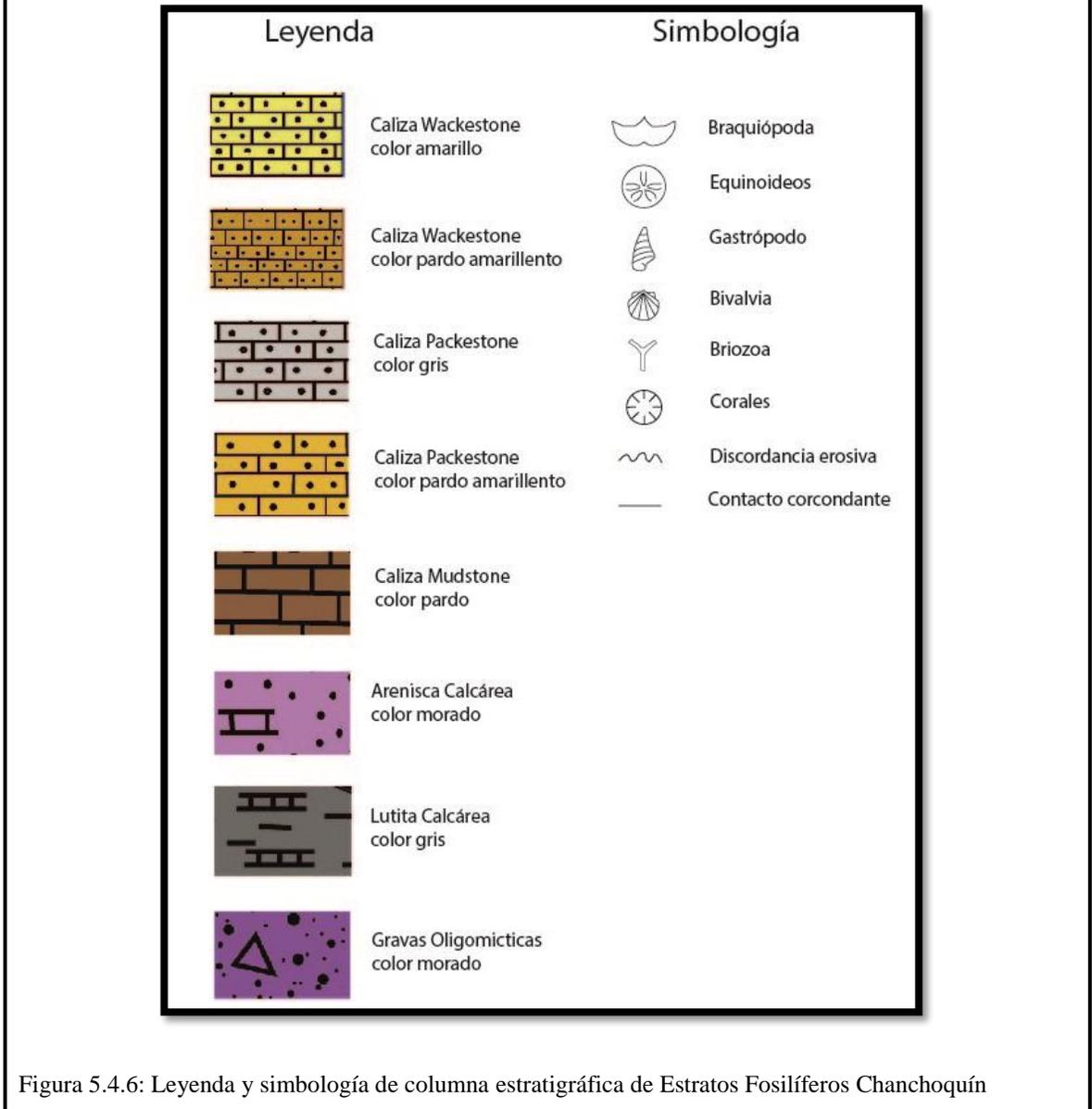


Figura 5.4.6: Leyenda y simbología de columna estratigráfica de Estratos Fosilíferos Chancoquín

Fotografías



Figura 5.4.7: Rocas de Estratos Fossilíferos Chancoquín. A) lutita calcárea, contiene 95% de matriz y 5% de clastos, color gris oscuro. B) muestra de roca perteneciente a la Unidad de Areniscas Calcáreas y Calizas, corresponde a una arenisca calcárea de tamaño arena muy fina, con 90% de feldspatos, 5% de fragmentos líticos y 5% de cuarzo. C) muestra de roca de la Unidad de Areniscas Calcáreas y Calizas, es una mudstone de empaquetamiento matriz soportada, con calcita de hábito radial y fibroso.

Fotografías



Figura 5.4.8: Unidad de Gravas Oligomicticas, compuesta por 65% de clastos y 35% de matriz. En cuanto al tamaño de los clastos, estos exhiben una variabilidad que abarca desde 0,5 cm hasta 10 cm, los cuales son angulares a muy angulares

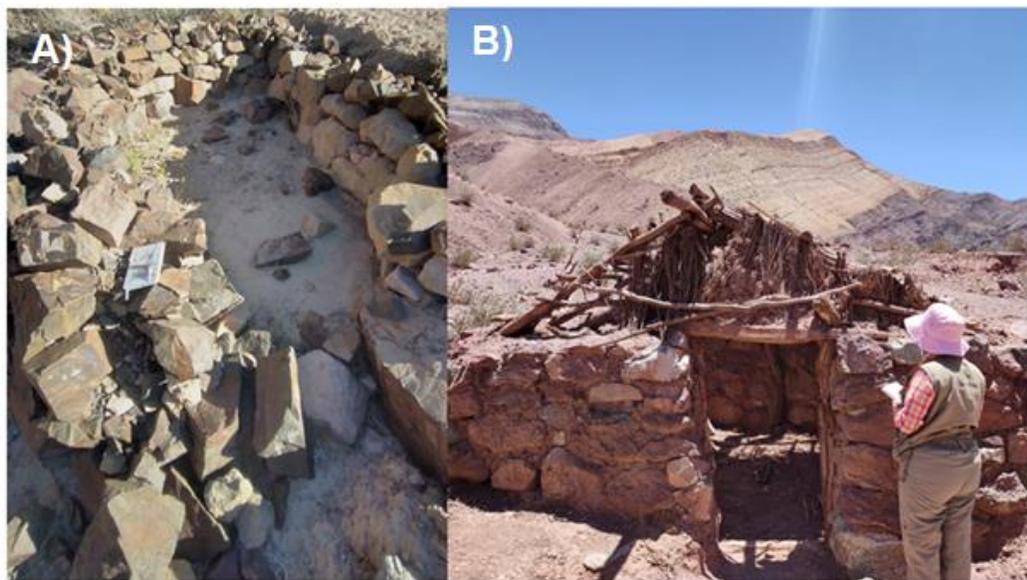
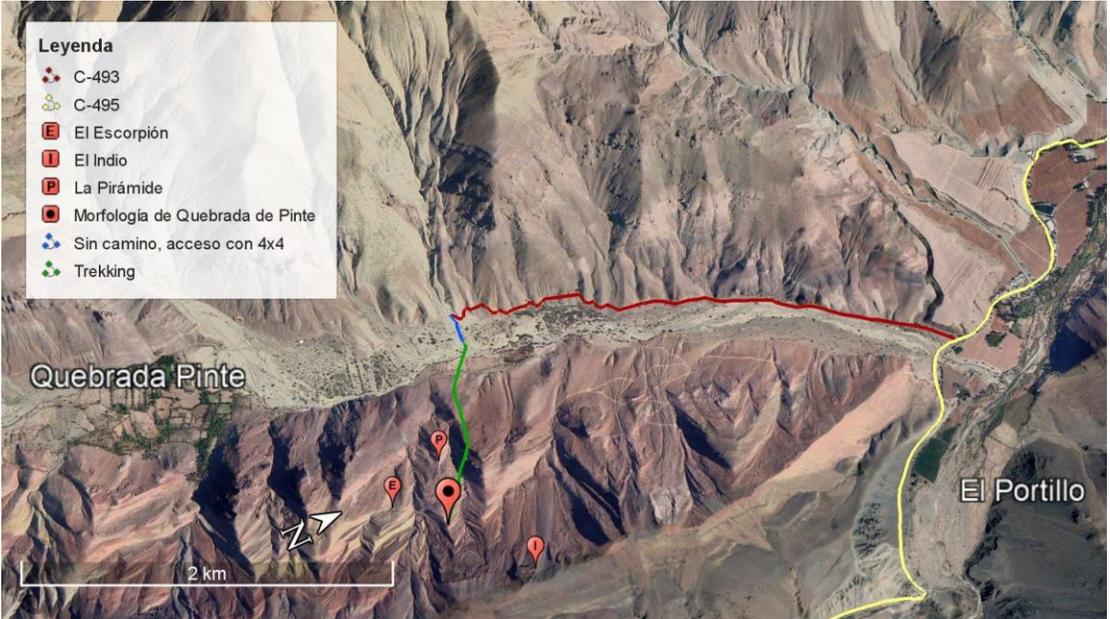


Figura 5.4.9: Construcciones del área Estratos Fosilíferos Chancoquín. A) Vestigios de antiguas construcciones realizadas por la cultura Molle que habitaba la zona. B) Vestigio arqueológico que le da un valor agregado a la zona de estudio, corresponde a una choza construida por ganaderos que viven temporalmente en estos lugares para alimentar a sus animales.

5.2.5 Morfología de Quebrada de Pinte: El Indio, La Pirámide y El Escorpión(VH-5)

Características generales	
Nombre del geosítio	Morfología de Quebrada de Pinte: El Indio, La Pirámide y El Escorpión
Código	VH-5
Localización	
País	Chile
Región	Atacama
Provincia	Huasco
Localidad	Quebrada de Pinte
Coordenadas UTM	6.795.230 N; 375.884 E
Altitud	1.364 m s.n.m.
Dimensiones	0.85 km ²
Vías de acceso y poblados cercanos	
Tipo de Vehículos para acceso	Todo tipo de vehículo
Distancia hasta carretera con doble vía	119,02 km
Tipo de protección	Ley N° 17.288 de Monumentos Nacionales y Normas Relacionadas (protege al patrimonio paleontológico de la zona).
Distancia a punto más próximo a acceso en mini bus	300 m
Distancia a punto más próximo a acceso en auto	300 m
Distancia a punto más próximo a acceso en vehículo 4x4	0 km
Distancia hasta pueblo/ciudad más cercana	2,33 (Pueblo de Pinte)
Tipo de zona más cercana urbana/rural	Rural

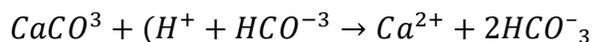
Características geológicas	
Interés geológico (paleontológico, estructural, sedimentario, etc.)	Geomorfológico, paleontológico, estratigráfico y petrográfico
Ubicación y acceso	
<p>La morfología de Quebrada de Pinte: El Indio, La Pirámide y El Escorpión, se ubica a una distancia de 3,2 km del poblado de Pinte, que pertenece a la zona rural del Valle del Tránsito.</p> <p>Para acceder a esta área desde la ciudad de Vallenar, se debe seguir la vía C-485, localizada en la salida SE de la ciudad, por unos 42 km, hasta la bifurcación en el poblado de Alto del Carmen. En este punto, se debe tomar el camino ubicado a la izquierda, por la vía C-495, y por unos 34 km. Al llegar al cruce en forma de T, se debe girar a la derecha, tomando la vía C-493, y avanzar hasta cubrir una distancia de 3,2 km.</p> <p>En el caso de disponer de una camioneta 4x4, se requerirá recorrer adicionalmente 200 m por una zona carente de camino establecido, y posteriormente, se inicia un <i>trekking</i> de alrededor de 1 km. En situaciones en las que no se cuente con una camioneta 4x4, el <i>trekking</i> debe iniciarse después de recorrer los 3,2 km por la vía C-493.</p>	
	
<p>Figura 5.5.1: Ubicación Morfología de Quebrada de Pinte: El Indio, La Pirámide y El Escorpión. En amarillo se señala la vía C-495, en rojo la vía C-493, en azul el acceso sin camino apto para 4x4 y en verde el camino para <i>trekking</i>. Elaboración propia.</p>	

Descripción del sector

De manera natural en los cerros se han originado 3 morfologías características, de izquierda a derecha, se encuentra El Indio, La Pirámide y El Escorpión (figura 5.5.2) y temporalmente se origina primero La Pirámide, luego El Escorpión y por último la Cara del Indio.

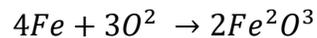
Las morfologías se han formado por la disposición estructural de las capas, que debido a los procesos de erosión y meteorización se han expuestos los planos de estratificación de las rocas, que tienen mantoos cercanos a los 70°. Con la meteorización la roca se comienza a desintegrar y/o a fragmentar, y luego con la erosión los fragmentos de roca son removidos (figura 5.5.3), a continuación, se detalla los tipos de meteorización presentes.

- ✓ Expansión térmica: tipo de meteorización mecánica, frecuente en la región. Se origina en zonas áridas, donde las temperaturas son extremas, teniendo en el día temperaturas altas, sobre los 30°C y en la noche temperaturas bajas, inferior a los 7°C. Las altas temperaturas dilatan la roca y las bajas temperaturas contraen la roca, esto junto a diferentes índices de expansión produce tensión sobre la capa externa de la roca (Huggett, 2011; Tarbuck, 2013).
- ✓ Actividad biológica: meteorización mecánica que se debe a las actividades de animales, plantas y seres humanos. En el caso del poblado de Pinte, al tener poca vegetación, lo que más afecta son los animales. Por ejemplo, los animales pueden excavar descomponiendo la roca y moviendo material fresco a la superficie. Además, los organismos en descomposición producen ácidos que favorecen la meteorización química (Huggett, 2011; Tarbuck, 2013).
- ✓ Disolución: meteorización química, que genera que los minerales se disuelvan. Ejemplo es el carbonato cálcico, componente de algunas rocas de la zona, el ácido carbónico puede provenir del dióxido de carbono y a través de la lluvia llegar a las rocas, al hacer contacto con la roca esta sustancia reactiva, las descompone y genera productos hidrosolubles (Huggett, 2011; Tabuck, 2013).



Descripción del sector

- ✓ Oxidación: meteorización química, en ella los minerales ricos en hierro se oxidan, esto se debe a que el oxígeno se combina con el hierro, originando óxido férrico (Huggett, 2011; Tarbuck, 2013).



Mientras la reacción ocurre, los elementos pierden electrones, el hierro se oxida cediendo electrones, los que son ganados por el oxígeno. Para el sector de Pinte; donde el ambiente es seco en verano, por lo que hay poca adición de agua (la que aumenta la reacción), la oxidación es lenta. La oxidación descompone los minerales ferromagnesianos (como en La Pirámide) como el olivino, el piroxeno y la hornblenda, que pasan a ser óxidos férricos de color marrón rojizo, llamado hematitas (Fe_2O_3) y de color amarillento limonita ($FeO(OH)$) (Huggett, 2011; Tarbuck, 2013).

Las características petrográficas de las morfologías se detallan a continuación.

- La Pirámide (figura 5.5.5), de base a techo consiste en:
 - ✓ Arenisca calcárea, roca sedimentaria carbonatada color gris, de tamaño de grano de arena muy fina, con contenido de carbonato de calcio y presencia de epidota. Con una selección de muy bien seleccionada, un grado de redondez de redondeado a muy redondeado, con 5% de matriz y 95% de clastos, un empaquetamiento clastos soportados, texturalmente es super madura, y posee una fábrica isótropa. Contiene 5% de fragmentos líticos, 15% de feldespatos y 80% de cuarzo.
 - ✓ Toba cristalina, roca piroclástica de color pardo claro, presenta una textura afanítica, con una composición de 5% de líticos, 10% de vidrio y 85% de cristales, y tamaño de fragmentos 100% de ceniza.
 - ✓ Granodiorita, roca plutónica de color rojizo, con tamaño de grano que varía de grano medio a grano fino. Su textura es holocristalina, fanerítica e inequigranular. Contiene epidota y jaspe. Sus minerales principales son 10% de feldespatos alcalinos, 30% de cuarzo y 60% de plagioclasas. Cabe destacar que se encuentra intruyendo a la secuencia sedimentaria del sector (figura 5.5.7A)

Descripción del sector

- ✓ Andesita, roca ígnea volcánica de color gris oscuro y tamaño de grano fino. Presenta una textura holocristalina, porfídica y amigdaloidal. Contiene biotita, hematita y amígdalas rellenas de calcita. Sus minerales principales son 5% de cuarzo y 95% de plagioclasas (figura 5.5.7B).

La Andesita se encuentra en un contacto por discordancia angular con la roca *wackestone*.

- ✓ *Wackestones*, roca sedimentaria carbonatada de color pardo rojizo, con tamaño de grano de arena fina, y cemento de carbonato de calcio. Su grado de selección es moderadamente seleccionado y un grado de redondeamiento de redondeo a subredondeado. Contiene 25% de clastos y 75% de matriz, con un empaquetamiento matriz soportada y fábrica anisótropa. Presenta braquiópodos correspondientes a moldes internos con neomorfismo de calcita, cabe mencionar que en este sector también se encuentran *Weyla alata* y otros bivalvos.

La *wackestone* está en un contacto concordante con la roca caliza.

- ✓ Caliza, roca carbonatada de color pardo rojizo, con tamaño de grano de fino a muy fino, con una selección de bien seleccionado a muy bien seleccionado, grado de redondez de angular a subangular, contiene 7% de matriz y 93% de clastos; con un empaquetamiento clastos soportados, cemento de carbonato de calcio. Compuesta por 5% de fragmentos líticos, 10% de cuarzo y 85% de plagioclasas.

- El Escorpión, morfología parecida al tórax y cola de un escorpión de color gris (figura 5.5.2 y 5.5.4). Las características petrográficas de El Escorpión consisten en:

- ✓ Arenisca calcárea, roca sedimentaria mixta de color gris, con un tamaño de grano de arena muy fina, contiene cemento carbonatado y epidota. Tiene una selección de muy bien seleccionada, un grado de redondez de redondeo a muy redondeado, con 5% de matriz y 95% de clastos, con un empaquetamiento clastos soportados, es super madura texturalmente y su fábrica es isótropa. Compuesta 5% de fragmentos líticos, 15% de feldespatos y 80% de cuarzo.

Descripción del sector

La arenisca calcárea esta en un contacto concordante con la roca wackestone.

- ✓ Wackestones, roca sedimentaria carbonatada, de color pardo rojizo. Contiene 20% de clastos y 80% de matriz, con un empaquetamiento matriz soportada, fábrica anisótropa. Presenta moldes internos de braquiópodos que han pasado por un neomorfismo de calcita (figura 5.5.8).
- El Indio, se ha originado una morfología con la cara de un indio (figura 5.5.2 y 5.5.9), y sobre su cabeza un “penacho”, la forma que han tomado las rocas ha originado que la cara tenga expresión. La capa donde está la cara del indio se encuentra un par de metros más profunda que el resto de la morfología.

En el caso de La Cara del Indio debido al poco tiempo y peligrosidad, no fue posible ascender al sector, por esta razón no se describieron muestras. Por lo que la litología se describe correlacionándola según su posición estratigráfica con la Formación Lautaro, que es una sucesión marina calcárea arenosa, conformada por margas, conglomerados con cemento calcáreo, areniscas calcáreas y fosilíferas y calizas (Moscoso *et al.*, 2010).

Según la Hoja del Tránsito (Moscoso *et al.*, 2010) las formaciones de este sector son:

- Formación La Ternera: de edad Triásico Superior al Jurásico inferior. Constituida por andesitas, brechas, tobas riolíticas-dacíticas, con intercalaciones de limonitas y areniscas.
- Formación Lautaro: de edad Jurásico Inferior bajo a Jurásico medio bajo. Consiste en una sucesión marina calcárea arenosa, compuesta por margas, conglomerados con cemento calcáreo, calizas, areniscas calcáreas y fosilíferas.

La geomorfología del sector consiste en pequeños abanicos aluviales de tamaños métricos, terrazas fluviales y llanura de inundación (figura 5.5.2), siendo el agua el principal agente modelador de estas geoformas (Gutiérrez, 2008).

Descripción del sector

Quebrada Pinte ve incrementado su interés turístico debido al Museo de Sitio, donde se exhibe su riqueza paleontológica. Sumando la arqueología, que presentan los túmulos funerarios, asociados a la cultura Molle, constituidos de rocas ígneas, sedimentarias y metamórficas (Castillo, 2016).

Fotografías

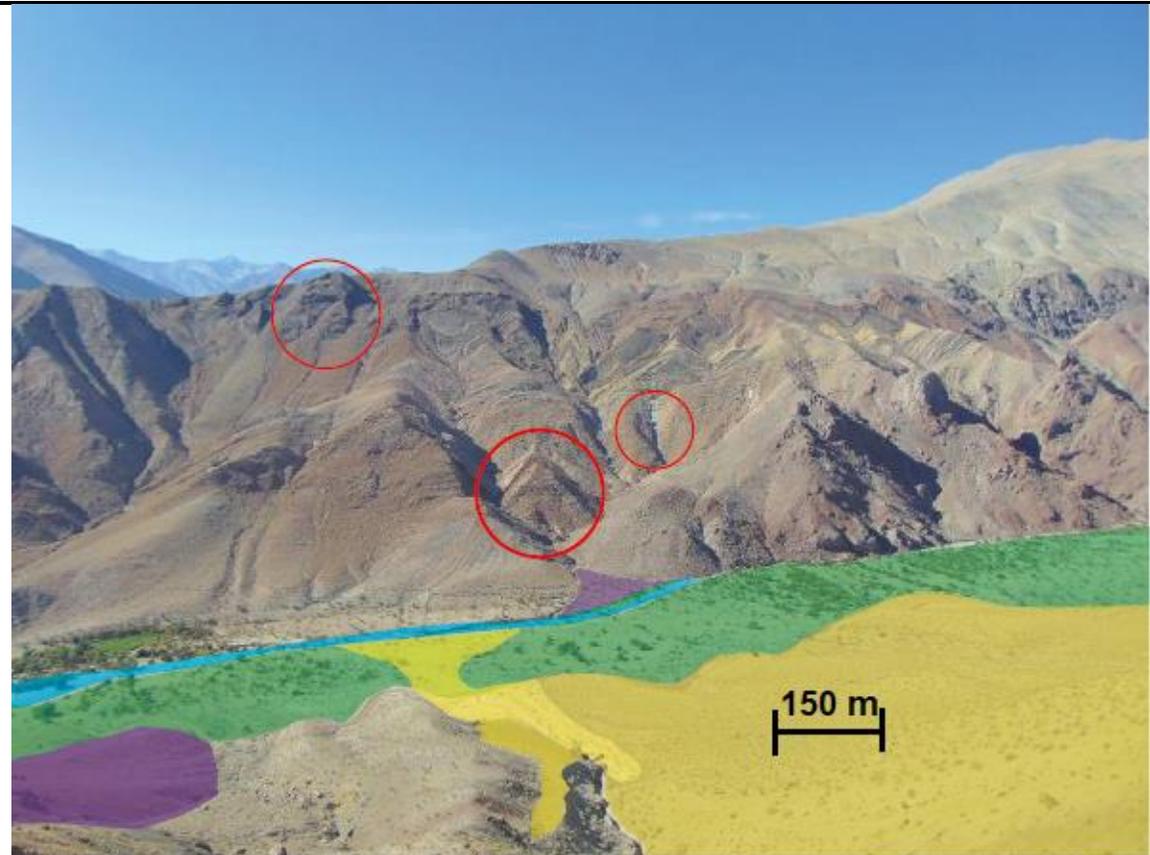


Figura 5.5.2: Imagen extraída y modificada de Rojas, 2021. De izquierda a derecha se observa El Indio, La Pirámide y El Escorpión. También se muestra la geomorfología del sector. De verde se encuentran las terrazas fluviales, de celeste la llanura de inundación, en morado los abanicos aluviales más antiguos y en amarillo los abanicos aluviales más recientes.

Esquemas

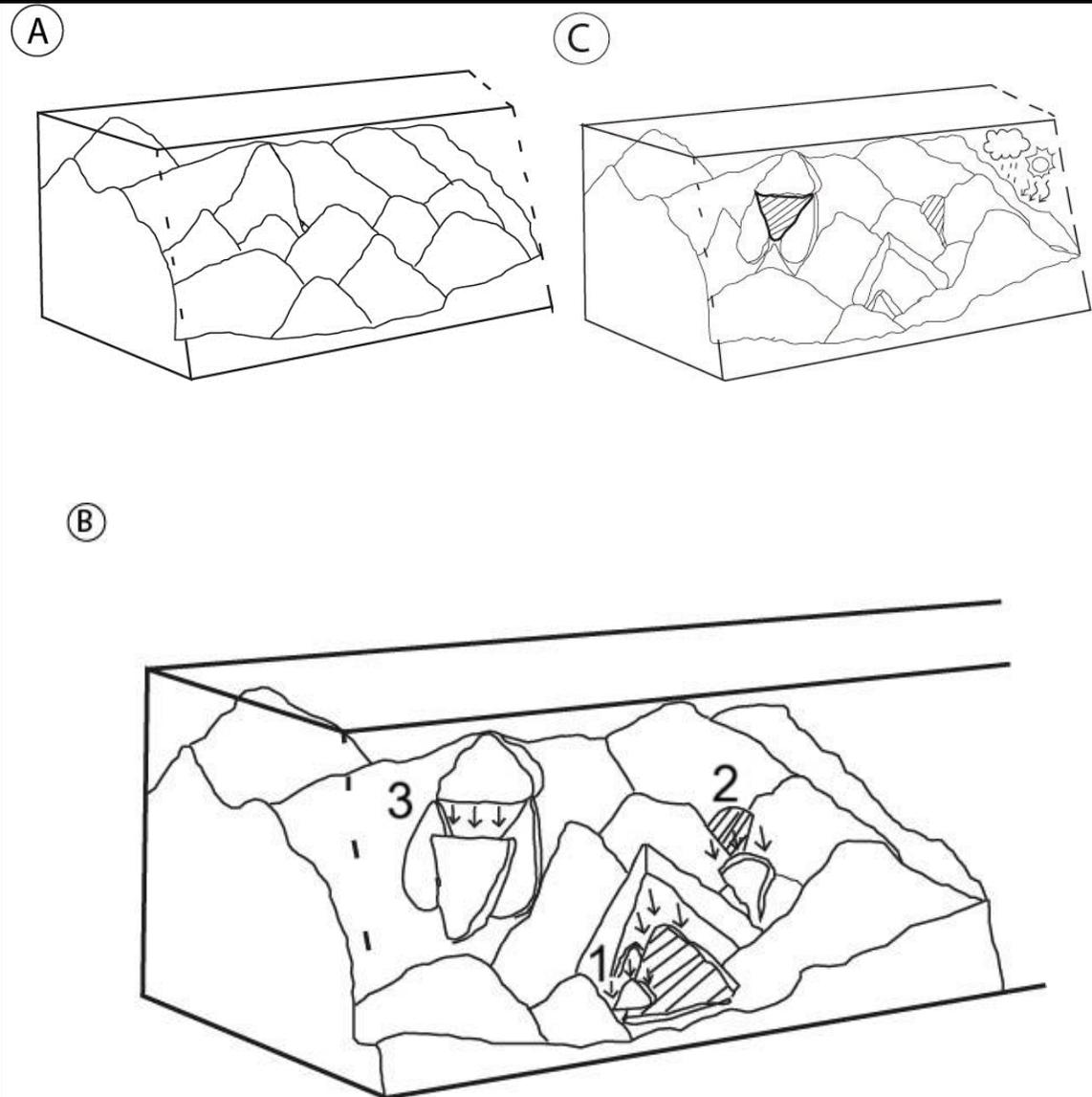


Figura 5.5.3: Esquema que representa la fragmentación que sufrió la roca debido a la meteorización, que posteriormente es removida por la erosión. Elaboración propia en programa Adobe Illustrator. A) Zona antes de sufrir erosión y meteorización. B) Roca fragmentada y removida, se indica con 1, 2, 3 el orden de formación de las morfologías. Primero (1) se forma La Pirámide, segundo (2) El Escorpión, y por último (3) El Indio. C) Morfologías formadas debido a la erosión y meteorización.

Fotografías



Figura 5.5.4: Fotografía tomada en terreno, donde se puede observar parte de la morfología característica del sector, donde las rocas estratificadas toman la forma de La Pirámide (1) y más atrás se observa El Escorpión (2).

Imágenes

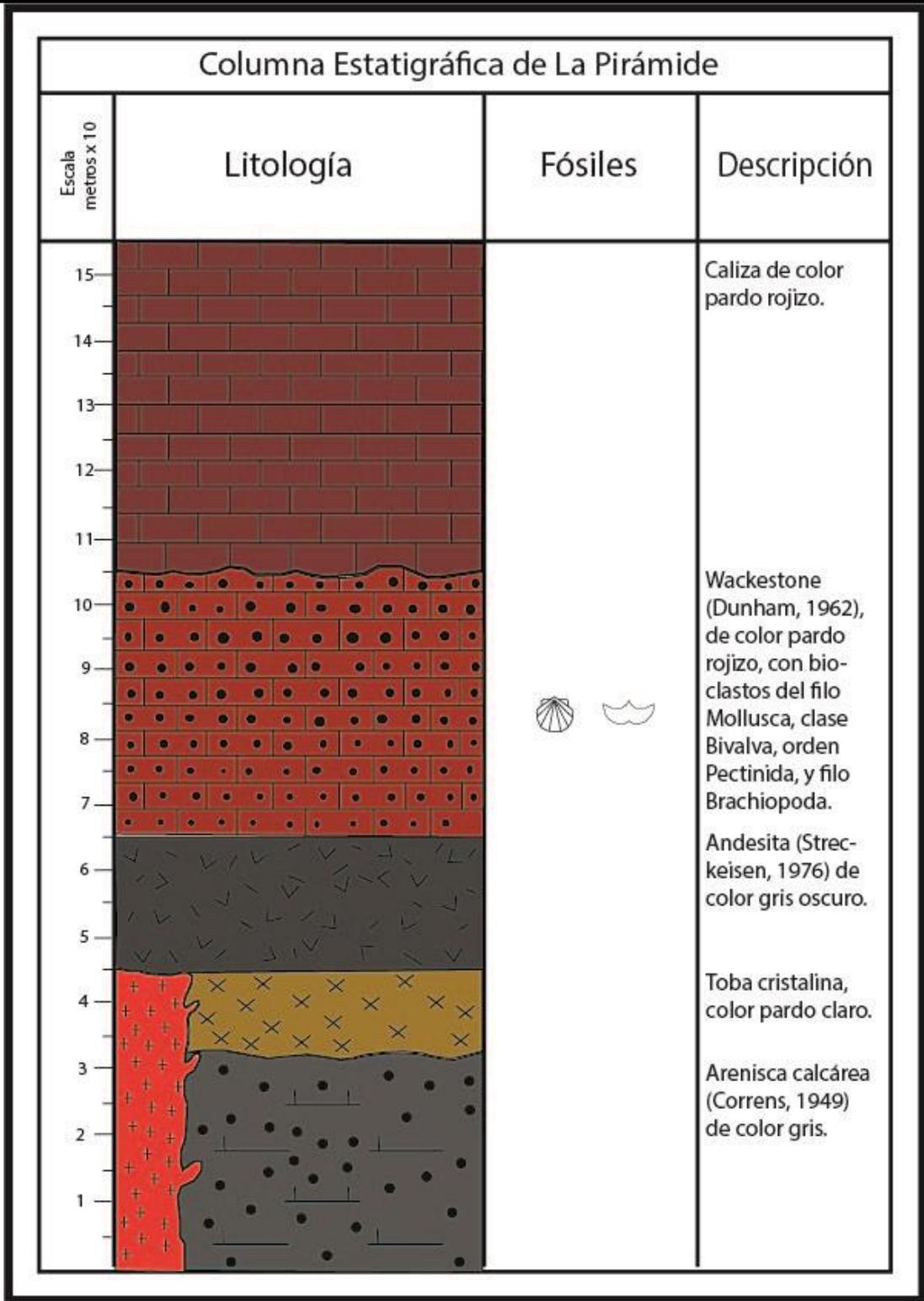


Figura 5.5.5: Columna estratigráfica de morfología La Pirámide. Elaboración propia en programa Adobe Illustrator.

Imágenes

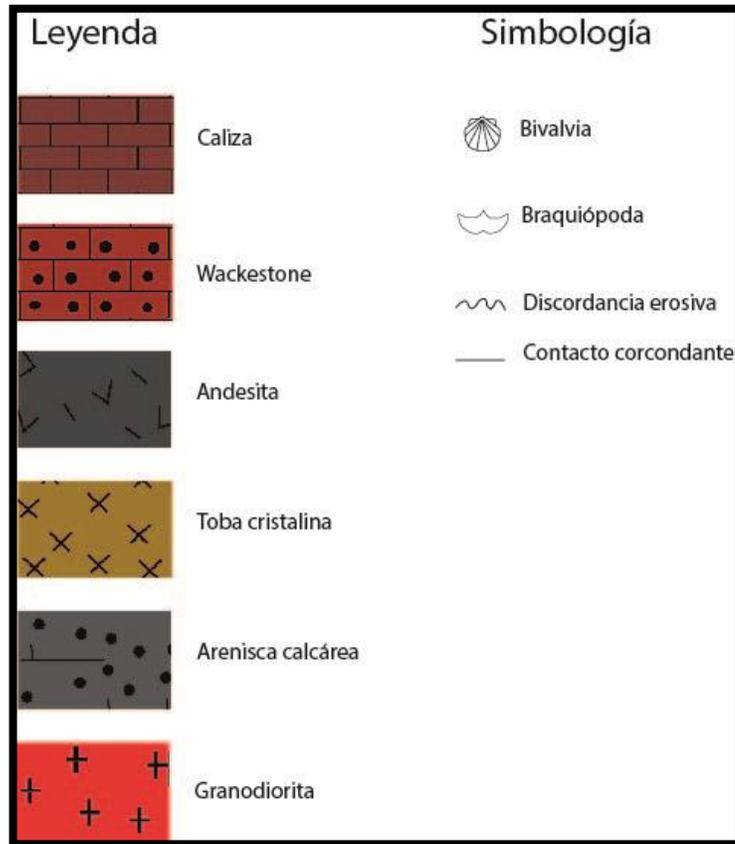


Figura 5.5.6: Leyenda y simbología de columna estratigráfica de La Pirámide.

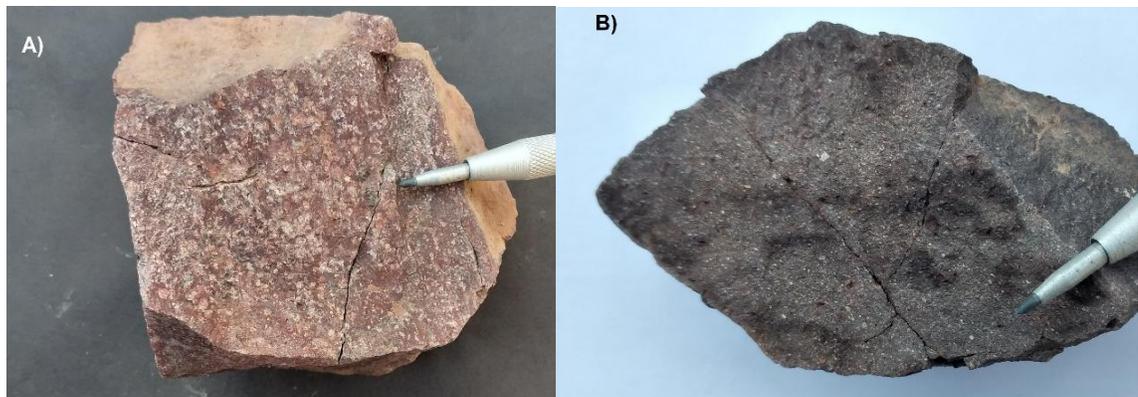


Figura 5.5.7: Litología de la Pirámide. A) Granodiorita de tamaño de grano medio a fino, compuesta por 60% de plagioclasas, 30% de cuarzo y 10% de feldespatos alcalinos. B) Andesita de tamaño de grano fino, contiene 95% de plagioclasas y 5% de cuarzo.

Fotografías



Figura 5.5.8: Wackestone de El Escorpión, contiene 20% de clastos y 80% de matriz, presenta fósiles de braquiópodos.

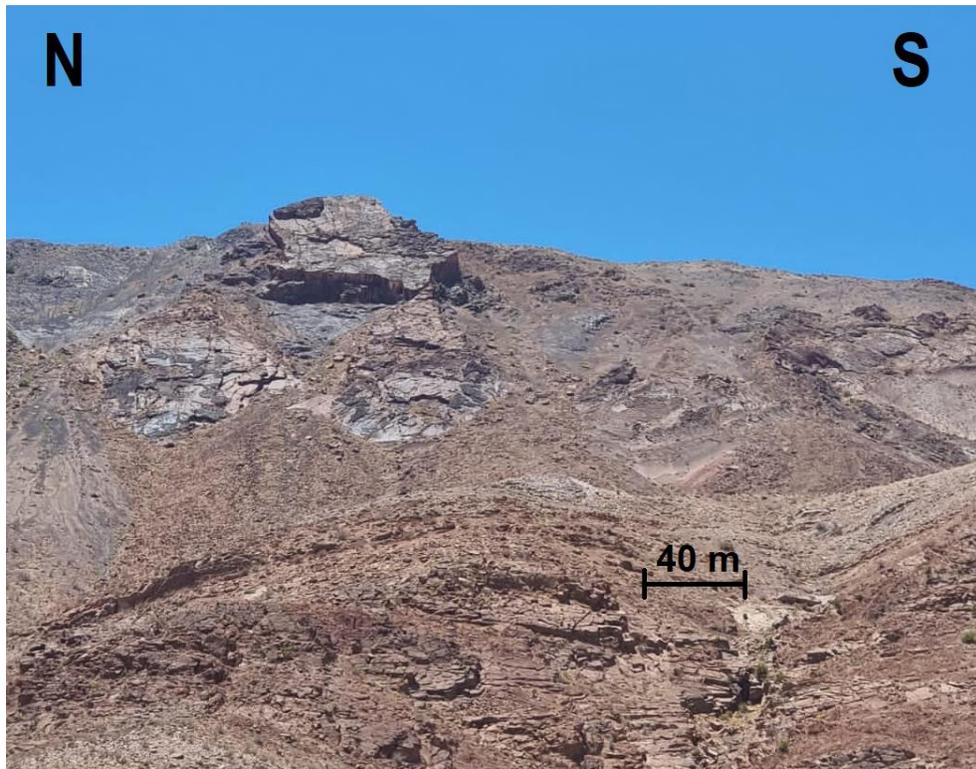


Figura 5.5.9: Fotografía tomada en terreno, donde se puede observar parte de la morfología característica del sector, El Indio, donde las rocas estratificadas toman la forma de la cara de un indio y su expresión.

5.2.6 *Slump* de Quebrada de Pinte (VH-6)

Características generales	
Nombre del geositio	<i>Slump</i> de Quebrada de Pinte
Código	VH-6
Localización	
País	Chile
Región	Atacama
Provincia	Huasco
Localidad	Quebrada de Pinte
Coordenadas UTM	6.795.928 N; 375.543 E
Altitud	1.354 m s.n.m.
Dimensiones	850 m ²
Vías de acceso y poblados cercanos	
Tipo de Vehículos para acceso	Todo tipo de vehículo
Distancia hasta carretera con doble vía	82,9 km
Tipo de protección	Sin protección
Distancia a punto más próximo a acceso en mini bus	0 km
Distancia a punto más próximo a acceso en auto	0 km
Distancia a punto más próximo a acceso en vehículo 4x4	0 km
Distancia hasta pueblo/ciudad más cercana	2,52 km (Pueblo de Pinte)
Tipo de zona más cercana urbana/rural	Rural
Características geológicas	
Interés geológico (paleontológico, estructural, sedimentario, etc.)	Sedimentario y estructural.

Ubicación y acceso

El *Slump* de Quebrada Pinte, se ubica a 1,5 km del poblado de Pinte, zona rural del Valle del Tránsito. El acceso a la zona desde la ciudad de Vallenar se realiza mediante la vía C-485, localizada en la salida SE de la ciudad, recorriéndola por unos 42 km. Al llegar a la bifurcación del poblado de Alto del Carmen, continuar por la vía C-495, por unos 34 km. Llegando al cruce en forma de T, incorporarse a la vía C-493, y avanzar 3,3 km.

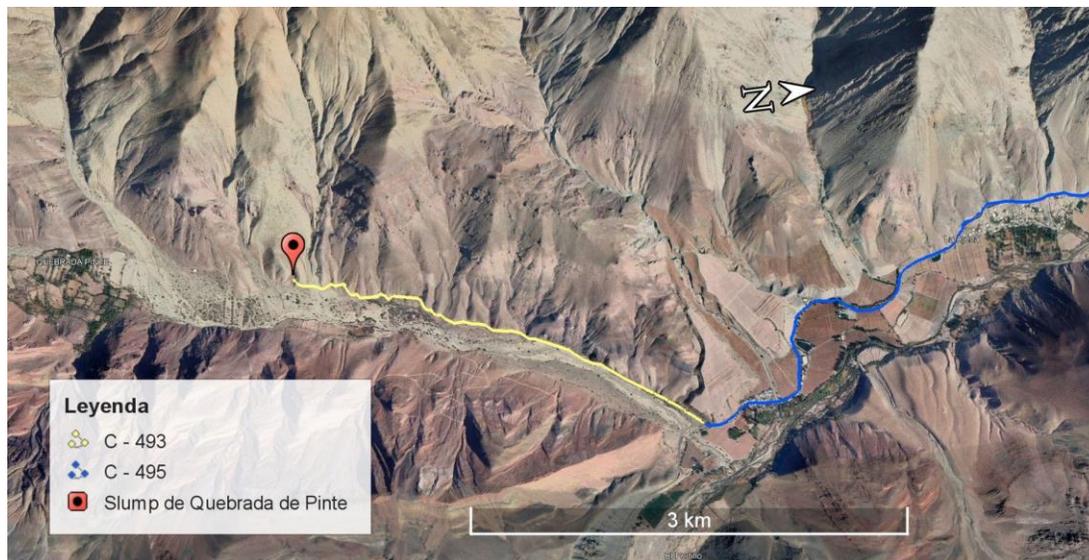


Figura 5.6.1: Ubicación *Slump* de Quebrada de Pinte. En amarillo se señala la vía C-493 y en azul la vía C-495. Elaboración propia.

Descripción del sector

Los *Slumps* o también llamados “pliegues por deslizamiento gravitacional”, son estructuras sedimentarias de tipo mecánicas postdepositacionales. En ella ocurre una deformación contemporánea a la sedimentación, formadas por deslizamiento de los estratos previamente depositados, acontecen en ambientes subaéreos y subácueos (Maltman, 1994). El deslizamiento ocurre por gravedad, en zonas de quiebre de la pendiente, siendo la magnitud del movimiento horizontal pequeña. Los ambientes de formación son variados, pero la mayoría implica una gran cantidad de material fino y las dimensiones varían de pocos metros a centenares de metros de espesor (Ponce, 2018).

Estas estructuras sedimentarias, se diferencian de los pliegues tectónicos debido a que su base y techo carecen de estratos deformados (Ponce, 2018). En el caso de la zona

Descripción del sector

de estudio (figura 5.6.2), se evidencia que su base no presenta deformación, los estratos están depositados de forma horizontal, con una leve inclinación al SE (figura 5.6.3). Si bien el techo muestra deformación, esto se debe a que la parte no deformada, ha sido desintegrada por la meteorización y erosión del lugar. Por tanto, con la evidencia de la base de la estructura, se descarta que se esté en una zona de falla o pliegues tectónicos.

La litología de este sector se compone por arenisca feldespática que contiene clastos de andesitas. Se encuentra poco consolidada, pobremente seleccionada, los clastos son angulares a subangulares, con tamaño de grano grueso, polimíctico, con una composición de 95% de clastos y 5% de matriz y cemento carbonático. La matriz se conforma de arcillas y limos de tamaño medio a muy fino, de color pardo rojizo. Cabe mencionar que, los clastos de andesitas provienen de la unidad de andesitas dispuestas en altitudes inmediatamente colindantes y superiores. La unidad de andesita presenta textura holocristalina, fanerítica y porfídica, con tamaño de grano medio, que contiene 90% de plagioclasas y 10% de cuarzo.

El Slump de Quebrada Pinte se conforma bajo las condiciones ambientales de Quebrada Pinte, correspondiente a un ambiente marino, descrito por Rojas (2021) como una subcuenca de trasarco con proceso de transgresiones marinas. En primer lugar, una porción de los estratos de andesita se encontraba sumergida bajo las aguas marinas. Posteriormente, debido a la influencia de la gravedad, se produce un deslizamiento en el sector, lo cual conlleva a la depositación de sedimentos compuestos por andesitas en el agua, mientras al mismo tiempo ocurre una deformación (figura 5.6.4).

Según la hoja geológica El Tránsito (Moscoso *et al.*, 2010) en la zona se encuentra la Formación Picudo de una edad Jurásico Medio a Superior, que consiste en una sucesión volcano-sedimentaria compuesta de conglomerados, andesitas, brechas, areniscas y tobas. En este sector se halla el Miembro Superior de esta formación que corresponde a coladas de andesitas a andesitas basálticas de textura porfídica y matriz intergranular.

Fotografías



Figura 5.6.2: Imagen tomada en terreno, desde el camino de Quebrada Pinte. *Slump* que se encuentra en Quebrada de Pinte.

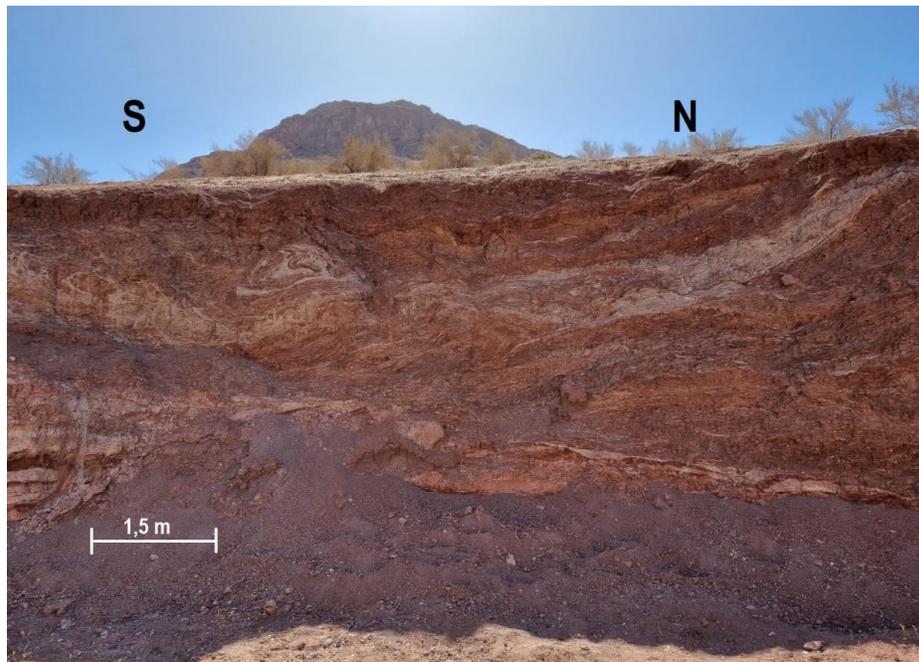


Figura 5.6.3: Imagen tomada en terreno. *Slump* que se encuentra en Quebrada de Pinte, se puede observar desde más cerca.

Esquemas

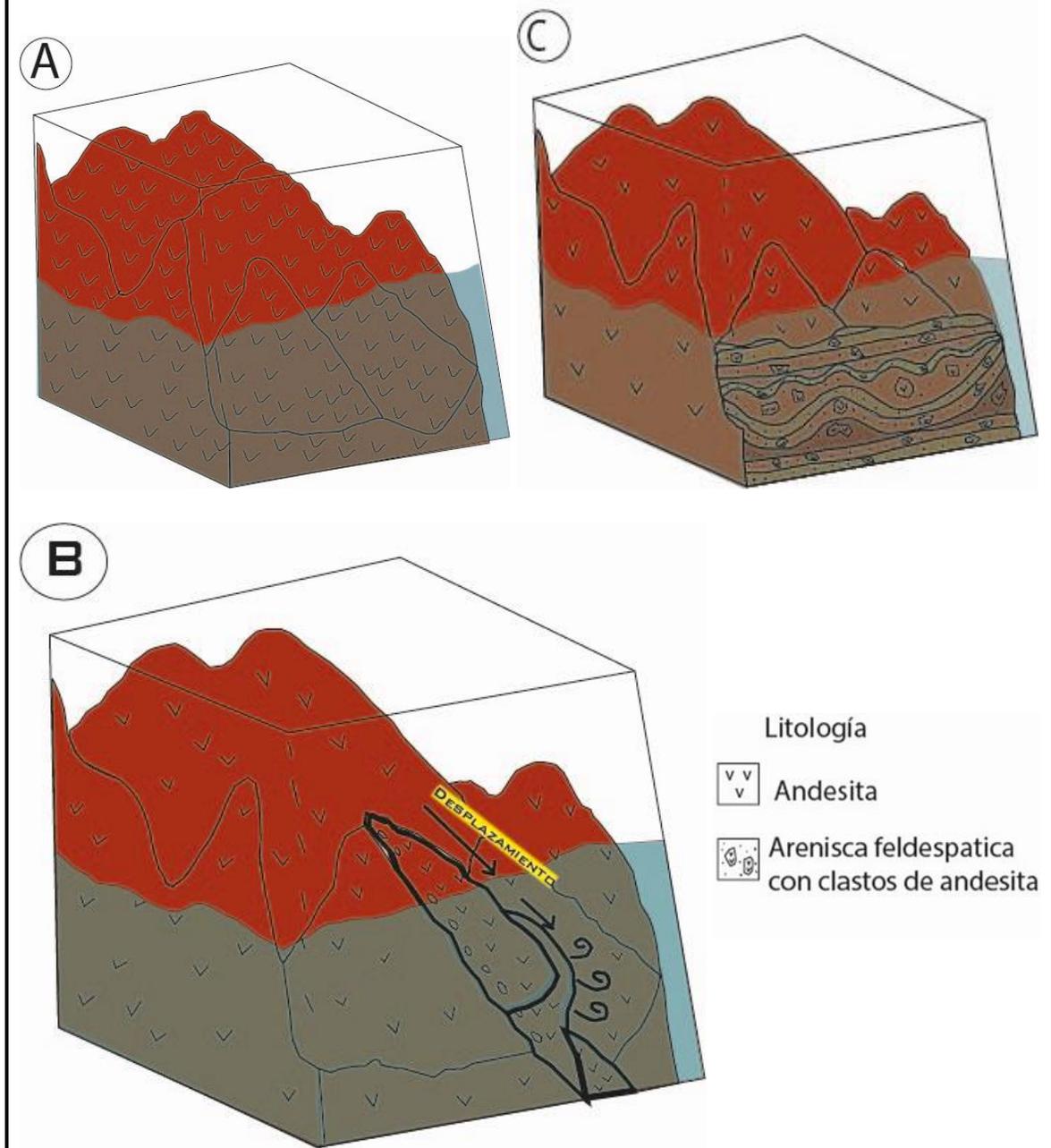


Figura 5.6.4: Esquema de formación de *Slump* de Quebrada de Pinte. Elaboración propia en programa Adobe Illustrator. A) Estratos de roca andesita, una porción se encuentra sumergida en aguas marinas. B) Deslizamiento de los estratos de andesita debido a la gravedad. C) Deposición de los sedimentos de composición de andesita bajo el agua, mientras al mismo tiempo ocurre una deformación.

5.2.7 Conjunto de Fallas inversas Quebrada de Pinte (VH-7)

Características generales	
Nombre del geosítio	Conjunto de Fallas inversas Quebrada de Pinte
Código	VH-7
Localización	
País	Chile
Región	Atacama
Provincia	Huasco
Localidad	Quebrada de Pinte
Coordenadas UTM	6.797.534 N; 376.811 E
Altitud	1.251 m s.n.m.
Dimensiones	0.1 km ²
Vías de acceso y poblados cercanos	
Tipo de Vehículos para acceso	Todo tipo de vehículo
Distancia hasta carretera con doble vía	80.87 km
Tipo de protección	Sin protección
Distancia a punto más próximo a acceso en mini bus	230 m
Distancia a punto más próximo a acceso en auto	230 m
Distancia a punto más próximo a acceso en vehículo 4x4	140 m
Distancia hasta pueblo/ciudad más cercana	700 m (El Portillo)
Tipo de zona más cercana urbana/rural	Rural
Características geológicas	
Interés geológico (paleontológico, estructural, sedimentario, etc.)	Estructural.

Ubicación y acceso

El Conjunto de Fallas inversas Quebrada de Pinte, se ubican a 4,7 km del poblado de Pinte, zona rural del Valle del Tránsito. Para acceder al área desde Vallenar, se debe seguir la vía C-485, ubicada en la salida SE de la ciudad, por unos 42 km, hasta la bifurcación en el poblado de Alto del Carmen, continuando por la vía C-495, por unos 35 km, luego doblar a derecha y recorrer 220 m por una zona sin camino.



Figura 5.7.1: Ubicación de El Conjunto de Fallas inversas Quebrada Pinte. En amarillo se señala la vía C-495 y en azul se señala el lugar de acceso a la zona que no tiene camino. Elaboración propia.

Descripción del sector

Conjunto de seis fallas inversas (figura 5.7.2), localizadas desde la cúspide del cerro, hasta sus pies (figura 5.7.3). Cabe mencionar que no era posible medir la actitud dichas fallas, por la peligrosidad al ascender al sector. Pero se estima el desplazamiento de los bloques de las fallas, desde la que se encuentra en la cúspide a la que se localiza en los pies del cerro, las fallas son indicadas en la imagen como A, B, C, D, E y F, el desplazamiento calculado para cada falla es de 2 m; 1 m; 2,5 m; 2,5 m; 5 m y 0,5 m, respectivamente.

Descripción del sector

Las fallas son fracturas producidas en la corteza terrestre, que generan un desplazamiento en la zona, identificándose el bloque de techo y el bloque de muro, el techo es la roca sobre la superficie de la falla y el muro es la roca por debajo de la superficie de falla. Las fallas inversas son verticales, donde el bloque de techo sube con respecto al bloque de muro, provocadas por un esfuerzo compresivo. Por lo general su ángulo de buzamiento es menor a 45° (Tarbuck, 2013).

La litología del sector consiste en una roca *wackestone*, roca sedimentaria carbonatada, de color pardo grisáceo, con un tamaño de grano de arena muy fina y carbonato de calcio en su matriz, con un 25% de clastos y 75% de matriz; con un empaquetamiento matriz soportada y fábrica isótropa. Se observan restos fósiles de braquiópodos macerados y no diferenciados, pero con reemplazamiento, neomorfismo de calcita y crecimiento en drusa del mismo mineral para el relleno de cavidades.

Según la Hoja del Tránsito (Moscoso *et al.*, 2010) las formaciones de este sector son:

- Formación La Ternera: de edad Triásico superior al Jurásico inferior. Constituida por andesitas, brechas, tobas riolíticas-dacíticas, con intercalaciones de limonitas y areniscas.
- Formación Lautaro: de edad Jurásico inferior bajo a Jurásico medio bajo. Consiste en una sucesión marina calcárea arenosa, compuesta por margas, conglomerados con cemento calcáreo, calizas, areniscas calcáreas y fosilíferas.

Fotografías



Figura 5.7.2: Fotografía tomada en terreno de las seis fallas inversas.

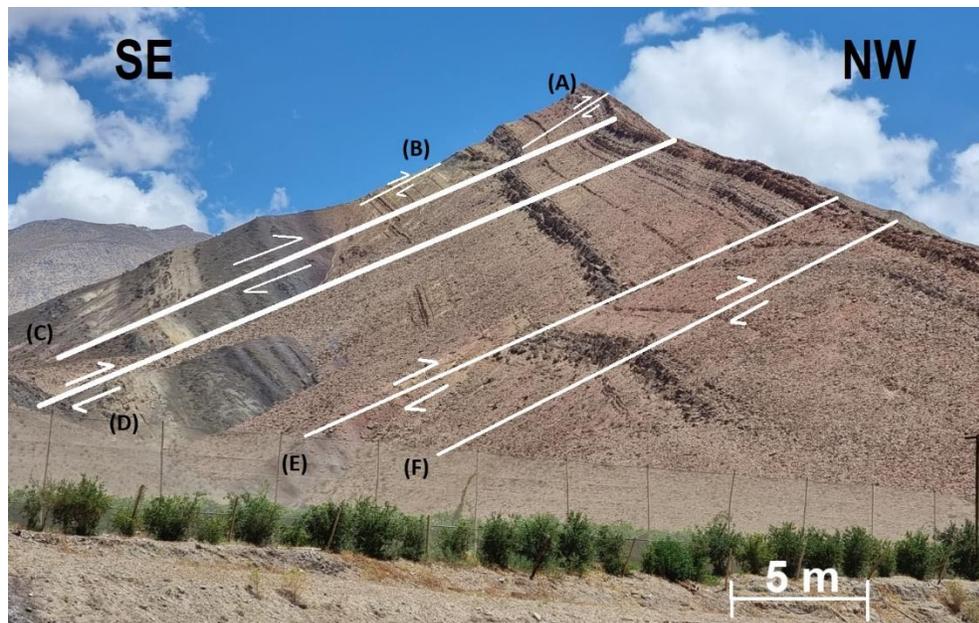


Figura 5.7.3: Edición de la fotografía, donde se observan en las líneas blancas los planos de fallas que muestran el sentido del movimiento de las seis fallas inversas. A continuación, se detalla el desplazamiento de los bloques de las fallas, según el número que tienen en la imagen, A) 2 m; B) 1 m; C) 2,5 m; D) 2,5 m; E) 5 m y F) 0,5 m,

Fotografías



Figura 5.7.4: *Wackestone* con presencia de restos fósiles de braquiópodos, los que están macerados, por tanto, no es posible diferenciarlos. Se identifica neomorfismo de calcita y crecimiento en drusa de este mismo mineral, el cual rellena cavidades.

5.2.8 Set de Fallas El Portillo (VH-8)

Características generales	
Nombre del geositio	Set de Fallas El Portillo
Código	VH-8
Localización	
País	Chile
Región	Atacama
Provincia	Huasco
Localidad	El Portillo
Coordenadas UTM	6.798.538 N; 376.993 E
Dimensiones	77.340 m ²
Vías de acceso y poblados cercanos	
Tipo de Vehículos para acceso	Todo tipo de vehículo
Distancia hasta carretera con doble vía	73,4 km
Tipo de protección	Sin protección
Distancia a punto más próximo a acceso en mini bus	660 m
Distancia a punto más próximo a acceso en auto	660 m
Distancia a punto más próximo a acceso en vehículo 4x4	61 m
Distancia hasta pueblo/ciudad más cercana	1,75 km (El Portillo)
Tipo de zona más cercana urbana/rural	Rural
Características geológicas	
Interés geológico (paleontológico, estructural, sedimentario, etc.)	Tectónico

Ubicación y acceso

El set de Fallas El Portillo se ubica a 3 km de la localidad de La Arena, zona rural del Valle del Tránsito. Para acceder al área desde Vallenar se debe seguir la vía C-485, ubicada en la salida SE de la ciudad, por unos 42 km, hasta la bifurcación en el poblado de Alto del Carmen, continuando por la vía C-495; por unos 34 km, al alcanzar este sector, doblar a la izquierda en un camino de tierra, y recorrer 400 m para llegar a la zona que se propone como mirador.



Figura 5.8.1: Ubicación y accesos a Set de Fallas El Portillo. En amarillo se muestra la vía C-495 y en rojo el camino de tierra. Elaboración propia.

Descripción del sector

Serie de fallas mayoritariamente normales y dos inversas (figura 5.8.2 y 5.8.3), las que se exhiben en un flanco derecho de un pliegue sinforme, asimétrico y abierto. En las fallas normales los bloques de techo están cayendo con respecto a los del muro, lo que se evidencia en el registro geológico del lugar, especialmente en la base del cerro, que es de color amarillo. Cabe mencionar que en este caso no se pudo sacar muestras ni medir ninguna de las fallas, ya que no fue posible acceder al sector, por lo que fue fotointerpretado desde unos 130 m de distancia.

Descripción del sector

Los pliegues son deformaciones dúctiles generados en la corteza terrestre, en rocas sedimentarias, metamórficas y volcánicas, se originan debido a un esfuerzo compresivo, por lo que las rocas se pliegan y la corteza se acorta y engrosa. Los pliegues sinclinales son los que tienen una forma cóncava o de surco, y los anticlinales son los de forma convexa o de arqueamiento (Tarbuck, 2013), este último es el que representa a este geosito.

Por otra parte, las fallas son fracturas producidas en la corteza terrestre, generando un desplazamiento en la zona, identificándose el bloque de techo y el bloque de muro, el techo es la roca que se encuentra sobre la superficie de la falla y el muro es la roca por debajo de la superficie de falla. Las fallas inversas son verticales, el bloque de techo sube con respecto al bloque de muro, provocadas por un esfuerzo compresivo, por lo general su ángulo de buzamiento es menor a 45° . Las fallas normales son verticales, el bloque de techo baja con respecto al bloque de muro, producidas por esfuerzos extensivos, su ángulo de buzamiento es cercano a los 60° (Tarbuck, 2013).

Según la Hoja del Tránsito (Moscoso *et al.*, 2010) las formaciones de este sector son:

- Formación La Ternera: de edad Triásico superior al Jurásico inferior. Constituida por andesitas, brechas, tobas riolíticas-dacíticas, con intercalaciones de limonitas y areniscas.
- Formación Lautaro: de edad Jurásico inferior bajo a Jurásico medio bajo. Consiste en una sucesión marina calcárea arenosa, compuesta por margas, conglomerados con cemento calcáreo, calizas, areniscas calcáreas y fosilíferas.

Fotografías

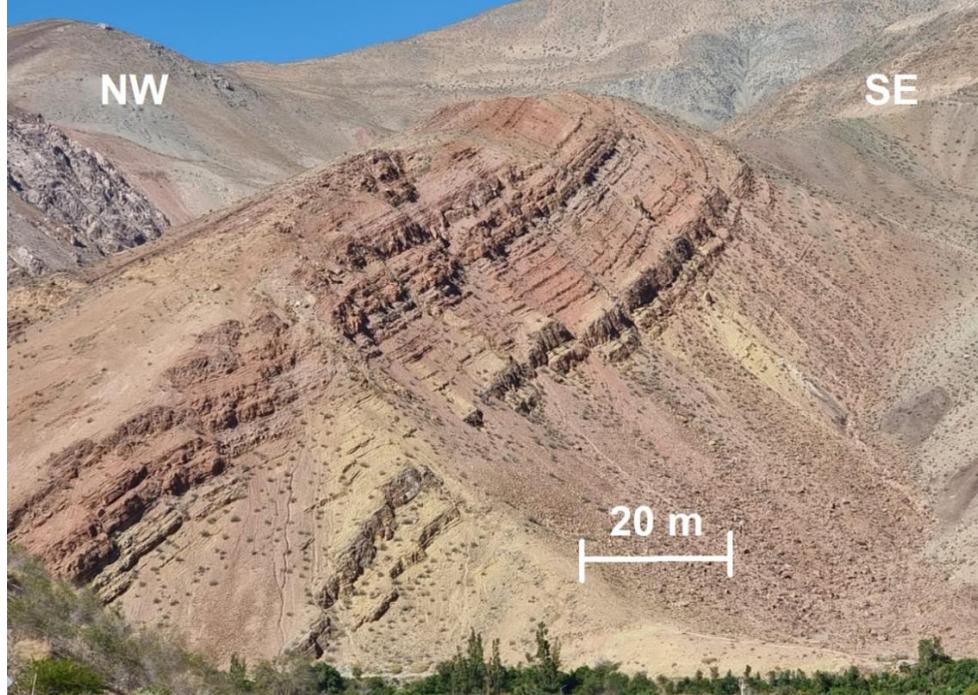


Figura 5.8.2: Set de fallas, en flanco derecho de un pliegue sin forme. Fotografía tomada en terreno.

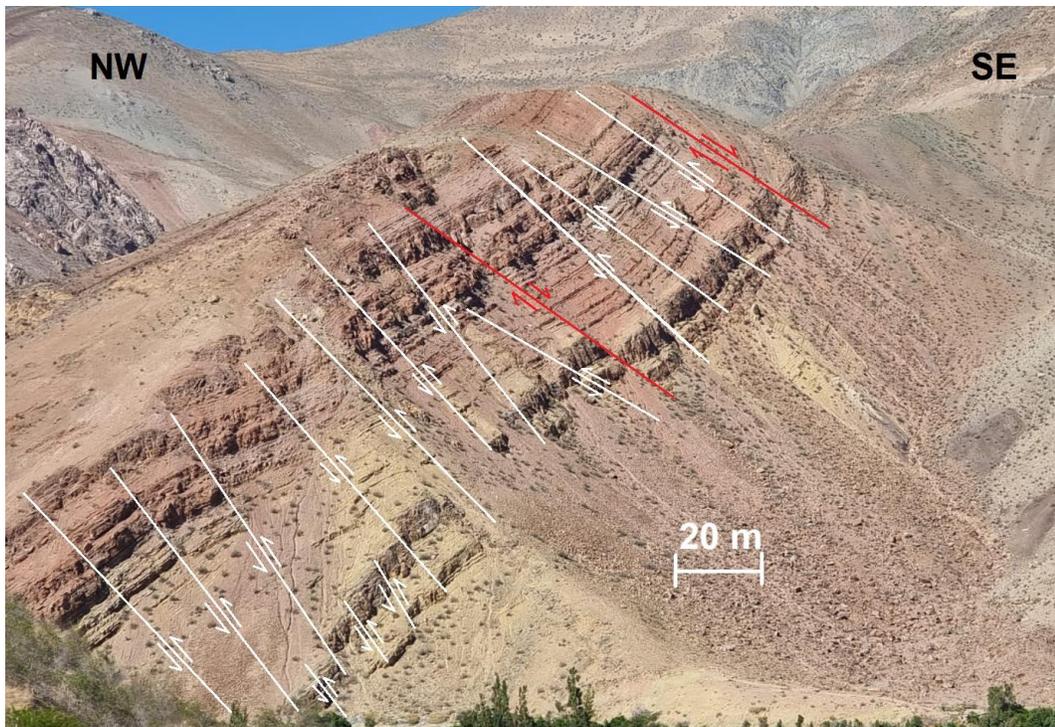


Figura 5.8.3: Edición de la fotografía. Donde en blanco se encuentran las fallas normales y de rojo las fallas inversas.

5.2.9 Embalse Santa Juana (VH-9)

Características generales	
Nombre del geositio	Embalse Santa Juana
Código	VH-9
Localización	
País	Chile
Región	Atacama
Provincia	Huasco
Localidad	La Laja
Coordenadas UTM	6.826.858 N; 339.697 E
Altitud	681 m s.n.m.
Capacidad	166 hm ³
Vías de acceso y poblados cercanos	
Tipo de Vehículos para acceso	Todo tipo de vehículo
Distancia hasta carretera con doble vía	21,7 km
Tipo de protección	Sin protección
Distancia a punto más próximo a acceso en mini bus	70 m
Distancia a punto más próximo a acceso en auto	70 m
Distancia a punto más próximo a acceso en vehículo 4x4	70 m
Distancia hasta pueblo/ciudad más cercana	Camarones
Tipo de zona más cercana urbana/rural	Rural
Características geológicas	
Interés geológico (paleontológico, estructural, sedimentario, etc.)	Geomorfológico, hidrogeológico y estratigráfico.

Ubicación y acceso

Se ubica a 23 km de Vallenar. Para acceder al Embalse Santa Juana desde Vallenar, se debe seguir la vía C-485, ubicada en la salida SE de la ciudad y recorrer 23 km aproximadamente, el lugar se encuentra señalizado para los turistas.



Figura 5.9.1: Ubicación y accesos a Embalse Santa Juana. En rojo se muestra la vía C-485. Elaboración propia.

Descripción del sector

El Embalse Santa Juana fue construido entre los años 1991 y 1995, por el Ministerio de Obras Públicas y la constructora española Agroman Chile, siendo presidente de la república Patricio Aylwin Azocar y ministro de obras públicas Carlos Hurtado Ruiz-Tagle. La obra fue terminada siendo presidente de la república era Eduardo Frei Ruiz-Tagle y el ministro de obras públicas Ricardo Lagos Escobar (Ministerio de Obras Públicas, 1996). Esta zona es muy llamativa y atractiva, con una alta calidad visual (figura 5.9.2).

El objetivo de la obra era regular el flujo del Río Huasco, dando mayor seguridad de riego, beneficiándose 2.891 usuarios y una superficie de 13.843 ha. El embalse es el

Descripción del sector

más grande de la tercera región, con 8 km río arriba, un muro de aproximadamente de 100 km de alto, y una capacidad de 166 millones de m³, reservando el agua del río Huasco. (Ministerio de Obras Públicas, 1996).

El embalse Santa Juana fue construido en la cuenca del río Huasco, el cual se forma en el sector Junta del Carmen, a 90 km del océano Pacífico, a partir del río del Tránsito y el río del Carmen. La cuenca se compone de 3 subcuencas donde los aportantes principales son el río Tránsito, río del Carmen y río Huasco (Junta de Vigilancia de la cuenca del Río Huasco y sus afluentes, 2023).

En la zona se presentan estructuras geológicas que aumentan su interés e importancia. Estas estructuras se hallan en la zona SE del embalse, se exhibe una falla desde el actual nivel del agua, la que es acompañada de una gran deformación. Por otro lado, hacia la izquierda de la falla se encuentran unos estratos inclinados, debido al mismo movimiento de la falla (figura 5.9.3).

La litología del sector consiste en:

- Tonalita: roca plutónica de color blanco, con textura holocristalina, fanerítica y un tamaño de grano medio. Contiene turmalina, goethita y hematita. Presenta 55% de Cuarzo y 45% de plagioclasas.
- Granito: roca plutónica de color rosáceo, con textura holocristalina, fanerítica e inequigranular, con tamaño de grano medio. Contiene hematita, epidota y hornblenda. Presenta 55% de cuarzo, 25% de feldespatos alcalinos y 20% de plagioclasas.
- *Mudstone*: roca sedimentaria carbonatada de color pardo grisáceo, con tamaño de grano de arena fina. Con un grado de selección de muy bien seleccionado a bien seleccionado, y un grado de redondeamiento de redondeado a subredondeado. Contiene 5% de bioclastos y 95% de matriz micrítica, y empaquetamiento de matriz soportada. En ella se exhibe un resto fósil, junto a una estructura sedimentaria y patina de carbonato (figura 5.9.4).

Descripción del sector

Las asociaciones litológicas, pueden correlacionarse con las siguientes formaciones descrita en la Hoja de Vallenar-Domeyko (Arévalo *et al.*, 2009):

- La litología se caracteriza por la presencia de tres formaciones cretácicas
 - ✓ Formación Totalillo: de edad Barremiano inferior. Consiste en una secuencia bien estratificada de margas amarillas, con alternancia de brechas, calcarenitas rojizas y volcarenitas verdosas con niveles bioclásticos.
 - ✓ Formación Pabellón: de edad Barremiano superior al Aptiano. Conformado por una secuencia de lavas andesíticas-basálticas, calcarenitas bioclásticas con *thalassinoides*, calcilutitas montmorilloníticas, volcarenitas y calcilutitas con restos de rudistas.
 - ✓ Formación Cerrillos: de edad Albiano al Campaniano. Aquí se encuentra el miembro 2, constituido por lavas andesíticas, brechas y tobas.
- La geología estructural descrita en la carta, indica que en la zona de la presa se halla un plano axial sinclinal.

Por este embalse pasa la falla Agua de Los Burros. Falla normal que posteriormente se reactivó como falla inversa, la cual tiene una dirección NS-NNE y una inclinación variable (Garrido, 2009; Urresty, 2009; Guaita, 2015), esta falla es de tipo piel gruesa con una profundidad de 15 km (Perroud, 2017).

Debido a la presencia de rocas *mudstones* en el sector, las que contienen un alto contenido de carbonato de calcio, y la presencia de restos fósiles marinos, revela que la zona se forma en un ambiente marino. Lo que concuerda con lo descrito por Arévalo (2009) como un ambiente marino.

El embalse Santa Juana se destaca en comparación con el Embalse Lautaro, este último se ubica a 90 km de Copiapó y se halla en la cuenca del río Copiapó, conformado a partir del río Manflas, río Jorquera y río Pulido, el cual no se encuentra preparado para recibir a turistas. Este embalse en un inicio tenía solo una capacidad de 42 millones de m³, la que ha ido disminuyendo con los eventos aluvionales ocurridos en los últimos años, esto

Descripción del sector

debido a que fue creado con fines de riego y no como un embalse regulador de crecidas de aluviones (Junta de Vigilancia del Río Copiapó y sus afluentes).

Fotografías



Figura 5.9.2: Embalse Santa Juana. Imagen tomada en terreno, desde el mirador.

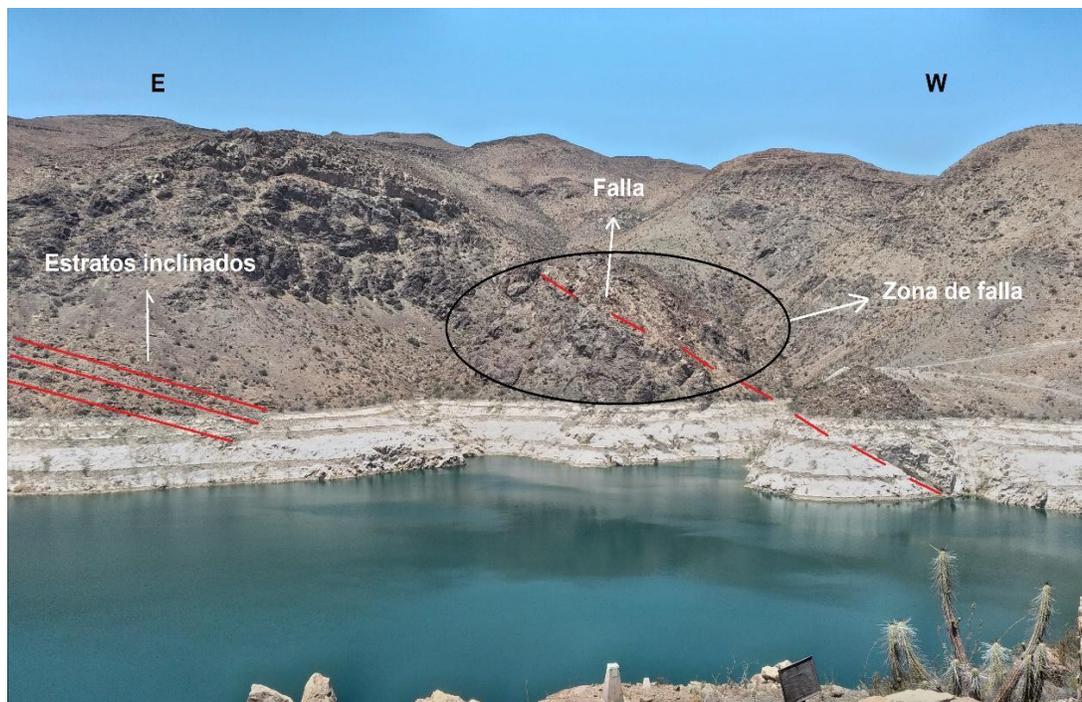


Figura 5.9.3: Embalse Santa Juana. Se muestran los estratos inclinados, falla que se exhibe desde el actual nivel del agua y la zona de falla. Imagen tomada en terreno, desde el mirador, la cual ha sido modificada.

Fotografías



Figura 5.9.4: Roca Mudstone, que se encuentra cercana al mirador. En ella se exhibe un resto fósil y presencia de estructura sedimentaria originadas en un ambiente marino con evaporación.

5.2.10 Terrazas Fluviales Freirina (VH-10)

Características generales	
Nombre del geositio	Terrazas Fluviales Freirina
Código	VH-10
Localización	
País	Chile
Región	Atacama
Provincia	Huasco
Localidad	Freirina
Coordenadas UTM	6.843.860N y 296.202E
Altitud	225 m s.n.m.
Dimensiones	2.61 km ²
Vías de acceso y poblados cercanos	
Tipo de Vehículos para acceso	Todo tipo de vehículo
Distancia hasta carretera con doble vía	30.3 km
Tipo de protección	Sin protección
Distancia a punto más próximo a acceso en mini bus	0 m
Distancia a punto más próximo a acceso en auto	0 m
Distancia a punto más próximo a acceso en vehículo 4x4	0 m
Distancia hasta pueblo/ciudad más cercana	0 km (Freirina)
Tipo de zona más cercana urbana/rural	Zona urbana (Freirina)
Características geológicas	
Interés geológico (paleontológico, estructural, sedimentario, etc.)	Geomorfológico y estratigráfico

Ubicación y acceso

Estas terrazas se encuentran en la ciudad de Freirina. Para acceder a ellas viniendo desde el norte o sur, se debe tomar la ruta 5. Luego tomar la vía C-46, en caso de desplazarse desde el norte, para acceder a esta vía, se debe doblar a la derecha; desde el sur, girar a la izquierda, esta vía se debe recorrer por unos 28 km. Estando en la localidad de Freirina, desde diversos sectores se observarán las terrazas e incluso estar sobre las mismas.

Para acceder al mirador establecido, una vez en la vía C-46, se requiere una travesía de unos 25 km. Posteriormente, tomar el desvío "bypass Freirina", ubicado a la izquierda, para cubrir una distancia de 5,4 km. El mirador, estratégicamente ubicado en el lado derecho del camino, se presenta como un punto de contemplación destacado, respaldado por instalaciones de estacionamiento que brindan comodidad a los visitantes.

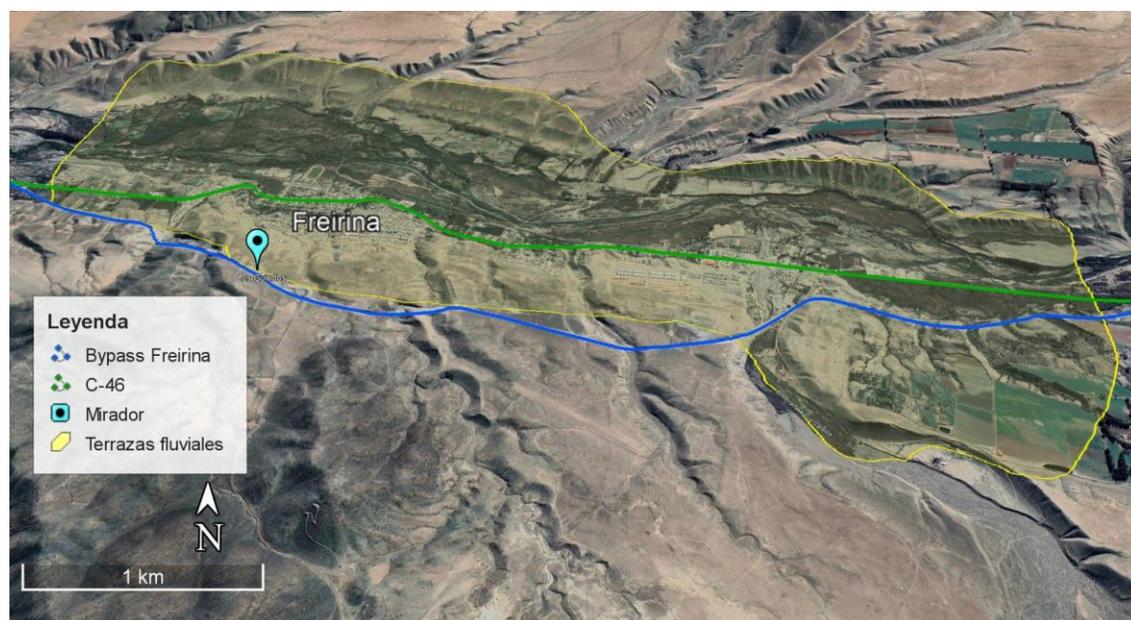


Figura 5.10.1: Ubicación y accesos Terrazas Fluviales. En azul se muestra el bypass Freirina y en verde la vía C-46. Elaboración propia.

Descripción del sector

Terrazas fluviales que se observan desde un mirador que se encuentra al costado de la carretera (figura 5.10.2, 5.10.3, 5.10.4 y 5.10.5). Los 6 niveles aterrazados se han producido por la erosión del cauce del río Huasco (Riveros, 2008).

Las terrazas fluviales se originan por el ensanchamiento del cauce durante periodos de estabilidad climática y tectónica. Debido a alteraciones en el nivel base del río o desembocadura, se genera un aumento de la acción erosiva del río, resultando en la sobreexcavación del cauce y la creación de un nuevo cauce del agua, elevando la antigua llanura de inundación (Pedraza, 1996).

Las terrazas fluviales se dividen en terrazas agradacionales y terrazas erosivas. Las terrazas agradacionales, están caracterizadas por una alta tasa de acumulación sedimentaria, se producen debido a que el sistema fluvial comienza a introducir en sus propios sedimentos transportados, los que se van acumulando, y posteriormente debido a la erosión del río, se origina una incisión, en este caso la tasa de sedimentación es mayor que la de erosión, naciendo una superficie horizontal. Por otra parte, en las terrazas erosivas predominan la erosión, y la tasa de acumulación sedimentaria es muy baja, de esta forma se origina una superficie erosiva que se escalona entre el cauce del río y las partes más altas del valle fluvial, cabe mencionar que esta superficie erosionada, puede excavar sobre los depósitos aluviales, donde tomará el nombre de terraza aluvial, o sobre el sustrato rocoso, donde se llamará terraza rocosa. También se encuentran las terrazas de relleno e incisión, donde hay etapas de agradación y de erosión lateral, mientras el río sigue en el mismo nivel (Pedraza, 1996; Burbank, 2001).

La zona inferior a media del Valle del Huasco está predominada por procesos sedimentarios agradacionales, por lo que los depósitos detríticos contienen grandes espesores donde se han originado variedad de terrazas fluviales, las cuales tienen una corta continuidad (Riveros, 2008).

La litología del sector descrita por Riveros, 2008, consiste en

- Unidad de Gravas Grises: de edad máxima Pleistoceno Inferior, consiste en

Descripción del sector

una secuencia sedimentaria clástica, granodecreciente, compuesta de gravas, arenas y limos. En cada terraza el espesor no supera los 8 metros. Se extiende debajo de la unidad gravas cementadas y depósitos aluviales modernos, dando origen en algunos casos a la superficie erosiva. Constituida por:

- ✓ Gravas clastos soportados con imbricación: gravas soportadas por clastos con estratificación horizontal, de color grisáceo, con una gradación normal, y un orden de dicimétrico a centimétrico. Esta facies se ubica en la base de la unidad.
- ✓ Alternancia entre arenas laminadas y limos: alternancia de facies arenosas y limosas, haciéndose progresivamente más finas hacia el límite superior. Las capas limosas son de color pardo rosado y tienen una potencia de 40 centímetros. Las capas arenosas son de color pardo rojizo, con laminación paralela, y una gradación normal desde arena gruesa a arena muy fina, su potencia máxima es de 90 cm.
- Unidad de Gravas Cementadas: de edad máxima postpleistoceno. Consiste en una secuencia sedimentaria, con una potencia de 15 metros, encajada en la unidad de gravas grises.
 - ✓ Gravas con estratificación “*trough*”: Gravas soportadas por clastos bien redondeados y bien seleccionados, con escasa matriz de tamaño de arena gruesa y muy bien cementadas por carbonatos. La mayoría de sus clastos tienen un diámetro de 20 a 10 cm. Se caracteriza por la presencia de estratificación cruzada “*trough*” y por tener un color pardo grisáceo.

En Freiría se aprecian 6 niveles de terrazas fluviales, en el flanco norte de la cordillera de la costa se hallan F0, F1, F3, F4, F5 y F6, y en el flanco sur se presenta F0, F1, F2, F3, F4 y F5. Las terrazas F1, F2 y F3 son de tipo erosivas, en cambio F4 es una terraza agradacional, que se encuentra encajada en F3 y que se desarrolla en la unidad de gravas grises. La terraza F5 es de tipo agradacional, esta encajada en F4 y se desarrolla en la unidad de gravas cementadas. Estas terrazas fluviales se originan debido a un alzamiento tectónico del sector, que se interpreta debido a que no hay evidencia sedimentaria ni geomorfológica de un efecto eustático en la formación de estas (Riveros, 2008).

Fotografías



Figura 5.10.2: Terrazas fluviales de Freirina observadas desde el mirador.



Figura 5.10.3: Fotografía modificada para mostrar con distintas tonalidades de amarillo los niveles de terrazas fluviales presentes en la imagen. F0, F1, F2, F3, F4; representan los diferentes niveles aterrazados en la imagen.

Fotografías



Figura 5.10.4: Terrazas fluviales de Freirina, observadas dentro de la misma ciudad. En la imagen se muestran cinco niveles aterrazados, incluso la fotografía es tomada sobre una de estas terrazas. Imagen extraída de Castillo, 2016.

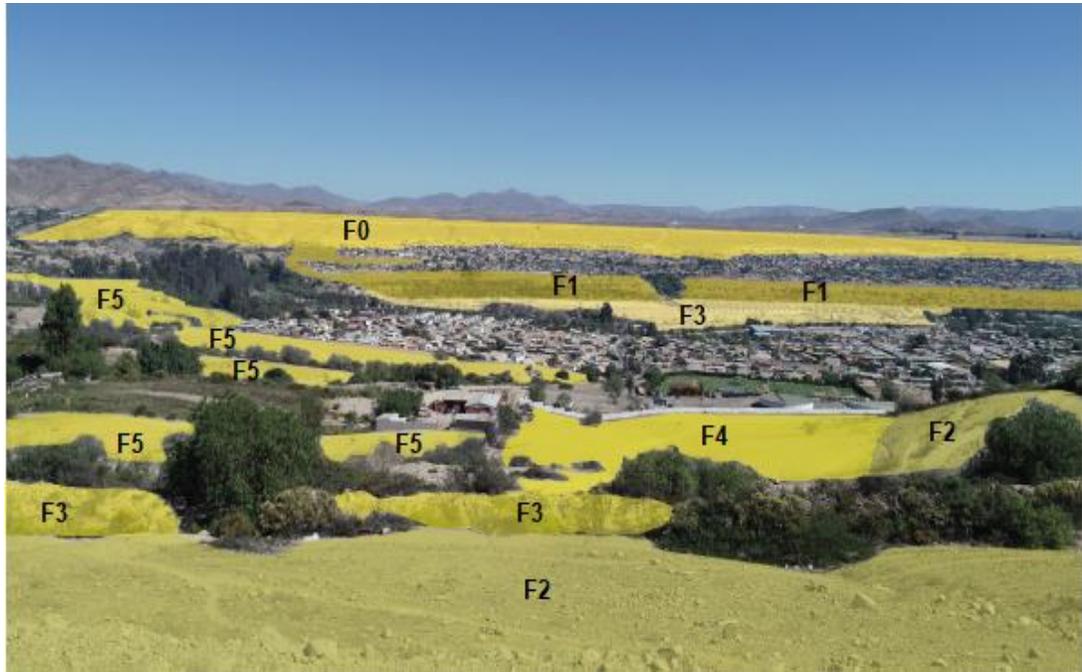


Figura 5.10.5: Cinco niveles de terrazas de Freirina, con las distintas tonalidades de amarillo se muestran los niveles de las terrazas. Imagen extraída y modificada de Castillo, 2016. F0, F1, F2, F3, F4; representan los diferentes niveles aterrazados en la imagen.

5.2.11 Huantemé (VH-11)

Características generales	
Nombre del geosítio	Huantemé
Código	VH-11
Localización	
País	Chile
Región	Atacama
Provincia	Huasco
Comuna	Freirina
Coordenadas UTM	6.850.411 N; 319.427E
Altitud	722 m s.n.m.
Dimensiones	0.33 km ²
Vías de acceso y poblados cercanos	
Tipo de Vehículos para acceso	4x4
Distancia hasta carretera con doble vía	21.7 km
Tipo de protección	Sin protección
Distancia a punto más próximo a acceso en mini bus	5.28 km
Distancia a punto más próximo a acceso en auto	1.63 km
Distancia a punto más próximo a acceso en vehículo 4x4	0 km
Distancia hasta pueblo/ciudad más cercana	12.4 km de Maitencillo
Tipo de zona más cercana urbana/rural	Zona urbana (Maitencillo)
Características geológicas	
Interés geológico (paleontológico, estructural, sedimentario, etc.)	Patrimonio minero

Ubicación y acceso

Para dirigirse a Huantemé desde la ciudad de Vallenar, se debe tomar la vía C-46, por unos 14 km. Posteriormente, doblar a la derecha, con el propósito de mantenerse en la vía C-450, por 7,5 km, luego tomar la ruta C-520 por 5 km. A partir de este punto, se vislumbra Huantemé; sin embargo, se restringe el acceso a la misma debido a la actividad de explotación llevada a cabo por la Compañía Minera del Pacífico S.A., a través del proyecto denominado Sierra La Bandera (Servicio Nacional de Geología y Minería, 2023), conforme a las directrices de la mencionada entidad minera, se encuentra prohibido el ingreso a la zona. Cabe destacar, que para llegar al sector es necesario tener camionetas 4x4, debido a que los caminos no son óptimos, lo que hace aún más complejo la entrada al sector.



Figura 5.11.1: Ubicación y accesos Huantemé. En rojo se muestra la vía C-520. Elaboración propia.

Descripción del sector

Huantemé es un yacimiento de hierro del tipo magnetita-apatito (*iron oxide apatite* – IOA) (Pizarro, 2022) que comienza a ser explotado en 1953 por la Compañía Minera Santa Bárbara, llegando a ser uno de los depósitos de hierro más importantes de la época (Millán, 1999). Actualmente se preservan casas, calles, la casona, el taller mecánico y la distribución territorial (figura 5.11.2).

Este yacimiento pertenecía a las familias de Sergio Merino y Daniel Palacios, siendo arrendado para su explotación por José Klein y Emérico Letay. Sus leyes eran muy altas, aflorando una veta de 500 m, con un orden de 66% de Fe, y casi nulo contenido de azufre y fósforo (Millán, 1999).

Cercano a 1953 el yacimiento lograba producir 25.000 toneladas mensuales, junto a la mano de obra de 500 personas dedicadas a chancar el mineral manualmente. Debido a que el proceso de carguío era demasiado lento, para octubre de 1954 se comienza a construir el muelle mecanizado “Las Lozas”, terminándolo en 1955. Al tiempo, llega el ingeniero Jorge Álvarez a administrar la minera, quien incorpora 6 camiones off-road de 30 toneladas, motoniveladoras, tres palas cargadoras, y bulldozer, además de la construcción de una planta chancadora, harneo y concentración magnética. (Millán, 1999).

Desde febrero del 2020 en la zona está vigente el proyecto Sierra La Bandera, de la Compañía Minera del Pacífico S.A. (Sernageomin, 2023), por lo que no es posible acceder a la zona, por esta misma razón, Huantemé se observó desde un lugar más alto a unos 120 m. Según lo descrito por Pizarro, 2022, se hallan de 13 a 15 viviendas de concreto que mantienen su infraestructura (figura 5.11.2), de variadas construcciones, que dependía en gran medida si esta era para una o más familias, la mayor parte de ellas miden 10 m de largo, 7 m de ancho y 3 metros de alto. En el sector más alto donde se ubicaban las casas, se encuentra lo que se cree que sería un taller mecánico, con dimensiones mayores a las de las viviendas, con 15 m de largo, 10 m de ancho y 7 m de alto. En el centro de donde se sitúan todas las viviendas, se encuentra “La Casona” (figura 5.11.3), un tipo de casa oficina, típica de los asentamientos mineros de la época, con diferentes divisiones dentro de ella, y más grande a comparación de las demás, era donde vivían los capataces, y su ubicación era estratégica. Las viviendas siguen manteniendo su infraestructura, algunas se

Descripción del sector

encuentran en mejor estado que otras, pero la zona ha sido dañada gravemente por los visitantes, con falta de techumbres en todas las casas, marco de ventanas, cañerías, y rayados (Pizarro, 2022) lo que es un daño irreparable para el patrimonio minero (figura 5.11.4).

Si bien la zona tiene un alto valor patrimonial, ha sido gravemente dañada y no se le ha dado la protección necesaria, sumando que se están realizando labores mineras, que no permiten el paso al sector, lo que hace que la zona no sea una buena opción como geositio, debido a factores antrópicos.

Según la Hoja Carrizal Bajo-Chacritas (Arévalo & Welkner, 2008) en la zona se halla las unidades:

- Formación Punta del Cobre: de edad del Jurásico superior al Valanginiano. Constituida por una secuencia volcánica sedimentaria muy heterogénea en la vertical, formada por conglomerados, brechas, tobas, calizas y lavas. Específicamente en este sector se halla el miembro 2, conformado por brechas de estratificación gruesa con intercalaciones de areniscas y tobas de lapilli.
- Formación Sierra la Sosita: de edad Barremiano. Consiste en una secuencia volcanosedimentaria, constituida por areniscas verdes, conglomerados bioclásticos rojizos de estratificación gruesa y calcilutitas gris oscuras.

La geología del sector descrita por Pizarro (2022) consiste en:

- Las unidades litológicas de la zona son.
 - ✓ Unidad de Brecha Volcanoclástica (figura 5.11.5A), roca de color gris verdoso, gris pardo y pardo rojizo, compuesta por 60% de clastos y por un 40% de matriz. Los clastos son andesitas oligomíctica angulosas a sub angulosas, con tamaño variables de 2 a 10 cm, y con mala selección, contiene plagioclasas angulosas con textura esquelética alterando levemente a arcilla y menos de 5% de cuarzo inter crecidos. La matriz es de andesita, con fenocristales en un 90%

Descripción del sector

de masa fundamental afanítica. La unidad está siendo afectada por una alteración supergena.

- ✓ Unidad de tonalita (figura 5.11.5B), roca de color blanco a gris claro, con textura holocristalina. Contiene 40% de cuarzos subhedrales a anhedrales, 40% de plagioclasas euhedrales, que están siendo alteradas a arcilla y sericita. 15% de hornblendas subhedrales con una leve alteración a epidota y 5% de feldespato potásico. Esta unidad se encuentra en el 40% del área de estudio.
- La mineralización se destaca por la presencia de magnetita. En la parte superior del rajo, se observa una alteración supergena, compuesta por limonitas ricas en Jarosita, Goetita y Hematita (figura 5.11.6).
- Estructuralmente, una de las fallas más importante del sector es la que pone en contacto la unidad de Tonalita con la unidad de Brecha Volcanoclástica, de actitud N20E;80NW, con un gran fracturamiento y una zona brechificada con magnetita y limonitas. Por otra parte, se midió una falla con cinemática normal N25E;45SE. La unidad de Brechas Volcanoclásticas, mostró una estratificación con rumbos de 10° a 20°, y mateos de 30° a 35° en dirección SE.

Se miden sistemas estructurales NNE – NE con rumbos de los 20° a los 50°, manteos verticales a subverticales de los 80° a los 90° hacia el SE y en ocasiones hacia el NW.

Fotografías

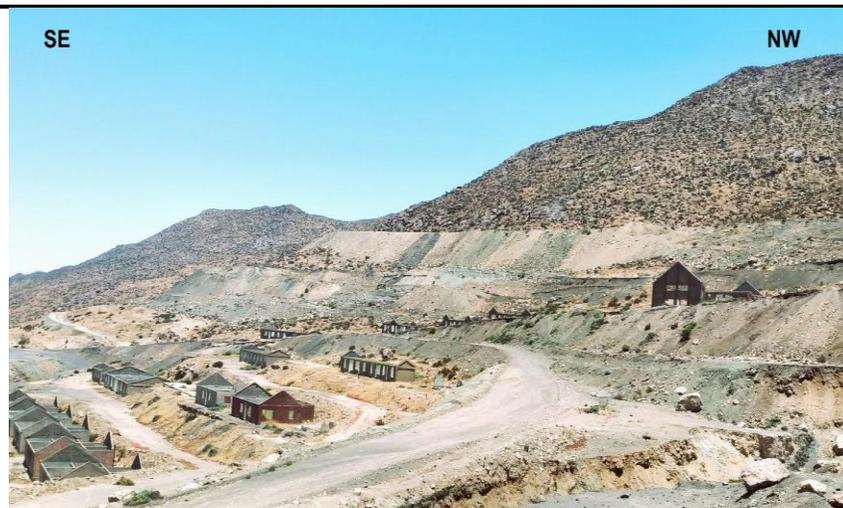


Figura 5.11.2: Fotografía tomada desde una zona más alta, desde el sector norte del área de estudio. Se pueden observar las casas y calles de sector, las que miraban hacia la entrada de la mina.

Fotografías



Figura 5.11.3: Fotografía de “la casona”, en ella se ven las divisiones que tiene el lugar, por lo que se piensa que pudo ser una oficina o la casa del administrador de la mina. Imagen extraída de Pizarro (2022).

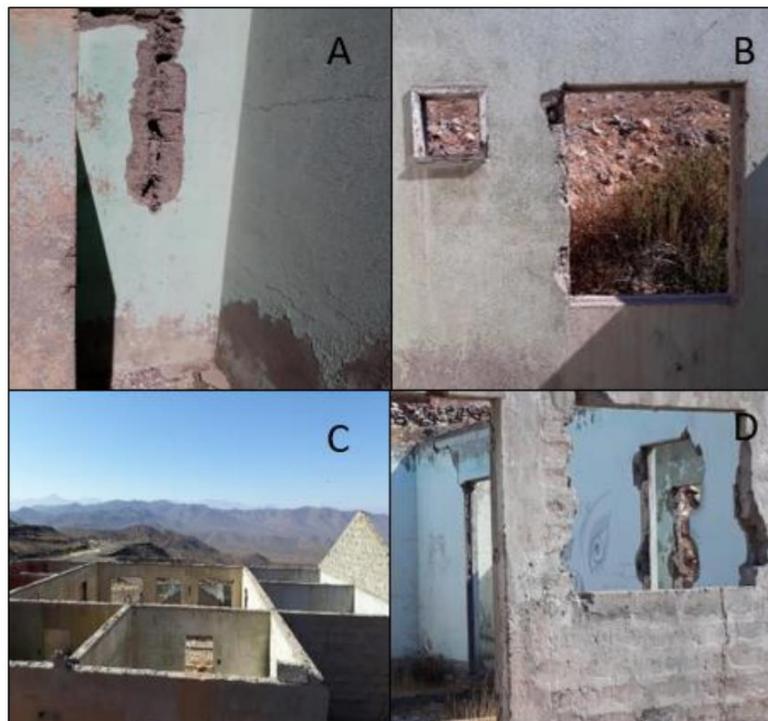


Figura 5.11.4: Fotografías que muestran el daño de la infraestructura. A) Se ha sacado la cañería del baño. B) Fueron robados los marcos de las ventanas. C) Falta de techumbre. D) Paredes rayadas por terceros. Imagen extraída de Pizarro (2022).

Fotografías

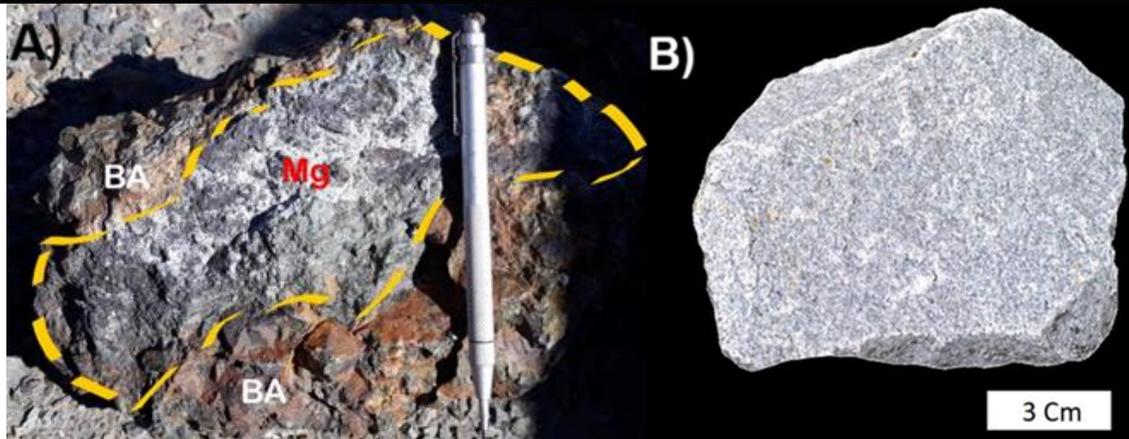


Figura 5.11.5: Litología de Huantemé. A) Brecha volcanoclástica, con brechización adicional producto de fluidos ricos en fierro (Brecha de magnetita). Con una leve alteración a óxidos de hierro (Hematita, Jarosita y Goetita). BA: Brecha volcanoclástica; Mg: Magnetita masiva. B) Muestra de mano de tonalita de yacimiento Huantemé, en ella se pueden observar de manera macroscópica cristales de cuarzo y plagioclasa. (Pizarro, 2022). Imágenes extraídas y modificadas de Pizarro (2022).

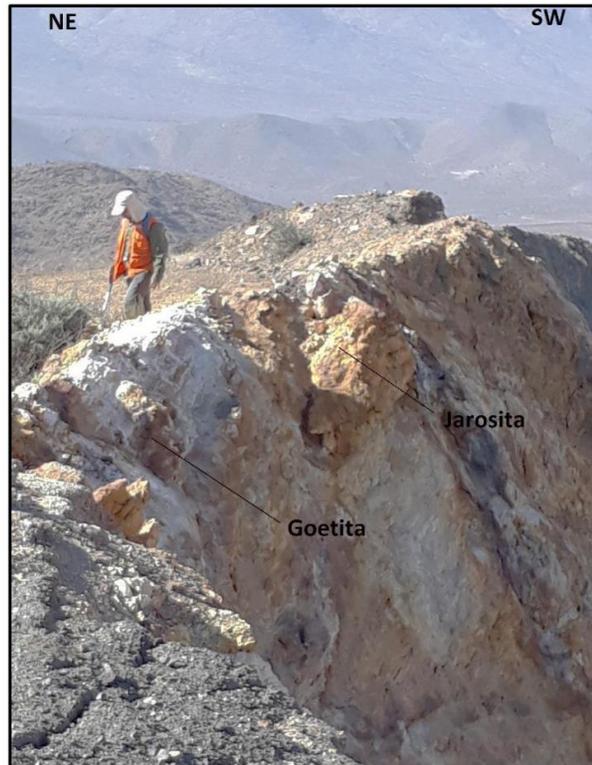


Figura 5.11.6: Superficie del rajo Huantemé, donde se observa la oxidación supergena que va alterando la mena ferrífera, con Jarosita (color naranja – amarillo) en mayor abundancia y Goetita (color pardo anaranjado intenso) (Pizarro, 2022). Imagen extraída de Pizarro (2022).

5.2.12 Capote Aurífero (VH-12)

Características generales	
Nombre del geositio	Capote Aurífero
Código	VH-12
Localización	
País	Chile
Región	Atacama
Provincia	Huasco
Comuna	Freirina
Coordenadas UTM	6.866.422N y 308.880E
Altitud	669 m s.n.m
Dimensiones	1 km ²
Vías de acceso y poblados cercanos	
Tipo de Vehículos para acceso	Vehículos 4x4 y autos
Distancia hasta carretera con doble vía	38 km
Tipo de protección	Sin protección
Distancia a punto más próximo a acceso en mini bus	1 km
Distancia a punto más próximo a acceso en auto	5 m
Distancia a punto más próximo a acceso en vehículo 4x4	5 m
Distancia hasta pueblo/ciudad más cercana	31,4 km de Freirina
Tipo de zona más cercana urbana/rural	Zona urbana (Freirina)
Características geológicas	
Interés geológico (paleontológico, estructural, sedimentario, etc.)	Patrimonio minero y mineralógico

Ubicación y acceso

Capote se localiza a unos 25 km de Freirina. El acceso desde la ciudad de Vallenar se realiza por la carretera C-46, durante 30 km. Acto seguido, girar a la derecha, continuando por la vía C-452 durante 20 km, hasta llegar a la vía C-422 doblando a la izquierda, continuando por esta vía por 8 km, para hacer un desvío a la derecha, encontrando un camino de tierra, que debe ser transitado por una extensión de 100 metros.

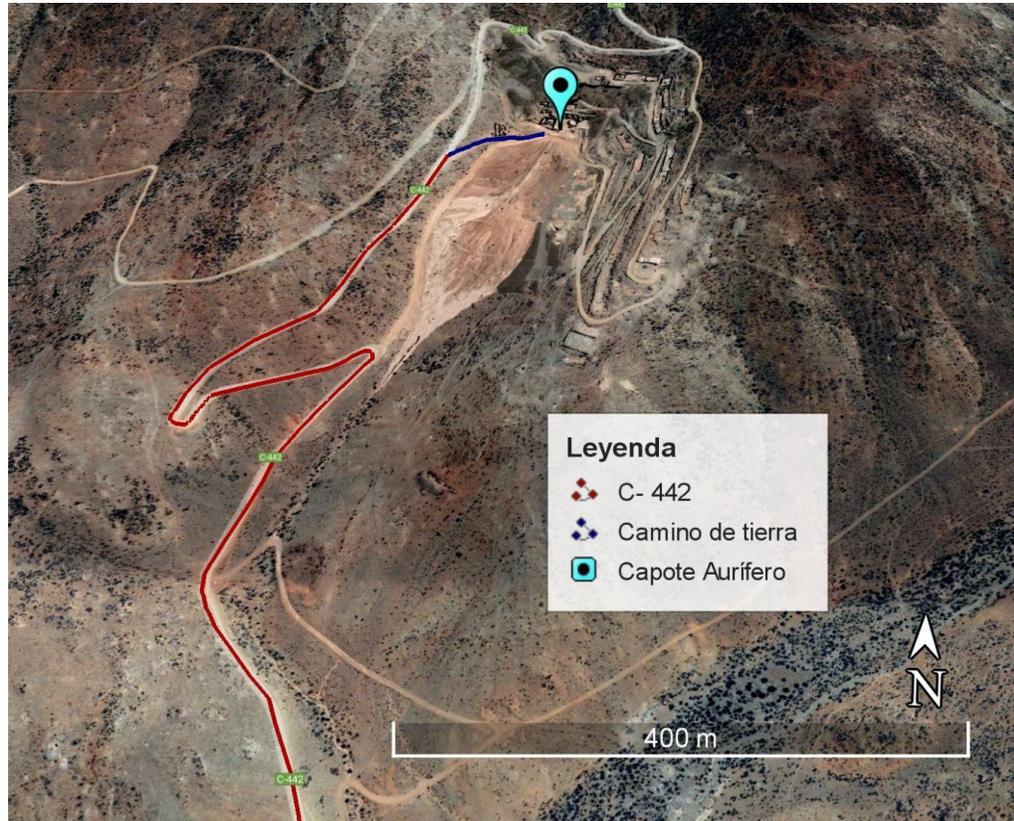


Figura 5.12.1: Ubicación y accesos Capote Aurífero. En rojo se muestra la vía C-442 y en azul el camino de tierra. Elaboración propia.

Descripción del sector

Distrito minero aurífero, reconocido como el distrito aurífero más grande del siglo XX. En este sector se encuentra la planta de cianuro (5.12.2), planta procesadora de mineral aurífero, casas de los trabajadores y casa de la familia Callejas (dueños), se postula como patrimonio minero.

Descripción del sector

Descubierto cerca del año 1700 por un copiapino que se apellida Robles, dándose una gran explotación del mineral, generando una migración desde el valle hasta la zona. Tal fue el éxito del distrito minero, que para esta época en Chile el oro que circulaba era llamado “Oro Capote”. El problema de este distrito es que la extracción del mineral se realizaba mediante apiri, haciendo que la explotación fuera lenta y sacrificada (Rivera, 2007; Álvarez, 2016).

Para el año 1900 se inicia una nueva y gran etapa de Capote que culmina con la Sociedad Capote Aurífero. Paulo Callejas junto a sus hijos comenzaron a buscar nuevas zonas de explotación, encontrando en el año 1932 la veta de Oro Capotino. Esta familia planeó una explotación la que se comercializaba al extranjero. El primer embarque que se envió a Estados Unidos desde el puerto de Huasco contenía leyes entre los 300 a 400 g por tonelada de oro. Con las ganancias obtenidas se adquiere una planta de cianuro, de una capacidad de 2.400 Ton/mes (Álvarez, 2016).

En el periodo que Capote tuvo mayor productividad y prosperidad, llegó a tener 800 obreros, de 50 a 60 empleados, además de sus familias, dando una población de 3.000 personas. Para la entretención de la población estaba el arte como obras de teatro, bandas musicales y películas. Pero en Capote sobre todo siempre destacó el deporte que era la principal entretención de los trabajadores, formando equipos de rayuela, fútbol, tenis y básquetbol (Rivera, 2007; Álvarez, 2016).

Actualmente en la zona, se preservan vestigios de lo que fue Capote. Se observa la planta procesadora del mineral aurífero, y sobre ella una gran estructura que es donde los administradores controlaban el trabajo de los obreros (casa familia Callejas Zamora), ambas están bien preservadas, pero con algunos rayados realizados por visitantes, lo que ha dañado de manera permanente el patrimonio. Lo más destacable, es la planta de cianuro, de grandes dimensiones (figura 5.12.2 y 5.12.3), distinguiéndose la base del chancador principal y restos del *under-size*, además de algunos cilindros utilizados para el espesamiento y tratamiento del mineral, la base del chancador está bien preservada, con un leve deterioro debido al tiempo transcurrido, este se puede observar tanto desde la vista de

Descripción del sector

planta, como superior, su diámetro es de 2,5 m (figura 5.12.4). Al este de la oficina principal, se ubica la entrada a la galería principal (figura 5.12.5a), con una puerta metálica, se puede acceder solo un par de metros por peligro de derrumbe, la puerta es rectangular, con dimensiones de 1,5 m de largo y 2 m de alto, al lado izquierdo de la entrada a la galería comienza el inicio de la veta (figura 5.12.5b). En el SE de la planta de cianuro se sitúan siete niveles de terrazas, donde antiguamente estaban las casas de los trabajadores y sus familias, es posible que en este sector también se encontrarán centros recreativos y escuelas. Hacia el sector oeste de la planta, se halla una animita, en la entrada principal de una galería, que los pobladores del Valle del Huasco mencionan que corresponde a uno de los últimos pirquineros que murió haciendo sus labores (Pérez, 2019).

El camino hacia Capote es regular, si bien en algunas ocasiones se vuelve un poco más dificultoso, se puede llegar tanto en auto como en camioneta 4x4, pero no es posible llegar en minibús, además el trayecto es aproximadamente de 1hr desde Freirina, lo que podría generar un desinterés de parte de los turistas. Los vestigios de Capote se encuentran conservados, pero con daños tanto por el paso del tiempo como por terceros, a pesar de esto, es posible identificar diferentes estructuras que componían la fábrica y el pueblo. La zona tiene un excelente potencial para realizar actividades didácticas, donde se involucre la historia y las antiguas labores mineras del sector. Actualmente cercano al sector se localiza una pequeña empresa minera, por lo que Capote tiene una alta vulnerabilidad, y puede ser dañado, lo que hace urgente la protección de la zona.

Según la Hoja Carrizal Bajo-Chacritas (Arévalo, 2008) en la zona se halla la unidad intrusiva Diorita San Antonio, de edad de 152 a 149 Ma. Constituida por Dioritas medianas a gruesas, con una foliación magmática de alineamientos de plagioclasas. Intuida por diques con orientación NNO afaníticos y microdioríticos, y por cuerpos irregulares de similar composición a las microdioritas de piroxeno.

La geología del sector descrita por Pérez, 2019, consiste en:

La litología se describe como la unidad Cuarzodiorita Melanocrática (CM) (figura 5.12.6), roca intrusiva de color gris a gris oscura, que se extiende en toda el área de estudio

Descripción del sector

de manera irregular. Con una textura holocristalina, fanerítica, equigranular, de grano medio con una moda de 3mm aproximadamente, sus cristales son subhedrales a anhedrales y alotromórficos. Compuesta por 71,5% de plagioclasas, 15% de hornblenda, 10% de cuarzo, 2,5% de biotita y 1% de minerales opacos. Las hornblendas y biotitas presentan una moderada a intensa alteración a clorita, y las plagioclasas se encuentran modernamente alteradas a arcilla y sericita. La unidad es afectada por una oxidación supérgena, con una asociación mineral de jarosita, goethita y hematita, con una relación hematita > goethita > jarosita.

En la mineralogía se describen 6 vetas de cuarzo, con manteos subverticales, dos con dirección NE y cuatro con dirección NW, de espesores variables, que van de milímetros a metros, con mineralización aurífera. Además, se reconocen menas de cobres en calcopiritas y crisocolas (figura 5.12.7).

Estructuralmente las 6 vetas tienen una actitud 280/76; 76/87; 290/76; 280/41; 275/52; 60/40, siendo enumeradas de la 1 a la 6 respectivamente. Entre ellas se destaca la número dos, ya que mide más de cien metros, con una potencia de un metro aproximadamente.

Fotografías



Figura 5.12.2: Vista lateral de planta de procesamiento de cianuro. Se identifica la base del chancador principal, cilindros y dos oficinas secundarias.

Fotografías



Figura 5.12.3: Vista frontal de planta de procesamiento de cianuro. Se identifica la base del chancador principal, cilindros y dos oficinas secundarias.



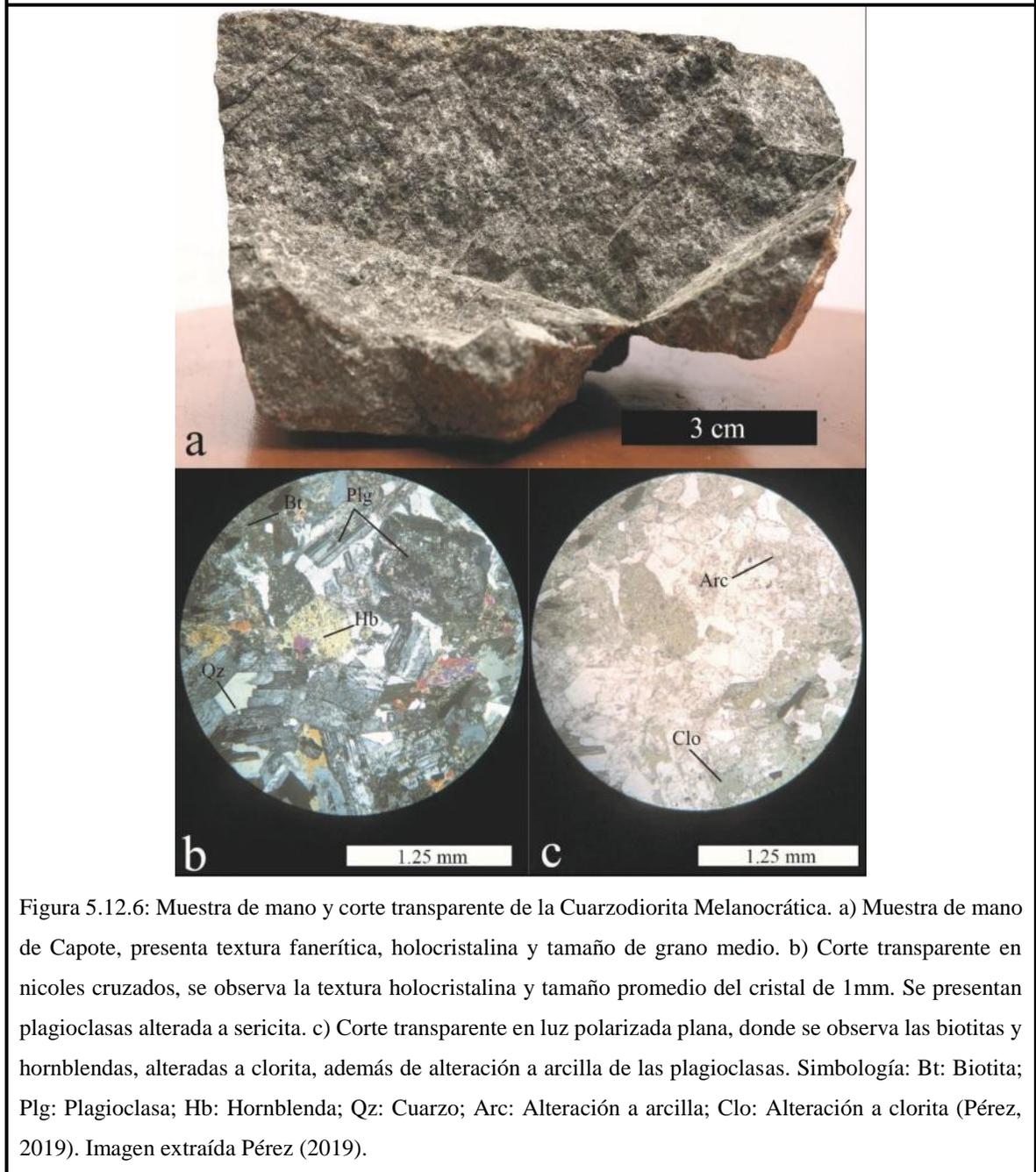
Figura 5.12.4: Imagen extraída de Pérez, 2019. Chancador principal de Capote. a) Vista superior de chancador, con un diámetro de 2,5 metros, construido de concreto. b) Vista interior de la base del chancador, con un alto de 4 metros aproximadamente (Pérez, 2019).

Fotografías



Figura 5.12.5: Imagen extraída de Pérez, 2019. a) Galería principal con puerta rectangular y marco de madera, con unas medidas de 1,5 m de ancho y 2 m de largo. b) Principal veta aurífera de Capote, de ancho milimétrico y una actitud de N30W;40NE (Pérez, 2019).

Fotografías



Fotografías

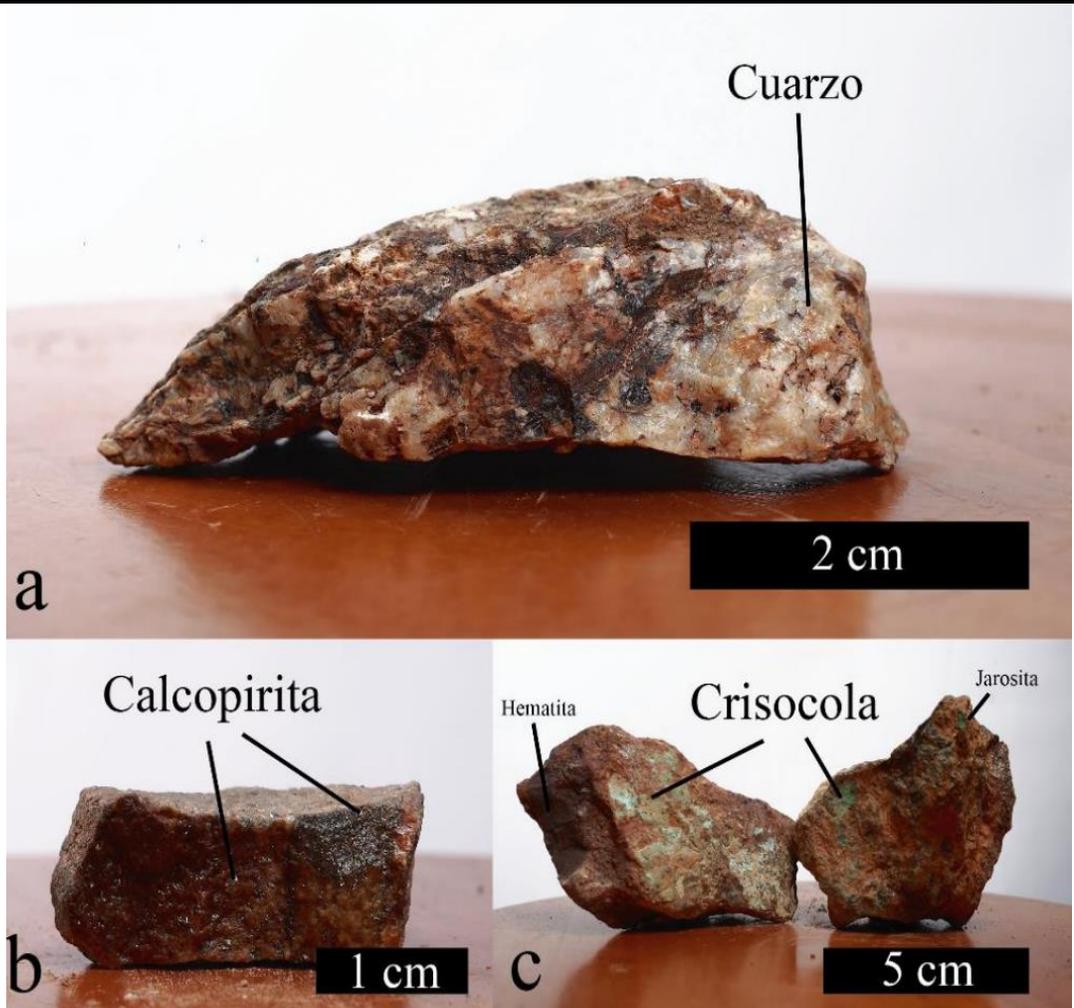


Figura 5.12.7: Muestras de mano de la mineralización de Capote aurífero. a) Mena aurífera, con una oxidación supérgena de jarosita y hematita. b) Mena sulfurada, emplazada en cuarzo, constituida por calcopirita y oxidación supérgena. c) Mineralización silicatada de cobre (crisocola) secundaria, asociada al enriquecimiento supérgeno de las vetas auríferas (Pérez, 2019). Imagen extraída de Pérez (2019).

5.2.13 Sosita (VH-13)

Características generales	
Nombre del geosítio	Sosita
Código	VH-13
Localización	
País	Chile
Región	Atacama
Provincia	Huasco
Comuna	Freirina
Coordenadas UTM	6.854.457 N; 319.687 E
Dimensiones	0.87 km ²
Vías de acceso y poblados cercanos	
Tipo de Vehículos para acceso	Todo tipo de vehículo
Distancia hasta carretera con doble vía	16,6 km
Tipo de protección	Sin protección
Distancia a punto más próximo a acceso en mini bus	0 km
Distancia a punto más próximo a acceso en auto	0 km
Distancia a punto más próximo a acceso en vehículo 4x4	0 km
Distancia hasta pueblo/ciudad más cercana	20,4 km a Maitencillo
Tipo de zona más cercana urbana/rural	Zona urbana (Maitencillo)
Características geológicas	
Interés geológico (paleontológico, estructural, sedimentario, etc.)	Patrimonio minero

Ubicación y acceso

Sosita se ubica a unos 30 km al norte de Vallenar y a solo 5 km de Huantemé (que también se ha postulado como geositio). Para llegar a Sosita desde Vallenar, se inicia tomando la Ruta 5 en dirección norte por 20 km. Luego, girar a la izquierda hacia la ruta C-442, recorriendo 2 km, por último, girar a la izquierda para mantenerse en la vía C-452 durante 11 km.



Figura 5.13.1: Ubicación y accesos a Sosita. En rojo se muestra la Ruta 5, en azul la vía C-442 y en verde la vía C-452. Elaboración propia.

Descripción del sector

Sosita es un yacimiento de hierro del tipo magnetita-apatito (*iron oxide apatite* - IOA), ubicado en la depresión intermedia del norte de Vallenar, que comienza a ser explotado alrededor de los años 1950. Si bien aquí no existen materiales muebles, si hay presencia del antiguo laboreo minero a rajo abierto y afloramientos, haciéndolo un atractivo turístico (Pizarro, 2022).

Descripción del sector

En el año 1953 nace la Compañía Minera Santa Bárbara, con la explotación del yacimiento Huantemé, a manos de Ermérico Letay Altam y José Klein, quienes se la arrendaban a las familias de Sergio Merino y Daniel Palacios. Esta compañía compraba el mineral de quince yacimientos más, entre los que se encontraban Sosita por el norte y Cristales por el sur, que incluía a Sosita, Chañar Quemado, Cañuelas, San Carlos, Divisoria, Cristales, entre otros. En el caso de Sosita, solo era utilizado para la extracción del mineral, ya que este era procesado en Huantemé, el cual era el yacimiento más grande de la Compañía.

Durante el año 1953 Huantemé contaba con 500 personas que chancaban el mineral de forma manual, posteriormente al proceso de Harneo, las colpas eran transportadas en camiones hasta Huasco. Entre 1953 y 1955 el material que llegaba a Huasco era embarcado en lanchones remolcados desde un muelle de madera, generando que el carguío fuera muy lento, es por esta razón que en octubre de 1954 se comienza a construir el muelle mecanizado “Las Lozas”, terminándose la obra en 1955. Con el paso del tiempo, siendo el encargado de la administración de Huantemé el ingeniero Jorge Álvarez, se incorporan tres palas cargadoras, 6 camiones *off-road* de 30 t, bulldozer, motoniveladoras, etc., además de una planta de chancado, harneo y concentración magnética, con estas incorporaciones se logró bajar de 500 trabajadores a 120, y elevar la producción en los frentes de 25.000 a 50.000 Ton/mes. También la Compañía Santa Bárbara incorpora carros tolva fierreros y locomotoras, lo que abarató costos (Millán, 1999; Pizarro, 2022).

Como se mencionó anteriormente en Sosita no existe patrimonio mueble, lo que no quiere decir que no tenga geopatrimonio importante. En la zona existen evidencia del laboreo minero a rajo abierto (figura 5.13.2), como estrías de falla, las que muestran una cinemática dextral del sector. Por otra parte, se destaca la mineralogía, típica de los yacimientos IOA, entre los que se encuentra magnetita, actinolita, hematita (óxido de hierro), jarosita (sulfato de potasio y hierro) y goethita (oxihidróxido de hierro), lo que permite el estudio y aprendizaje de este tipo de yacimientos, dándole un valor cultural y geológico. Cabe mencionar que la zona tiene buenos caminos y accesos (Pizarro, 2022).

Descripción del sector

Las unidades litológicas, mineralización y geología estructural descrita en el sector por Pizarro (2022) consiste en:

- Las unidades litológicas de la zona son.
 - ✓ Unidad de brecha volcanoclástica (figura 5.13.3): Brecha de color gris verdoso, gris pardo y pardo rojizo, con un pequeño aporte calcáreo en su cemento, compuesta en un 60% por clastos de andesita y un 40% por matriz andesítica. Los clastos son angulares a subangulares, mal seleccionados, de tamaño de 2 a 10 cm y oligomicticos, de plagioclasas angulares de textura esquelética que están levemente alteradas a arcilla y de cuarzo inter crecidos, que equivalen a menos a un 5%. En la matriz se observan los fenocristales en una masa fundamental afanítica que ocupa un 90%. Esta unidad presenta una moderada alteración de clorita y epidota, de forma diseminada, una leve alteración por oxidación de los minerales férricos como hematita y limonitas. Esta unidad se encuentra en el 80% del área de estudio y está intruida por la unidad microdiorítica en contacto por falla (figura 5.13.4).
 - ✓ Unidad microdiorita (figura 5.13.5): Roca hipabisal de color gris verdosa a gris oscura, con textura holocristalina, inequigranular porfídica e hipidiomorfica. Contiene 53% de fenocristales euhedrales a subhedrales de plagioclasas alteradas por arcilla y sericita, 20% de hornblendas subhedrales, 10% de feldespatos con una alteración de arcilla, sericita y epidota, 7% de cuarzos anhedrales, 5% de biotitas con una leve a moderada alteración de clorita y 5% de opacos. Su masa fundamental corresponde a un 40% y los fenocristales a un 60%. Equivale al 20% del área de estudio. Presenta una alteración moderada de forma diseminada de clorita y epidota. La unidad está en contacto por intrusión con la unidad de brecha volanoclástica. La mayor parte del afloramiento se halla moderadamente erosionado, y en algunas zonas del rajo se dispone de manera tabular. Se correlaciona con el Complejo Plutónico Retamilla de la edad Cretácico inferior (Arévalo & Welkner, 2008).

Descripción del sector

- ✓ Unidad skarn de actinolita (figura 5.13.6): Roca metamórfica de color pardo correspondiente a una actinolita. De hábito fibroso, presenta magnetita masiva que se observa de color gris oscuro en gran parte de la roca. La intensidad de la alteración o actinolización es leve a moderada, variando en el sector. Esta roca se origina debido al metamorfismo de contacto producido por el cuerpo intrusivo de la unidad de microdiorita.
- Mineralización de hierro, con la asociación de minerales que corresponden a actinolita, magnetita, apatito y epidota. Destacándose la magnetita como mena ferrífera, que fue explotada por los altos porcentajes de hierro magnético. La ocurrencia de la magnetita es masiva en forma de cúmulos con tamaño de 3 a 7 m de ancho, con una geometría ovalada (figura 5.13.7).
- Dentro de su geología estructural se halla una falla dextral de actitud 120/85 (figura 5.13.8), que desplaza el bloque oeste hacia el norte y el bloque este hacia el sur, afectando a la unidad de brecha volcanoclástica.

Según la Hoja Carrizal Bajo-Chacritas (Arévalo & Welkner, 2008) en la zona se halla las unidades:

- Formación Punta del Cobre: de edad del Jurásico superior al Valanginiano. Constituida por una secuencia volcánica sedimentaria muy heterogénea en la vertical, formada por conglomerados, brechas, tobas, calizas y lavas. Específicamente en este sector se halla el miembro 2, conformado por brechas de estratificación gruesa con intercalaciones de areniscas y tobas de lapilli.
- Formación Sierra la Sosita: de edad Barremiano. Secuencia volcanosedimentaria, constituida por areniscas verdes, conglomerados bioclásticos rojizos de estratificación gruesa y calcilitas gris oscuras de estratificación media a fina.
- Complejo Plutónico Retamille: datado de edad 127 a 126 Ma. Constituido por granodioritas grises a rosadas de piroxeno con y sin anfibolita, de grano medio, textura inequigranular y porfídica. Incluye rocas máficas a dioríticas, monzodioritas cuarcíferas y variaciones a rocas más félsicas como monzogranitos.

Fotografías



Figura 5.13.2: fotografía actual de Mina La Sosita. Imagen extraída de Pizarro (2022).

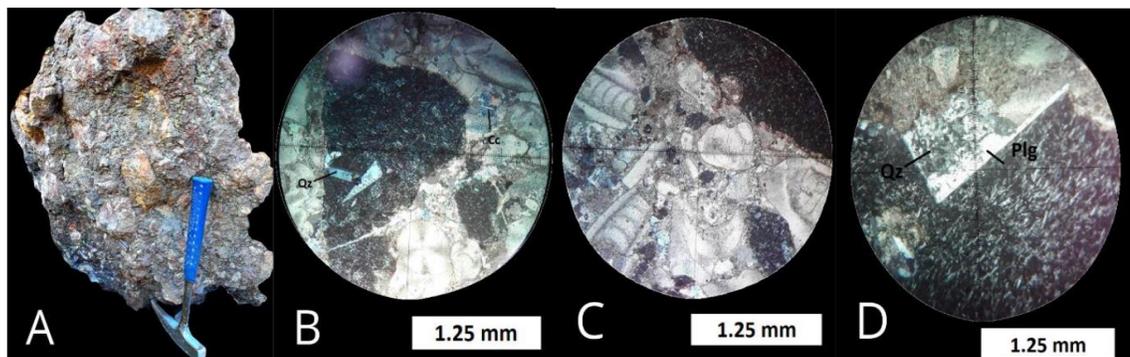


Figura 5.13.3: muestras de brecha volcanoclástica. A) Muestra de mano, se observan los clastos de andesita porfídica, con diversidad de tamaños y angulosos. Se aprecian variedad de colores, entre los que se destaca la zona verdosa, que se asocia a una alteración clorita – epidota. B) Corte transparente en nicols cruzados, se observa un clasto de composición andesítica, diferenciándose los cristales de cuarzo y plagioclasa, también la matriz andesítica con cemento calcáreo, con algunos cristales de calcita. Simbología: Qz: Cuarzo; Cc: Calcita. C) Corte transparente en nicols paralelos. Matriz de colores grises y marrones, cemento calcáreo y plagioclasas fuertemente alteradas a arcilla (color gris), de color negro se encuentran los clastos de andesita. D) Corte transparente en nicols cruzados. Detalle de un clasto de la brecha volcanoclástica, donde se refleja la textura esquelética de cuarzo en plagioclasa, denotando un intercrecimiento de cristales. En la parte superior se observa cemento calcáreo y en la parte inferior un clasto de composición andesítica. Simbología: Qz: Cuarzo; Plg: Plagioclasa (Pizarro, 2022). Imagen extraída de Pizarro (2022).

Fotografías



Figura 5.13.4: contacto por falla entre la unidad intrusiva microdiorita de color rojizo, con la unidad de brecha volcanoclástica de color morado. En la zona superior se observa un cúmulo de magnetita. Simbología: MD: Microdiorita; BA: Brecha Volcanoclástica; Mg: Magnetita (Pizarro, 2022). Imagen extraída de Pizarro (2022).

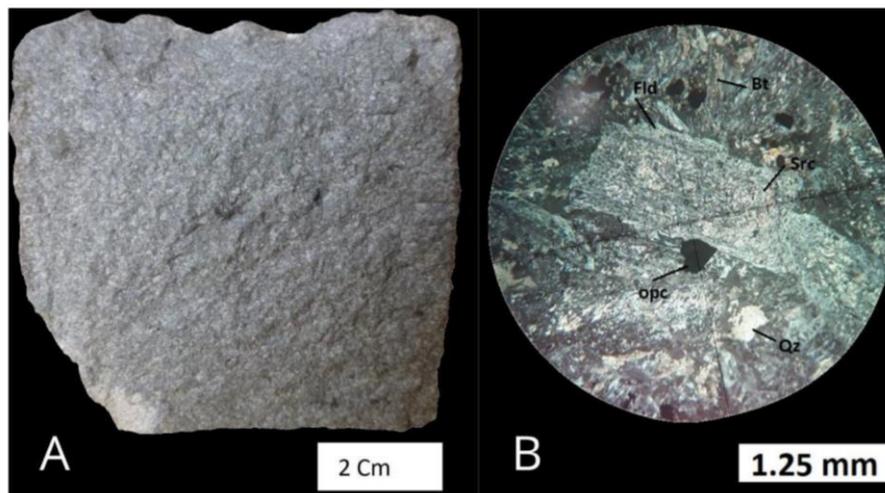


Figura 5.13.5: roca de unidad microdiorita. A) Muestra de mano, la roca tiene textura porfídica, con fenocristales principalmente de plagioclasas, que son los pequeños puntos de color blanco. B) Corte transparentes en Nicols Cruzados, en el centro se ubica un feldespato alterado a arcilla y sericita, cubriendo completamente el cristal y de colores claros se observan los cuarzos. También se observan cristales de biotita con una leve a moderada alteración a clorita. Fld: Feldespato; Bt: Biotita; Src: Sericita; Opc: Opacos; Qz: Cuarzo (Pizarro, 2022). Imagen extraída de Pizarro (2022).

Fotografías

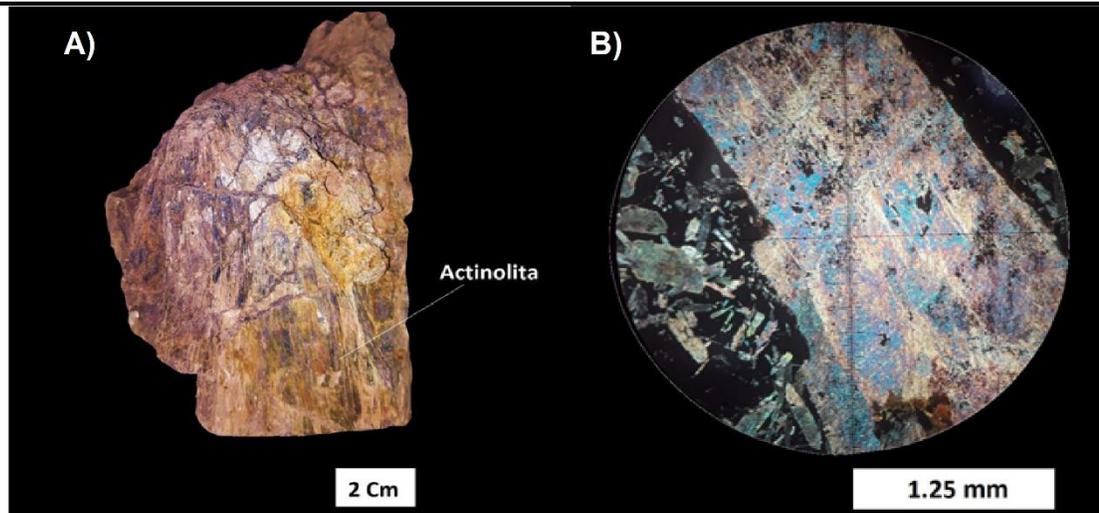


Figura 5.13.6: muestra de unidad skarn de actinolita A) Muestra de mano de actinolita, de color pardo se encuentra la actinolita y de color gris oscuro la magnetita. Presenta un hábito fibroso moderado a leve, por el metamorfismo de contacto (Pizarro, 2022). B) Corte transparente en nicoles cruzados. En el centro se encuentra un cristal de actinolita (color azul y amarillo) con textura fibrosa y alrededor en color oscuro, magnetita masiva (Pizarro, 2022). Imagen extraída de Pizarro (2022).



Figura 5.13.7: magnetita masiva de color gris oscuro y en forma de cúmulo (Pizarro, 2022). Imagen extraída de Pizarro (2022).

Fotografías

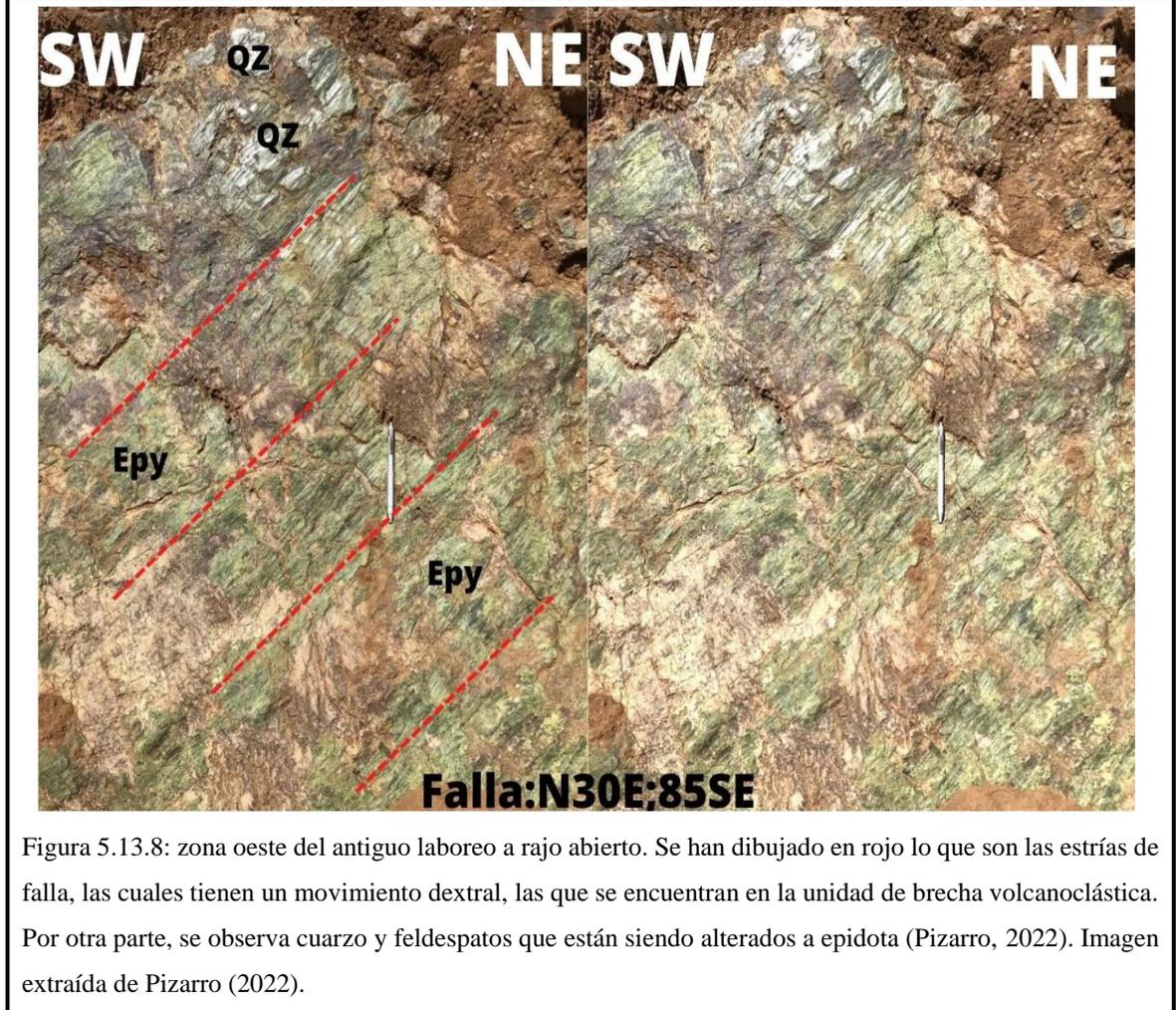


Figura 5.13.8: zona oeste del antiguo laboreo a rajo abierto. Se han dibujado en rojo lo que son las estrías de falla, las cuales tienen un movimiento dextral, las que se encuentran en la unidad de brecha volcanoclástica. Por otra parte, se observa cuarzo y feldespatos que están siendo alterados a epidota (Pizarro, 2022). Imagen extraída de Pizarro (2022).

5.2.14 Fundición Chañarcito de Canto del Agua (VH-14)

Características generales	
Nombre del geositio	Fundición Chañarcito de Canto del Agua
Código	VH-14
Localización	
País	Chile
Región	Atacama
Provincia	Huasco
Localidad	Carrizal Alto
Coordenadas UTM	6.884.962N y 311.337E
Altitud	239 m s.n.m.
Dimensiones	1 km ²
Vías de acceso y poblados cercanos	
Tipo de Vehículos para acceso	Todo tipo de vehículo
Distancia hasta carretera con doble vía	40 km
Tipo de protección	Sin protección
Distancia a punto más próximo a acceso en mini bus	30 m
Distancia a punto más próximo a acceso en auto	20 m
Distancia a punto más próximo a acceso en vehículo 4x4	20 m
Distancia hasta pueblo/ciudad más cercana	A 4,4 km de Canto del Agua A 57 km de Vallenar
Tipo de zona más cercana urbana/rural	Zona rural (Canto del Agua)
Características geológicas	
Interés geológico (paleontológico, estructural, sedimentario, etc.)	Patrimonio minero

Ubicación y acceso

Situado a una distancia de 57 km al norte de Vallenar. Para dirigirse a Chañarcito de Canto del Agua desde Vallenar, se inicia tomando la Ruta 5 en dirección norte, por 19 km, luego girar a la izquierda hacia la vía C-440 por 39 km. El área de estudio se ubica a mano derecha en este trayecto.



Figura 5.14.1: Ubicación y accesos Chañarcito de Canto del Agua. En azul se muestra la vía C-432 y en rojo la vía C-440. Elaboración propia.

Descripción del sector.

En el año 1884 se inaugura la “Fundición Chañarcito” de Canto del Agua, que procesaba el cobre proveniente del Distrito minero Carrizal Alto. Esta fundición poseía 6 hornos reverberos, y una red ferroviaria que conectaba con los puertos de Huasco Bajo y otros distritos mineros, llegando a ser el complejo industrial más grande de la región de Atacama (Álvarez, 1995; Costa, 2019).

El distrito minero de cobre Carrizal Alto, se destaca desde la época precolombina, ya que se encontraron herramientas de cobre para la actividad de minera (Vicuña, 1883). Este yacimiento consistía en 7 vetas que eran explotadas, con una alta ley de 30% a 50%

Descripción del sector.

de cobre, siendo el distrito con mayor producción hasta el año 1842, llegando incluso a tener a un ingeniero para la fundición del cobre (Álvarez, 1995; Morales, 1896).

Debido al auge minero de la época, el sector aumento su población, por lo que se constituyeron dos Placillas, la Del Alto y la Del Bajo. La Placilla Del Alto, se ubicaba en el cerro Carrizal, cercano a las minas, y las casas eran construidas sobre pircas. Y la Placilla Del Bajo, ubicada en la zona más plana y alejada de las minas, aquí habitaba la mayor parte de la población. Este distrito fue tan destacable que llegó a tener teatro, registro civil, plaza, hospital, escuelas, telégrafo y estación de ferrocarriles (Álvarez, 1995), en ocasiones el cobre era intercambiado en el puerto de Huasco por productos traídos de la India como té y loza China, los que llegaban antes que a Santiago (Vicuña, 1883). Debido a la baja del precio del cobre, y a que las minas y fundiciones fueron vendidas a empresas norteamericanas que no realizaron una mayor inversión, quebrando a los pocos años, la producción de Carrizal Bajo se ve afectada, disminuyendo considerablemente para el siglo XIX (Álvarez, 1995).

Actualmente parte la fundición Chañarcito de Canto del Agua se encuentra preservada, con daños ocasionados por personas que visitan el lugar y por el evidente deterioro del transcurso del tiempo (figura 5.14.2). Sin embargo, sigue siendo un lugar con una alta calidad visual, donde se pueden enseñar las actividades que se realizaban en la zona. Colindante a la fundición, se localizan ruinas de lo que solían ser antiguamente oficinas administrativas (figura 5.14.3), además a unos 60 m de estas oficinas, aún se halla la escoria (figura 5.14.4) que resultaba del proceso de fundición. Este lugar tiene un valor agregado con respecto a la geología, ya que en los cerros detrás de la fundición se observan diques. Cabe mencionar que al sector se puede acceder directamente desde la carretera C-440, lo que valoriza aún más la zona, ya que se puede llegar a ella en cualquier tipo de vehículo.

Dentro de las unidades litológicas y mineralización descrita por Costa (2019) para el Distrito cuprífero Carrizal Alto, se encuentra:

Descripción del sector.

La zona está constituida por dos unidades intrusivas, la unidad diorita cuarcífera y la unidad de diques de microdiorita. La unidad diorita cuarcífera se emplaza en las vetas mineralizadas y la unidad de diques de microdiorita incluye a esta unidad. Ambas, se describen a continuación

- Unidad diorita cuarcífera (figura 5.14.5A): roca intrusiva con textura holocristalina, fanerítica e inequigranular, con un tamaño de grano medio. Compuesta por un 65% de plagioclasas, las cuales miden 1mm a 1,5 cm y sus cristales son euhedrales; 15% de hornblendas, con tamaño de grano de 3mm a 2,5 cm y cristales subhedrales; 15% de biotita, y 5% de cuarzo con tamaño de 2mm a 8mm y cristales anhedrales. Por tanto, se le asigna el nombre de Diorita Cuarcífera. Su principal alteración es el cuarzo, que es el mineral que esta mayoritariamente en las vetas mineralizadas, en ocasiones presentando una alteración argílica. Aflora en toda la zona de estudio y se correlaciona con la Diorita San Antonio del Jurásico Superior (Arévalo & Welkner, 2008).
- Unidad de diques de microdiorita porfídica (figura 5.14.5B): roca hipabisal con textura holocristalina y porfídica, compuesta por un 75% de plagioclasa, de tamaño de 1mm a 4mm y cristales subhedrales a anhedrales; un 25% de hornblenda, con cristales de tamaño 1mm a 3mm, euhedrales a subhedrales. La unidad presenta una alteración a epidota. Esta unidad intuye a la Unidad de Diorita Cuarcífera, que afloran como cuerpos tabulares con dirección NS y NE, los que fueron emplazados antes de la mineralización ya que son cortados por las vetas.

Dentro de la mineralización del sector descrita por Costa (2019), se localizan 6 vetas principalmente de cuarzo, de orientación NE y paralelas entre sí, con un interés económico variable, y espesores de 50 cm a 1 m. Se identifica la zona de óxidos en superficie y con los desmontes, la zona hipógena profunda. En la zona oxidada existen vetas de cuarzo con alteración argílica, hematita, goethita y óxidos de manganeso, además de la mineralización de óxidos de cobre, presentándose crisocola y atacamita (figura 5.14.6a), y en alguna zona se encuentra eritrina (arseniato de cobalto) (figura 5.14.6b). La

Descripción del sector.

zona hipógena (figura 5.14.7) presenta cuarzo, actinolita, siderita y en menor cantidad calcita. El mineral de mena de mayor relevancia es la calcopirita, acompañada de pirita (figura 5.14.8), molibdenita y eritrina.

Según la Hoja Carrizal Bajo-Chacritas (Arévalo & Welkner, 2008) en la zona se halla la unidad intrusiva Diorita San Antonio, datada con una edad de 152 a 149 Ma. Constituida por Dioritas medianas a gruesas, con una foliación magmática de alineamientos de plagioclasas. Intuida por diques con orientación NNO afaníticos y microdioríticos, y por cuerpos irregulares de similar composición a las microdioritas de piroxeno.

Fotografías



Figura 5.14.2: Fundición Chañarcito de Canto del Agua, complejo industrial más grande de la región de Atacama para la época.



Figura 5.14.3: Vestigio de las oficinas administrativas de la Fundición Chañarcito de Canto del Agua. Atrás de ella en la zona NW se pueden observar dos diques.

Fotografías

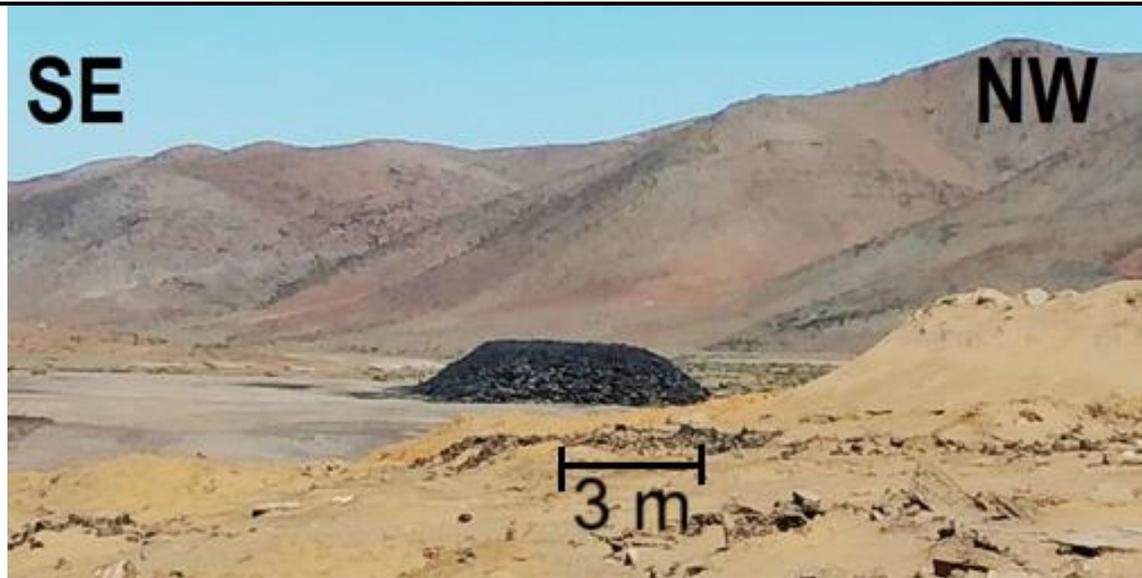


Figura 5.14.4: Escoria del proceso de la fundición del cobre de Chañarcito de Canto del Agua.

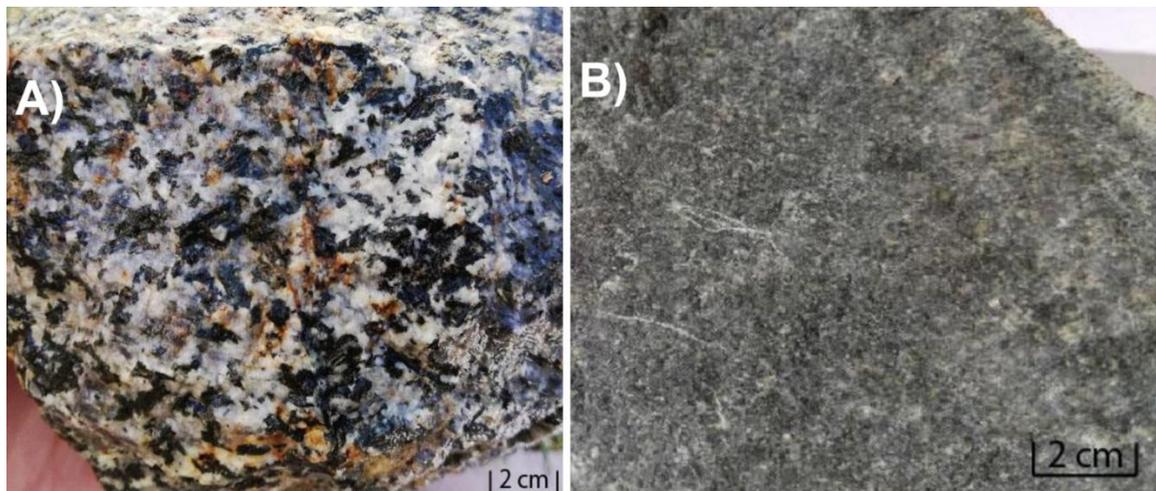


Figura 5.14.5: Rocas de Fundición Chañarcito de Canto del Agua. A) Muestra de mano de la Unidad Diorita Cuarzifera de Carrizal Alto. B) Muestra de mano de la Unidad de Diques de Microdiorita Porfídica de Carrizal Alto. Extraídas y modificadas de Costa (2019).

Fotografías



Figura 5.14.6: Muestra de mano de la zona oxidada de Carrizal Alto. a) Crisocola en pátina y atacamita en vetillas. b) Eritrina y algunos óxidos de cobre. Extraído de Costa (2019).

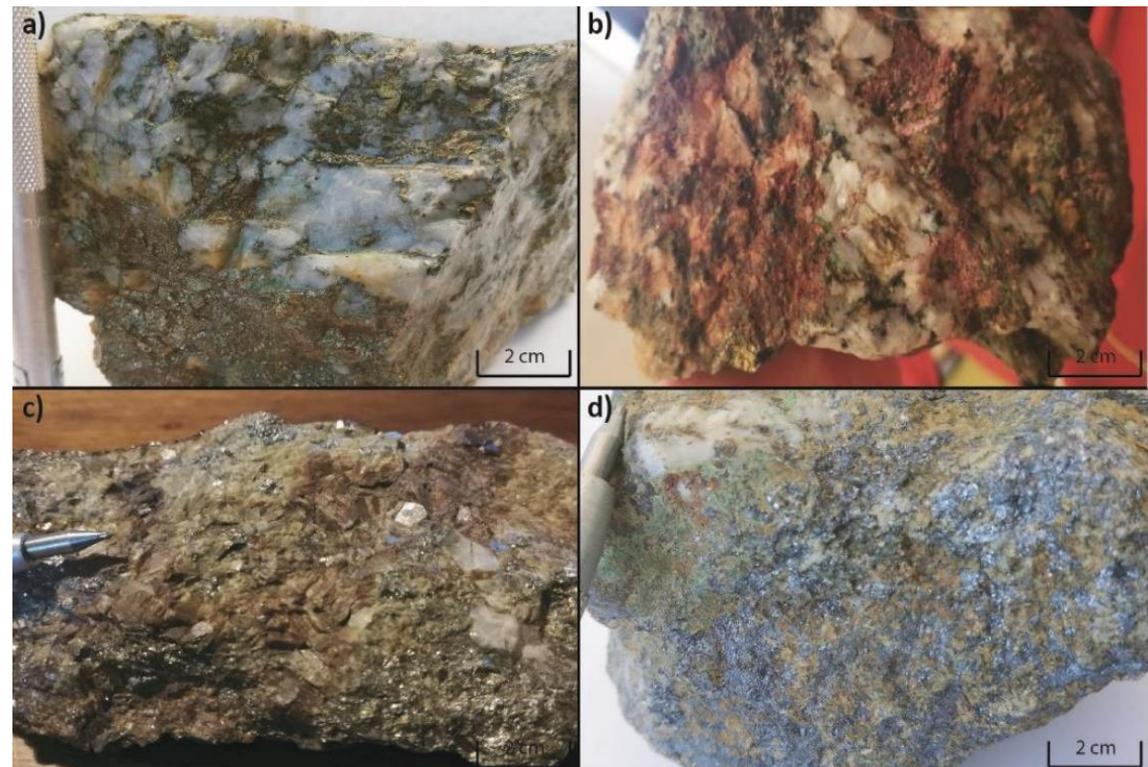


Figura 5.14.7: Muestra de mano de zona hipógena de Carrizal Alto, provenientes de los desmontes. a) Veta de cuarzo con calcopirita. b) Eritrina y calcopirita. c) Veta de cuarzo con siderita y pirita como minerales de alteración. d) Molibdenita. Extraída de Costa (2019).

Fotografías

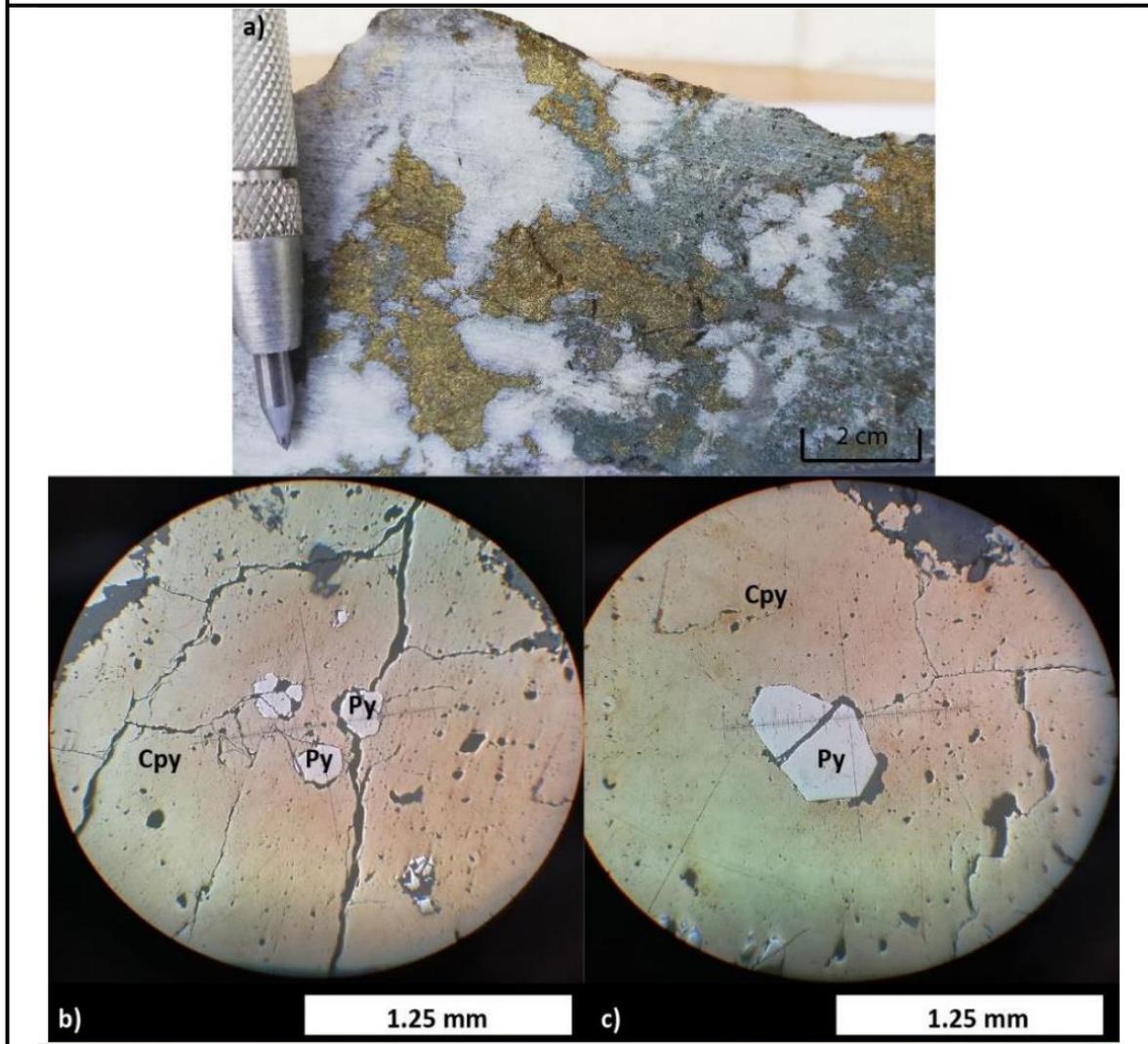


Figura 5.14.8: Sección pulida de la muestra de zona de sulfuros de Carrizal Alto. a) Rechazo pulido de la muestra, en la que se encuentra calcopirita. b) Corte transparente en luz reflejada, en la que se observa la relación contemporánea de la calcopirita y pirita, por sus bordes netos. c) Corte transparentes en luz reflejada, en la que se observa una fractura en el cristal de pirita y un contacto neto con la calcopirita. Simbología: Cpy: calcopirita. Py: pirita. Imagen extraída de Costa (2019).

5.2.15 Planta de Cobalto “La Cobaltera” (VH-15)

Características generales	
Nombre del geosítio	Planta de Cobalto “La Cobaltera”
Código	VH-15
Localización	
País	Chile
Región	Atacama
Provincia	Huasco
Comuna	Freirina
Coordenadas UTM	6.823.346 N; 284.112 E
Dimensiones	31.335 m ²
Vías de acceso y poblados cercanos	
Tipo de Vehículos para acceso	Todo tipo de vehículo
Distancia hasta carretera con doble vía	67,3 km
Tipo de protección	Sin protección legal
Distancia a punto más próximo a acceso en mini bus	0 km
Distancia a punto más próximo a acceso en auto	0 km
Distancia a punto más próximo a acceso en vehículo 4x4	0 km
Distancia hasta pueblo/ciudad más cercana	40 km de Freirina
Tipo de zona más cercana urbana/rural	Zona urbana (Freirina)
Características geológicas	
Interés geológico (paleontológico, estructural, sedimentario, etc.)	Patrimonio minero

Ubicación y acceso

La Planta de Cobalto "La Cobaltera" se sitúa a 40 km al sur de Freirina. Para llegar, se accede por la vía C-46, por unos 25 km. Luego, se toma el desvío bypass Freirina a la izquierda, por unos 5 km. Posteriormente, se dobla a la izquierda en la vía C-494, por 22 km. Finalmente, se gira a la derecha para ingresar a la vía C-526 y tras 10 km, La Cobaltera se encuentra a mano derecha

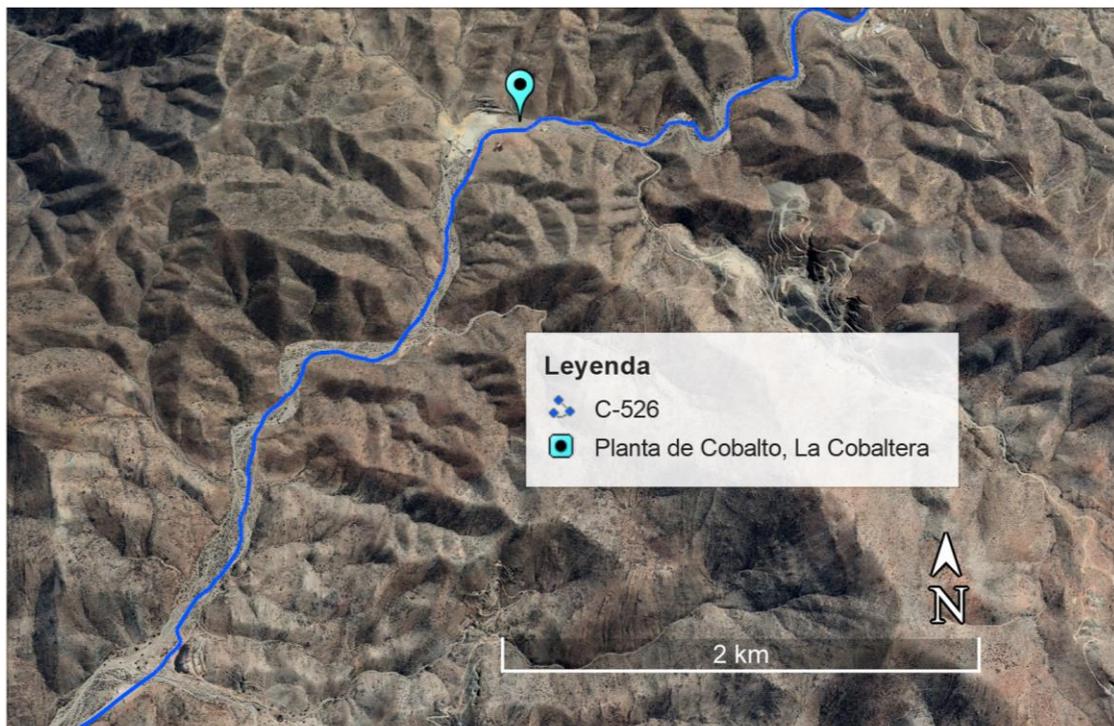


Figura 5.15.1: Ubicación y accesos a Planta de Cobalto "La Cobaltera". En azul se muestra la vía C-526. Elaboración propia.

Descripción del sector

La Planta Procesadora de Cobalto, o también llamada La Cobaltera, procesaba el cobalto proveniente del famoso Distrito San Juan. Esta planta tuvo su auge durante el año 1890, y en la primera y segunda Guerra Mundial (Yunge, 1905).

La planta procesaba el mineral derivado de la explotación de cuerpos vetiformes, estas vetas tenían una ley 2% y como máximo un 8%. Para este periodo la explotación de cobalto era compleja, debido a la gran variedad en su precio, por otro lado, la geología especial del sector tampoco ayudaba a la extracción. Su mayor producción fue durante el

Descripción del sector

año 1903, donde el Departamento de Freira logró producir aproximadamente 18 toneladas de cobalto fino, con una ley para ese año de 3% a 8% (Yunge, 1905).

El distrito San Juan se ubicaba al sur de Freirina, descubierto en el año 1750, a las faldas del cerro que llevaba el mismo nombre, llamativo por proporcionar cobre nativo (Riso, 1924; Álvarez, 1995). Este distrito se posicionó como uno de los más importantes minerales de cobre de Huasco y de Chile, para la época (Álvarez, 1995).

En la actualidad La Cobaltera (Figura 5.15.2) se sigue preservando con un alto grado de conservación (Castillo, 2015), hay que destacar que, a diferencia de otros patrimonios mineros, en ella no se observan daños realizados por turista, solo el evidente deterioro ocasionado por el transcurso del tiempo. Este lugar tiene una alta calidad visual y un alto potencial para realizar actividades que enseñen cómo era el funcionamiento de la planta, además de ser seguro para los turistas por su alta estabilidad estructural. A 100 m de la planta se halla una empresa minera, igualmente cercana a la zona hay una mina de Co/Li que se reactivó en el 2019, con el nombre del proyecto “La Cobaltera”, perteneciente a Baltum minería SPA.

Según la Hoja Freirina-El Morado (Welkner *et al.*, 2006) la litología para la Planta de Cobalto corresponde a

- Complejo Epimetamórfico Chañaral: de edad del Devónico al Carbonífero Inferior, constituido por metaareniscas cuarcíferas, microconglomeráticas, con clastos angulosos a subredondeados y metapelitas con minerales de albita, mica blanca y clorita.
- Depósitos aluviales: de edad del Pleistoceno al Holoceno. En este caso corresponde a los Depósitos activos, compuesto de ripios, arenas y gravas encausadas por canales actuales.

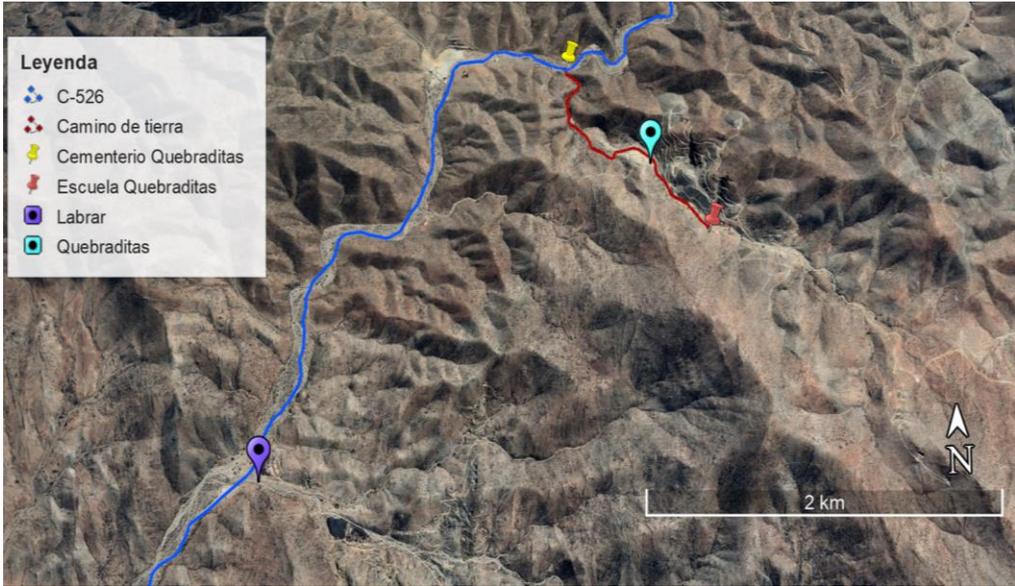
Fotografías



Figura 5.15.2: Fotografía tomada con dron, que muestra el estado actual de La Cobaltera.

5.2.16 Quebraditas y Labrar de Cobre (VH-16)

Características generales	
Nombre del geositio	Quebraditas y Labrar de Cobre
Código	VH-16
Localización	
País	Chile
Región	Atacama
Provincia	Huasco
Comuna	Freirina
Coordenadas UTM	6.821.797 N y 283.530 E (Quebraditas). 6.820.172 N; 280.979 E (Labrar de Cobre).
Dimensiones	1,12 km ² (Quebraditas). 87.148 m ² (Labrar de Cobre).
Vías de acceso y poblados cercanos	
Tipo de Vehículos para acceso	Todo tipo de vehículo
Distancia hasta carretera con doble vía	69 km (Quebraditas). 72,94 km (Labrar de Cobre).
Tipo de protección	La escuela de Quebraditas está protegida por la ley N°17.288 de Monumentos Nacionales y Normas Relacionadas. Las Chimeneas de Labrar están protegidas por Decreto N.° 8377 (1980), Decreto N.° 357 (1996) y Decreto N.° 659 (2008).
Distancia a punto más próximo a acceso en mini bus	0 km
Distancia a punto más próximo a acceso en auto	0 km
Distancia a punto más próximo a acceso en vehículo 4x4	0 km

Vías de acceso y poblados cercanos	
Distancia hasta pueblo/ciudad más cercana	A 40 km de Freirina (Quebraditas). A 44,14 km de Freirina (Labrar de Cobre).
Tipo de zona más cercana urbana/rural	Zona urbana (Freirina)
Características geológicas	
Interés geológico (paleontológico, estructural, sedimentario, etc.)	Patrimonio minero
Ubicación y accesos	
<p>Para llegar Quebraditas y Labrar desde Vallenar, se inicia tomando la vía C-46, por unos 25 km. A continuación, se toma el desvío bypass Freirina hacia la izquierda, cubriendo unos 5 km. Luego, se gira a la izquierda en la vía C-494, durante 22 km. Posteriormente, se dobla a la derecha en la vía C-526.</p> <p>En el caso de Quebraditas, se continúa por la vía C-526 durante 9 km, donde se encuentra inicialmente el Cementerio de Quebraditas. Luego, girar a la derecha en el camino de tierra para llegar a Quebraditas y, finalmente, a la Escuela de Quebraditas.</p> <p>En cuanto a Labrar de Cobre, se recorren 13 km por la vía C-526.</p>	
	
<p>Figura 5.16.1: Ubicación y accesos Quebraditas y Labrar de Cobre. En azul se muestra la vía C-526 y en rojo el camino de tierra. Elaboración propia.</p>	

Descripción del sector

Para esta propuesta de geositios, se decide postular juntos a Quebraditas y a Labrar de Cobre, esto debido a que solo están separadas por 4 km y por su contexto histórico, ya que Quebraditas era la principal alimentadora de la fundición de Labrar.

Para el caso de Quebraditas, se da énfasis a la Planta de Quebraditas y Escuela de Quebraditas, siendo este el sector donde se hace la respectiva evaluación, lo que es el Cementerio de Quebraditas, se considera como un elemento adicional a la zona, que hace aumentar su valor patrimonial.

El mineral de Quebraditas fue un distrito minero principalmente de cobre, y en menor cantidad de plata, que comienza su explotación desde el año 1846, por el minero José Montt en la minera “Las Animas”. En su mejor época, Quebraditas logró tener una población que ocupaba 7 cuadras de longitud (Álvarez, 1995).

Para el año 1902 la mina La Socavón de Quebraditas, fue una de las cuatro mineras pioneras en nuestro país debido a las labores subterráneas, utilizaba perforadoras eléctricas e instalaciones de aire comprimido, lo que la convierte en una de las mineras más importante de Chile para la época (Álvarez, 1995).

Durante el 1971 la Sociedad de Capote Aurífero de Freirina había adquirido algunas minas de Quebraditas, construyendo una planta de beneficios para el cobre. Esta faena fue administrada por la empresa Capote Aurífero a cargo de Enrique Callejas, que incluía la planta de beneficios, algunas de las más importantes minas de Quebraditas, y también la mina Moratona del distrito de Labrar (Álvarez, 1995).

En 1957 se origina la paralización total de Quebraditas, debido a que en 1956 baja el precio del cobre, lo que hace que su explotación ya no sea factible. A pesar de que el dueño, Enrique Callejas, intentó por un año seguir explotando la mina, para que esta no se perdiera, no la pudo mantener, viéndose obligado al cierre definitivo (Álvarez, 1995).

Quebraditas tiene su entrada en el Cementerio de Quebraditas (figura 5.16.2), que se encuentra desde el siglo XVIII, la tumba más antigua es del año 1844 y la más reciente

Descripción del sector

del año 1907. Aquí se hallan algunos mausoleos y tumbas decoradas con madera y hierro (Castillo, 2016; Costa, 2019).

Le sigue la Planta de Beneficio de Quebraditas (figura 5.16.3) asociada a la explotación de oro y cobre, fundada en 1951 por la Sociedad de Capote Aurífero de Freirina. Parte de su infraestructura está en buen estado, como las celdas de flotación, base y buzón de chancador, y las canchas de secado de concentrado de plata y cobre. También se conservan los servicios de oficinas, laboratorios, talleres, bodegas para la planta y se halla relave dejado por el funcionamiento de la planta (Castillo, 2016; Costa 2019).

En la última parte de Quebraditas se localiza la Escuela de Quebraditas (figura 5.16.4 y 5.16.5), construida a mediados de 1900 para los hijos de los trabajadores mineros de Quebraditas, la cual presenta un muy buen estado de preservación. Se encuentra protegida por la ley N°17.288 de Monumentos Nacionales, desde el año 1980. Aquí también se localizan los vestigios de las viviendas, las que están colindante a un desmante (proveniente de actuales labores de pirquineros), la mayoría se han destruido por el paso del tiempo y otras han sido rescatadas por los pirquineros (Castillo, 2016; Costa, 2019).

Labrar de Cobre corresponde a tres chimeneas de 18 metros de alto, las que fueron declaradas Monumento Nacional en 1980. En estas se fundía cobre del mineral de Labrar desde inicios del siglo XVIII. Con el tiempo la zona aumentó su población, llegando a tener escuela, servicios de correo y telégrafo (Álvarez, 1995; Castillo, 2016; Costa, 2019).

El mineral de Labrar comienza a ser explotado a fines del siglo XVII y a principios del siglo XVIII por Diego González Montero, quien es el primer minero conocido del lugar y que durante un breve período fue gobernador del Reino de Chile. Desde esta época se le conoce por la explotación de sus ricas vetas de cobre, y por su cercanía a Caleta Playa Blanca y Fragüita (Álvarez, 1995).

Actualmente en la fundición de Labrar se destaca los escoriales, de gran extensión y color negro, y las 3 grandes chimeneas de 18 m, de los hornos reverbero (figura 5.16.6). Dichas chimeneas fueron construidas en el año 1830 con ladrillos refractarios traídos de

Descripción del sector

Inglaterra, fabricados por la empresa Rufford Stourbridge, que para la época destacan por su alta resistencia al calor. Sin embargo, en la actualidad las condiciones de las chimeneas no son óptimas, ya que en la parte más alta se encuentran curvadas, lo que podría generar una caída de estas (Costa, 2019).

Según las unidades litológicas y la mineralización descrita por Costa (2019) para el Distrito Labrar:

- Unidad de filitas (figura 5.16.7 y 5.16.8) que corresponde a rocas con textura foliadas, lepidoblástica y granoblástica, con un tamaño de grano menor a 1 mm, con motas que son cúmulos de cuarzo y moscovita. Las foliaciones presentes son biotitas foliadas y muscovitas foliadas. La unidad cubre el 40% del área de estudio.
- La unidad de cuarzo diorita (figura 5.16.9) de textura holocristalina, fanerítica e inequigranular, con 70% de plagioclasa, 20% de biotita y 10% de cuarzo. Los cristales de plagioclasa miden de 1mm a 2mm, son euhedrales a subhedrales, y están siendo afectados por una moderada alteración de sericita, los cuarzos son de un tamaño de 0.5mm a 1,5 mm, con cristales anhedrales, las biotitas son de tamaño de 0.5mm a 1mm, con cristales idiomórficos a hipidiomórficos, alterados a clorita. Esta unidad equivale al 60% del área de estudio.
- La unidad aluvial está compuesta por gravas, arenas y limos, pobremente seleccionada y poco consolidada. Los clastos de las gravas y arenas son polimícticos, angulares a subangulares.
- Dentro de la mineralogía se describen dos vetas-falla de cuarzo, con una orientación NNW y un espesor de 1 a 3 m, estas vetas tienen una mineralización de óxidos, sulfuros, y como ganga el cuarzo. Los óxidos (figura 5.16.10) corresponden a brochantita, crisocola y en menor cantidad azurita, con alteración argílica supérgena a arcillas, por tanto, se presenta goethita, hematita y óxidos de manganeso. En la zona de sulfuros se halla calcopirita y piritita (figura 5.16.11).

Según lo descrito en la Hoja Freirina-El Morado (Welkner *et al.*, 2006) la litología para Labrar corresponde a la unidad Diorita Cuarzífera San Juan, y para Quebraditas se

Descripción del sector

tiene esta misma unidad, sumándole el Complejo Epimetamórfico Chañaral. A continuación, se detalla cada una de las unidades:

- Complejo Epimetamórfico Chañaral, de edad del Devónico al Carbonífero inferior, constituido por metaareniscas cuarcíferas, microconglomeráticas, con clastos angulosos a subredondeados y metapelitas con minerales de albita, mica blanca y clorita.
- Diorita Cuarcífera San Juan, de edad 174 Ma, consiste en dioritas cuarcíferas de anfíbola y biotita de grano medio, con variaciones a monzodioritas cuarcíferas de anfíbola y biotita. Se suele encontrar a los máficos reemplazando a la clorita y/o actinolita, y los feldespatos presentan una alteración argílica.

Fotografías

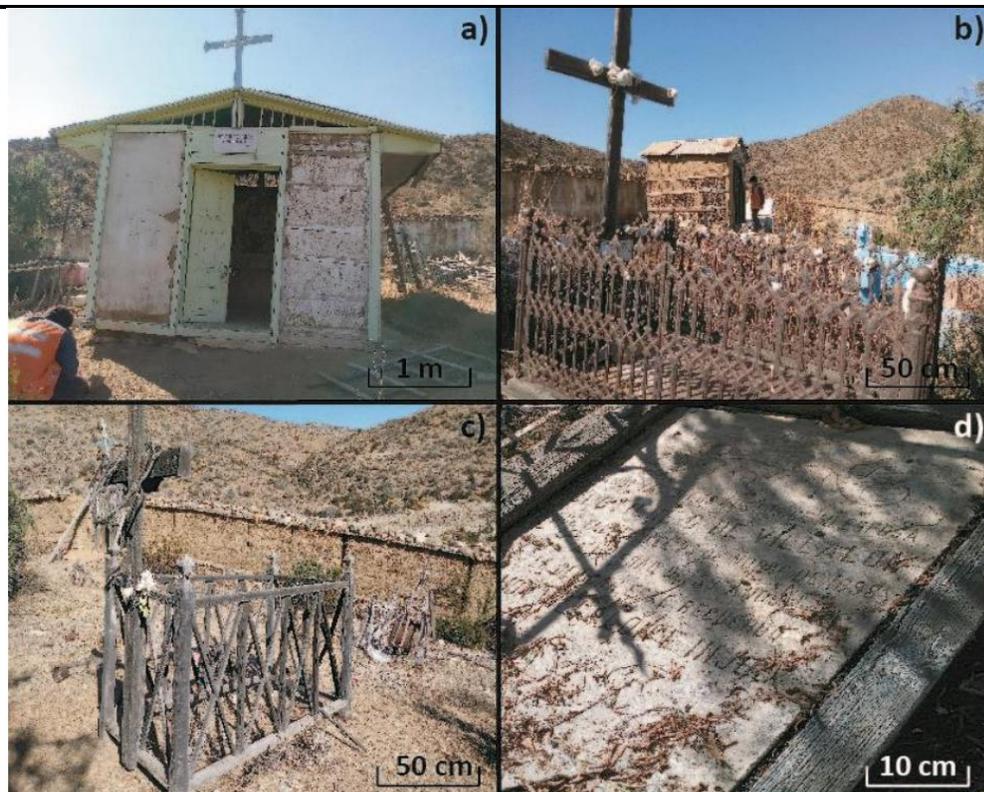


Figura 5.16.2: Cementerio de Quebraditas. a) Mausoleo de la Sociedad de Obreros de Socorros Mutuos, construido en el año 1907. b) Tumba decorada con reja de fierro y otro mausoleo de menor tamaño. c) Tumba decorada con madera, del año 1878. d) Lápida de una mujer fallecida en noviembre de 1898. Imagen extraída de Costa (2019).

Fotografías



Figura 5.16.3: Vista frontal de la Planta de Quebraditas, con parte de su infraestructura en buen estado de conservación. Imagen extraída y modificada de Castillo (2016).



Figura 5.16.4: Escuela de Quebraditas, bien preservada y protegida por ley N°17.288 de Monumentos Nacionales. Imagen extraída de Castillo (2016).

Fotografías



Figura 5.16.5: Interior y fachada de la Escuela de Quebraditas en la actualidad. a) Pared lateral de la escuela, que se encuentra dañada, pero conservada. b) Primer piso desde el interior de la escuela, con rayados realizados por visitantes. c) Paredes y pilar con grietas, además de rayados de visitantes. d) Escaleras construidas con madera, también se pueden observar rayados a los costados (Costa, 2019). Imagen extraída de Costa (2019).

Fotografías



Figura 5.16.6: Chimeneas de Labrar, que funcionaban junto a hornos de reverbero para fundir mineral de cobre, y que eran alimentadas principalmente por el mineral de Quebraditas. a) Dos chimeneas que se encuentran trizadas y curvadas en su parte más alta. b) Tercera chimenea que fue elaborada con bloques de la escoria de la planta (Costa, 2019). Imagen extraída de Costa (2019).



Figura 5.16.7: Muestra de mano de la Unidad de Filitas. Las motas que presentan se deben a que la roca estaba cercana al contacto intrusivo. Imagen extraída de Costa (2019).

Fotografías

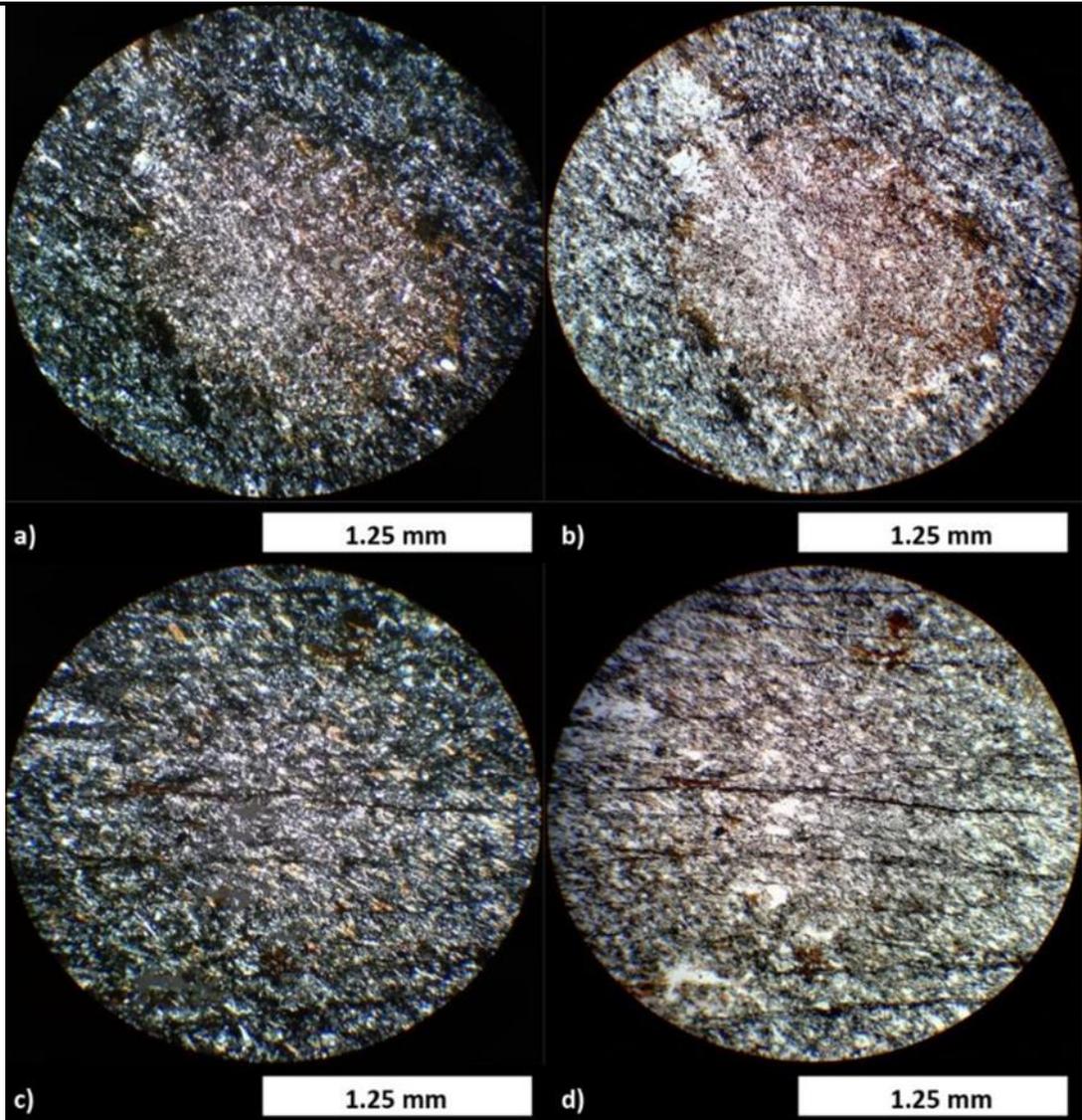


Figura 5.16.8: Cortes transparentes de la Unidad de Filitas. a) y b) Muestran los acumulados de cuarzo y muscovita, siguiendo la foliación de la roca, a) nicols cruzados y b) luz polarizada plana. En c) y d) Se observan dos foliaciones en la roca, una correspondiente a biotitas y otra que corresponde a muscovitas, c) nicols cruzados y d) en luz polarizada plana (Costa, 2019). Imagen extraída de Costa (2019).

Fotografías

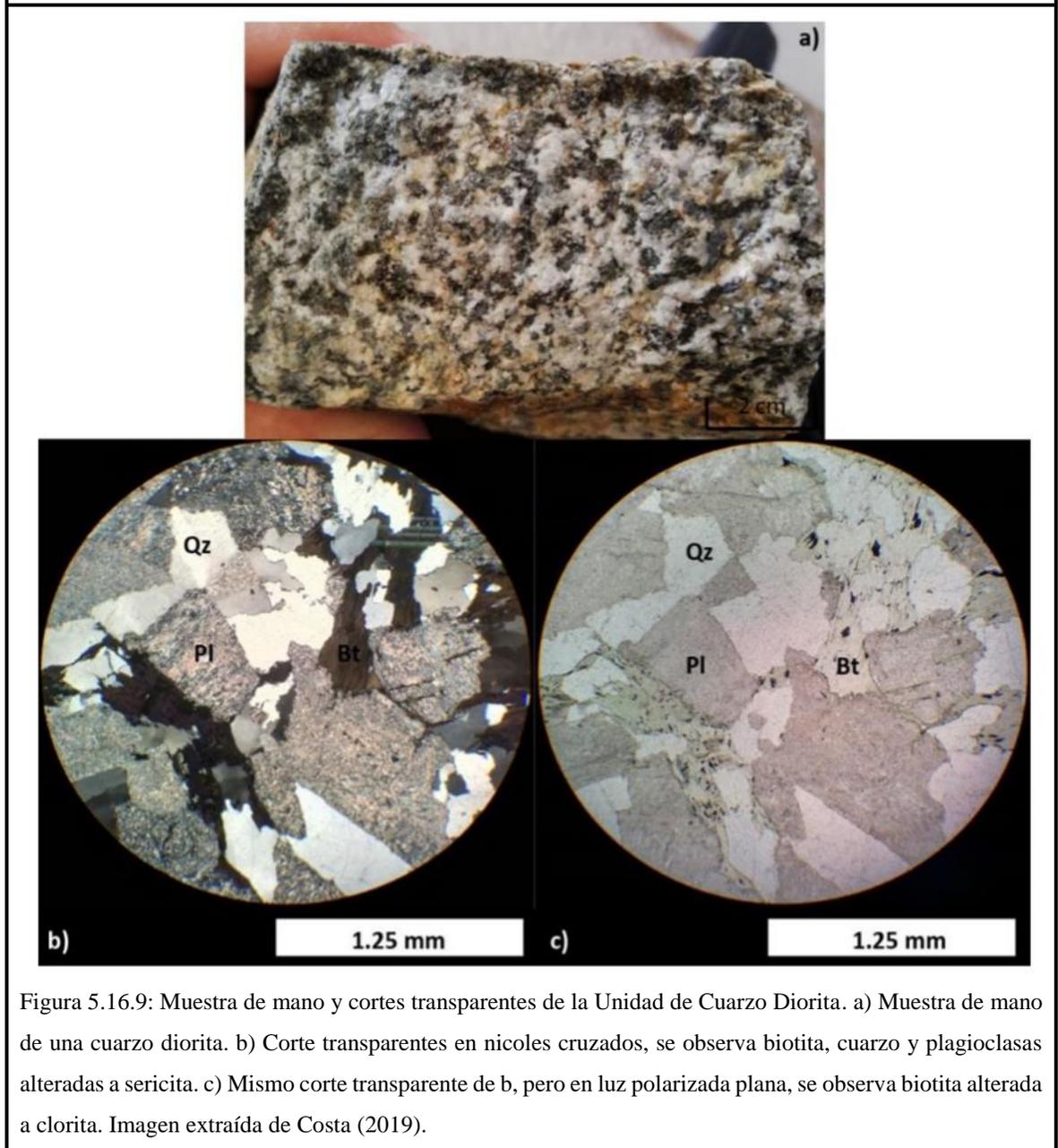


Figura 5.16.9: Muestra de mano y cortes transparentes de la Unidad de Cuarzo Diorita. a) Muestra de mano de una cuarzo diorita. b) Corte transparentes en nicoles cruzados, se observa biotita, cuarzo y plagioclasas alteradas a sericita. c) Mismo corte transparente de b, pero en luz polarizada plana, se observa biotita alterada a clorita. Imagen extraída de Costa (2019).

Fotografías

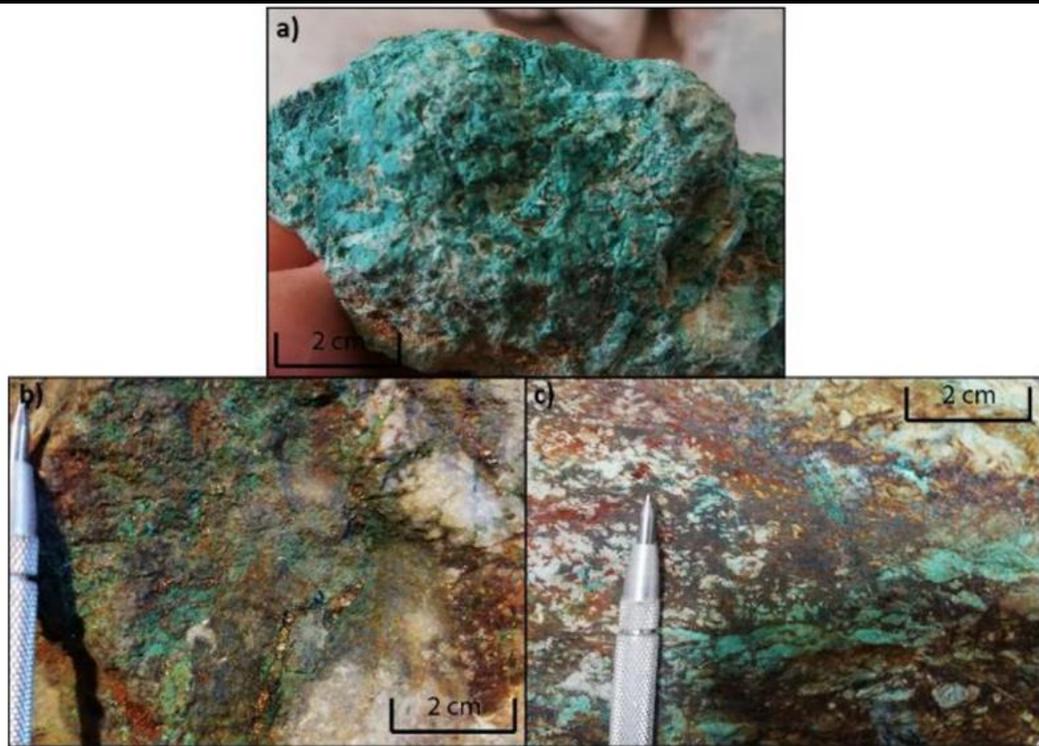


Figura 5.16.10: Muestra de mano de la zona de óxidos de Labrar, mina Socavón. a) Muestra con alta ley de óxidos, se destaca la crisocola. b) Zona mixta, se observa brochantita y calcopirita. c) Milonita con óxidos de cobre (crisocola). Imagen extraída de Costa (2019).



Figura 5.16.11: Muestra de mano de zona de sulfuros, de la veta de cuarzo. Se observa calcopirita y pirita. Imagen extraída de Costa (2019).

5.3 Etapa de cuantificación o etapa cualitativa-cuantitativa

Durante las visitas a los sitios de interés y en el trabajo de gabinete, se realizó una cuantificación en los casos de los potenciales geositos de interés paleontológico, estructural, sedimentario, geomorfológico, petrográfico y mineralógico. En el caso de los tipos de sitios de patrimonio minero, se efectuó una descripción cualitativa-cuantitativa.

Debido al acotado tiempo, 2 de los casos de estudio (Quebraditas y Labrar de Cobre, y Planta de Cobalto “La Cobaltera”), no se visitaron, por lo que las descripciones se basan solo en revisiones bibliográficas. Cabe mencionar que, en varios de los sitios, se utiliza información bibliográfica complementada con las descripciones en terreno.

5.3.1 Etapa de cuantificación

Sitios de interés geológico, casos de estudios desde el VH-1 al VH-10.

5.3.1.1 Etapa de cuantificación y de valoración para los casos de estudio de interés de tipo paleontológico, estructural, sedimentario, geomorfológico, petrográfico y mineralógico.

De acuerdo a lo indica en las tablas 3.3, 3.4 y 3.5, del capítulo 3, se asigna un puntaje de 1 a 5, para los criterios intrínsecos al geosito, criterios relacionados con el uso del geosito y criterios relacionados con la necesidad de protección del geosito, obteniendo el valor de sumatoria A, sumatoria B y sumatoria C, y valor Q, para los casos de estudio VH-1, VH-2, VH-3, VH-4, VH-5, VH-6, VH-7, VH-8, VH-9 y VH-10 (ver Anexos 1 y 2). Cabe destacar que el mayor valor que se puede obtener de la sumatoria A es de 45 puntos, sumatoria B es de 30 puntos y sumatoria C es de 25 puntos.

Tabla 5.1: Valores de las sumatorias A, B, C y valor Q, para los casos de estudio de VH-1 a VH-10. En rojo están los valores mínimos, y en verde los valores máximos.

Sitio	Sumatoria A	Sumatoria B	Sumatoria C	Valor Q
VH-1	35	18	23	23,33
VH-2	36	18	20	24,67
VH-3	27	14	17	19,33
VH-4	34	18	19	23,67
VH-5	38	19	21	26,00
VH-6	28	19	18	21,67
VH-7	31	20	25	25,33
VH-8	29	20	25	24,67
VH-9	31	23	23	25,67
VH-10	34	22	19	39,50
Media	32.3	19.1	21	25.4

5.3.1.2 Clasificación y diagnóstico para los casos de estudio de interés de tipo paleontológico, estructural, sedimentario, geomorfológico, petrográfico y mineralógico

Para esta etapa, el valor de la cuantificación final se obtiene de dos formas, dependiendo si el caso de estudio es de tipo nacimiento o internacional, o si es de tipo regional o local.

Si los valores de $A1 \geq 3$, $A3 \geq 4$, $A6 \geq 3$, $A9 \geq 3$, $B1 \geq 3$, $B2 \geq 3$, el caso de estudio es de tipo nacional o internacional, en caso contrario es de tipo regional o local. Según sea el caso, el valor de la cuantificación se obtiene con la ecuación 3.1 (geositios nacionales o internacionales) y ecuación 3.2 (geositios locales o regionales).

Tabla 5.2: Resumen de la clasificación y cuantificación final (Q) para los casos de estudio de interés de tipo paleontológico, estructural, sedimentario, geomorfológico, petrográfico y mineralógico.

Código de geosito	Tipo de geosito	Valor Q
VH-1	Regional / Local	25,33
VH-2	Regional / Local	24,67
VH-3	Regional / Local	19,33
VH-4	Regional / Local	23,67
VH-5	Regional / Local	26,00
VH-6	Regional / Local	21,67
VH-7	Regional / Local	25,33
VH-8	Regional / Local	24,67
VH-9	Regional / Local	25,67
VH-10	Internacional / Nacional	39,50

Para determinar los casos de estudios que son considerados como propuesta de geositios, se examinan los valores obtenidos de la sumatoria A, sumatoria B, sumatoria C y el valor de Q (a mayor valor de Q, mayor relevancia del geosito y mayor necesidad de estrategias de conservación (Brilha, 2005). Los sitios con el menor valor para cada uno de los parámetros mencionados anteriormente se descartan como propuesta de geositios. (tabla 5.1).

Según lo anteriormente mencionado, los casos de estudios propuestos como geositios son: Plegamiento Alto del Carmen (VH-1), Fallas, Estratificaciones y Contactos de Chancoquín (VH-2), Estratos Fosilíferos Chancoquín (VH-4), Morfología de Quebrada de Pinte: El Indio, La Pirámide y El Escorpión (VH-5), Slump de Quebrada de Pinte (VH-6), Conjunto de Fallas inversas Quebrada de Pinte (VH-7), Set de Fallas El Portillo (VH-8), Embalse Santa Juana (VH-9) y Terrazas Fluviales Freirina (VH-10).

5.3.2 Etapa cualitativa-cuantitativa

Sitios de interés de tipo patrimonial minero, considera los casos de estudios desde el VH-11 al VH-16.

5.3.2.1 Etapa cualitativa-cuantitativa y de valoración para los casos de estudio de tipo patrimonio minero.

Se le asigna un puntaje de 0 a 3, para el parámetro criterios intrínsecos, parámetro potencial uso, necesidad de protección e importancia-contexto, obteniendo el valor de sumatoria $Q_t(P1)$, $Q_t(P2)$, $Q_t(P3)$ y $Q_t P4$, la sumatoria total Q_t y los valores ponderados de X, Y, Z, W , para los casos de estudio VH-11, VH-12, VH-13, VH-14, VH-15, y VH-16 (ver Anexos 3, 4, 5 y 6).

Tabla 5.3: Resumen de los valores Qt (P1), Qt (P2), Qt (P3), Qt (P4), la sumatoria total de Qt y los valores ponderados de X, Y, Z, W para los sitios de tipo patrimonio minero. Modificado de Bunter (2017).

Código de Geosítio	Nombre	Qt (P1)	Qt (P2)	Qt (P3)	Qt (P4)	ΣQt	X	Y	Z	W
VH-11	Huantemé	13	8	14	18	53	0,72	0,40	0,78	1,00
VH-12	Capote Aurífero	13	10	13	18	54	0,72	0,67	0,87	1,00
VH-13	Sosita	8	9	11	17	45	0,67	0,60	0,61	0,94
VH-14	Fundación Chañarcito de Canto del Agua	12	11	9	18	50	0,67	0,73	0,50	1,00
VH-15	Planta de Cobalto "La Cobaltera"	14	9	16	16	55	0,78	0,60	0,89	0,89
VH-16	Quebraditas y Labrar de Cobre	15	13	11	18	57	0,83	0,72	0,61	1,00

5.3.2.2 Clasificación y diagnóstico de los sitios de tipo patrimonio minero

En la siguiente tabla se presentan los valores de X, Y, Z, W para cada caso de estudio, con la clasificación de los resultados. En rojo: insuficiente, en verde: aceptable; y en amarillo destacado.

Tabla 5.4: Clasificación de los casos de estudios. Modificado de Bunter (2017).

Código de geosítio	Nombre	Parámetro intrínseco (X)	Potencial uso (Y)	Necesidad de protección (Z)	Importancia – Contexto (W)
VH-11	Huantemé	0,72	0,40	0,78	1,00
VH-12	Capote Aurífero	0,72	0,67	0,87	1,00
VH-13	Sosita	0,67	0,60	0,61	0,94
VH-14	Fundación Chañarcito de Canto del Agua	0,67	0,73	0,50	1,00
VH-15	Planta de Cobalto “La Cobaltera”	0,78	0,60	0,89	0,89
VH-16	Quebraditas y Labrar de Cobre	0,83	0,72	0,61	1,00

Según los valores obtenidos para cada parámetro, los casos de estudio propuestos como geosítios son: Capote Aurífero (VH-12), Fundación Chañarcito de Canto del Agua (VH-14), Planta de Cobalto “La Cobaltera” (VH-15) y por último Quebraditas y Labrar de Cobre (VH-16).

5.4 Rutas Patrimoniales

Con los geositios seleccionados, se confeccionan 3 mapas geopatrimoniales (figura 5.17.1, 5.17.2 y 5.17.3), que muestran las rutas patrimoniales, basándose en la cercanía de los geositios e intereses geológicos en común o similares. La primera ruta llamada “Ruta Geológica, Embalse Santa Juana - Chancoquín”, se ubica en la comuna de Alto del Carmen, y considera cuatro geositios, con las áreas de interés: estratigráfico, geomorfológico, estructural y tectónico. La segunda ruta se titula “Ruta Geológica, Quebrada de Pinte y alrededores”, también pertenece a la comuna de Alto del Carmen, y considera cuatro geositios, con las áreas de interés: estructural, tectónica y geomorfológica. La tercera ruta nombrada “Ruta Patrimonial Minera”, se ubica en la comuna de Freirina, e incluye a cuatro geositios del área de patrimonio minero.

5.4.1 Ruta Geológica, Embalse Santa Juana - Chancoquín

Esta ruta considera estructuras y estratos de procesos geológicos ocurridos durante el Mesozoico, provenientes de un ambiente marino. Los geositios que se incluyen son: Embalse Santa Juana (P1), Plegamiento Alto del Carmen (P2), Fallas, Estratificaciones y Contactos Chancoquín (P3) y Estratos Fosilíferos Chancoquín (P4).

La ruta tiene una extensión de 58,8 km, a través de las vías C-485, C-495, C-499 y C-487, desde la localidad de Camarones a la localidad de Chancoquín. El tiempo total de estadía es de 130 min, y el tiempo que se utiliza para el recorrido la ruta, incluyendo la estadía es de 3 a 4 hr aproximadamente.

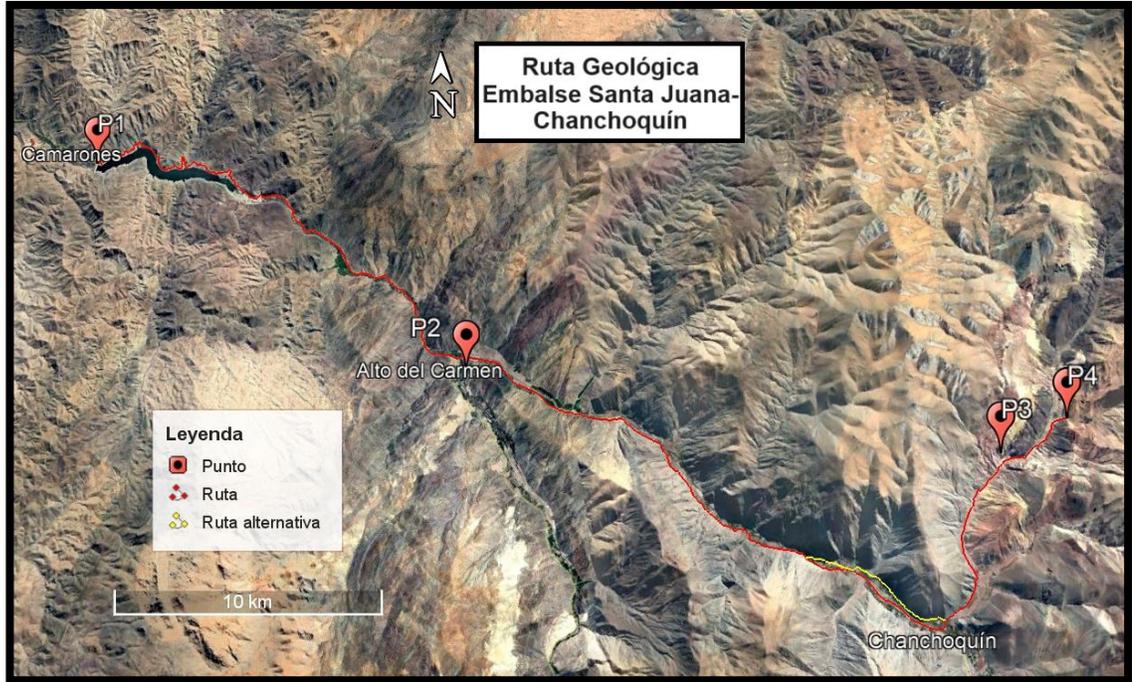


Figura 5.17.1: Ruta Geológica, Embalse Santa Juana - Chanchoquín. De color rojo se encuentra la ruta, que incluye la vía C-485, C-495, C-499 y C-487. De color amarillo se indica una ruta alternativa, correspondiente a la vía C-495. Los geositos de la ruta son: Embalse Santa Juana (P1), Plegamiento Alto del Carmen (P2), Fallas, Estratificaciones y Contactos Chanchoquín (P3) y Estratos Fosilíferos Chanchoquín (P4). Elaboración propia.

Tabla 5.5: Detalle de los geositos incluidos en la Ruta Geológica, Embalse Santa Juana - Chanchoquín. Modificado de Travella (2021).

Punto	Nombre del geosito	Interés geológico	Tiempo estadía (min)	Distancia acumulada (Km)
P1	Embalse Santa Juana	Geomorfológico, hidrogeológico y estratigráfico	25	0
P2	Plegamiento Alto del Carmen	Tectónico, estratigráfico, petrográfico y geomorfológico	15	24,4
P3	Fallas, Estratificaciones y Contactos Chanchoquín	Estructural, estratigráfico, y paleontológico	45	56
P4	Estratos Fosilíferos Chanchoquín	Geomorfológico, estructural y paleontológico	45	58,8

5.4.2 Ruta Geológica: Quebrada de Pinte y alrededores

Esta ruta considera estructuras y estratos de procesos geológicos ocurridos durante el Triásico y Jurásico, provenientes de un ambiente marino. Los geositos que se incluyen son: Set de Fallas El Portillo (P1), Conjunto de Fallas inversas Quebrada de Pinte (P2), *Slump* de Quebrada de Pinte (P3) y Morfología de Quebrada de Pinte: El Indio, La Pirámide y El Escorpión (P4).

La ruta tiene una extensión de 6,8 km, a través de las vías C-495 y C-493 desde la localidad de El Portillo a la localidad de Quebrada de Pinte. El tiempo total de estadía es de 190 min, y el tiempo que se utiliza para el recorrido de la ruta, incluyendo la estadía es de 3,5 hr aproximadamente.



Figura 5.17.2: Ruta Geológica, Quebrada de Pinte y alrededores. De color rojo se encuentra la ruta, que incluye las vías C-495 y C-493, las que son aptas para todo tipo de vehículo. De color amarillo se indican las rutas de senderismo. Los geositos considerados son: Set de Fallas El Portillo (P1), Conjunto de Fallas inversas Quebrada de Pinte (P2), *Slump* de Quebrada de Pinte (P3) y Morfología de Quebrada de Pinte: El Indio, La Pirámide y El Escorpión (P4). Elaboración propia.

Tabla 5.6: Detalle de los geositos incluidos en la Ruta Geológica, Quebrada de Pinte y alrededores. Modificado de Travella (2021).

Punto	Nombre del geosito	Interés geológico	Tiempo estadía (min)	Distancia acumulada (Km)
P1	Set de Fallas El Portillo	Tectónico	45	0
P2	Conjunto de Fallas inversas Quebrada de Pinte	Estructural	30	1,2
P3	Slump de Quebrada de Pinte	Estructural y sedimentario	25	4,1
P4	Morfología de Quebrada de Pinte: El Indio, La Pirámide y El Escorpión	Geomorfológico, paleontológico, estratigráfico y petrográfico	90	6,8

5.4.3 Ruta Patrimonial Minera

Esta ruta consiste en antiguos yacimientos mineros o vestigios de ellos, son geositos de tipo patrimonio minero. Los geositos incorporados son: Fundición Chañarcito de Canto del Agua (P1), Capote Aurífero (P2), Planta de Cobalto “La Cobaltera” (P3), Quebraditas (P4) y Labrar de Cobre (P5). Si bien Quebraditas y Labrar, se consideran como un mismo geosito, ya que están separados por 4 km y por su contexto histórico, en el que Quebraditas era la principal alimentadora de la fundición de Labrar, en la ruta se los presenta por separados para proporcionar orientación más eficiente a los turistas.

La ruta tiene una extensión de 167 km, a través de las vías C-440, C-442, C-456, C-450, C-46, C-494 y C-526, ubicada en la comuna de Freirina. El tiempo total de estadía es de 105 minutos, y el tiempo que se utiliza para el recorrido la ruta, incluyendo la estadía es de 4,5 a 5,5 hr aproximadamente.



Figura 5.17.3: Ruta Patrimonial Minera. De color rojo se encuentra la ruta, que incluye las vías C-440, C-442, C-456, C-450, C-46, C-494 y C-526. Los geositios considerados son: Fundición Chañarcito de Canto del Agua (P1), Capote Aurífero (P2), Planta de Cobalto “La Cobaltera” (P3), Quebraditas (P4) y Labrar de Cobre (P5).

Tabla 5.7: Detalle de los geositios incluidos en la Ruta Patrimonial Minera. Modificado de Travella (2021).

Punto	Nombre del geositio	Interés geológico	Tiempo estadía (min)	Distancia acumulada (Km)
P1	Fundición Chañarcito de Canto del Agua	Patrimonio minero	15	0
P2	Capote Aurífero	Patrimonio minero	25	42,4
P3	Planta de Cobalto “La Cobaltera”	Patrimonio minero	15	162,94
P4	Quebraditas	Patrimonio minero	30	165,3
P5	Labrar de Cobre	Patrimonio minero	20	166,94

Capítulo 6: DISCUSIONES

6.1 Análisis de la metodología

Las fichas de caracterización de cada caso de estudio, permitieron realizar descripciones in situ, logrando identificar rasgos geológicos, ubicaciones y accesos. De esta manera, las fichas son beneficiosas para los guías turísticos, turistas, visitantes del sector o interesados en el geoturismo del Valle del Huasco, ya que por medio de estas se puede acceder al sector de forma independiente. Además de presentar información geocientífica, histórica y conceptos geológicos necesarios para exponer, explicar y comprender los procesos geológicos ocurridos en cada uno de los geositios, incluyendo imágenes explicativas, que permite facilitar su comprensión y favorecer el geoturismo, en cada una de las zonas.

6.1.1 Casos de estudio de interés de tipo paleontológico, estructural, sedimentario, geomorfológico, petrográfico y mineralógico.

La cuantificación utilizada permite asignar una puntuación para cada criterio secundario, realizando una valoración exacta para los criterios intrínsecos al geositio (A), criterios relacionados con el uso del geositio (B) y criterios relacionados con la necesidad de protección (C), haciéndolo muy útil para analizar el comportamiento de los casos de estudios en cada uno de los criterios principales evaluados. Sin embargo, se debe considerar modificar el criterio secundario A.7 Asociación con elementos culturales, dejando solo 3 valores, que incluya: no hay otros elementos de interés (1), hay elementos de interés artístico y/o histórico (3), y existen vestigios o evidencia arqueológica (5), de esta manera la valoración será más exacta y simple de identificar. Por otra parte, para futuros trabajos de evaluación de geositios dentro del Valle del Huasco, se debe modificar el criterio secundario B.5 Número de habitantes, adecuándolo a la densidad de población de la zona.

6.1.2 Casos de estudio de tipo patrimonio minero.

La metodología cualitativa-cuantitativa utilizada es ventajosa para evaluar el comportamiento de cada sitio de valor patrimonial, para los criterios intrínsecos (P1), potencial uso (P2), necesidad de protección (P3) e importancia – contexto (P4),

permitiendo identificar fortalezas y debilidades de cada sitio de estudio, según la puntuación obtenida.

Como se mencionó en el capítulo de metodología, el sub-parámetro “peligro geológico” se modificó. Según Bunster, 2017 a menor riesgo geológico, mayor valoración, lo que de forma práctica posee poca lógica para el trabajo en curso, ya que una zona que presenta un bajo riesgo geológico tiene una baja o nula necesidad de protección, en caso contrario un sitio con un alto riesgos geológicos, posee una alta necesidad de protección, por tanto, según este juicio, dicho sub-parámetro cambia a; mayor riesgo geológico, mayor valoración.

Otra modificación realizada es la incorporación del sub-parámetro interés en la minería, debido al contexto de la región de Atacama, donde la minería está constantemente presente y que representa un riesgo para la protección de los sitios patrimoniales, siendo indispensable la valoración de este punto.

6.2 Análisis de resultados de casos de estudio

6.2.1 Casos de estudio de interés de tipo paleontológico, estructural, sedimentario, geomorfológico, petrográfico y mineralógico.

Según los valores obtenidos para Q y la sumatoria de cada uno de los criterios: A. Criterios intrínsecos al geositio, B. Criterios relacionados con el uso del geositio y C. Criterios relacionados con la necesidad de protección del geositio, se realiza una selección, y se analiza cada caso de estudio. Considerando que el mayor valor para la sumatoria A es de 45 puntos, para sumatoria B es de 30 puntos y sumatoria C es de 25 puntos.

Por tanto, los casos de estudios seleccionados como geositios son: Plegamiento Alto del Carmen (VH-1), Fallas, Estratificaciones y Contactos de Chancoquín (VH-2), Estratos Fosilíferos Chancoquín (VH-4), Morfología de Quebrada de Pinte: El Indio, La Pirámide y El Escorpión (VH-5), Slump de Quebrada de Pinte (VH-6), Conjunto de Fallas inversas Quebrada de Pinte (VH-7), Set de Fallas El Portillo (VH-8), Embalse Santa Juana (VH-9) y Terrazas Fluviales Freirina (VH-10). Por otra parte, el sitio Estructuras

sedimentarias y Zona Arqueológica Chancoquín (VH-3), al ser el de menor valor para cada uno de los parámetros, es el único que no clasifica como geositio

- Plegamiento Alto del Carmen (VH-1) cada una de las sumatorias de A, B y C, se encuentran sobre la media, revelando la importancia del geositio. En comparación a los demás casos de estudio, posee uno de los valores más altos de la sumatoria A, lo que muestra que los propios procesos geológicos del geositio son de un gran interés. Así mismo, tiene uno de los mayores valores para la sumatoria C, indicando que se debe priorizar la protección de la zona.
- Fallas, Estratificaciones y Contactos de Chancoquín (VH-2) en este caso nuevamente las sumatorias de A, B y C, están sobre la media, mostrando la importancia del caso de estudio. La sumatoria A, es uno de los puntajes más alto obtenidos, en comparación con los demás sitios, indicando que los procesos geológicos aquí ocurridos, son relevantes.
- Estructuras Sedimentarias y Zona Arqueológica Chancoquín (VH-3) cada uno de sus valores, son los más bajos obtenidos para todos los sitios, siendo una zona con una baja importancia geológica, incluso es la única zona donde el criterio relacionado con el uso del geositio, está bajo la media, por lo que no es recomendable visitar este lugar desde el punto de vista del geoturismo y la geoeducación. Esto se condice con lo observado en terreno, ya que las rocas del sector son rodados, al estar ex situ, dificulta determinar su origen, y contexto geológico, siendo no apto para estudios.
- Estratos Fosilíferos Chancoquín (VH-4) las sumatorias de A, B y C tienen un valor sobre la media, revelando el interés de la zona. Se destaca la puntuación de la sumatoria A, que indica el interés de la geología del sector.
- Morfología de Quebrada de Pinte: El Indio, La Pirámide y El Escorpión (VH-5), es el caso de estudio con el valor más alto de la sumatoria A, exponiendo el gran interés geológico de la zona. Así mismo, este sitio posee el mayor valor Q para los geositios de tipo regionales/locales, mostrando que es el geositio regional/local con mayor relevancia y con mayor necesidad de estrategias de conservación.
- Slump de Quebrada de Pinte (VH-6) es un sitio con importancia, demostrado por las sumatorias de A, B y C, que presentan un puntaje sobre la media.

- Conjunto de Fallas inversas Quebrada de Pinte (VH-7) es el sitio con mayor valor de la sumatoria C, junto al geositio Set de Fallas El Portillo (VH-8), indicando que los dos casos de estudio son los con mayor prioridad para ser protegido. El valor Q es uno de los más altos, exponiendo la importancia y la necesidad de trabajar en estrategias de conservación para la zona.
- Set de Fallas El Portillo (VH-8) presente el puntaje más alto de la sumatoria C, al igual que el sitio Conjunto de Fallas inversas Quebrada de Pinte (VH-7), por lo que son las zonas con mayor prioridad para ser protegidas.
- Embalse Santa Juana (VH-9) es el caso de estudio con el mayor valor de la sumatoria B, indicando que es el sitio más apto para ser utilizado. El valor Q es uno de los más altos, mostrando la relevancia y la necesidad de conservar del sitio.
- Terrazas Fluviales Freirina (VH-10), es el único geositio de tipo internacional/nacional, con el valor Q más alto, por tanto, de todas las zonas estudiadas, es la con mayor relevancia y con necesidad de implementar estrategias de conservación.

6.2.2 Casos de estudio de tipo patrimonio minero.

De acuerdo con los resultados obtenidos para parámetro intrínseco (X), potencial uso (Y), necesidad de protección (Z), e importancia-contexto (W), considerando que un alto valor del parámetro intrínseco, indica una fortaleza para el sitio; un alto potencial de uso revela que el sector puede ser utilizado; una alta necesidad de protección es una debilidad; y un alto valor de importancia-contexto una fortaleza, y junto a las observaciones en terreno. Se han seleccionados cuatro sitios con un alto valor patrimonial y dos sitios no han sido seleccionados. Los sitios clasificados con un alto valor patrimonial son: Capote Aurífero (VH-12), Fundación Chañarcito de Canto del Agua (VH-14), Planta de Cobalto “La Cobaltera” (VH-15) y por último Quebraditas y Labrar de Cobre (VH-16). Los sitios que han quedado fuera de las rutas geopatrimoniales por no cumplir con los parámetros necesarios son: Huantemé (VH-11) y Sosita (VH-13).

Según las variables X, Y, Z, W, se realiza un análisis para cada caso de estudio de tipo patrimonio minero, destacando fortalezas y debilidades, detallando el comportamiento del sitio en las variables.

- Huantemé (VH-11) posee un valor destacado de X, Z, y W, incluso W presenta el mayor valor posible, indicando que las características propias del sitio y el contexto histórico son fortalezas del lugar. Por otro lado, el alto valor del parámetro de protección (Z) representa una debilidad, ya que el sitio necesita ser protegido. Y el valor insuficiente del potencial de uso (Y) muestra que el sitio no puede ser utilizado. Estos dos últimos parámetros (Z e Y) se condicen con la realidad del sector, de ser explotado. Al estar en funcionamiento una mina, el lugar pertenece a privados, que no permiten el ingreso, por lo que el potencial de uso es bajo (Y). Considerando el mismo contexto, el parámetro de protección (Z), es alto, debido a que el lugar tiene una alta actividad minera, industrial y no posee ningún tipo de protección.
- Capote Aurífero (VH-12) su parámetro intrínseco (X) y parámetro importancia-contexto (W), poseen valores destacables, indicando que en la actualidad la zona tiene una alto interés y relevancia, así mismo, en el pasado, esta localidad ostentó una significativa importancia en los ámbitos cultural, social, económico e histórico. El valor de necesidad de protección (Z) arroja un resultado elevado, denotando una debilidad de la zona, que concuerda con el laboreo minero cercano al lugar, no obstante, el parámetro de potencial de uso (Y) es aceptable, por tanto, se puede acceder al sector, a pesar de que necesita ser protegido.
- Sosita (VH-13) su único valor destacable corresponde al parámetro importancia-contexto (W), señalando la gran relevancia histórica y en el pasado una importancia cultural, social y económica. A pesar de lo anterior, ninguno de sus otros parámetros revela un valor destacable del sitio.
- Fundación Chañarcito de Canto del Agua (VH-14) el parámetro importancia-contexto (W) es el valor más destacable, llegando a tener la máxima valoración posible, lo que revela que el sitio tuvo una gran importancia para la época, tanto en la economía, tecnología, cultura y en la sociedad, siendo relevante para la

historia del país. Por otra parte, el potencial de uso (Y) también tiene un gran valor, lo que es una fortaleza para la zona.

- La Planta de Cobalto “La Cobaltera” (VH-15) presenta un valor destacable para los parámetros intrínseco (X) e importancia contexto (W), los que son una fortaleza para el sitio, y que por su parte indica la alta relevancia actual de la zona, así como su importancia histórica. Por otra parte, el alto valor del parámetro de protección (Z) muestra una debilidad, ya que el sitio necesita ser protegido, concordando con la actividad minera cercana al sector.
- Quebraditas y Labrar de Cobre (VH-16) es el sitio de valor patrimonial más destacable, ya que sus parámetros intrínsecos (X), potencial de uso (Y) e importancia-contexto (W) poseen un alto valor, lo que indica una gran fortaleza del sitio, por tanto, actualmente tiene una alta importancia, así como su historia, y además puede ser utilizado. Por otro lado, su parámetro necesidad de protección (Z) posee un valor aceptable, lo que muestra que la zona no necesita ser protegida, debido a que dispone de protección legal.

6.3 Análisis de los resultados del inventario de geositos y rutas patrimoniales

La zona de estudio abarca el 7% del área de la Región de Atacama, con 16 casos de estudio con interés patrimonial, indicando que el Valle del Huasco posee una gran concentración de sitios de valor patrimonial, de los cuales 13 son seleccionados como geositos. De estos 13 geositos, 9 no poseen ningún tipo de protección legal, por lo que se debe trabajar en la protección de ellos, como lo son: Plegamiento Alto del Carmen (VH-1), Slump de Quebrada de Pinte (VH-6), Conjunto de Fallas inversas Quebrada de Pinte (VH-7), Set de Fallas El Portillo (VH-8), Embalse Santa Juana (VH-9), Terrazas Fluviales Freirina (VH-10), Capote Aurífero (VH-12), Fundación Chañarcito de Canto del Agua (VH-14), y Planta de Cobalto “La Cobaltera” (VH-15).

Las rutas patrimoniales son útiles para turistas y guías turísticos, permitiendo llegar a los geositos de manera independiente. Sin embargo, el geosito “Terrazas Fluviales de Freirina”, quedó fuera de las rutas, debido a la lejanía de los de más sitios de tipo geológico, si bien se encuentra cercano a los sitios de interés patrimonial minero, no

se incluyó dentro de la Ruta Patrimonial Minera, por no abarcar la misma área de interés. En cuanto a esta Ruta Patrimonial Minera, tiene una gran desventaja a comparación de las demás, ya que requiere de una gran cantidad de tiempo para su desplazamiento, lo que la podría hacer menos atractiva para los turistas.

6.4 Análisis de procesos geológicos, ambientes geológicos y paleoambientes, para los casos de estudio de interés de tipo paleontológico, estructural, sedimentario, geomorfológico, petrográfico y mineralógico.

- Plegamiento Alto del Carmen (VH-1): Como se mencionó en los resultados, la edad del plegamiento es asociada a una posterior a los 80 Ma y su petrografía se correlaciona con la Formación Cerrillos de edad Albiano al Turnoniano (Moscoso *et al.*, 2010). La Falla San Félix, de tipo inversa, se conformó en la Fase Peruana, mostrando actividad hasta el Eoceno, y se ubica en el límite del pliegue (Moscoso *et al.*, 2010; Salazar, 2012; Santis, 2013). Por tanto, debido a su posición y edades, se interpreta la Falla San Félix estaba controlando estructuralmente la zona.
- Fallas, Estratificaciones y Contactos Chancoquín (VH-2): La fauna fósil, junto a que todas las rocas del geosítio son carbonatadas, lo que puede indicar un ambiente marino, el tamaño de grano de arena fina evidencia que las aguas tenían poca a moderada energía, donde las corrientes no eran grandes. Esto revela que el ambiente correspondiente a este sector es de una cuenca sedimentaria con depósitos carbonatados de origen biológico. Esto coincide con lo descrito por Salazar (2012), donde menciona que durante el Triásico se comienzan a desarrollar cuencas extensionales de tipo hemigraben marino.
- Estratos Fosilíferos Chancoquín (VH-4): La gran cantidad de fauna fósil de invertebrados marinos, además de la presencia de rocas carbonada y calizas impuras, evidencia un ambiente marino. El tamaño de grano de arena muy fina y fina indican la poca a moderada profundidad del agua. Por tanto, al igual que VH-2, el ambiente corresponde a una cuenca sedimentaria con depósitos carbonatados de origen biológicos. Cabe destacar que la presencia de lutita calcárea y los

crinoideos, son una nueva evidencia de que las aguas tenían poca energía, con ausencia de corrientes turbulentas.

- Conjunto de Fallas inversas Quebrada de Pinte (VH-7): Las formaciones del sector van del Triásico superior al Jurásico medio bajo, por tanto, las edades de las fallas son posteriores a estos periodos. La Falla Pinte, ubicada en las cercanías de la zona, es de tipo inversa, e inicio su actividad durante el Cretácico Inferior alto y Cretácico Superior alto, producida por un anticlinal de *roll-over* (Moscoso *et al.*, 2010; Ortiz y Merino, 2015). Debido a la posición estratigráfica y cronología, se determina que estas fallas inversas son producidas por la compresión de una falla mayor, correspondiente a la Falla Pinte.
- Set de Fallas El Portillo (VH-8): Este set al poseer fallas mayoritariamente normales, se debió producir debido a fuerzas extensionales. No se han registrado fallas de mayor magnitud de tipo normal en la zona cercana que puedan estar asociadas al Set de Fallas El Portillo. Según la edad de las formaciones geológicas presentes en el geosítio, que abarcan desde el Triásico superior hasta el Jurásico medio bajo (Moscoso *et al.*, 2010), se deduce que el set de fallas se formó después de esta edad, específicamente durante el Jurásico superior al Cretácico inferior, correspondiente a la primera etapa del Ciclo Andino, caracterizado por la predominancia de fuerzas extensionales.
- Embalse Santa Juana (VH-9): Los restos fósiles presente indica un ambiente marino. La estructura sedimentaria, junto al tamaño de grano de la roca, se puede asociar con aguas someras, que están transportando sedimento de tamaño limo o arcilla, relacionándola con una poza limosa en un ambiente marino, el cual está siendo sometido a evaporación. Este tipo de ambiente más local concuerda con el tipo de ambiente general de la zona, de una cuenca de antepaís descrita por Charrier *et al.* (2007) y cuenca cerrada, con restricción de circulación de agua por Árevalo (2009).

Capítulo 7: CONCLUSIONES

El Valle del Huasco es una zona con una gran riqueza del patrimonio cultural, destacándose el geopatrimonio, patrimonio minero y arqueología. Con lo que se puede fomentar y fortalecer el geoturismo del sector.

Para este inventario de geositios, se preseleccionaron 16 casos de estudio, con un reconocido patrimonio geológico o patrimonio minero, los cuales fueron caracterizados mediante fichas descriptivas, que contienen información relevante del sector, geología, ubicación, fotos y esquemas de ser necesarios. Por medio de estas mismas fichas se identificaron 8 contextos geológicos: tectónica, estratigrafía, petrografía, geomorfología, paleontología, geología estructural, sedimentología e hidrogeológico.

Del total de casos de estudio, diez sitios son de tipo paleontológico, estructural, sedimentario, geomorfológico, petrográfico y/o mineralógico, los que se evaluaron a través de una cuantificación; y seis son zonas con un valor patrimonial minero, que se evaluaron de manera cualitativa-cuantitativa. De todos los casos de estudio, 13 fueron clasificados como geositios, 9 de tipo paleontológico, estructural, sedimentario, geomorfológico, petrográfico y/o mineralógico; y 4 de tipo patrimonio minero.

Considerando las zonas clasificadas como geositios, se construyeron 3 rutas patrimoniales, dirigidas a los turistas, visitantes y guías turísticos. Cada una de las rutas contiene mapa, información sobre el tiempo de estadía recomendado y la distancia que se recorre en la ruta, para así facilitar el acceso y la planificación del viaje, tanto para los turistas, como para los guías turísticos. La Ruta Geológica, Embalse Santa Juana - Chancoquín, considera cuatro puntos de visita, y recorre un total de 58,8 Km; la Ruta Geológica, Quebrada de Pinte y alrededores, también consta de cuatro puntos de visita, y la distancia total que se recorre es de 6,8 Km, y, por último, la ruta Patrimonial Minera, constituida por 5 puntos y con una distancia acumulada de 166,94 Km.

Con respecto a la metodología utilizada, las fichas de caracterización de cada sitio son fundamentales para que los turistas, visitantes y guías turísticos, comprendan los procesos geológicos que llevaron a la formación de cada zona, además de facilitar el acceso a los mismos. Por otra parte, para la cuantificación de los casos de estudio de

interés de tipo paleontológico, estructural, sedimentario, geomorfológico, petrográfico y mineralógico, se debe modificar los criterios secundarios: A.7 Asociación con elementos culturales y B.5 Número de habitantes, para tener una valoración más exacta. En los casos de estudio de tipo patrimonio minero, se debe modificar el sub-parámetro peligro geológico, e incorporar el sub-parámetro interés en la minería, debido al contexto de la región.

Es necesario entregar esta información a las autoridades y gestores culturales, a fin de trabajar en iniciativas de geoconservación y divulgación, para que de manera efectiva estos geositios sean protegidos y preservado, siendo un aporte para el turismo local, como para la geoeducación y geociencias, de esta forma obtener beneficios económicos y culturales para la comunidad del Valle del Huasco. Es imprescindible que a brevedad los geositios de tipo patrimonial minero sean protegidos, debido a que han sido más expuesto a acciones antrópicas, de esta manera evitar su deterioro o destrucción total. Incluso el patrimonio minero cercano a laboreos mineros, que son los que necesitan protección de manera más urgente, se podría trabajar en programas de resguardo, junto estas mineras.

BIBLIOGRAFÍA

- Aguilar, G.; Riquelme, R.; Martinod, J., y Darrozes, J. 2013. Rol del clima y la tectónica en la evolución geomorfológica de los Andes Semiáridos chilenos entre los 27-32°S. *Andean Geology*, v. 40 (1), p. 79-101.
- Alexandrowicz, Z. y Kolzowski, S. 1999. From selected geosites to geodiversity conservation- Polish example of modern framework. En: Baretino, D., Vallejo, M. y Gallego, E. (eds.), *Towards the balanced management and conservation of the Geological Heritage in the New Millenium*. Sociedad Geológica de España, Madrid, 40-44p.
- Álvarez, C.; Tapia, A.; Álvarez, O. 2016. *Rastros de la minería en el Huasco*, Editorial Mediodía en punto, Santiago de Chile, 160 p.
- Álvarez, O. 1995. *Huasco de Cobre*, primera edición, Fundación de extensión de la Universidad de Atacama, 305 p., Copiapó, Chile.
- Arévalo, C.; Mourgues, F.A.; Chávez, R. 2009. *Geología del área Vallenar-Domeyko, Región de Atacama*. Servicio Nacional de Geología y Minería. Carta Geológica de Chile, escala 1:100.000. Santiago.
- Arévalo, C.; Welkner, D. 2008. *Geología del área Carrizal Bajo-Chacritas, Región de Atacama*. Servicio Nacional de Geología y Minería, Carta Geológica de Chile, Serie Geología Básica 111, 27p., 1 mapa escala 1:100.000. Santiago.
- Benado, J. 2013. *Patrimonio geológico del proyecto geoparque Cajón del Maipo (Región Metropolitana - Chile)*. Memoria para optar a Máster en Patrimonio Geológico y Geoconservación. Universidade do Minho, Escola de Ciências, 45 – 125p.
- Benado, J., Hervé, F., Schilling, M., & Brilha, J. 2018. Geoconservation in Chile: state of the art and analysis. *Geoheritage*, 11(3), 793-807 p.
- Benito, P. 1998. Patrimonio industrial y cultural del territorio. *Ciudades*, 4, 171-178 p.
- Brilha, J., 2005. *Patrimonio Geológico y Geoconservación*, Palimage Editores, Lisboa, Portugal, 190p.

- Brocx, M., Semeniuk, V. (2020). Geodiversity and the “8Gs”: a response to Gray & Gordon (2020). *Australian Journal of Earth Sciences*, 1–7. doi:10.1080/08120099.2020.1722966
- Brügger, J. (1950). El Volcanismo en Chile. *Anales De La Facultad De Ciencias Físicas Y Matemáticas*, 7(7), Pág. 61–68.
- Bunster, T. 2017. Propuesta metodológica para cuantificar el valor patrimonial desde el punto de vista del desarrollo minero en el Cajón del Maipo. Trabajo de Titulación presentado en conformidad a los requisitos para obtener el Título de Ingeniera Civil en Minas. Universidad de Santiago de Chile, Facultad de Ingeniería, Departamento de Ingeniería en Minas, 23-61p.
- Burek C. & Potter J., 2002. Local Geodiversity Action Plans. Setting the context for geological conservation. *English Nature*. Peterborough, Inglaterra. 64 p.
- Busquets, P., Carreras, J., Druguet, E., & Núñez, J. A. (2000). Patrimonio geológico de Cataluña (Inventario y Catalogación de Geotopos y Geozonas). *Geotemas*, 2, 41-46 p.
- Caballero García, J. 2003. Metodología para la elaboración de un sistema de información sobre lugares y puntos de interés geomorfológico de los Montes de Toledo. Trabajo para el diploma de estudios avanzados. Universidad Complutense de Madrid.
- Calderón, M., Hervé, F., Lohmar, S. 2009. Geositios de la Sociedad de Chile: una herramienta de educación masiva en Geología, de valoración y perservación del Geopatrimonio, y de fomento del Turismo de Intereses Especiales. XII Congreso Geológico Chileno. Vol. 2, pag S5-005, Santiago, Chile.
- Cancino, S. 2020. Caracterización geológica del sector Quebrada del Ají y determinación de la influencia de la geología del sector, como potenciador turístico del Valle del Tránsito, región de Atacama, Chile. Tesis para optar al título de geólogo, Universidad de Atacama, Copiapó, Chile, 85p.
- Cancino, S. 2020. Caracterización geológica del sector Quebrada del Ají y determinación de la influencia de la geología del sector, como potenciador turístico del Valle del Tránsito, Región de Atacama, Chile. Trabajo de titulación para

obtener el título de Geólogo. Universidad de Atacama, Facultad de Ingeniería, Departamento de Geología, 85 p.

- Carcavilla, L. 2014. Guía práctica para entender el patrimonio geológico. *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, 22(1), 5.
- Carcavilla, L., Durán, J.J., y López-Martínez, J. 2008. Geodiversidad: concepto y relación con el patrimonio geológico. *Geo-Temas*, 10, 1299-1303. VII Congreso Geológico de España. Las Palmas de Gran Canaria.
- Carcavilla, L; Ánchel, B; Durán, J; Hilario, A. (2011). Geoturismo: concepto y perspectivas en España. Instituto Geológico y Minero de España. ISSN: 1132-9157 – 81-94 p.
- Carcavilla, L; López, J; Durán, J. 2007. Patrimonio geológico y geodiversidad: investigación, conservación, gestión y relación con los espacios naturales protegidos. Instituto Geológico y Minero de España, Madrid. 350 p.
- Castillo, N., Tapia, M. 2018. “Geoturismo en el Valle del Huasco”, un motor para la identificación de geositios, protección y conservación del patrimonio geológico de la Región de Atacama. XV Congreso Geológico Chileno, Vol.1, pág. 109 – 111, Concepción, Chile.
- Castillo, N; Tapia, M. 2016. Geoturismo en el Valle del Huasco: Un aporte de las geociencias al desarrollo y crecimiento del turismo tradicional. Fondo de innovación para la competitividad FIC 2016.
- Cendrero, A. (1996). El patrimonio geológico. Ideas para su protección, conservación y utilización. El patrimonio geológico. Bases para su valoración, protección, conservación y utilización. Serie Monografías del Ministerio de Obras Públicas, Transportes y Medio Ambiente. Ministerio de Obras Públicas, Transportes y Medio Ambiente, Madrid, 17-27 p.
- Charrier, R., Pinto, L., & Rodríguez, M. P. (2007). Tectonostratigraphic evolution of the Andean Orogen in Chile. In *The geology of Chile* (pp. 21-114).
- Cheel, R.J. 2005. *Introduction to Clastic Sedimentology*. Department of Earth Sciences Ontario University, Canada, 134 p.
- Costa, S. 2019. Caracterización geológica y patrimonial de los distritos mineros cupríferos de Astillas, Camarones, Carrizal Alto, El Morado y El Labrar, Valle del

Huasco, Región de Atacama. Trabajo de titulación para obtener el título de Geólogo. Universidad de Atacama, Facultad de Ingeniería, Departamento de Geología. 110 p.

- Dowling, R., Newsome, D. (2006). The scope and nature of geotourism. In Geotourism., Eds.; Routledge: Oxford, UK, 31–53 p.
- García-Cortés, Á., Carcavilla, L., Vegas, J. y Díaz-Martínez, E. (2013). Algunos resultados del inventario de lugares de interés geológico de la Cordillera Ibérica. En: Patrimonio geológico, un recurso para el desarrollo. Cuadernos del Museo Geominero, 15 (Eds.: J. Vegas, A. Salazar, E. DíazMartínez y C. Marchán). Instituto Geológico y Minero de España, 379-388 p.
- García-Rodríguez M, García Rodríguez, M. y Salcedo Miranda, JL. 2014. El Hueso de la Pedriza: origen, estructura y rasgos geomorfológicos. *Tecnologí@ y Desarrollo*, UAX, 12, 1-20. 2014.
- Garrido, G. 2009. Evolución morfológica de la depresión de Domeyko entre los 28°45`- 29°00` durante el Neógeno. Memoria para optar al título de Geólogo, Universidad de Chile, Santiago de Chile, 123p.
- Gonzalez, D., Castillo, N. 2018. Geomorfología y patrimonio histórico del Valle del Huasco: Alto del Carmen, San Félix y Quebrada Pinte. XV Congreso Geológico Chileno, Vol.1, pág. 132 – 134, Concepción, Chile.
- Gray, M. (2004). Geodiversity, valuing and conserving abiotic nature. The Atrium, Southern Gate, Chichester, West Sussex PO19 8SQ, England.: John Wiley & Sons, Ltd.
- Gray, M. 2018. Geodiversity: the backbone of geoheritage and geoconservation. In: Reynard, E., Brilha, J. (Eds.), *Geoheritage: Assessment, Protection and Management*. 13- 25 p.
- Guaita, C. 2015. Valoración de la Tectónica y la Erosión en la Configuración Neógena del Frente de Montaña Andino Entre los 28°30' y los 29°15'S. Memoria para optar al título de geóloga, Universidad de Chile, Santiago de Chile, 70p.
- Gutiérrez M., 2008, *Geomorfología*: Madrid, Pearson Prentice Hall, 920 p.
- Hose, T. 1995. Selling the Story of Britain's Stone. *Environ. Interpret*, 10, 16–17.

- Huggett, R. 2011. Fundamentals of geomorphology. Third Edition. Editorial Routledge.
- Instituto Nacional de Estadísticas. 2017. Censo. <https://inechile.maps.arcgis.com/apps/webappviewer/index.html?id=c2155cac57d04032bf6ca5f151cddd6d>
- Junta de Vigilancia de la cuenca del Río Huasco y sus Afluentes. 2023. Embalse Santa Juana. <https://www.riohuasco.cl/embalse-santa-juana/>.
- Junta de Vigilancia del Río Copiapó y sus Afluentes. 2023. Embalse Lautaro. <http://jvrc.cl/>
- Maltman, A., 1994. The Geological Deformation of sediments. Chapman y Hall. London, 362 pp.
- Mardones, R. 2012. Valoración de potenciales geositios en el Campo Volcanico Pali Aike, XII región de Magallanes y de la Antártida Chilena, Chile. Memoria para optar al título de geólogo, Universidad de Chile, Santiago, Chile, 167p.
- Mardones, R. 2012. Valoración de potenciales geositios en el Campo Volcánico Pali Aike, XII Región de Magallanes y de la Antártida Chilena, Chile. Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, Departamento de Geología, Santiago, Chile, 167 p.
- Millán, A. 1999. Historia de la Minerías del Hierro en Chile. Santiago de Chile: Editorial Universitaria.
- Ministerio de Obras Públicas. 2023. Embalse Santa Juana, Vallenar. <http://www.cnamop.cl/CatastroDeObras/Paginas/DetalleObra.aspx?idObra=88>
- Morales, J. 1996. El Patrimonio Paleontológico. Bases para su definición, estado actual y perspectivas futuras. MOPTMA. Serie Monografías: El Patrimonio Geológico. Bases para su valoración, protección conservación y utilización, 39 – 51 p.
- Morales, L. 1896. Historia del Huasco. Imprenta de la Librería del Mercurio. Santiago, Chile. 262 p.
- Moscoso, R. & Mpodozis, C. 1988. Estilos Estructurales en el Norte Chico de Chile (28-31° S), Regiones de Atacama y Coquimbo. Revista Geológica de Chile, vol. 15 (2), 151-156 p.

- Moscoso, R.; Mpodozis, C; Nasi, C.; Ribba, L; Arévalo, C. 2010. Geología de la Hoja El Tránsito, Región d Atacama. Servicio Nacional de Geología y Minería. Carta Geológica de Chile. Mapa escala 1:250.000.
- Nasi, C., Moscoso, R., & Maksaev, V., 1990. Hoja Guanta, Región de Coquimbo: Carta Geológica de Chile, 140 p.
- Nieto, L. M. 2001. Geodiversidad: propuesta de una definición integradora. Boletín Geológico y Minero, Vol. 112, Núm. 2, 3-12p.
- Ortiz, M.; Merino, R.N. 2015. Geología de las áreas Río Chollay-Matancillas y Cajón del Encierro, Región de Atacama. Servicio Nacional de Geología y Minería, Carta Geológica de Chile, Serie Geológica Básica 175-176: 234 p., 1 mapa a escala 1:100.000. Santiago.
- Panizza, M; Piacente, S. 2003. Geomorfologia culturale. Editorial: Pitagora. Italia. 358 p.
- Partarrieu, D. 2013. Inventario de geositios en la comuna de Lonquimay, para la creación del geoparque Kütralkura, IX región de la Araucanía. Memoria para optar al título de geólogo, Universidad de Chile, Santiago, Chile, 152p.
- Pereira, P. Pereira, D. Caetano, M.I. 2007. Geomorphosite assessment in Montesinho Natural Park. Portugal. Geographica Helvetica. 159-168 p.
- Pérez, S. 2019. Caracterización geológica y patrimonial de los distritos mineros auríferos históricos del Valle del Huasco, Vallenar, Región de Atacama, Chile. Trabajo de titulación para obtener el título de Geólogo. Universidad de Atacama, Facultad de Ingeniería, Departamento de Geología, 102 p.
- Pérez, S. 2019. Caracterización geológica y patrimonial de los distritos mineros auríferos históricos del Valle del Huasco, Vallenar, Región de Atacama, Chile. Trabajo de titulación para obtener el título de Geólogo. Universidad de Atacama, Facultad de Ingeniería, Departamento de Geología. 102 p.
- Perroud, S. 2017. Geología y Evolución Tectónica de la Cuenca de Chañarcillo, Entre los 28°20´y 28°40´S. Memoria para optar al título de Geólogo. Universidad Santo Tomás, Facultad de Ingeniería, Escuela de Geología: 10-37 p.
- Pizarro, F. 2022. Caracterización geológica y patrimonial de los distritos mineros de hierro Sositas y Huantemé, en el Valle del Huasco, Región de Atacama, Chile.

Trabajo de titulación para obtener el título de Geólogo. Universidad de Atacama, Facultad de Ingeniería, Departamento de Geología. 71 p.

- Ponce, J., Carmona, N., Montagna, A. (2018) Atlas de Estructuras Sedimentarias Inorgánicas y Biogénicas. Descripción, análisis e interpretación a partir de afloramientos, testigos corona y registros de imágenes de pozo, editado por Fundación YPF, 82-83 pp.
- Ponce, J; Carmona, N; Montagna, A. 2018. Atlas de estructuras sedimentarias inorgánicas y biogénicas: descripción, análisis e interpretación a partir de afloramientos, testigos corona y registros de imágenes de pozo. 1a edición para el alumno. Editado por Fundación YPF.
- Reutter, K.J. 1974. Entwicklung und Bauplan der chilenischen Hochkordillere im Bereich 29°, südlicher Breite. Neues Jahrbuch der Geologie und Paleontologie, Abhandlung, Vol. 146, No. 2, 153 – 178 p.
- Ribba, L. 1985. Geología regional del Cuadrángulo El Tránsito, Región de Atacama, Chile. Memoria de título (inédito). Universidad de Chile, Departamento de Geología y Geofísica, 203 p. Santiago.
- Riso Patrón, L. 1924. Diccionario geográfico de Chile por Luis Riso Patrón. Imprenta Universitaria, 1924.
- Rivera, F.; Tagle, R.; Lorca, R.; Pascual, D. 2007. Memorias de Capote: Patrimonio Arqueológico-Histórico de una mina de tres siglos, 1° edición, Santiago de Chile, 150 p.
- Riveros, K. 2008. Morfoestratigrafía neógena-cuaternaria de la cuenca del río Huasco, norte de Chile: Implicancias eustáticas, tectónicas y climáticas en el desarrollo de un sistema fluvial en el antearco externo de los Andes centrales. Memoria de titulación, Universidad Católica del Norte, Facultad de Ingeniería y Ciencias Geológicas, Departamento de Ciencias Geológicas, Antofagasta, Chile. 86 p.
- Rojas, I. 2021. Caracterización litológica del Sector Quebrada Pinte y determinación de la influencia de la geología del sector como potenciador turístico del Valle del Tránsito, Región de Atacama, Chile. Trabajo de titulación para

obtener el título de Geólogo. Universidad de Atacama, Facultad de Ingeniería, Departamento de Geología, 43-117p.

- Ruchkys, U. de A. 2007. Patrimônio geológico e geoconservação no Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais: potencial para criação de um geoparque da UNESCO. Tese de Doutorado, Instituto de Geociências, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte.
- Salazar, E. 2012. Evolución Tectono-Estratigráfica de la Cordillera de Vallenar: Implicancias en la construcción del Oroclino de Vallenar. MSc. Thesis. Departamento de Geología, Universidad de Chile, Santiago, Chile.
- Salazar, E. 2012. Evolución tectono-estratigráfica post-paleozoica de la cordillera de Vallenar. Santiago, Chile: Universidad de Chile - Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas. 17 – 113 p.
- Salazar, E.; Mpodozis, C.; Arriagada, C.; Coloma, F. 2012. Evolución tectonoestratigráfica post-paleozoica de la cordillera de Vallenar. In Congreso Geológico Chileno, No 13, p 259-261. Antofagasta.
- Santis, P. 2013. Estratigrafía del Jurásico Superior al Cretácico Superior al oeste del Río del Carmen entre los 28°50' y los 29°15'S: Implicancias tectónicas. Memoria para optar al título de geólogo. Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, Departamento de Geología, Santiago, Chile, 1-55 p.
- Segerstrom, K. 1959. Cuadrángulo Los Loros, Provincia de Atacama. Instituto de investigaciones Geológicas, Carta Geológica de Chile. No. 1, 32 p.
- Sernageomin. 2023. Sistema de Información Geológica de Exploración (SIGEX). <https://www.sernageomin.cl/sigex/>
- Servicio Nacional de Geología y Minería. 2019. Geositio. <https://geoparqueomet.sernageomin.cl/terms/geositio/#:~:text=Un%20geositio%20corresponde%20a%20un,en%20uno%20o%20m%C3%A1s%20de>
- Sociedad Geológica de Chile. 2023. Geositios. <https://geositios.cl/geositios/>
- Tarbuck, E; Lutgens, F; Tasa, D. 2013. Ciencias de la Tierra. Una introducción a la geología física. 10ª edición. Editorial EARSON EDUCACIÓN, S.A., Madrid.

- Travella, L. 2021. Inventario de sitios de geodiversidad y creación de rutas temáticas dirigidas a escolares y turistas de las comunas de Copiapó y Caldera, Región de Atacama. Trabajo de titulación para obtener el título de Geólogo. Universidad de Atacama, Facultad de Ingeniería, Departamento de Geología, 151p.
- UNESCO. (11 de agosto 2023). Geoparques Mundiales de la UNESCO. <https://www.unesco.org/en/igpp/geoparks/about>
- UNESCO. (20 de julio 2023). Lista de Geoparques Mundiales y Redes Regionales de la UNESCO. <https://www.unesco.org/en/igpp/geoparks#full-list-of-unesco-global-geoparks>
- Urresty, C., 2009. Evolución Geomorfológica de la Parte Sur de la Depresión de Domeyko (29°00'-29°40' S) Durante el Neógeno. Memoria para optar al título de geóloga, Universidad de Chile, Santiago de Chile, 8-18p.
- Vicuña, B. 1883. Libro del Cobre i del carbón de piedra en Chile, Imprenta Cervantes, Chile. 623 p.
- Von Hillerbrandt, A.v., 1973. Neue Ergebnisse über den Jura in Chile und Argentinien: Münster Forsch. Geol: Paläont:, v. 31-32, p. 167-199.
- Welkner, D; Arévalo, C; Godoy, E. 2006. Geología del área Freirina-El Morado, Región de Atacama. Servicio Nacional de Geología y Minería. Carta Geológica de Chile, Serie Geología Básica, No 100, 50p., 1 mapa escala 1:100.000. Santiago.
- Yunge, G. 1905. Estadística Minera de Chile en 1904 y 1905. Sociedad Nacional de Minería F.G. Chile. Editorial Barcelona.
- Zouros, N., 1998. Natural monuments and geotouristic trails in the Aegean region and in Thrace, Greece. PROGEO '98, BULGARIA June 98 Abstract volumen, 76p.
- Zouros, N., Martini G., 2003. Introduction to the European Geoparks Network. Proceedings of the 2nd European Geoparks Network Meeting, Lesvos 3-7 October 2001, 17-21 p.
- Zouros, N. 2004. The European Geoparks Network. Geological heritage protection and local development. Editorial IUGS. 27(3):165-171 p.

ANEXOS.

Anexo 1. Cuantificación para los casos de estudio VH-1, VH-2, VH-3, VH-4, VH-5. Elaboración propia, basado en Brilha (2005).

Tabla de valoración para posibles geositios						
Criterios intrínsecos al geositio	Valor	VH-1	VH-2	VH-3	VH-4	VH-5
Abundancia/Rareza	1,2,3,4,5	5	4	3	4	5
Extensión (m ²)	1,2,3,4,5	4	5	4	5	4
Grado de conocimiento científico	1,2,3,4,5	2	2	1	1	2
Utilidad como modelo de los procesos geológicos	1,3,5	5	5	3	3	5
Diversidad de elementos de interés	1,2,3,4,5	4	3	2	4	4
Tipo de lugar	1,3,5	5	5	3	5	5
Asociación con elementos culturales	1,2,3,4,5	1	5	4	5	5
Asociación con otros elementos del medio ambiente	1,3,5	5	3	3	3	3
Estado de conservación	1,2,3,4,5	4	4	4	4	5
Sumatoria A		35	36	27	34	38
Criterios relacionados con el uso del geositio	Valor	VH-1	VH-2	VH-3	VH-4	VH-5
Posibilidad de realizar actividades	1,3,5	5	5	3	5	5
Condiciones de observación	1,3,5	5	5	3	5	5

Accesibilidad	1,2,3,4,5	2	3	3	3	3
Proximidad a los pueblos	1,2,3,4,5	4	3	3	3	4
Número de habitantes	1,2,3,4,5	1	1	1	1	1
Condiciones socioeconómicas	1,3,5	1	1	1	1	1
Sumatoria B		18	18	14	18	19
Criterios relacionados con la necesidad de protección del geositio	Valor	VH-1	VH-2	VH-3	VH-4	VH-5
Amenazas actuales o potenciales	1,3,5	5	5	5	5	5
Situación actual	1,3,5	5	3	3	3	3
Interés en la minería	1,2,3,4,5	5	2	2	2	5
Régimen de propiedad	1,2,3,4,5	3	5	5	5	3
Fragilidad	1,2,3,4,5	5	5	2	4	5
Sumatoria C		23	20	17	19	21
Tipo de geositio		Regional / local				
Valor Q		25,33	24,67	19,33	23,67	26,00

**Anexo 2. Cuantificación para los casos de estudio VH-6, VH-7, VH-8, VH-9, VH-10.
Elaboración propia, basado en Brilha (2005).**

Tabla de valoración para posibles geositios						
Criterios intrínsecos al geositio	Valor	VH-6	VH-7	VH-8	VH-9	VH-10
Abundancia/Rareza	1,2,3,4,5	5	4	5	5	4
Extensión (m ²)	1,2,3,4,5	1	4	3	5	5
Grado de conocimiento científico	1,2,3,4,5	2	1	1	2	4
Utilidad como modelo de los procesos geológicos	1,3,5	5	5	5	5	5
Diversidad de elementos de interés	1,2,3,4,5	2	1	1	3	2
Tipo de lugar	1,3,5	3	5	5	3	5
Asociación con elementos culturales	1,2,3,4,5	3	3	1	2	1
Asociación con otros elementos del medio ambiente	1,3,5	3	3	3	1	3
Estado de conservación	1,2,3,4,5	4	5	5	5	5
Sumatoria A		28	31	29	31	34
Criterios relacionados con el uso del geositio	Valor	VH-6	VH-7	VH-8	VH-9	VH-10
Posibilidad de realizar actividades	1,3,5	5	5	5	5	5
Condiciones de observación	1,3,5	5	5	5	5	5
Accesibilidad	1,2,3,4,5	3	4	4	4	5

Proximidad a los pueblos	1,2,3,4,5	4	4	4	4	4
Número de habitantes	1,2,3,4,5	1	1	1	4	2
Condiciones socioeconómicas	1,3,5	1	1	1	1	1
Sumatoria B		19	20	20	23	22
Criterios relacionados con la necesidad de protección del geositio	Valor	VH-6	VH-7	VH-8	VH-9	VH-10
Amenazas actuales o potenciales	1,3,5	5	5	5	5	1
Situación actual	1,3,5	3	5	5	3	5
Interés en la minería	1,2,3,4,5	5	5	5	5	5
Régimen de propiedad	1,2,3,4,5	3	5	5	5	4
Fragilidad	1,2,3,4,5	2	5	5	5	4
Sumatoria C		18	25	25	23	19
Tipo de geositio		Regional / local	Regional / local	Regional / local	Regional / local	Internacional / nacional
Valor Q		21,67	25,33	24,67	25,67	39,50

Anexo 3. Cuantificación para los casos de estudio de tipo patrimonio minero respecto al parámetro P1. Modificado de Bunter (2017).

Parámetro Criterios Intrínsecos (P1)							
Sub-parametros	Valor	VH-11	VH-12	VH-13	VH-14	VH-15	VH-16
Rareza	0, 1, 2, 3	2	2	1	2	1	2
Representatividad	0, 1, 2, 3	2	3	2	2	2	3
Extensión superficial	1, 2, 3	3	3	3	3	2	3
Estado de conservación	0, 1, 2, 3	1	1	No aplica	1	3	2
Calidad visual	1, 2, 3	3	2	2	3	3	3
Estabilidad	1, 2, 3	2	2	No aplica	1	3	2
Sumatoria Qt (P1)		13	13	8	12	14	15
$X=Qt1/(3*n)$		0,72	0,72	0,67	0,67	0,78	0,83

Anexo 4. Cuantificación para los casos de estudio de tipo patrimonio minero respecto al parámetro P2. Modificado de Bunter (2017).

Parámetro Potencial Uso (P2)							
Sub-parametros	Valor	VH-11	VH-12	VH-13	VH-14	VH-15	VH-16
Accesibilidad	0, 1, 2, 3	2	2	2	3	2	2
Disponibilidad	0, 1, 2, 3	1	No aplica	No aplica	No aplica	No aplica	2
Utilidad didáctica	1, 2, 3	2	3	3	3	2	3
Proximidad a centro poblado	0, 1, 2, 3	1	0	0	0	0	0
Uso actual	1, 2, 3	1	2	2	2	2	3
Potencial de realizar actividades	1, 2, 3	1	3	2	3	3	3
Sumatoria Qt (P2)		8	10	9	11	9	13
$Y=Qt2/(3*n)$		0,40	0,67	0,60	0,73	0,60	0,72

Anexo 5. Cuantificación para los casos de estudio de tipo patrimonio minero respecto al parámetro P3. Modificado de Bunter (2017).

Necesidad de protección (P3)							
Sub-parametros	Valor	VH-11	VH-12	VH-13	VH-14	VH-15	VH-16
Vulnerabilidad	1, 2, 3	3	3	1	1	3	1
Grado de protección legal	1, 2, 3	3	3	3	3	3	1
Interés industrial	1, 2, 3	3	3	2	0	3	2
Régimen de propiedad	1, 2, 3	1	Sin información	3	3	3	3
Peligro geológico	1, 2, 3	1	1	1	1	1	1
Interés en la minería	0, 1, 2, 3	3	3	1	1	3	3
Sumatoria Qt (P3)		14	13	11	9	16	11
$Z=Qt3/(3*n)$		0,78	0,87	0,61	0,50	0,89	0,61

Anexo 6. Cuantificación para los casos de estudio de tipo patrimonio minero respecto al parámetro P4. Modificado de Bunter (2017).

Importancia-contexto (P4)							
Sub-parametros	Valor	VH-11	VH-12	VH-13	VH-14	VH-15	VH-16
Desarrollo económico	0, 1, 2, 3	3	3	3	3	3	3
Desarrollo social	1, 2, 3	3	3	3	3	3	3
Avances tecnológicos	0, 1, 2, 3	3	3	3	3	2	3
Desarrollo cultural	1, 2, 3	3	3	2	3	2	3
Importancia histórica	0, 1, 2, 3	3	3	3	3	3	3
Conflicto ambiental	1, 2, 3	3	3	3	3	3	3
Sumatoria Qt (P4)		18	18	17	18	16	18
$W=Qt4/(3*n)$		1,00	1,00	0,94	1,00	0,89	1,00