

**CAPÍTULO 3.1.5. LÍNEA DE BASE  
MEDIO FÍSICO CAMPOS ELECTROMAGNÉTICOS**

---

**ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL**  
**PROYECTO MINERO ARQUEROS**  
**CAPÍTULO 3.1.5. LÍNEA DE BASE**  
**MEDIO FÍSICO CAMPOS ELECTROMAGNÉTICOS**

ELABORADO PARA



Av. Andrés Bello 2233, Piso 3, Providencia · Santiago · Chile · Fono (+56 ) 2 2963 8560 · [www.inercochile.com](http://www.inercochile.com)

**DICIEMBRE DE 2019**

## ÍNDICE DE CONTENIDOS

<b>3. LÍNEA DE BASE.....</b>	<b>1</b>
3.1. MEDIO FÍSICO.....	1
3.1.5. <i>Campos Electromagnéticos</i> .....	1
3.1.5.1. Introducción.....	1
3.1.5.2. Área de Influencia .....	1
3.1.5.3. Metodología.....	2
3.1.5.4. Resultados.....	2
3.1.5.5. Conclusión.....	6
3.1.5.6. Bibliografía.....	6

## ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA N° 3.1.5.1. LOCALIZACIÓN LÍNEAS DE TRANSMISIÓN ELÉCTRICA CONAFE .....	3
FIGURA N° 3.1.5.2. LOCALIZACIÓN INFRAESTRUCTURA ELÉCTRICA EXISTENTE .....	5

### **3. LÍNEA DE BASE**

#### **3.1. Medio Físico**

##### **3.1.5. Campos Electromagnéticos**

###### **3.1.5.1. Introducción**

De acuerdo a lo establecido en la Ley N° 19.300 y en el Artículo 18, literal e.1) del Decreto Supremo N° 40/2012 “*Reglamento del Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental*” del Ministerio del Medio Ambiente, la presente sección da cuenta de los antecedentes que caracterizan la línea de base de Campos Electromagnéticos en el área de influencia del Proyecto “*Proyecto Minero Arqueros*” (en adelante “*el Proyecto*”), el cual se emplaza en la Región de Coquimbo, Comunas La Serena y Vicuña.

Se incluye la caracterización del presente componente ambiental, producto de las Líneas de Transmisión Eléctrica (LTE) a implementar en el Proyecto. Dichas líneas, corresponden a una LTE de alta tensión (110kV) de 28,6 km de longitud que conecta la Subestación Proyectada Damascal y abastecerá las principales obras del Proyecto; y una LTE de media tensión (23kV), de 1 km de longitud, que abastecerá a la Estación de Bombeo N°1, a través de la conexión con una línea existente alimentada por la Subestación Eléctrica Marquesa, la cual se encuentra en operación. Asimismo, se proyecta la construcción de otras líneas de media tensión (23kV), que comprenden un trazado desde la Subestación Arqueros hasta el Área Depósito de Relave, y desde el Área Mina hasta el Área Planta Concentradora.

A través de la presente línea de base del componente Campos Electromagnéticos, se busca identificar las principales fuentes de emisión electromagnética en el área de influencia del Proyecto, de modo de analizar posibles sinergias. Por consiguiente, se describirán las fuentes de emisiones electromagnéticas de significancia próximas al área de emplazamiento del Proyecto.

###### **3.1.5.2. Área de Influencia**

El área de influencia del componente Campos Electromagnéticos, corresponderá al espacio geográfico donde se desarrollan las partes, obras y acciones del Proyecto, donde se generen emisiones, producto de la construcción y operación de las líneas eléctricas que considera el Proyecto.

Es importante señalar que, el levantamiento de información de la línea de base para este componente, abarcó todas las líneas eléctricas que cruzan o se encuentran cercanas a las partes y obras del Proyecto.

En el Capítulo 2 “*Determinación y Justificación del Área de Influencia*” del presente EIA, se presentan mayores antecedentes del área de influencia delimitada para este componente ambiental.

### 3.1.5.3. Metodología

El levantamiento de información para el presente componente ambiental, se llevó a cabo a través de la recopilación de información secundaria, y análisis de las condiciones actuales del sitio de emplazamiento del Proyecto.

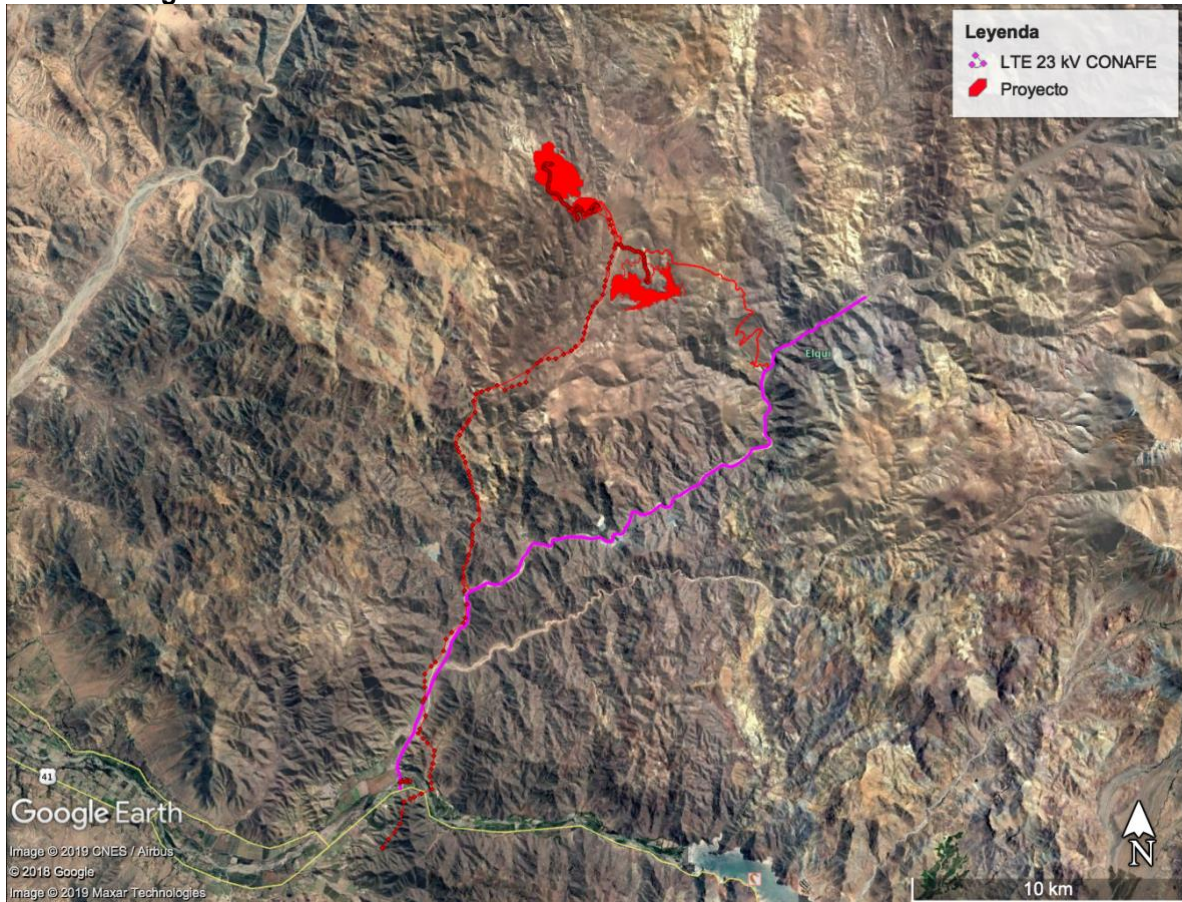
Para la caracterización del componente ambiental, en el sitio de emplazamiento del Proyecto, se identificaron las principales líneas de transmisión eléctrica y subestaciones existentes en las inmediaciones del sitio de emplazamiento del Proyecto. Esto se realizó, con el objetivo de caracterizar las principales fuentes de emisiones electromagnéticas. Se realizará un levantamiento cartográfico de dichas fuentes de emisión, de modo de visualizar, de forma posterior, posibles sinergias con las partes, obras y/o acciones del Proyecto.

### 3.1.5.4. Resultados

Dentro del área de emplazamiento del Proyecto, se identifican las siguientes fuentes de emisiones electromagnéticas:

- LTE Pan de Azúcar- Rivadavia: Línea de alta tensión (110kV), de propiedad de TRANSNET. Tiene una longitud de 78 km aproximadamente y contiene los tramos Vicuña- Rivadavia C1 y Pan de Azúcar- Vicuña C1. La obra más cercana corresponde a la LTE de alta tensión proyectada, la cual se encuentra a 324 metros de un punto del trazado de la LTE Pan de Azúcar- Rivadavia.
- LTE Pan de Azúcar- Marquesa: Línea de media tensión (66kV), de propiedad de TRANSNET. Tiene una longitud de 38 km aproximadamente y contiene los tramos Pan de Azúcar/ San Joaquín C1 y San Joaquín/ Marquesa C1. La obra más cercana corresponde a la LTE de alta tensión proyectada, la cual se encuentra a aproximadamente 500 metros en orden de magnitud, de un punto del trazado de la LTE Pan de Azúcar- Marquesa.
- Subestación Marquesa: Subestación de 66 kV de tensión, localizada en las coordenadas E:309.532, N:6.682.180. La obra más cercana corresponde a la LTE de alta tensión proyectada, la cual se encuentra a aproximadamente 500 metros en orden de magnitud, de la Subestación Marquesa.
- LTE de 23kV CONAFE: A partir de la información publicada por la Superintendencia de Electricidad y Combustibles, es posible identificar múltiples trazados de Líneas de Transmisión Eléctricas de media tensión (23 kV), que trazan recorridos desde la intersección de las Ruta 41 y D-215, hasta la intersección de la Ruta D-215 y D-285 o "Viñita Baja- Caserones". A pesar de ser líneas seccionadas, presentan un trazado continuo que se ilustra en la Figura N°3.1.5.1.

**Figura N° 3.1.5.1. Localización Líneas de Transmisión Eléctrica CONAFE**



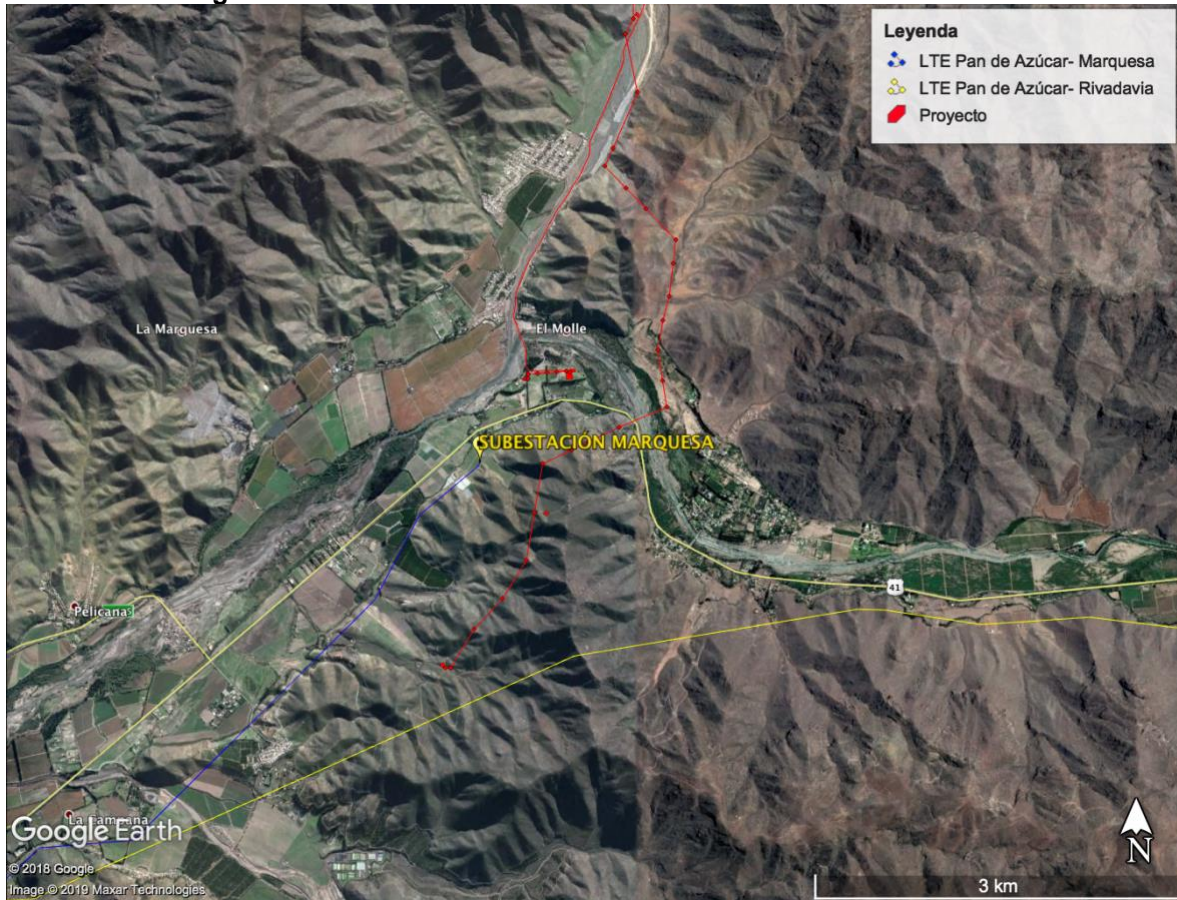
Fuente: Elaboración propia, 2019: A partir de Google Earth.

Para efectos de la presente línea de base, se considerarán como fuentes electromagnéticas significantes la LTE Pan de Azúcar- Rivadavia, LTE Pan de Azúcar- Marquesa y la Subestación Marquesa, producto de su mayor magnitud de tensión; aspecto de importancia para la presente descripción.

La infraestructura eléctrica identificada como fuentes de emisiones electromagnéticas, se encuentra ubicada a 25 km aproximadamente del Área Mina del Proyecto. La obra del Proyecto más cercana a la infraestructura eléctrica existente, corresponde al inicio del trazado de la LTE de 110 kV que alimentará a las obras del Proyecto. Por consiguiente, la mayor parte de las obras contempladas por éste, no presentarán ningún tipo de influencia de emisiones electromagnéticas que puedan provocar una eventual sinergia.

Se presenta a continuación la ubicación de la infraestructura eléctrica existente, con la proyectada.

**Figura N° 3.1.5.2. Localización Infraestructura Eléctrica Existente**



Fuente: Elaboración propia, 2019: A partir de Google Earth.



### **3.1.5.5. Conclusión**

En el presente acápite se describió la situación actual de las fuentes electromagnéticas presentes en el área de emplazamiento del Proyecto. De la revisión, se puede indicar que no existen líneas eléctricas y/o subestaciones eléctricas en el área de intervención directa, sin embargo, para efectos de la línea de base, se describieron aquellas obras que tuvieron mayor cercanía a alguna de las obras del Proyecto.

Se concluye que no existe ningún tipo de traslape con la infraestructura eléctrica existente y la proyectada por el presente Proyecto, de modo que no existirá ningún tipo de intervención sinérgica en el campo electromagnético actual del área de emplazamiento del Proyecto.

### **3.1.5.6. Bibliografía**

Estudio de Impacto ambiental Central Hidroeléctrica Frontera. Inversiones La Frontera Sur SpA. 2015.

**CAPÍTULO 3.1.6 LÍNEA DE BASE  
MEDIO FÍSICO GEOLOGÍA**

---

**ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL**  
**PROYECTO MINERO ARQUEROS**  
**CAPÍTULO 3.1.6 LÍNEA DE BASE**  
**MEDIO FÍSICO GEOLOGÍA**

ELABORADO PARA



Av. Andrés Bello 2233, Piso 3, Providencia · Santiago · Chile · Fono (+56 ) 2 2963 8560 · [www.inercochile.com](http://www.inercochile.com)

**DICIEMBRE DE 2019**

## ÍNDICE DE CONTENIDOS

<b>3. LÍNEA DE BASE.....</b>	<b>1</b>
3.1. MEDIO FÍSICO.....	1
3.1.6. <i>Geología</i> .....	1
3.1.6.1. Introducción.....	1
3.1.6.2. Área de influencia.....	1
3.1.6.3. Metodología.....	1
3.1.6.4. Resultados.....	2
3.1.6.5. Conclusión.....	23
3.1.6.6. Bibliografía.....	23

## ÍNDICE DE CUADROS

CUADRO Nº 3.1.6.1. UNIDADES GEOLÓGICAS ÁREA PROYECTO .....	7
CUADRO Nº3.1.6.2. RESUMEN DE LA GEOLOGÍA LOCAL DEL SECTOR DEL DEPÓSITO DE RELAVES.....	9

## ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA Nº 3.1.6.1. GEOLOGÍA REGIONAL DE LA ZONA DEL PROYECTO MINERO ARQUEROS .....	3
FIGURA Nº 3.1.6.2. GEOLOGÍA REGIONAL Y ÁREA PROYECTO .....	6
FIGURA Nº 3.1.6.3. UNIDADES GEOLÓGICAS ÁREA PROYECTO .....	8
FIGURA Nº 3.1.6.4. FORMACIÓN QUEBRADA MARQUESA MIEMBRO 4.....	10
FIGURA Nº 3.1.6.5. FORMACIÓN VIÑITA MIEMBRO 1.....	11
FIGURA Nº 3.1.6.6. ANDESITA INTRUSIVA.....	12
FIGURA Nº 3.1.6.7. COLUMNAS ESTRATIGRÁFICAS DE LOS SONDAJES PERFORADOS SH-02 Y SH-03.....	13
FIGURA Nº 3.1.6.8. COLUMNAS ESTRATIGRÁFICAS DE LOS SONDAJES PERFORADOS SH-04 Y SH-05.....	14
FIGURA Nº 3.1.6.9. COLUMNAS ESTRATIGRÁFICAS DE LOS SONDAJES PERFORADOS SH-06 Y SD-06.....	15
FIGURA Nº 3.1.6.10. GEOLOGÍA ÁREA DEPÓSITO DE RELAVE, SEGÚN AGUIRRE & EGERT (1965) .....	16
FIGURA Nº 3.1.6.11. GEOLOGÍA DEL PROYECTO MINERO ARQUEROS .....	17
FIGURA Nº 3.1.6.12. COLUMNA ESTRATIGRÁFICA ESQUEMÁTICA ÁREA MINA.....	18
FIGURA Nº 3.1.6.13 UNIDAD B1 DE SONDAJE DDAR-56C DE LOS 184 A 186M.....	18
FIGURA Nº 3.1.6.14 UNIDAD B2 DE SONDAJE DDAR-56C DE LOS 170 A 171M.....	19
FIGURA Nº 3.1.6.15 UNIDAD B3 DE SONDAJE DDAR-56C DE LOS 118 A 119 M.....	19
FIGURA Nº 3.1.6.16 UNIDAD B4 (BASALTO) DE SONDAJE DDAR-56C DE 70 A 71M .....	19
FIGURA Nº 3.1.6.17 UNIDAD B4 (ARENISCA HEMATÍTICA) DE SONDAJE DDAR-56C DE LOS 95 A 96M.....	19

---

FIGURA N° 3.1.6.18 UNIDAD B5 (ANDESITA BASÁLTICA) DE SONDAJE DDAR-56C DE LOS 21 A 22M.....	19
FIGURA N° 3.1.6.19 DIQUE DE SONDAJE DDAR-56C DE LOS 112 A 113M.....	19
FIGURA N° 3.1.6.20 UBICACIÓN SONDAJES SHM-01 Y SHM-02.....	20
FIGURA N° 3.1.6.21 ESQUEMA ESTRATIGRÁFICO DEL SONDAJE SHM-01.....	21
FIGURA N° 3.1.6.22 ESQUEMA ESTRATIGRÁFICO DEL SONDAJE SHM-02 .....	22

### 3. LÍNEA DE BASE

#### 3.1. Medio Físico

##### 3.1.6. Geología

###### 3.1.6.1. Introducción

De acuerdo a lo establecido en la Ley N° 19.300 y en el Artículo 18, literal e.1) del Decreto Supremo N° 40/2012 “Reglamento del Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental” del Ministerio del Medio Ambiente, la presente sección da cuenta de los antecedentes que caracterizan la línea de base de Geología en el área de influencia del Proyecto Minero Arqueros (en adelante el Proyecto), el cual se emplaza en la Región de Coquimbo, comunas de La Serena y Vicuña.

El Proyecto Arqueros se ubica en el Cuadrángulo Quebrada Marquesa, situado en la región centro- norte de la Provincia de Coquimbo, cuyo centro geográfico se localiza, aproximadamente, a 40 km al este de la ciudad de la Serena. La geología de la zona se compone, principalmente, de rocas estratificadas sedimentarias y volcánicas, marinas y continentales de edad Cretácica Inferior a Cretácica Superior, cuyo espesor varía entre un mínimo de 4.600 m y un máximo de 6.700 m.

###### 3.1.6.2. Área de influencia

El área de influencia del componente Geología, corresponde al espacio geográfico donde se desarrollan las partes, obras y acciones del Proyecto. Sin embargo, la mayor relación del Proyecto con este componente ambiental está dada principalmente por el área Mina, debido a que el Proyecto corresponde a la explotación y extracción de mineral a partir de una mina subterránea, así como al depósito de relaves. El resto de las instalaciones corresponden a instalaciones de servicio de carácter superficial.

Es importante señalar que, el levantamiento de información de la línea de base para este componente, abarcó una escala de análisis mayor que el emplazamiento de las obras del Proyecto, a fin de verificar el contexto geológico en el que se emplaza el Proyecto.

En el Capítulo 2 “Determinación y Justificación del Área de Influencia” del presente EIA, se presenta el área de influencia delimitada para este componente ambiental.

###### 3.1.6.3. Metodología

El análisis geológico para el área del Proyecto se realizó en las siguientes escalas:

- **Marco Geológico Regional:** Se caracteriza la región en base a las macro unidades geomorfológicas que se presentan en la Región de Coquimbo, analizando variables como su formación y heterogeneidad.
- **Marco Geológico Local:** La caracterización geológica local se basa en la descripción de las unidades geológicas y su distribución en el área de

emplazamiento del Proyecto., las cuales son planteadas en el mapa geológico de Chile.

Se incluye estratigrafía de pozos de sondaje tanto en el Área Mina como en el Área Relave, conforme a los estudios Modelo Hidrogeológico Conceptual Sector Mina Modelo Hidrogeológico Conceptual Sector Relaves del Proyecto Minero Arqueros.

### **3.1.6.4. Resultados**

#### **4.1.1.4.1. Marco Geológico Regional**

El Proyecto Minero Arqueros se ubica en el Cuadrángulo Quebrada Marquesa, situado en la región centro-norte de la Provincia de Coquimbo, cuyo centro geográfico se localiza, aproximadamente, a 40 km al este de la ciudad de la Serena. La siguiente reseña se basa en los trabajos de Aguirre & Egert (1965) y de Emparan & Pineda (1999).

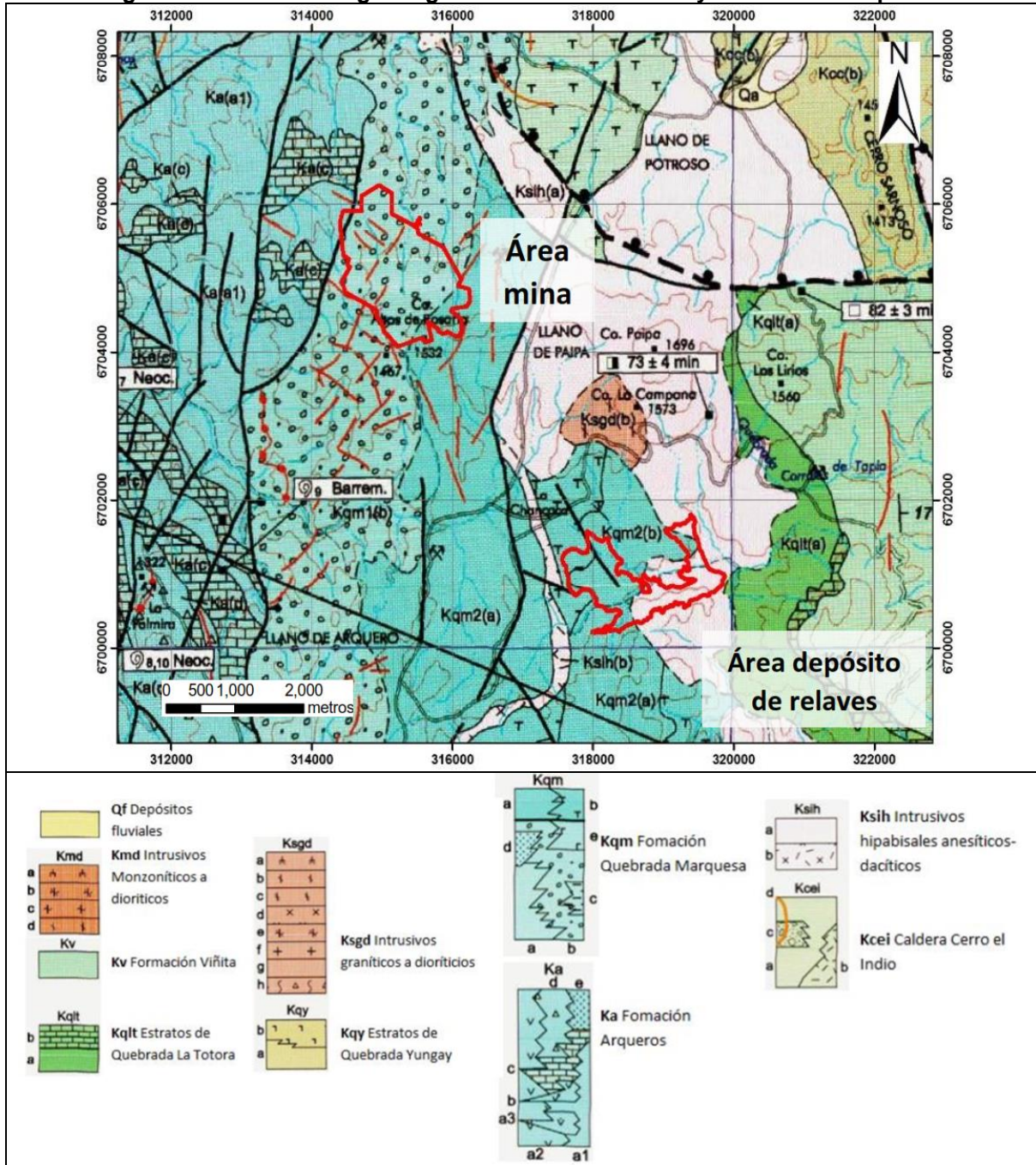
La geología de la zona se compone, principalmente, de rocas estratificadas sedimentarias y volcánicas, marinas y continentales de edad Cretácica Inferior a Cretácica Superior, cuyo espesor varía entre un mínimo de 4.600 m y un máximo de 6.700 m. La secuencia total ha sido dividida en cuatro formaciones las cuales, a su vez, se subdividen en miembros.

La unidad más antigua corresponde a la Formación Arqueros (Ka) de origen principalmente marino, la cual está constituida por una alternancia de calizas fosilíferas y andesitas porfídicas que lleva, en su parte superior, mantos de manganeso, con un espesor aproximado entre 850 a 1250 m. Esta secuencia se subdivide en cinco miembros, todos ellos concordantes. De base a techo, se tiene la siguiente secuencia: el miembro 1 se compone de andesita porfídica gris verdosa (ocoíta); el miembro 2 está constituido de arenisca calcárea, caliza fosilífera (ostreas) y chert; el miembro 3 está constituido por andesita porfídica gris verdosa (ocoíta); el miembro 4 se compone de brecha, arenisca calcárea, caliza fosilífera (rudistas) y en la parte media de la sección existe una intercalación delgada de andesita porfídica (ocoíta); el miembro 5 se constituye de andesita porfídica hacia el techo y andesita ocoítica en la base con una delgada intercalación en la parte media de arenisca volcánica con manto manganesífero.

Sobre la Formación Arqueros se disponen, concordantemente, rocas de la Formación Quebrada Marquesa (Kqm), de origen predominantemente continental, aunque cerca de su base se presentan lentes calcáreos con fósiles marinos. Esta formación se compone de rocas sedimentaria clásticas (brechas y conglomerados), lavas andesíticas gris rojizas y tobas, con un espesor entre 820 a 1900 m. Las características litológicas de esta formación permiten subdividirla en cuatro miembros, de los cuales tres son sedimentarios y uno es volcánico (miembro 4). De base a techo, se tiene la secuencia señalada a continuación: el miembro 1 se compone mayormente de brechas sedimentarias, lavas andesíticas en parte brechosas o como ocoíta, areniscas (pueden intercalarse con mantos manganesíferos hacia el techo), tobas, conglomerados y lutitas, consiste en el miembro más potente y de mayor distribución superficial cuyos afloramientos presentan un aspecto redondeado, pulido de color gris rosáceo (unidad guía); el miembro 2 se compone de arenisca calcárea, calcilutita, caliza, lentes de yeso, brecha, andesitas y riolitas, que

presenta un color gris amarillento claro muy característico (unidad guía); el miembro 3 se compone de arenisca, caliza, lutita, chert, conglomerado y manto manganesífero lenticular en su base; el miembro 4 se compone en su mayoría de lavas andesíticas o basálticas con escasas y delgadas intercalaciones de rocas sedimentarias clásticas (ej: areniscas) hacia su base.

**Figura N° 3.1.6.1. Geología Regional de la Zona del Proyecto Minero Arqueros**



Fuente: Modificado de Empanan & Pineda, 1999.



A la Formación Quebrada Marquesa la sobreyace, en discordancia, la Formación Viñita (Kv). La Formación Viñita es una secuencia de origen continental que está constituida por rocas sedimentarias, lavas andesíticas, tobas y brechas, con un espesor de 1000 a 1500 m. Se encuentra subdividida en tres miembros y, de base a techo, se tiene la siguiente secuencia: el miembro 1 se compone de conglomerado y areniscas; el miembro 2 se compone de areniscas, caliza, calcilita, lutita, yeso en lentes y andesitas; el miembro 3 se compone de rocas clásticas (mayormente volcánicas) y andesitas.

La formación más joven que aflora en el cuadrángulo corresponde a la Formación Los Elquinos, la cual es de ambiente continental y está constituida, principalmente, por rocas volcanoclásticas, lavas, tobas y brechas de composición basáltica, con un espesor aproximado de 2000 m.

La Formación Quebrada Marquesa se habría generado en un dominio cercano a un arco magmático y durante su depositación, se produjo la transición desde un ambiente marino-volcánico, representado por la Formación Arqueros que la subyace concordantemente, hacia un ambiente continental, representado por la Formación Viñita que la sobreyace en discordancia.

Las formaciones Arqueros y Quebrada Marquesa son intruídas por un batolito granítico a diorítico del Cretácico Superior y por pequeños stocks andesíticos-basálticos y graníticos-granodioríticos asignados al Cretácico Superior – Terciario Inferior, estos últimos intruyen, además, a la Formación Viñita. Los afloramientos de rocas intrusivas ocupan, aproximadamente, la quinta parte del cuadrángulo y se encuentran principalmente en la mitad oriental. En varias localidades, estas rocas están atravesadas por filones de lamprófidos, pórfidos dioríticos, microdioritas, andesitas, pórfidos graníticos y basaltos.

Los depósitos aluviales cuaternarios constituyen una superficie muy reducida y se encuentran restringidos a los cursos de drenaje más importantes, estos son: el río Elqui y las quebradas Marquesa y Las Cañas.

Por otra parte, considerando lo indicado por Miralles 2013, en el área del Proyecto se distinguen las siguientes unidades principales: Grupo Bandurrias, Formación Cerrillos, Formación Los Elquinos, Intrusivos Cretácicos y depósitos cuaternarios

La secuencia denominada Grupo Bandurrias es dividida en dos unidades concordantes entre sí: la Formación Arqueros y la Formación Quebrada Marquesa. La Formación Arqueros es descrita como una secuencia de andesitas porfíricas y calizas marinas que lleva en su parte superior mantos de manganeso cuya base no se observa, y cuyo techo lo constituye la Formación Quebrada Marquesa. Por su parte, la Formación Quebrada Marquesa es descrita como una secuencia de rocas sedimentarias clásticas de origen continental y lavas andesíticas de color gris rojizo.

La Formación Cerrillos, que incluye a la Formación Viñita, hacia el este, corresponde a un conjunto de rocas predominantemente epiclásticas (conglomerados, brechas y areniscas) en su sección inferior y volcánico-epiroclásticas (andesitas, brechas, conglomerados, con intercalaciones calcáreas, finas) en su sección superior.

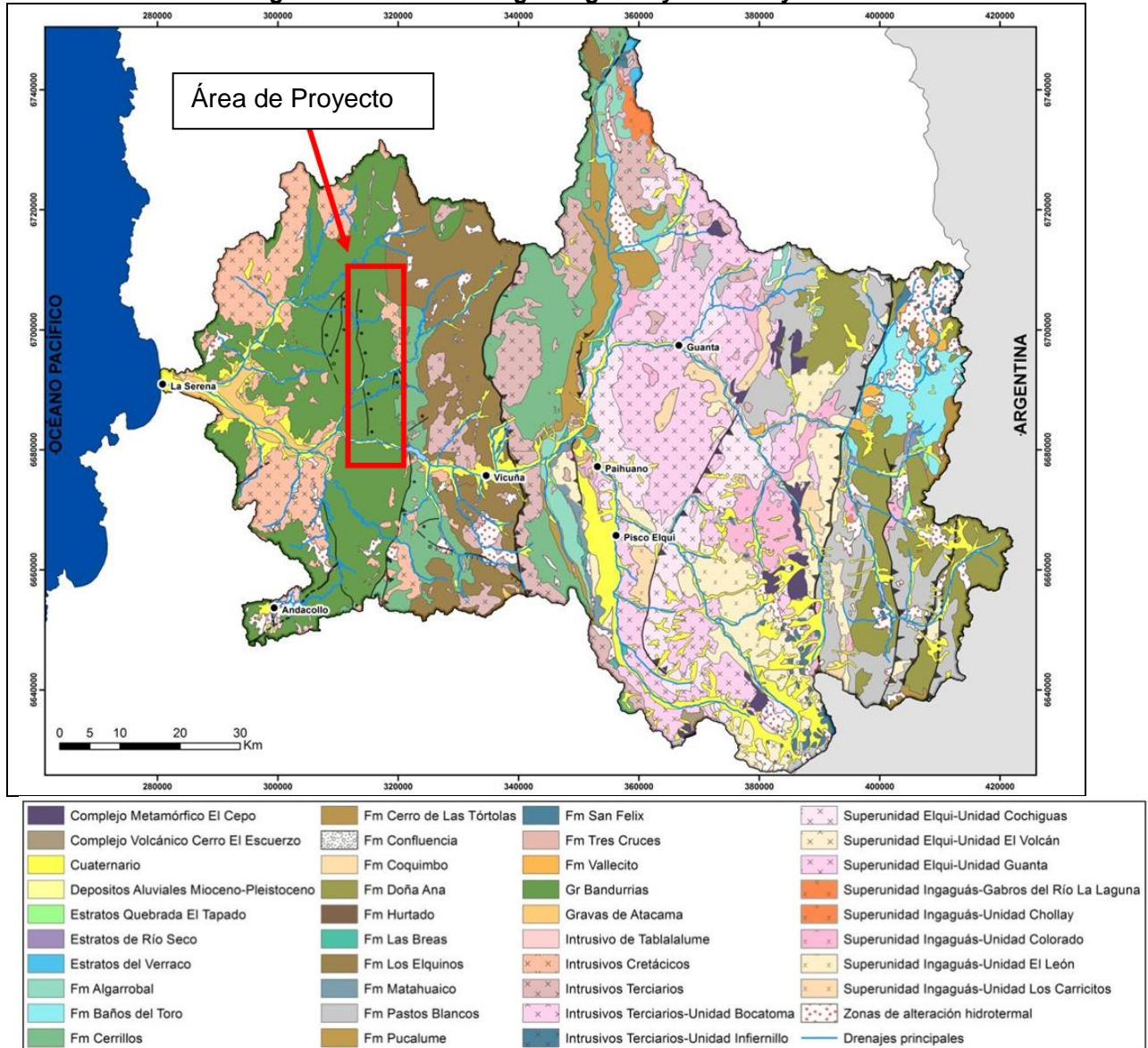
También se tienen los Intrusivos Cretácicos, los cuales están constituidos por extensos plutones que incluyen desde granitos a dioritas.

Finalmente, la formación Los Elquinos, también hacia el este, corresponde a un conjunto de lavas y rocas piroclásticas (tobas y brechas). Las brechas riolíticas basales de la formación, conforman un nivel macizo, cuya petrografía es la de una toba de cristales brechosa, con fragmentos accidentales de andesitas, fenocristales de cuarzo y feldespato potásico, dispuestos sobre una matriz vitroclástica. Las tobas y brechas piroclásticas, de composición fundamentalmente andesítica, son intercaladas por areniscas y conglomerados (volcaruditas y volcarenitas andesíticas) que, en parte, poseen también clastos de tobas y escasos fragmentos de riolitas o cuarzo engolfado. Las lavas son relativamente escasas, encontrándose desde andesitas porfídicas hasta andesitas vesiculares y dacitas.

Localmente, las rocas neocomianas (Grupo Bandurrias, principalmente) se ven afectadas por fallas normales de carácter local, pero que en ocasiones tienen importancia económica ya que, en algunos casos, controlan la alteración hidrotermal y la mineralización (Miralles, 2013).

En la siguiente Figura se observa la ubicación del Proyecto respecto de las unidades geológicas presentes en el área, conforme a Millares 2013.

Figura N° 3.1.6.2. Geología Regional y Área Proyecto



Fuente: Evaluación de los factores que controlan la geoquímica de sedimentos fluviales de la cuenca del Río Elqui, IV Región de Coquimbo, Chile. Miralles, Carolina. 2013.

**4.1.1.4.2. Marco geológico local general**

De acuerdo a la información entregada por el Mapa Geológico de Chile escala 1:1.000.000 (SERNAGEOMIN, 2003), y considerando la extensión de las obras del Proyecto debido a las obras lineales (línea eléctrica y tubería de agua), así como la bocatoma en el río Elqui y las áreas Mina y depósito de relaves, las unidades geológicas podemos encontrar corresponden a las siguientes:

- Unidades JK3, Ksh y Ki2c en el área Mina y sector del depósito de relaves

- Unidades Ksh, Ki2c, Jk3, Qf, Kiag, Kia1c y Kia2 para las obras lineales
- Unidad Qf para la bocatoma en el Río Elqui

En el siguiente Cuadro se describen estas unidades.

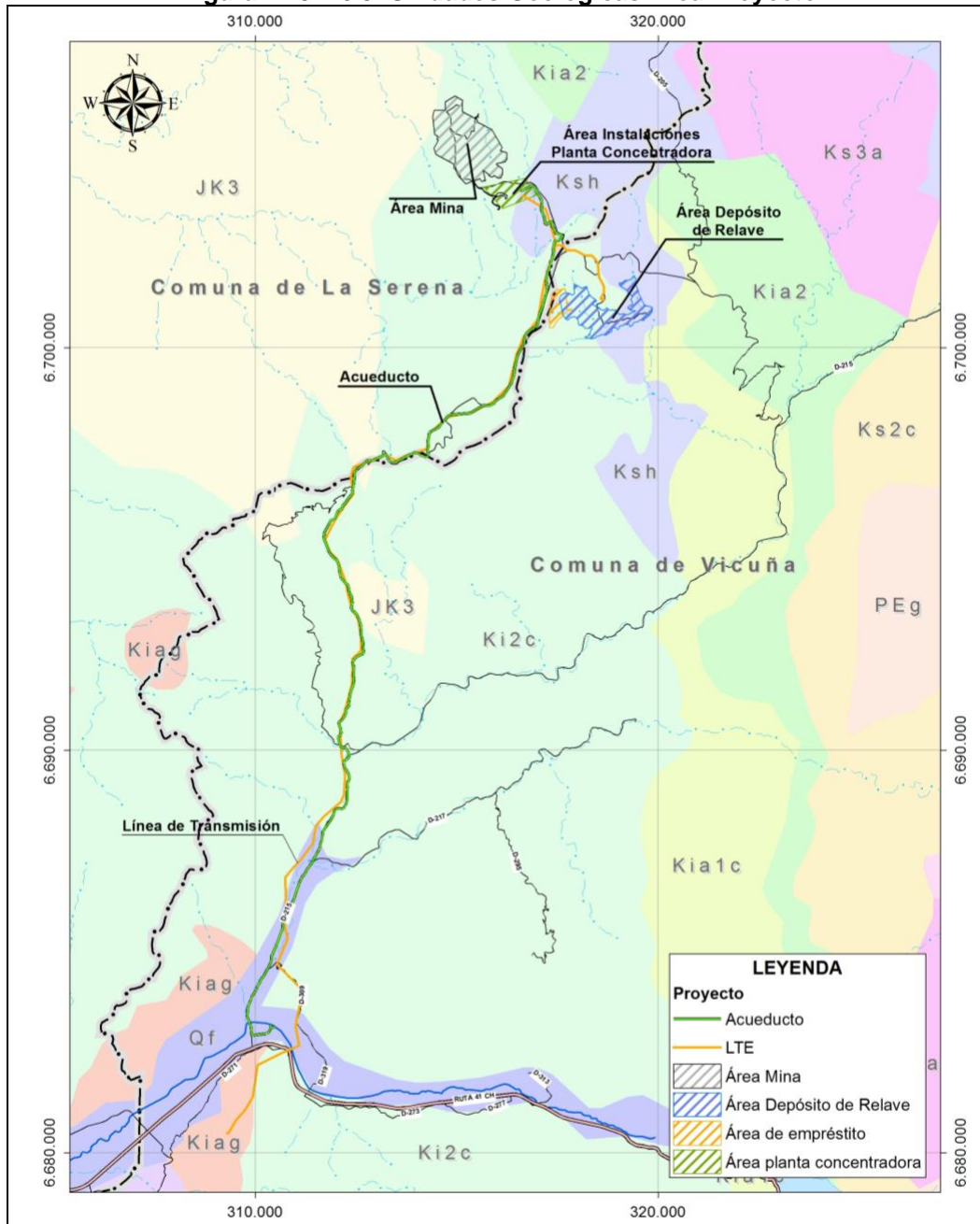
**Cuadro N° 3.1.6.1.Unidades Geológicas Área Proyecto**

<b>NOMBRE UNIDAD</b>	<b>EDAD</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>
Qa	Pleistoceno-Holoceno	Depósitos aluviales, subordinadamente coluviales o lacustres: gravas, arenas y limos.
Qf	Pleistoceno-Holoceno	Depósitos fluviales: gravas, arenas y limos del curso actual de los ríos mayores o de sus terrazas subactuales y llanuras de inundación.
Ksh	Cretácico Superior	Pórfidos andesíticos-dioríticos, dacíticos y riolíticos.
Ki2c	Cretácico Inferior-Cretácico Superior	Secuencias sedimentarias y volcánicas continentales, con escasas intercalaciones marinas: brechas sedimentarias y volcánicas, lavas andesíticas, ocoítas, conglomerados, areniscas, limolitas calcáreas lacustres con flora fósil; localmente calizas fosilíferas marinas en la base.
Kia2	Cretácico Inferior alto-Cretácico Superior bajo	Secuencias sedimentarias y volcánicas: rocas epiclásticas, piroclásticas y lavas andesíticas y basálticas con intercalaciones lacustres, localmente marinas.
Kiag	Cretácico Inferior alto-Cretácico Superior bajo	Dioritas y monzodioritas de piroxeno y hornblenda, granodioritas, monzogranitos de hornblenda y biotita.
Kia1c	Cretácico Inferior alto	Secuencias sedimentarias continentales aluviales, fluviales y lacustres: areniscas, conglomerados, limolitas, calcilutitas y brechas sedimentarias con intercalación de tobas.
JK3	Jurásico-Cretácico	Gabros, diabasas y basaltos almohadillado.

Fuente: Elaboración propia, 2019; En base Mapa Geológico de Chile (SERNAGEOMIN, 2003).

Por su parte, en la siguiente Figura se muestra la ubicación referencial del Proyecto respecto de estas unidades.

**Figura N° 3.1.6.3. Unidades Geológicas Área Proyecto**



Fuente: Elaboración propia base Mapa Geológico de Chile (SERNAGEOMIN, 2003).

#### 4.1.1.4.3. Marco geológico local área Relaves espesados

De acuerdo a lo señalado en la Carta Geológica Cuadrángulo Quebrada Marquesa (Aguirre & Egert, 1965), en el sector del depósito de relaves del Proyecto Minero Arqueros afloran tres unidades litológicas principales: la Formación Quebrada Marquesa, la Formación Viñita y la unidad Andesita Intrusiva, las cuales han sido reconocidas en terreno. El resumen de las litologías encontradas en el sector del depósito de relaves se presenta en el siguiente Cuadro.

**Cuadro N°3.1.6.2. Resumen de la Geología Local del Sector del Depósito de Relaves**

FORMACIÓN	MIEMBRO	UBICACIÓN EN EL ÁREA DE RELAVES	LITOLOGIA
Quebrada Marquesa	Miembro 3	Extremo occidental	Conglomerados, brechas, tobas, areniscas, lutitas, calizas y chert
	Miembro 4	Centro occidental	Andesita y basalto
Viñita	Miembro 1	Centro oriental	Conglomerado volcánico
Andesita intrusiva	-	Mitad oriental	Andesita

Fuente: Modelo Hidrogeológico Conceptual Sector Depósito de Relaves, Proyecto Minero Arqueros. ICASS, 2019.

#### Formación Quebrada Marquesa (Kqm en Aguirre & Egert, 1965)

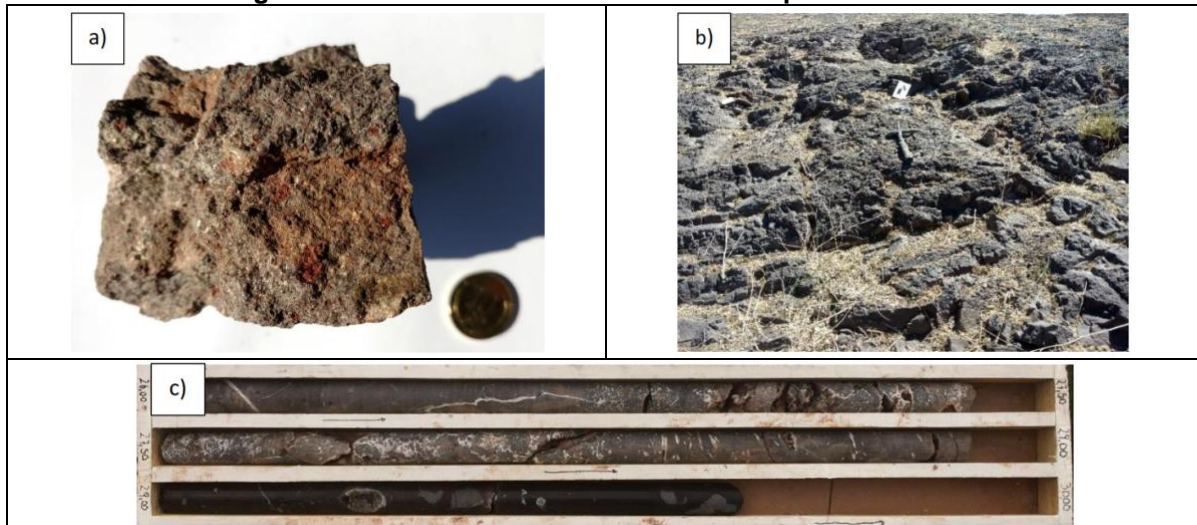
La mitad occidental del depósito está conformada por rocas de la Formación Quebrada Marquesa, consistente en los miembros 3 y 4 de dicha secuencia.

El Miembro 3 aflora en el extremo occidental del depósito y corresponde a una unidad continental formada por conglomerados, brechas, tobas, areniscas, lutitas, calizas y chert. El color de estos estratos es púrpura rojizo grisáceo. La litología predominante de esta unidad son las areniscas y, en parte, las areniscas conglomerádicas, cuyo tamaño de grano varía de fino a grueso y el cemento corresponde, generalmente, a cristales de albita y en ciertos ejemplares está acompañada de calcita. La parte superior del miembro 3 está constituida por conglomerados gruesos con matriz de arenisca gris rojiza quebradiza, los clastos son bien redondeados y predominan las lavas andesíticas porfíricas. La parte inferior del miembro consiste en calizas, ocasionalmente alternada con chert bandeado. El espesor del miembro 3 varía entre 50 y 250 m (Aguirre & Egert, 1965).

El Miembro 4 aflora en el sector centro occidental del depósito y está constituido en su totalidad por lavas andesíticas o basálticas, con excepción de dos intercalaciones de rocas sedimentarias clásticas de grano fino en su parte basal. Las rocas más características de este miembro son andesitas porfíricas con masa fundamental afanítica de color gris medio y fenocristales de hematita producto de la alteración de minerales máficos (siguiente Figura imagen a). En muchos casos estas lavas presentan numerosos poros, en parte rellenos por clorita, epidota y cuarzo. En terreno, se observan afloramientos masivos y fracturados de este miembro, de color gris oscuro, con presencia de pátinas y vetillas de calcita (siguiente Figura imagen b). En el sondaje SH-01, realizado el 2016 (IDIEM, 2016a), este miembro consiste en andesitas hematizadas con vetillas

de clorita y calcita, con contenidos variables de amígdalas rellenas de calcita, clorita y cuarzo. (siguiente Figura imagen c).

**Figura N° 3.1.6.4. Formación Quebrada Marquesa Miembro 4**

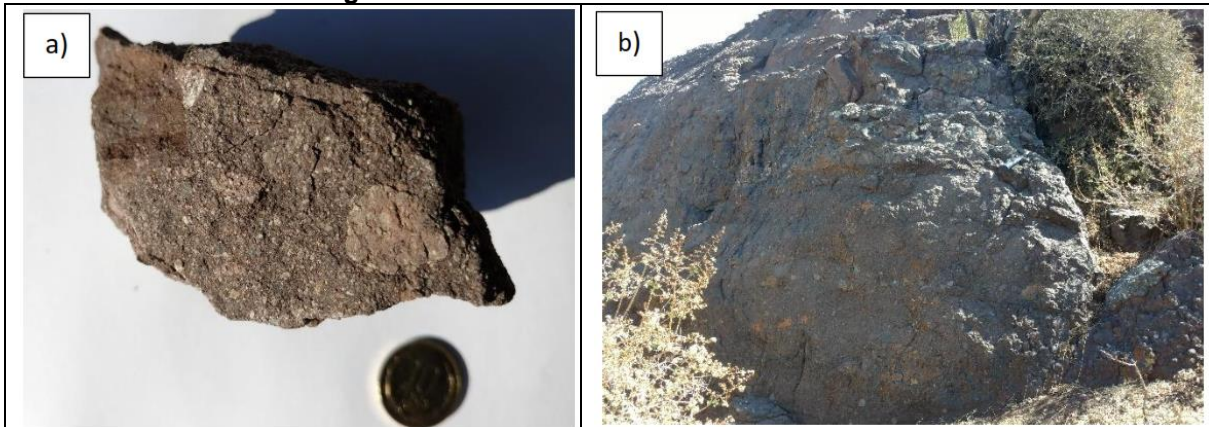


a) Muestra de mano. b) Afloramiento. c) Sondaje SH-01 entre los 26 y 30 m  
Fuente: Modelo Hidrogeológico Conceptual Sector Depósito de Relaves, Proyecto Minero Arqueros. ICASS, 2019.

**Formación Viñita (KV en Aguirre & Egert, 1965)**

Sobre las rocas del Miembro 4 de la Formación Quebrada Marquesa se disponen, discordantemente, rocas del Miembro 1 de la Formación Viñita. Esta unidad, que aflora en el sector centro oriental del depósito, se expone de forma irregular puesto que los estratos de este miembro están parcialmente intruidos por rocas andesíticas que interrumpen la continuidad de sus afloramientos.

Esta unidad es continental y se constituye, principalmente, por conglomerado medio a grueso de color gris rojizo con matriz de arenisca volcánica (siguiente Figura imagen a). En terreno, se observan afloramientos masivos de color grisáceo, con clastos redondeados de tamaño medio de 10 a 15 cm (siguiente Figura imagen b). Estos clastos corresponden, en su mayoría, a lavas andesíticas, porfíricas y afaníticas, entre las que se reconocen algunas con textura ocoítica. La parte superior del miembro 1 está constituida por arenisca conglomerádica, arenisca fina y lutita de color gris rojizo. Existen mediciones del espesor de esta unidad de aproximadamente 520 m (Aguirre & Egert, 1965).

**Figura N° 3.1.6.5. Formación Viñita Miembro 1**

a) Muestra de mano. b) Afloramiento

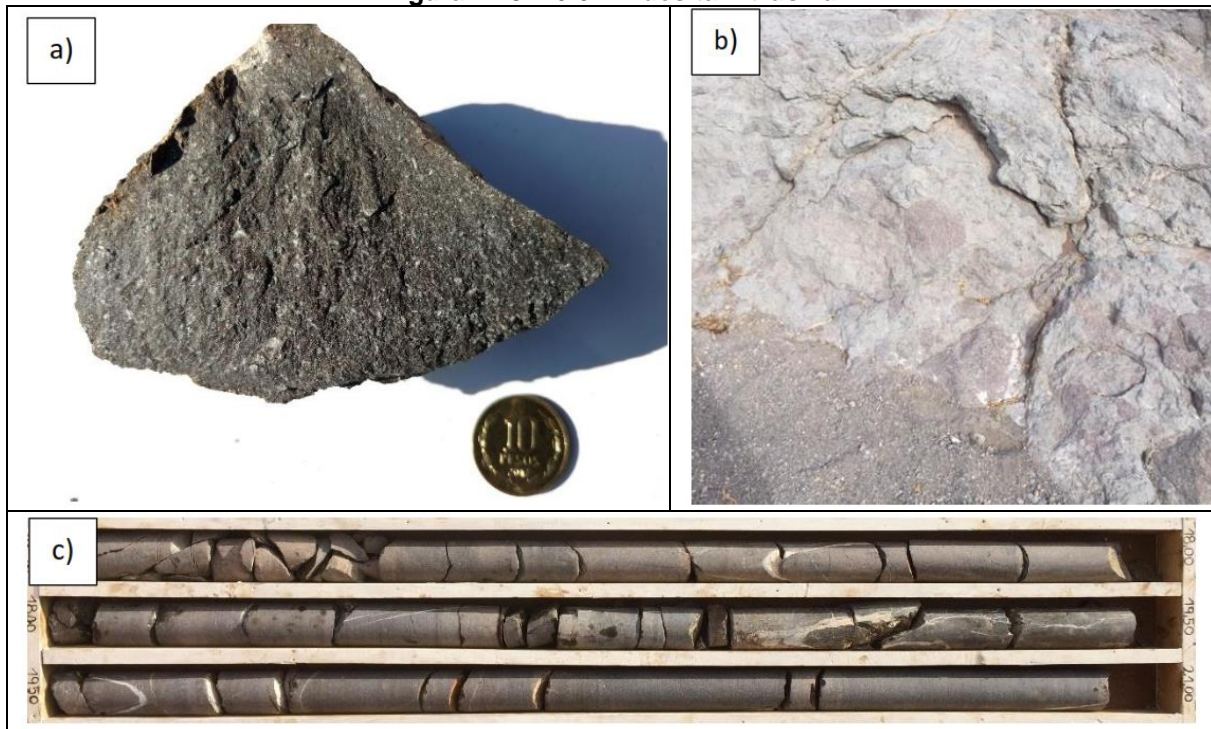
Fuente: Modelo Hidrogeológico Conceptual Sector Depósito de Relaves, Proyecto Minero Arqueros. ICASS, 2019.

#### Andesita intrusiva (KTai en Aguirre & Egert, 1965)

La mitad oriental restante del depósito se emplaza sobre rocas intrusivas denominadas “Andesitas Intrusivas” en el Cuadrángulo Quebrada Marquesa. Estas rocas corresponden a andesitas porfíricas de color púrpura grisáceo.

En los sondajes realizados en esta zona se ha reconocido esta unidad como una andesita de textura porfírica, color gris oscuro (siguiente Figura imagen a), rojizo y verdoso. Esta andesita varía desde una intensa alteración de hematita a clorita, comúnmente estas dos alteraciones se observan juntas, presentándose la hematitización en forma de parches lo que da un aspecto “brechoso” a la roca, tanto en superficie (siguiente Figura imagen b), como en los sondajes (siguiente Figura imagen c).



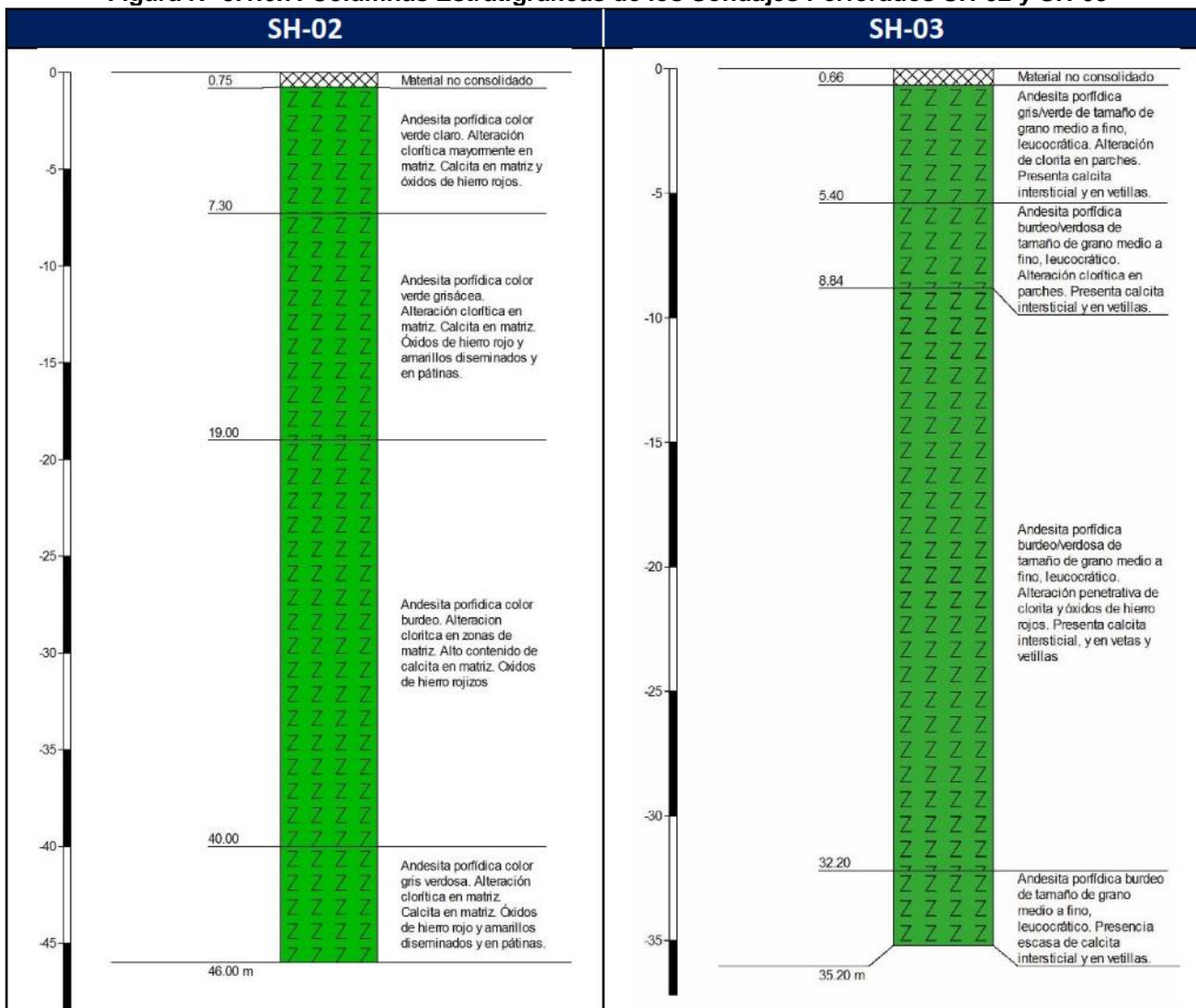
**Figura Nº 3.1.6.6. Andesita Intrusiva**

a) Muestra de mano. b) Afloramiento. c) Sondaje SD-3 desde los 16,5 a 21 m  
 Fuente: Modelo Hidrogeológico Conceptual Sector Depósito de Relaves, Proyecto Minero Arqueros. ICASS, 2019.

Por otro lado, se realizó la descripción de cuttings, y la descripción litológica y estructural de los testigos diamantinos.

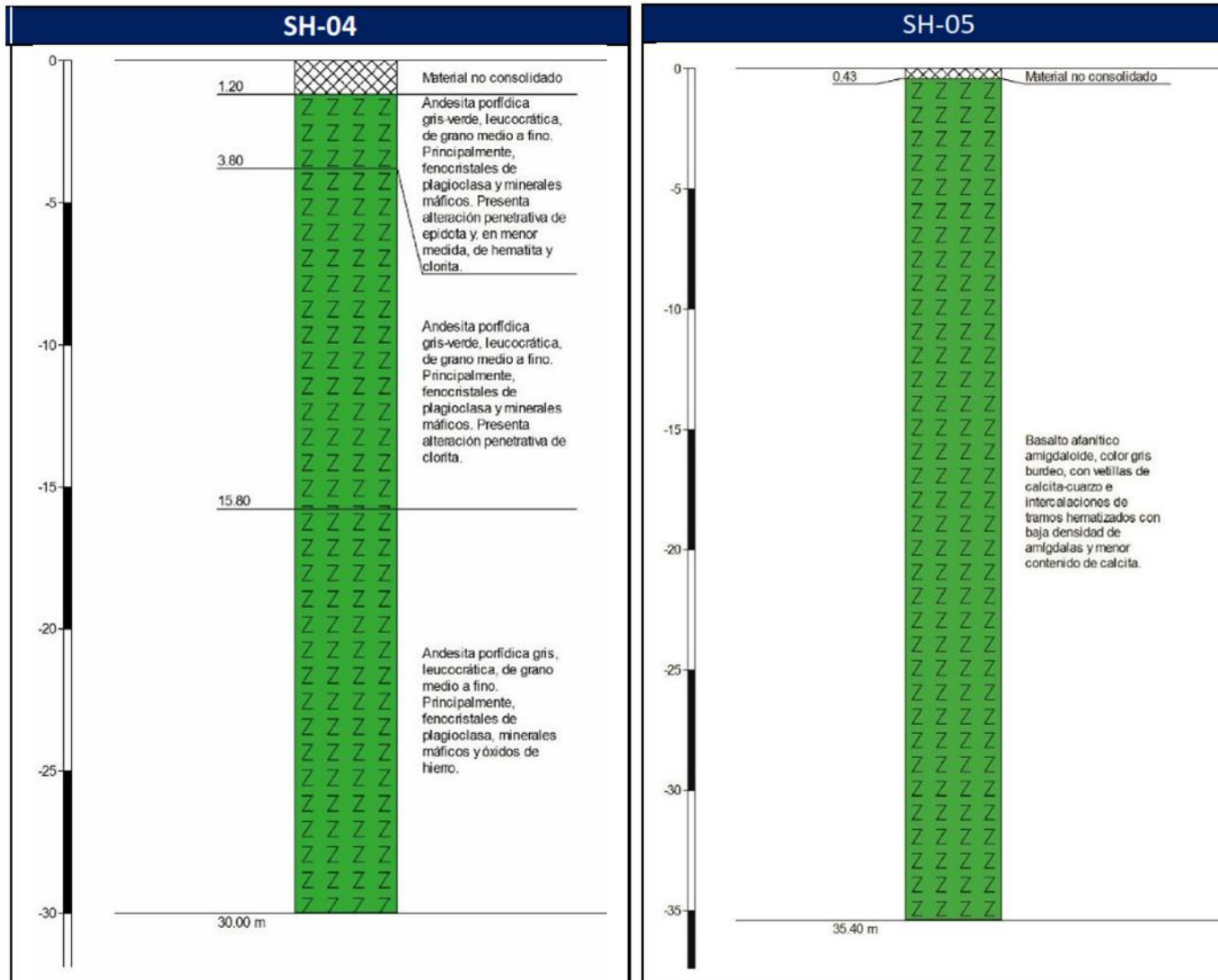
En el sector del depósito de relaves, la litología perforada consiste, principalmente, en rocas ígneas volcánicas: andesitas y basaltos. La andesita, usualmente, se presenta de color gris-burdeo, leucocrática, con un tamaño de grano medio a fino y, en términos de alteración, se observan diversos grados de hematización y cloritización, tanto de la matriz como de los minerales. Por otro lado, el basalto suele ser de color gris, afanítico, mesocrático y, en ocasiones, presenta amígdalas de calcita. El sondaje SH-06 es el único que muestra una mayor variabilidad litológica, ya que, además de presentar basaltos y andesitas, contiene conglomerados volcánicos y unidades volcano-sedimentarias (ver siguientes Figuras).

Figura Nº 3.1.6.7. Columnas Estratigráficas de los Sondajes Perforados SH-02 y SH-03



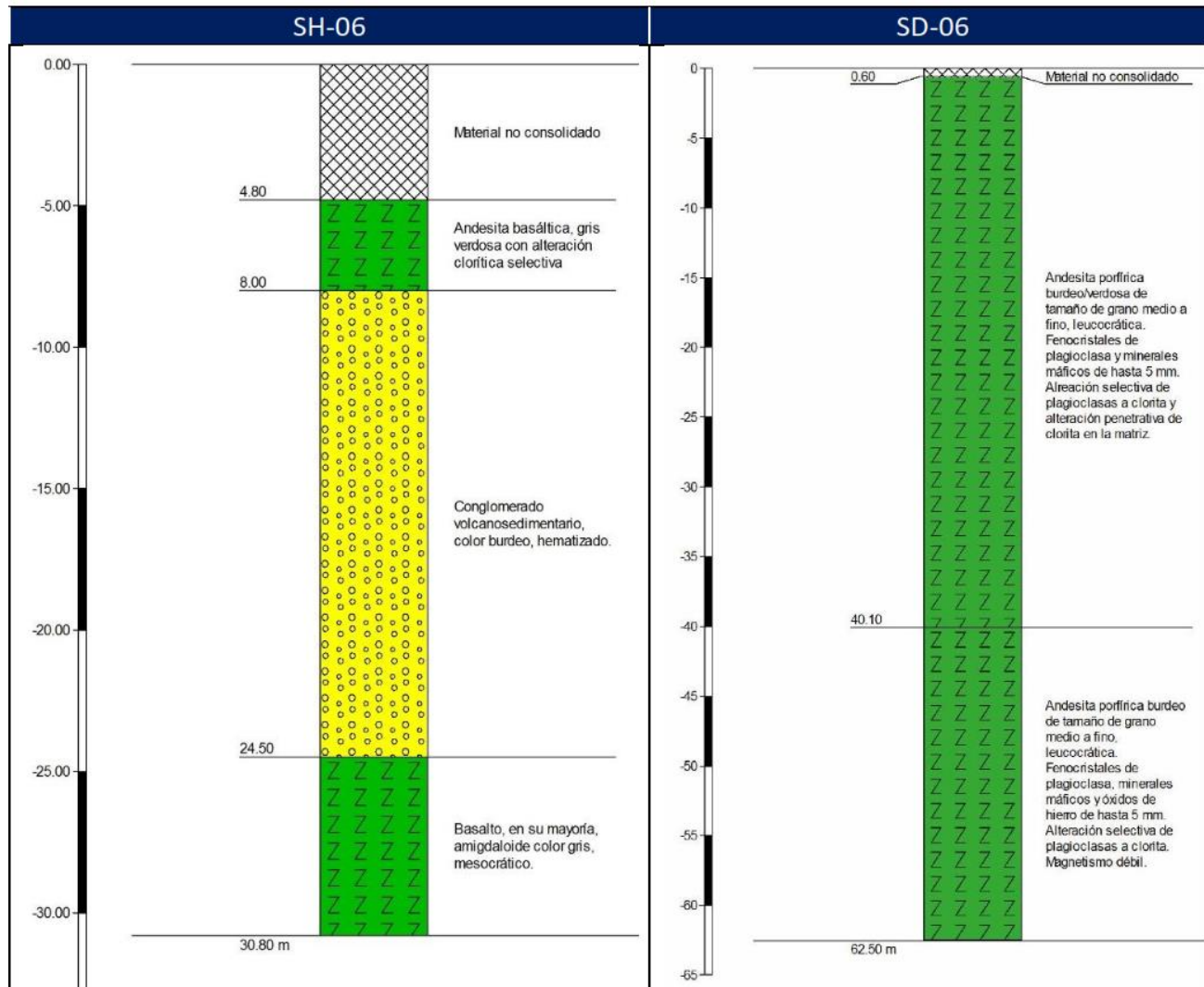
Fuente: Modelo Hidrogeológico Conceptual Sector Depósito de Relaves, Proyecto Minero Arqueros. ICASS, 2019.

Figura Nº 3.1.6.8. Columnas Estratigráficas de los Sondajes Perforados SH-04 y SH-05



Fuente: Modelo Hidrogeológico Conceptual Sector Depósito de Relaves, Proyecto Minero Arqueros. ICASS, 2019.

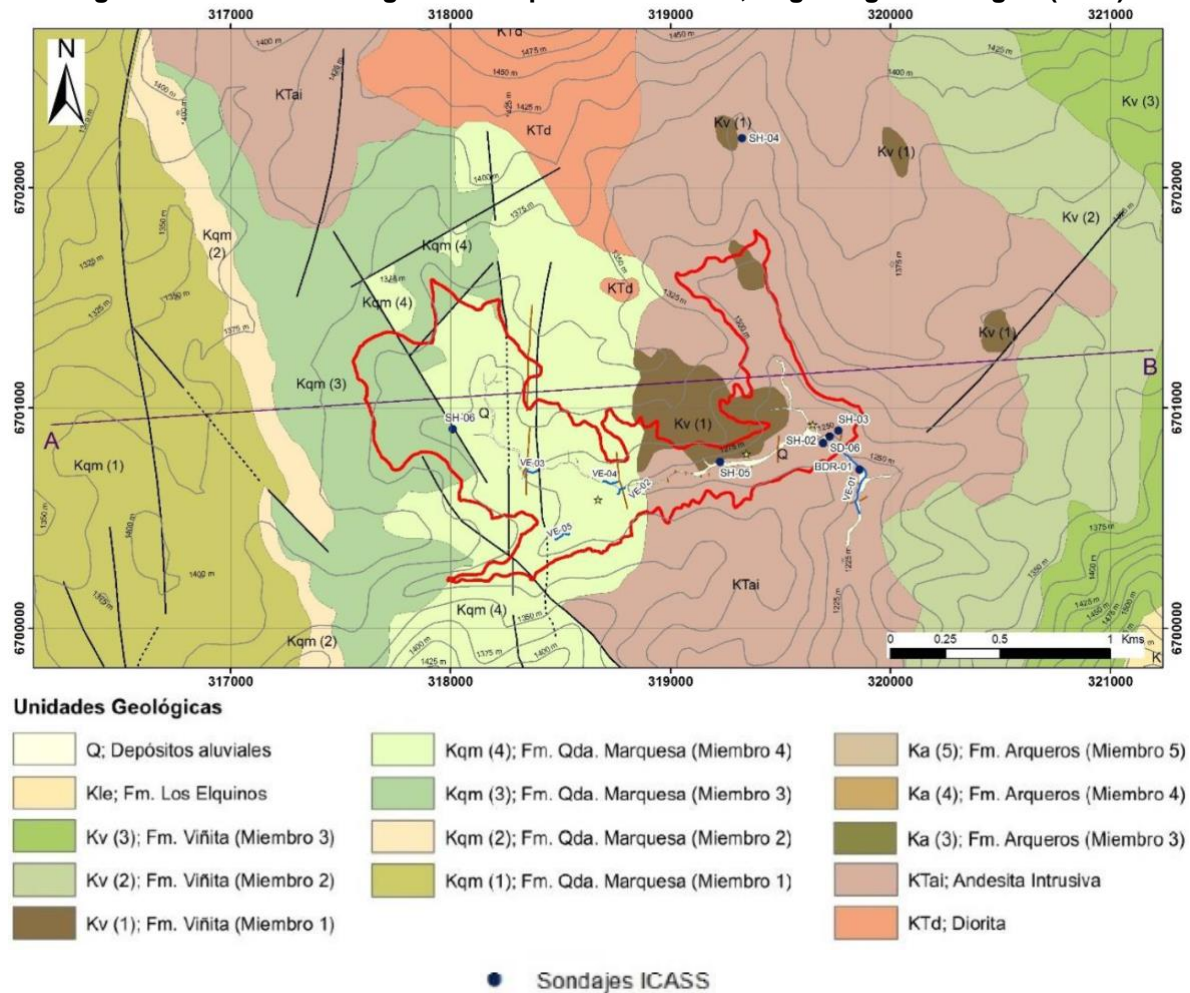
Figura Nº 3.1.6.9. Columnas Estratigráficas de los Sondajes Perforados SH-06 y SD-06



Fuente: Modelo Hidrogeológico Conceptual Sector Depósito de Relaves, Proyecto Minero Arqueros. ICASS, 2019.

Finalmente, en la siguiente Figura se encuentra la geología en el área del depósito de relave, según Aguirre & Egert (1965), donde se observa además la ubicación de los sondajes.

**Figura Nº 3.1.6.10. Geología Área Depósito de Relave, Según Aguirre & Egert (1965)**



Fuente: Modelo Hidrogeológico Conceptual Sector Depósito de Relaves, Proyecto Minero Arqueros. ICASS, 2019.

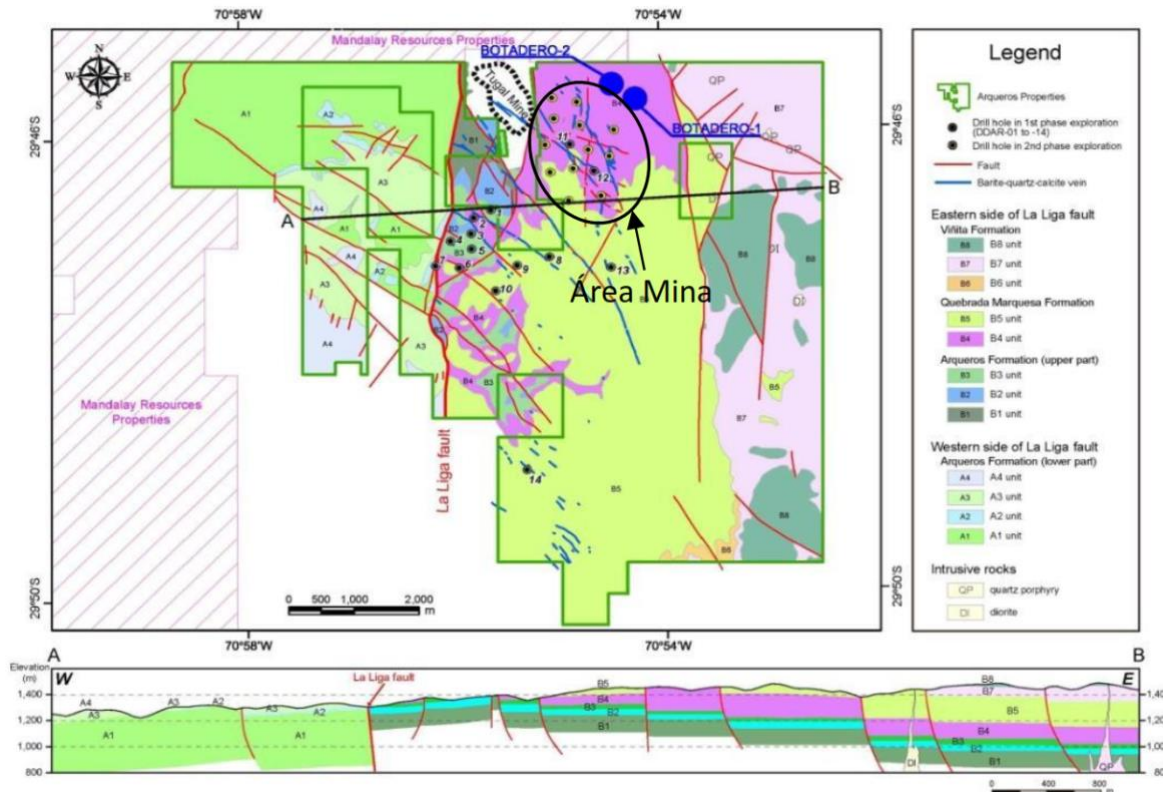
**4.1.1.4.4. Marco geológico local área Mina**

El Proyecto Minero Arqueros, se emplaza en la Formación Quebrada Marquesa que corresponde a una secuencia sedimentaria clástica, con un miembro inferior predominantemente clástico continental y un miembro superior formado por andesitas y tobas. En su parte media presenta mantos de manganeso. En el área mina se presenta como una franja de afloramientos de dirección norte-sur, en la que se reconocen una secuencia de brechas epiclásticas y volcánicas rojas con intercalaciones de areniscas con mineralización estratoligadas de manganeso correspondiente al miembro inferior facie b (Kqm1b). Hacia el extremo sur-oriental aflora una pequeña superficie del miembro 2 facie (a) Kqm2a, que consiste en andesitas de piroxeno, afaníticas y porfíricas de color negro.

Presentan intercalaciones de tobas cineríticas y areniscas rojas. En general esta formación se dispone concordante sobre la formación Arqueros, aunque también puede ocurrir contacto por falla.

Localmente se han definido ocho unidades distintas (siguiente Figura), al oeste de la Falla La Liga, además de cuatro unidades al este de la Falla pero que no se encuentran en el Área de la Mina.

**Figura N° 3.1.6.11. Geología del Proyecto Minero Arqueros**



Fuente: Información Minera Arqueros, 2017.

La columna estratigráfica en la siguiente Figura, muestra cómo se disponen las distintas unidades y a las formaciones que se asocian. En particular en la zona Mina donde aflora la Formación Quebrada Marquesa se han realizado perforaciones que atraviesan la unidad mineralizada (B2) en su totalidad, perforando así hasta la unidad basal B1. Por esto las unidades pertenecientes a la Formación Viñita (B6, B7 y B8) no se observan en las perforaciones realizadas.

**Figura Nº 3.1.6.12. Columna Estratigráfica Esquemática Área Mina**

Edad	Formacion	Unidad Litológica	Espesor (m)	Columna	Facies de Roca
Cretasico Superior	Fm. Viñita	B8	>150	V V V V V V V V V V	Andesita rica en hornblenda y piroxeno
		B7	20-200	A A A A A A A A A A	Basalto rico en piroxeno y olivino - R. piroclasticas
		B6	0-20	L L L L L L L L L L	Deposito de flujo piroclastico dacitico
Cretasico Inferior	Fm. Quebrada Marquesa	B5	>150	A A A A A A A A A A	Andesita/Basalto rico en piroxeno - R. piroclasticas - brecha - arenisca.
		B4	30-130	A A A A A A A A A A	Basalto - R. piroclastica - arenisca volcanica rica en Fe-Mn
	Fm. Arqueros	B3	20-50	↓ ↓ ↓ ↓ ↓ ↓ ↓ ↓ ↓ ↓	Lava Ocoita
		B2	50	□ □ □ □ □ □ □ □ □ □	Caliza (fossil rudista), arenisca calcarea
		B1	>120	↓ ↓ ↓ ↓ ↓ ↓ ↓ ↓ ↓ ↓	Lava Ocoita

\*el recuadro rojo indica las unidades principales.  
 Fuente: Información Minera Arqueros, 2019.

La unidad basal B1 se asocia al miembro 3 de la Formación Arqueros y corresponde a lavas andesíticas y andesita-basálticas ocoíticas de color gris verdosa. Concordante se localiza B2 que corresponde a la unidad mineralizada; B2 compuesta por caliza fosilífera “rudistas”, arenisca y lutita calcárea, además de conglomerados y se asocia al miembro 4 de la Formación Arqueros. Concordante a esta se localiza B3, correspondiente al miembro 5 superior de la Formación Arqueros, bastante similar a B1, pero con amígdalas y más alterada (ej: clorítica), lo constituye una andesita ocoítica que puede presentar colores purpura grisáceos. Concordante se localiza B4 y B5 pertenecientes a la Formación Quebrada Marquesa. B4 está constituida por intercalación de lavas basálticas de olivino, andesíticas (plagioclasa), tobas, conglomerados volcánicos, areniscas, con intercalación de sedimentos metalíferos (Fe +/- Mn) en su parte más baja (ej: arenisca hematitizada). Concordante, se localiza B5 y está constituida por lavas basálticas-andesíticas de piroxeno, brechas, tobas y areniscas. Estas últimas 2 unidades tienden a encontrarse oxidadas y hematitizadas. Las unidades B6 (depósitos dacíticos de flujos piroclásticos), B7 (basaltos ricos en olivino y piroxeno) y B8 (Andesita rica en hornblenda y piroxeno) se localizan al este de la zona Mina y se asocian al miembro (3) volcánico de la Formación Viñita. Además, se definió la unidad dique, que según lo observado en los sondajes, tienen 2 tipos según la textura; afanítica y porfídica, de composición dacítica, andesítica y basáltica, con espesores centimétricos hasta 50m.

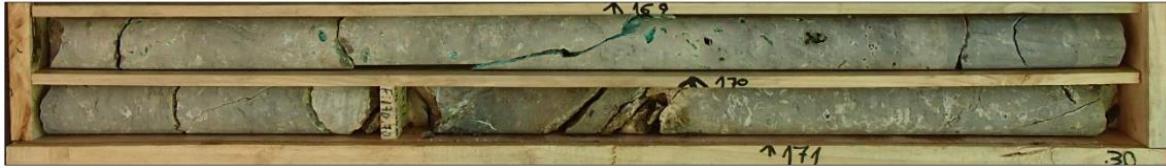
Lo señalado en el párrafo anterior se observa en las siguientes Figuras.

**Figura Nº 3.1.6.13 Unidad B1 de Sondaje DDAR-56C de los 184 a 186m**



Fuente: Información Minera Arqueros, 2019.

**Figura N° 3.1.6.14 Unidad B2 de Sondaje DDAR-56C de los 170 a 171m**



Fuente: Información Minera Arqueros, 2019.

**Figura N° 3.1.6.15 Unidad B3 de Sondaje DDAR-56C de los 118 a 119 m**



Fuente: Información Minera Arqueros, 2019.

**Figura N° 3.1.6.16 Unidad B4 (Basalto) de Sondaje DDAR-56C de 70 a 71m**



Fuente: Información Minera Arqueros, 2019.

**Figura N° 3.1.6.17 Unidad B4 (Arenisca Hematítica) de Sondaje DDAR-56C de los 95 a 96m**



Fuente: Información Minera Arqueros, 2019.

**Figura N° 3.1.6.18 Unidad B5 (Andesita Basáltica) de Sondaje DDAR-56C de los 21 a 22m**



Fuente: Información Minera Arqueros, 2019.

**Figura N° 3.1.6.19 Dique de sondaje DDAR-56C de los 112 a 113m**



Fuente: Información Minera Arqueros, 2019.

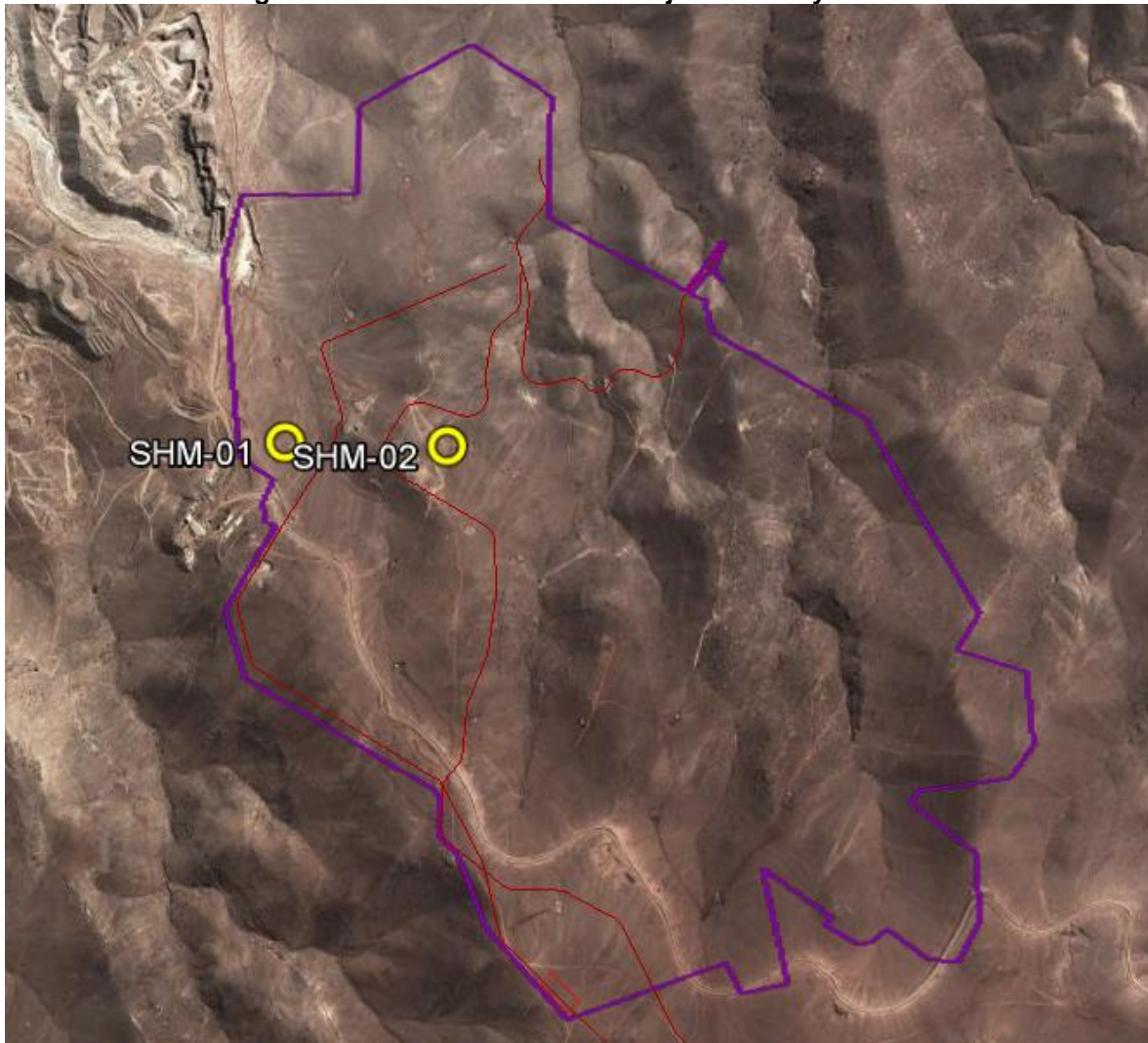
En cuanto a la mineralización, el distrito Arqueros se caracteriza por depósitos vetiformes con mineralización de Ag y cantidades subordinadas de Cu, además de depósitos



estratiformes de Cu-Ag y de Mn. En el sitio de estudio la mineralización principal es de tipo estrato ligado de Cu y Ag de menor importancia y se hospeda en las unidades calcáreas de origen marino de la formación Arqueros (Unidad B2). La mineralización consiste de calcosina, bornita y calcopirita finamente diseminada, que en promedio tiene una potencia de 4 a 15m.

Como referencia a la estratigrafía del Área Mina, la siguiente Figura muestra la ubicación de los sondajes SHM-01 y SHM-02.

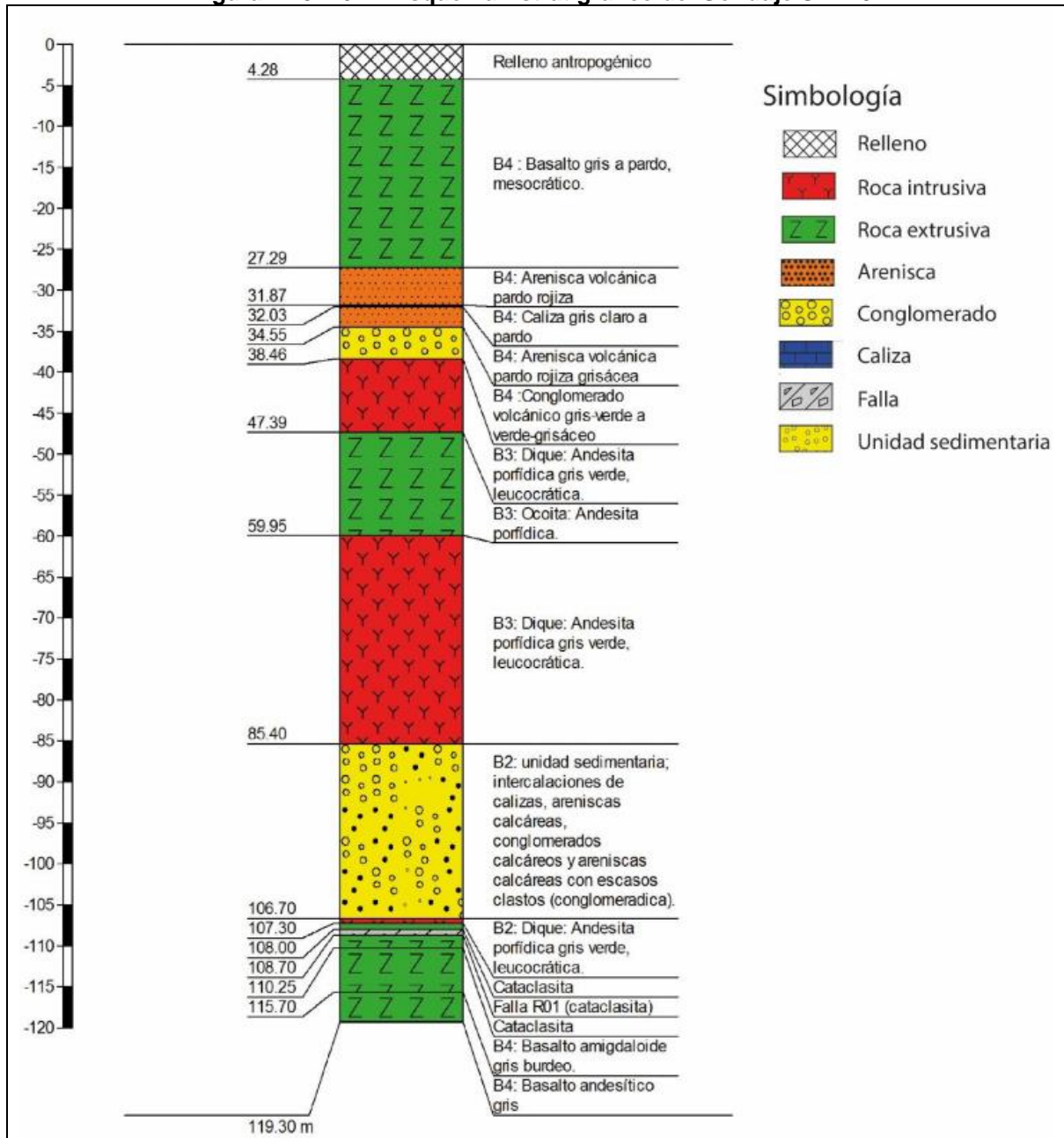
**Figura N° 3.1.6.20 Ubicación Sondajes SHM-01 y SHM-02**



Fuente: Elaboración propia base Google Earth y Modelo Hidrogeológico Conceptual Sector Mina, Proyecto Minero Arqueros. ICASS, 2019.

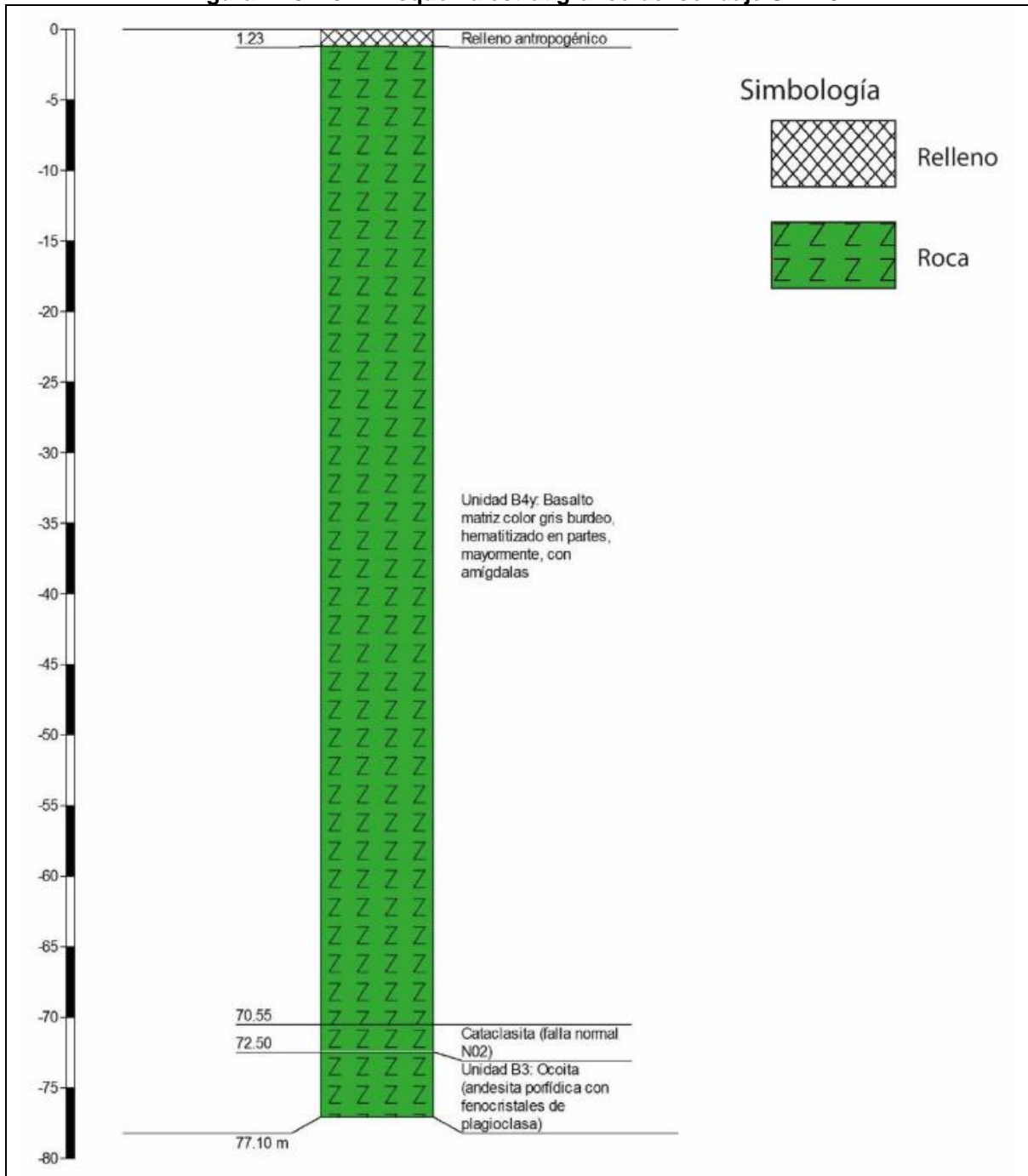
Por su parte, las figuras a continuación muestran respectivamente la estratigrafía de SHM-01 y SHM-02

Figura N° 3.1.6.21 Esquema Estratigráfico del Sondaje SHM-01



Fuente: Información Minera Arqueros, 2019.

Figura N° 3.1.6.22 Esquema estratigráfico del sondaje SHM-02



Fuente: Información Minera Arqueros, 2019.

### 3.1.6.5. Conclusión

De acuerdo a la información entregada por el Mapa Geológico de Chile escala 1:1.000.000 (SERNAGEOMIN, 2003), y considerando el emplazamiento de las obras del Proyecto, las unidades geológicas que podemos encontrar corresponden a las siguientes:

- Unidades JK3, Ksh y Ki2c en el área Mina y sector del depósito de relaves.
- Unidades Ksh, Ki2c, Jk3, Qf, Kiag, Kia1c y Kia2 para las obras lineales.
- Unidad Qf para la bocatoma en el Río Elqui.

El Proyecto Minero Arqueros se ubica en el Cuadrángulo Quebrada Marquesa, situado en la región centro-norte de la provincia de Coquimbo, cuyo centro geográfico se localiza, aproximadamente, a 40 km al este de la ciudad de La Serena. La siguiente reseña se basa en los trabajos de Aguirre & Egert (1965) y de Emparan & Pineda (1999).

La unidad más antigua corresponde a la Formación Arqueros (Ka) de origen principalmente marino, la cual está constituida por una alternancia de calizas fosilíferas y andesitas porfídicas. Sobre la Formación Arqueros se disponen, concordantemente, rocas de la Formación Quebrada Marquesa (Kqm), de origen predominantemente continental. A la Formación Quebrada Marquesa la sobreyace, en discordancia, la Formación Viñita (Kv). La Formación Viñita es una secuencia de origen continental que está constituida por rocas sedimentarias, lavas andesíticas, tobas y brechas.

De acuerdo a lo señalado en la Carta Geológica Cuadrángulo Quebrada Marquesa (Aguirre & Egert, 1965), en el sector del depósito de relaves del Proyecto Minero Arqueros afloran tres unidades litológicas principales: la Formación Quebrada Marquesa, la Formación Viñita y la unidad Andesita Intrusiva, las cuales han sido reconocidas en terreno.

En el área Mina la Formación Quebrada Marquesa se presenta como una franja de afloramientos de dirección norte-sur, en la que se reconocen una secuencia de brechas epiclásticas y volcánicas rojas con intercalaciones de areniscas con mineralización estratoligadas de manganeso correspondiente al miembro inferior facie b (Kqm1b). Hacia el extremo sur-oriental aflora una pequeña superficie del miembro 2 facie (a) Kqm2a, que consiste en andesitas de piroxeno, afaníticas y porfíricas de color negro. Presentan intercalaciones de tobas cineríticas y areniscas rojas.

### 3.1.6.6. Bibliografía

AGUIRRE, L., & EGERT, E. (1965). Cuadrángulo Marquesa. Carta Geológica de Chile N° 15, escala 1:50.000. Santiago: Instituto de Investigaciones Geológicas

EMPARAN, C., & PINEDA, G. (1999). Área Condoriaco-Rivadavia, Región de Coquimbo. Mapas Geológicos N°12, escala 1:100.000. Servicio Nacional de Geología y Minería.

ICASS. 2019. Modelo Hidrogeológico Conceptual Sector Depósito de Relaves. Proyecto Minero Arqueros.

ICASS. 2019. Modelo Hidrogeológico Conceptual Sector Mina. Proyecto Minero Arqueros.

MIRALLES, CAROLINA. 2013. Evaluación de los factores que controlan la geoquímica de sedimentos fluviales de la cuenca del río Elqui, IV Región de Coquimbo, Chile.

SERNAGEOMIN. 2003. Mapa Geológico de Chile, escala 1:1.000.000, versión digital.

**CAPÍTULO 3.1.7 LÍNEA DE BASE  
MEDIO FÍSICO GEOMORFOLOGÍA**

---

**ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL**

**PROYECTO MINERO ARQUEROS**

**CAPÍTULO 3.1.7 LÍNEA DE BASE**  
**MEDIO FÍSICO GEOMORFOLOGÍA**

ELABORADO PARA



Av. Andrés Bello 2233, Piso 3, Providencia · Santiago · Chile · Fono (+56 ) 2 2963 8560 · [www.inercochile.com](http://www.inercochile.com)

**DICIEMBRE DE 2019**

## ÍNDICE DE CONTENIDOS

<b>3. LÍNEA DE BASE.....</b>	<b>1</b>
3.1. MEDIO FÍSICO.....	1
3.1.7. Geomorfología.....	1
3.1.7.1. Introducción.....	1
3.1.7.2. Área de influencia.....	1
3.1.7.3. Metodología.....	1
3.1.7.4. Resultados.....	2
3.1.7.5. Conclusión.....	14
3.1.7.6. Bibliografía.....	14

## ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA Nº 3.1.7.1. MAPA DE ZONIFICACIÓN GEOMORFOLÓGICA, REGIÓN DE COQUIMBO.....	3
FIGURA Nº 3.1.7.2. PRINCIPALES RASGOS GEOMORFOLÓGICOS DE LA CUENCA HIDROGRÁFICA DEL RÍO ELQUI .....	4
FIGURA Nº 3.1.7.3. VISTA GENERAL DE LA GEOMORFOLOGÍA DE LAS OBRAS DEL PROYECTO ...	6
FIGURA Nº 3.1.7.4. VISTA GENERAL DE LA GEOMORFOLOGÍA DEL SECTOR DE CAPTACIÓN .....	7
FIGURA Nº 3.1.7.5. VISTA GENERAL DE LA GEOMORFOLOGÍA DEL SECTOR DE CAPTACIÓN .....	7
FIGURA Nº 3.1.7.6. VISTA GENERAL DE LA GEOMORFOLOGÍA DEL SECTOR DEL ACUEDUCTO Y LTE .....	8
FIGURA Nº 3.1.7.7. IMAGEN REPRESENTATIVA DEL SECTOR ACUEDUCTO Y LTE.....	8
FIGURA Nº 3.1.7.8. VISTA GENERAL GEOMORFOLOGÍA, SECTOR DEPÓSITO DE RELAVES .....	9
FIGURA Nº 3.1.7.9. IMAGEN REPRESENTATIVA, SECTOR DEPÓSITO DE RELAVES ESPESADOS ..	9
FIGURA Nº 3.1.7.10. VISTA GENERAL GEOMORFOLOGÍA ASOCIADA A LAS OBRAS DEL PROYECTO, SECTOR PLANTA CONCENTRADORA .....	10
FIGURA Nº 3.1.7.11. IMAGEN REPRESENTATIVA, SECTOR PLANTA CONCENTRADORA.....	10
FIGURA Nº 3.1.7.12. VISTA GENERAL GEOMORFOLOGÍA, SECTOR MINA .....	11
FIGURA Nº 3.1.7.13. IMAGEN REPRESENTATIVA, SECTOR MINA.....	11
FIGURA Nº 3.1.7.14. RANGOS DE PENDIENTE ÁREA PROYECTO .....	13



### 3. LÍNEA DE BASE

#### 3.1. Medio Físico

##### 3.1.7. Geomorfología

###### 3.1.7.1. Introducción

De acuerdo a lo establecido en la Ley N° 19.300 y en el Artículo 18, literal e.1) del Decreto Supremo N° 40/2012 “Reglamento del Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental” del Ministerio del Medio Ambiente, la presente sección da cuenta de los antecedentes que caracterizan la línea de base de Geomorfología en el área de influencia del *Proyecto Minero Arqueros* (en adelante el Proyecto), el cual se emplaza en la Región de Coquimbo, comunas La Serena y Vicuña.

Entre las variables geomorfológicas de la Región de Coquimbo se distinguen de entre los principales sistemas de relieve nacionales la planicie costera, la cual incrementa su extensión E-W desde La Serena hacia el sur. Por su parte, la Cordillera de la Costa desaparece en La Serena y es reemplazada por los cordones transversales del sistema montañoso andino costero, que junto con la ausencia de la depresión intermedia, moldean la geomorfología de la zona.

###### 3.1.7.2. Área de influencia

El área de influencia del componente Geomorfología, corresponde al espacio geográfico donde se desarrollan las partes, obras y acciones del Proyecto. La relación del Proyecto con este componente ambiental está dada por el Depósito de Relaves Espesados, debido a la disposición de relaves en el lugar. El resto de las instalaciones corresponden de modo general a instalaciones de servicio de carácter superficial, mientras que el Proyecto en el Área Mina corresponde a la explotación y extracción de mineral a partir de una mina subterránea.

Es importante señalar que el levantamiento de información de la línea de base para este componente, abarcó una escala de análisis mayor que el emplazamiento de las obras del Proyecto, a fin de verificar el contexto geomorfológico en el que se emplaza el Proyecto.

En el Capítulo 2 “Determinación y Justificación del Área de Influencia” del presente EIA, se presenta el área de influencia delimitada para este componente ambiental.

###### 3.1.7.3. Metodología

La metodología para caracterizar la componente Geomorfología, consiste en una revisión bibliográfica que considera las siguientes escalas de análisis.

- **Marco Geomorfológico Regional:** Se definen los aspectos geomorfológicos relevantes y características predominantes generales a nivel regional.
- **Marco Geomorfológico Local:** Se realiza una revisión bibliográfica y por otra parte se describe el contexto geomorfológico, considerando las geoformas

presentes en el área de emplazamiento del Proyecto a partir de imágenes satelitales (Google Earth) para contextualizar las geoformas, incluyendo además una figura de modelación por rangos de pendiente.

### **3.1.7.4. Resultados**

#### **4.1.7.4.1 Marco Geomorfológico Regional**

De acuerdo a la clasificación de Börgel (1983), el área del Proyecto se inserta en la “Región septentrional de las pampas desérticas y cordilleras prealtiplánicas”, aunque se encontraría cerca del límite con un segundo gran conjunto, la “Región de las planicies litorales y cuencas del sistema montañoso andino-costero” marcado por la Quebrada Marquesa. La Región de Coquimbo pertenece en su mayoría al segundo gran conjunto, el cual contiene siete (7) formaciones geomorfológicas:

- La planicie marina y/o fluvio-marina.
- Los llanos de sedimentación fluvial y/o aluvial.
- El farellón costero.
- La cordillera de la costa.
- La pampa transicional.
- Los cordones transversales del sistema montañoso andino costero.
- Las sierras transversales del tronco maestro andino.

La siguiente Figura presenta las unidades geomorfológicas presentes en la Región de Coquimbo, donde se observa además la ubicación referencial del Proyecto.

**Figura N° 3.1.7.1. Mapa de Zonificación Geomorfológica, Región de Coquimbo**



Fuente: Börgel, 1983.

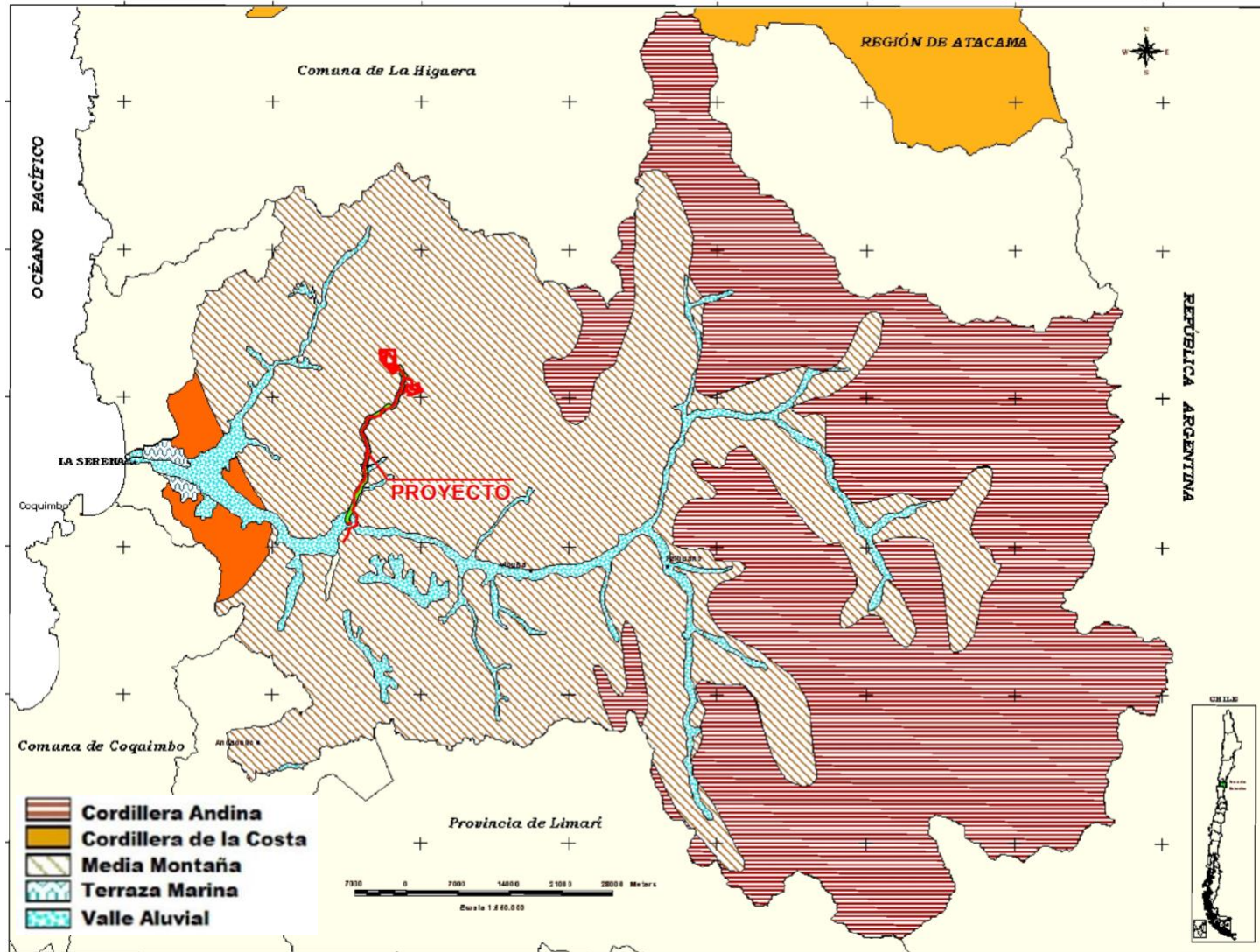
Desde el punto de vista del sistema físico natural, la Región se destaca por la ruptura de la ordenación general del relieve, razón que ha llevado a denominarla como "región de los valles transversales" o "región de los cordones transversales", debido al predominio de una transversalidad en vez de la tendencia longitudinal que es común al resto del país. Lo anterior, debido a la desaparición de la depresión intermedia, característica de Chile central, que es "reemplazada" por valles fluviales con tal disposición (Novoa, 1989).

De acuerdo a la descripción hidrográfica y geomorfológica realizada por Paskoff (1993), para la Cuenca del Río Elqui, se pueden diferenciar principalmente cinco unidades geomorfológicas de cordillera a mar: Cordillera Andina, Media Montaña, Valle Aluvial, Cordillera de la Costa, la Franja Costera o Litoral compuesta por las terrazas marinas y playa.

Conforme a Cabezas *et. al* 2007, dentro de los rasgos geomorfológicos de la cuenca hidrográfica del Río Elqui, el Proyecto, salvo la bocatoma que se encuentra en el valle del Río Elqui, se encuentra en la denominada Media Montaña, la cual corresponde a los sectores de interfluvios o serranías presentes en la hoya hidrográfica. Se trata de un macizo montañoso de regular altitud que se encuentra muy disectado.

En la siguiente Figura se observa en rojo la ubicación del Proyecto en las formaciones geomorfológicas señaladas en Cabezas *et. al* 2007.

Figura Nº 3.1.7.2. Principales Rasgos Geomorfológicos de la Cuenca Hidrográfica del Río Elqui



Fuente: Cabezas et. al 2007.

#### 4.1.7.4.2 Marco Geomorfológico Local

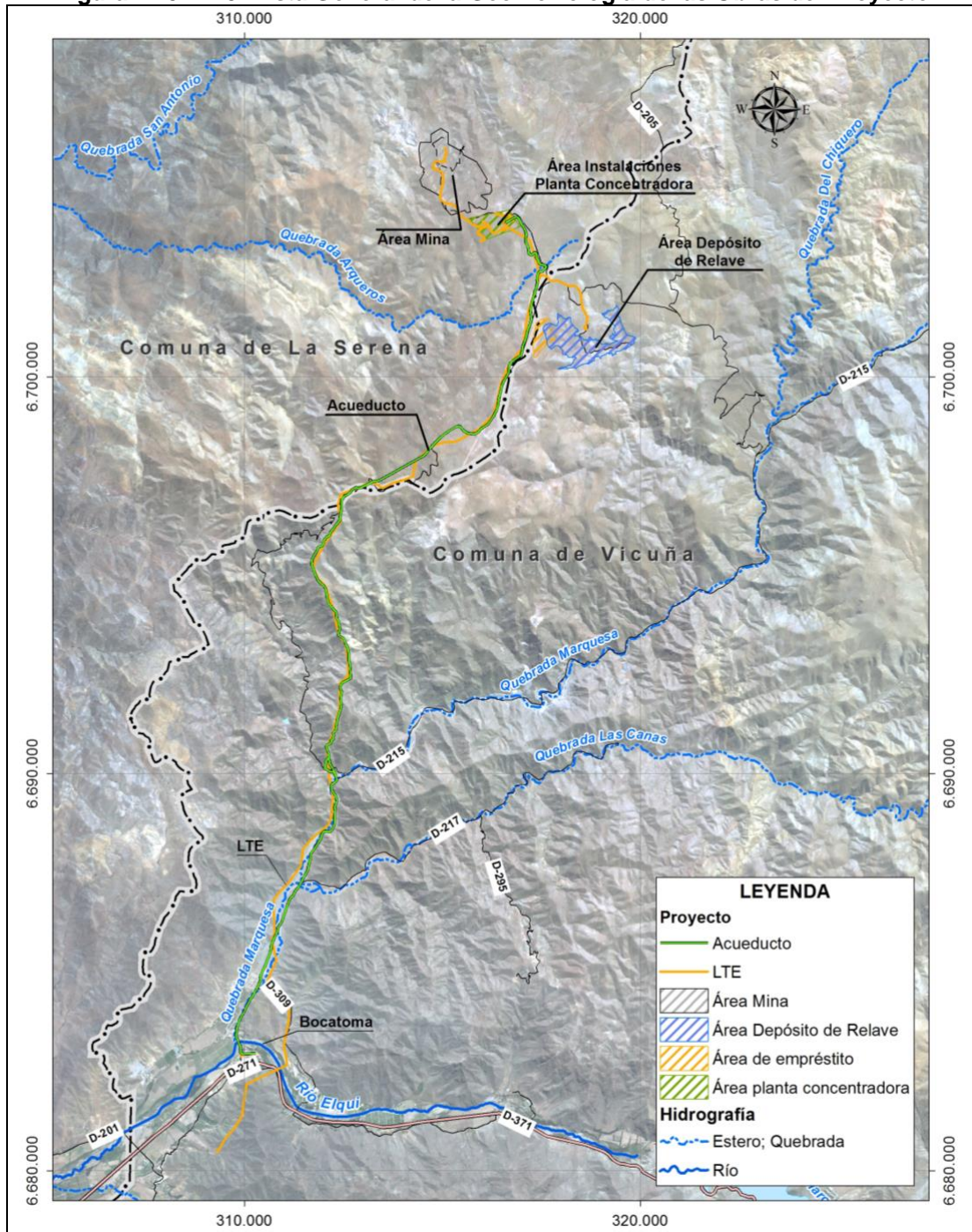
El área de emplazamiento del Proyecto se encuentra en las comunas de La Serena y Vicuña. En la zona se da principalmente una unidad fisiográfica, la Pampa Transicional, la cual es una zona en donde las pampas y llanos áridos se estrechan en medio de una red anárquica de lomas, sierras y cerros aislados. Sin embargo, hacia el este de la Quebrada Marquesa, la unidad fisiográfica cambia a la de los cordones transversales del sistema montañoso andino costero, los cuales presentan alineación transversal a la disposición troncal NS, debido a la acción de la erosión causada por quebradas y ríos afluentes.

Entre los ríos Los Choros por el norte y el Elqui por el sur, la avanzada destrucción del alto pampeano por profundas quebradas, como es el caso de Marquesa, sólo permite reconocer jirones o paños aislados de dicho plan alto. Los llanos de Arqueros, en donde se ubican obras del Proyecto, aparece dispuesta entre las quebradas de San Antonio por el norte oeste, Marquesa por el sur y sureste, y Chiquero por el este.

El emplazamiento de las obras del Proyecto considerando la extensión de las obras lineales, caminos, ducto y línea eléctrica, se asocia a sectores de topografía y geoformas variables, desde el sector de captación que se encuentra en el Río Elqui, desde donde las obras lineales se asocian espacialmente con la quebrada Marquesa y laderas colindantes, hasta emplazarse en cumbres y laderas de cerros.

La siguiente Figura presenta una imagen referencial de la ubicación de las obras del Proyecto en su contexto geomorfológico general.

Figura Nº 3.1.7.3. Vista General de la Geomorfología de las Obras del Proyecto



Fuente: Elaboración propia base Google Earth, 2019.

En las Figuras a continuación, se presenta la ubicación de las principales obras del Proyecto respecto de la geomorfología del sector.

**Figura Nº 3.1.7.4. Vista General de la Geomorfología del Sector de Captación**



Vista hacia el NE del sector de captación, ubicado en el cauce del Río Elqui y continuando por la Quebrada Marquesa.

Fuente: Elaboración propia base Google Earth, 2019.

**Figura Nº 3.1.7.5. Vista General de la Geomorfología del Sector de Captación**



Fuente: Fotografía capturada por el autor, 2018.

**Figura Nº 3.1.7.6. Vista General de la Geomorfología del Sector del Acueducto y LTE**



Vista hacia el N, sector de ducto y LTE. Avanzan por la Quebrada Marquesa y subsecuentemente por cumbres de cerros.

Fuente: Elaboración propia base Google Earth, 2019.

**Figura Nº 3.1.7.7. Imagen Representativa del Sector Acueducto y LTE**



Fuente: Fotografía capturada por el autor, 2018.



**Figura N° 3.1.7.8. Vista General Geomorfología, Sector Depósito de Relaves**



Fuente: Elaboración propia base Google Earth, 2019.

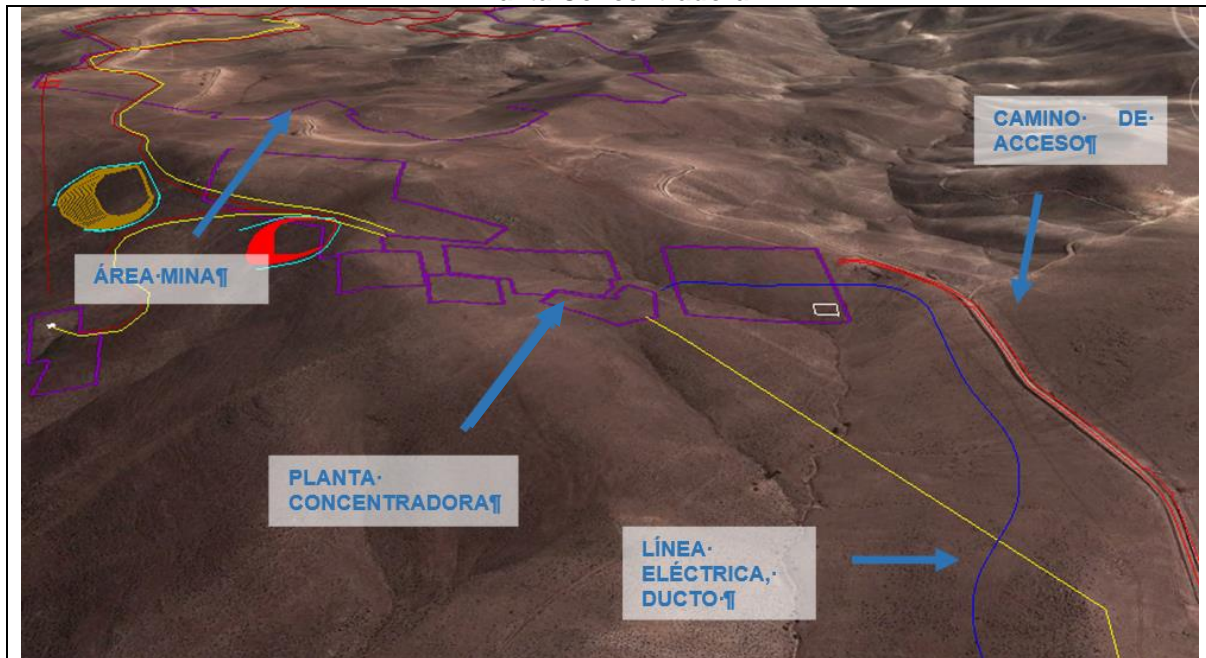
**Figura N° 3.1.7.9. Imagen Representativa, Sector Depósito de Relaves Espesados**



Sector Depósito de Relaves, se observan laderas de cerros de menor inclinación respecto del trazado de ducto y línea de transmisión eléctrica en sector de cumbres de cerros.

Fuente: Fotografía capturada por el autor, 2018.

**Figura Nº 3.1.7.10. Vista General Geomorfología Asociada a las Obras del Proyecto, Sector Planta Concentradora**



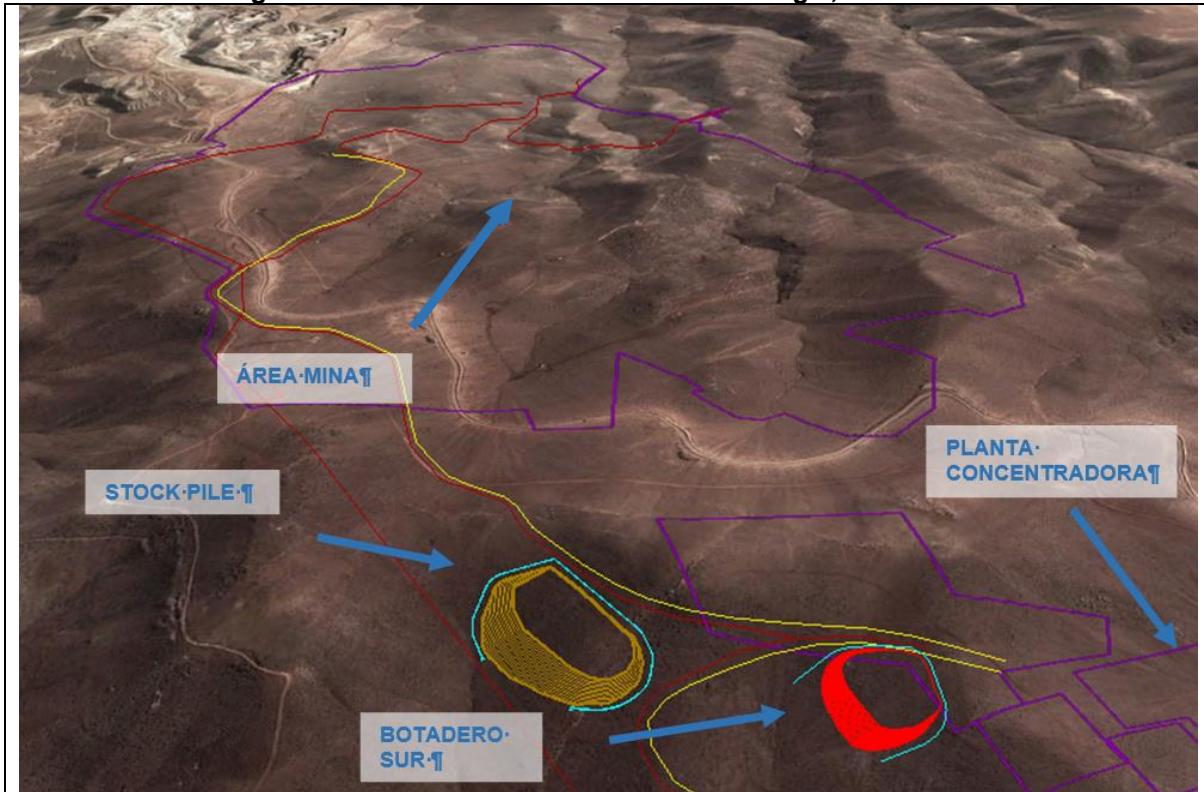
Fuente: Elaboración propia base Google Earth, 2018

**Figura Nº 3.1.7.11. Imagen Representativa, Sector Planta Concentradora**



Fuente: Fotografía capturada por el autor, 2018.

**Figura N° 3.1.7.12. Vista General Geomorfología, Sector Mina**



Fuente: Elaboración propia base Google Earth, 2019.

**Figura N° 3.1.7.13. Imagen Representativa, Sector Mina**



Área Mina: al igual que en el Sector Depósito de Relaves y sector Planta Concentradora, se observan laderas de cerros de menor inclinación respecto del trazado de ducto y línea de transmisión eléctrica en sector de cumbres de cerros.

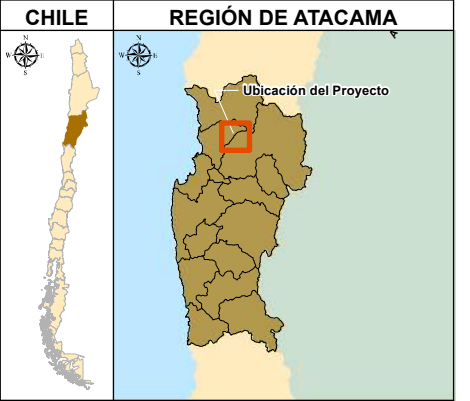
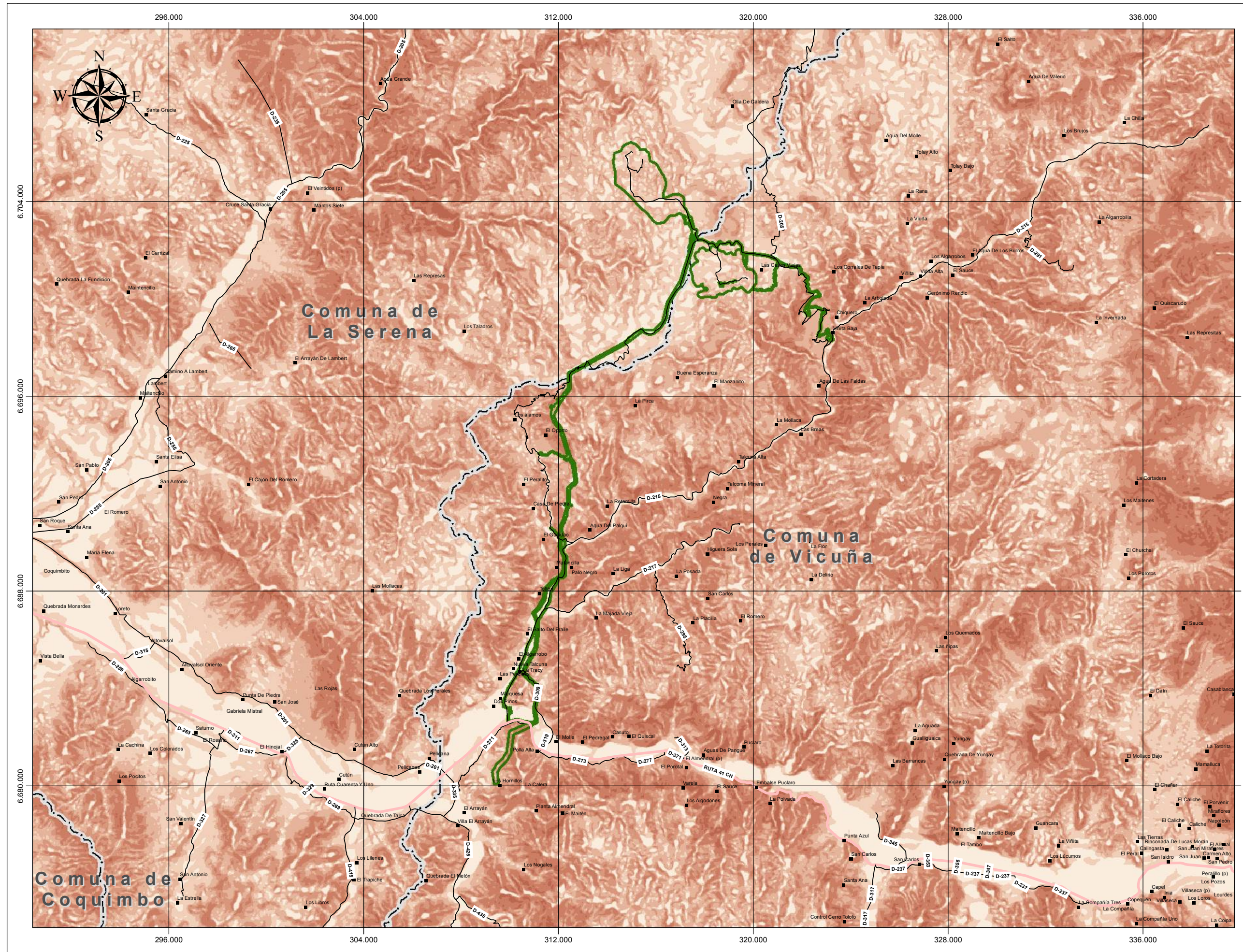
Fuente: Fotografía capturada por el autor, 2018.

Teniendo en cuenta las distintas obras y partes del Proyecto, tanto la longitud de las obras lineales: caminos, líneas eléctricas y ducto de agua, y la ubicación de la bocatoma, el Depósito de Relaves Espesados, Planta Concentradora y el Área Mina, las obras del Proyecto se asocian a una gama variable de geofomas y pendientes.

Así, la bocatoma en el río Elqui ubicada aproximadamente a 330 msnm, y la porción de las obras del Proyecto en el sector de la Quebrada Marquesa, se asocian a pendientes de menor inclinación, debido a que las obras se emplazan en las partes bajas del paisaje.

Avanzando hacia el norte y saliendo del sector de la Quebrada Marquesa, aproximadamente a 470 msnm, parte del trazado de la línea eléctrica, ducto y caminos, se asocian a laderas y cumbres de cerros de mayor inclinación estando a una altitud en torno a los 1000 msnm. Posterior a ello, y avanzando hacia el norte, se produce un cambio en el relieve, y las laderas de las colinas se suavizan observándose colinas con pendientes más suaves en comparación al tramo anterior, siendo ésta una característica común relativamente similar en el sector de emplazamiento del Depósito de Relaves (1.300 msnm), en el sector de la Planta Concentradora y el Área Mina en torno a los 1.450 msnm.

Considerando lo descrito, en la siguiente Figura se observa una modelación por rangos de pendiente, donde se observa la heterogeneidad del relieve y de rangos de pendiente a los que se asocian las distintas obras y partes del Proyecto, así como la presencia general en el área de cumbres y laderas.



**LEYENDA**

**Centros Poblados**

- Caserío; Pueblo

**Red Vial**

- Caminos Principales
- Rutas Principales
- ▭ Ubicación General del Proyecto

**Límite Administrativo**

- - - Límite Comunal

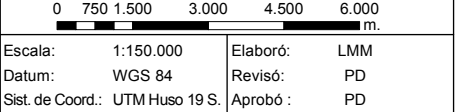
**Slope\_create21.tif**

<VALUE>

- 0 - 5%
- 5 - 15%
- 15 - 30%
- 30 - 45%
- 45 - 70%
- 70% y mas

**ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL  
PROYECTO MINERO ARQUEROS**

Figura N°3.1.7.14.  
**RANGOS DE PENDIENTES  
ÁREA PROYECTO**



Escala:	1:150.000	Elaboró:	LMM
Datum:	WGS 84	Revisó:	PD
Sist. de Coord.:	UTM Huso 19 S.	Aprobó:	PD

### 3.1.7.5. Conclusión

Desde el punto de vista del sistema físico natural, la Región de Coquimbo destaca por la ruptura de la ordenación general del relieve, razón que ha llevado a denominarla como "región de los valles transversales" o "región de los cordones transversales", debido al predominio de una transversalidad en lugar de la tendencia longitudinal común al resto del país. Ello debido a la desaparición de la depresión intermedia, característica de Chile central, que es "reemplazada" por valles fluviales con tal disposición.]

El emplazamiento de las obras del Proyecto, considerando la extensión de las obras lineales, caminos, ducto y línea eléctrica, se asocia a sectores de topografía y geoformas variables, desde el sector de captación que se encuentra en el Río Elqui, desde donde, avanzando hacia el norte, las obras lineales se asocian espacialmente con la quebrada Marquesa y laderas colindantes, hasta emplazarse en cumbres y laderas de cerros en el sector de emplazamiento de las áreas del Proyecto correspondientes al Depósito de Relaves espesados, Planta Concentradora y Área Mina.

De esta manera el Área Mina y la Planta Concentradora se emplazan en el sector conocido como llanos de Arqueros, en torno a los 1.500 msnm, que al igual que el sector de emplazamiento del Depósito de Relaves que se encuentra en torno a los 1.300 msnm, corresponde a un sector de cerros y colinas donde la topografía y la inclinación de las laderas es menos abrupta (15 a 45%) que lo observado en las laderas y cerros desde el norte de la quebrada Marquesa, a unos 500 msnm y avanzando hacia el norte aproximadamente 7 km hasta los 1.400 msnm, tramo en el que el emplazamiento de la línea de transmisión eléctrica, ducto y caminos está asociado a cerros y laderas de pendientes más abruptas de 30 a 60% de inclinación y mayores.

### 3.1.7.6. Bibliografía

BÖRGEL, R. 1983. Colección Geografía de Chile Tomo II Geomorfología, Instituto Geográfico Militar de Chile. Santiago, Chile. 182 p.

NOVOA, J. (1989). Geografía y Medio Ambiente. En: Colosos del Norte Verde. Ediciones Universidad de La Serena y Universidad Católica del Norte. La Serena.

PASKOFF, R. (1993). Geomorfología de Chile Semiárido. Ediciones Universidad de La Serena. La Serena.

CABEZAS, RODRIGO; CEPEDA, JORGE; BODINI, ANDRE´S. 2007. Descripción cartográfica de la hoya hidrográfica del Río Elqui.

**CAPÍTULO 3.1.8 LÍNEA DE BASE**  
**MEDIO FÍSICO RIESGOS GEOLÓGICOS Y GEOMORFOLÓGICOS**

---

**ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL**

**PROYECTO MINERO ARQUEROS**

**CAPÍTULO 3.1.8 LÍNEA DE BASE  
MEDIO FÍSICO RIESGOS GEOLÓGICOS Y  
GEOMORFOLÓGICOS**

ELABORADO PARA



Av. Andrés Bello 2233, Piso 3, Providencia · Santiago · Chile · Fono (+56 ) 2 2963 8560 · [www.inercochile.com](http://www.inercochile.com)

**DICIEMBRE DE 2019**



## ÍNDICE DE CONTENIDOS

<b>3. LÍNEA DE BASE.....</b>	<b>1</b>
3.1. MEDIO FÍSICO.....	1
3.1.8. <i>Riesgos Geológicos y Geomorfológicos</i> .....	1
3.1.8.1. Introducción.....	1
3.1.8.2. Área de influencia.....	1
3.1.8.3. Metodología.....	1
3.1.8.4. Resultados.....	2
3.1.8.5. Conclusión.....	17
3.1.8.6. Bibliografía.....	18

## ÍNDICE DE CUADROS

CUADRO Nº 3.1.8.1.DATOS DE TERREMOTOS DE MAGNITUD SUPERIOR A 7.0 OCURRIDOS EN LA ZONA .....	11
---	----

## ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA Nº 3.1.8.1. ÁREAS DE PELIGROS VOLCÁNICOS EN CHILE.....	3
FIGURA Nº 3.1.8.2. PLACAS TECTÓNICAS ASOCIADAS A CHILE .....	4
FIGURA Nº 3.1.8.3. VELOCIDAD DE MOVIMIENTO DE LA CORTEZA Y EL ERROR DE LA ESTIMACIÓN .....	5
FIGURA Nº 3.1.8.4. CORTE DE LA SUBDUCCIÓN CHILENA EN EL PARALELO 29.8°S .....	6
FIGURA Nº 3.1.8.5. PROBABILIDADES DE QUE OCURRA UN TERREMOTO DE MAGNITUD SUPERIOR A 7.0-7.5 PARA EL PERÍODO COMPRENDIDO ENTRE 2004-2024.....	7
FIGURA Nº 3.1.8.6. ESTIMACIÓN DEL RIESGO SÍSMICO ELABORADO POR EL PROGRAMA GSHAP .....	8
FIGURA Nº 3.1.8.7. ESTUDIOS DE RIESGO SÍSMICO PROBABILÍSTICOS HECHOS A NIVEL NACIONAL .....	9
FIGURA Nº 3.1.8.8. GRANDES TERREMOTOS INTERPLACA TIPO THRUST.....	10
FIGURA Nº 3.1.8.9. EVENTOS HISTÓRICOS CON EPICENTROS CERCANOS AL EMPLAZAMIENTO DEL PROYECTO .....	11
FIGURA Nº 3.1.8.10 ZONA AFECTADA POR FLUJOS DE DETRITUS LOCALIDAD DE NUEVA TALCUNA Y MARQUESA .....	14
FIGURA Nº 3.1.8.11 ZONA AFECTADA POR FLUJOS DE DETRITUS SECTOR NUEVA TALCUNA...	15
FIGURA Nº 3.1.8.12 ZONA AFECTADA POR FLUJOS DE DETRITUS SECTOR MARQUESA .....	16
FIGURA Nº 3.1.8.13 ZONA AFECTADA POR FLUJOS DE DETRITUS LOCALIDAD DE VIÑITA .....	16

### **3. LÍNEA DE BASE**

#### **3.1. Medio Físico**

##### **3.1.8. Riesgos Geológicos y Geomorfológicos**

###### **3.1.8.1. Introducción**

De acuerdo a lo establecido en la Ley N° 19.300 y en el Artículo 18, literal e.1) del Decreto Supremo N° 40/2012 “Reglamento del Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental” del Ministerio del Medio Ambiente, la presente sección da cuenta de los antecedentes que caracterizan la línea de base de Riesgos Geológicos y Geomorfológicos en el área de influencia del Proyecto “Proyecto Minero Arqueros” (en adelante el Proyecto), el cual se emplaza en la Región de Coquimbo, Comunas La Serena y Vicuña.

Los riesgos geológicos y geomorfológicos tienen su origen en interacciones que se llevan a cabo en el terreno de manera temporal o permanente, éstos pueden tener consecuencias en la población, medio construido y/o recursos naturales. Dichos riesgos son producto de la acción de la gravedad y otros factores de origen natural como la dinámica meteorológica, geomorfológica, hidrológica, sísmica y/o volcánica, por tanto, a partir de estos factores se hace posible clasificar como zonas de riesgo a un determinado espacio geográfico.

###### **3.1.8.2. Área de influencia**

El área de influencia del componente Riesgos Geológicos y Geomorfológicos, corresponde al espacio geográfico donde se desarrollan las partes, obras y acciones del Proyecto, identificando por tanto áreas de riesgo definidos asociadas a su emplazamiento.

Es importante señalar que, el levantamiento de información de la línea de base para este componente, abarcó una escala de análisis mayor, según el tipo de riesgo, a fin de verificar si el Proyecto se encuentra o no próximo a algún área de riesgo definida.

En el Capítulo 2 “Determinación y Justificación del Área de Influencia” del presente EIA, se presentan mayores antecedentes del área de influencia delimitada para este componente ambiental.

###### **3.1.8.3. Metodología**

La metodología se basa en la recopilación y antecedentes bibliográficos, principalmente de instrumentos de planificación territorial y mapas de zonas de riesgo, considerando además la ubicación del Proyecto y las condiciones del sitio.

Considerando lo anterior y la ubicación del Proyecto, a continuación, se describen los tipos de riesgos que podrían estar presente en el Proyecto:

- **Riesgos Volcánicos:** Comprende una revisión bibliográfica respecto de la ubicación de los cuerpos volcánicos conocidos y sus zonas de peligro, de acuerdo a zonas de riesgo definidas por SERNAGEOMIN.
- **Riesgos Sísmicos:** Comprende una revisión bibliográfica respecto de la ocurrencia de sismos y su categorización en base a fuentes de información secundaria, en base a la información asociada al Estudio de Riesgo Sísmico para el Proyecto Minero Arqueros.
- **Riesgos de Tsunami e Inundación:** Comprende el análisis respecto de la ocurrencia de tsunamis, desarrollado en el mapa de Peligro de Inundación por Tsunami de La Serena, junto con información recopilada de años recientes como del SHOA. Se consultan además mapas de riesgo de inundación definidos para la Región y su relación con la ubicación del Proyecto.
- **Riesgos de Remoción en Masa:** Para determinar la relación del Proyecto con riesgos de remoción en masa, se consultan mapas de áreas de riesgo establecidas por SERNAGEOMIN, asociados a flujos de detritos ocurridos por el evento meteorológico del año 2015, y su ocurrencia particularmente asociado a la quebrada Marquesa.

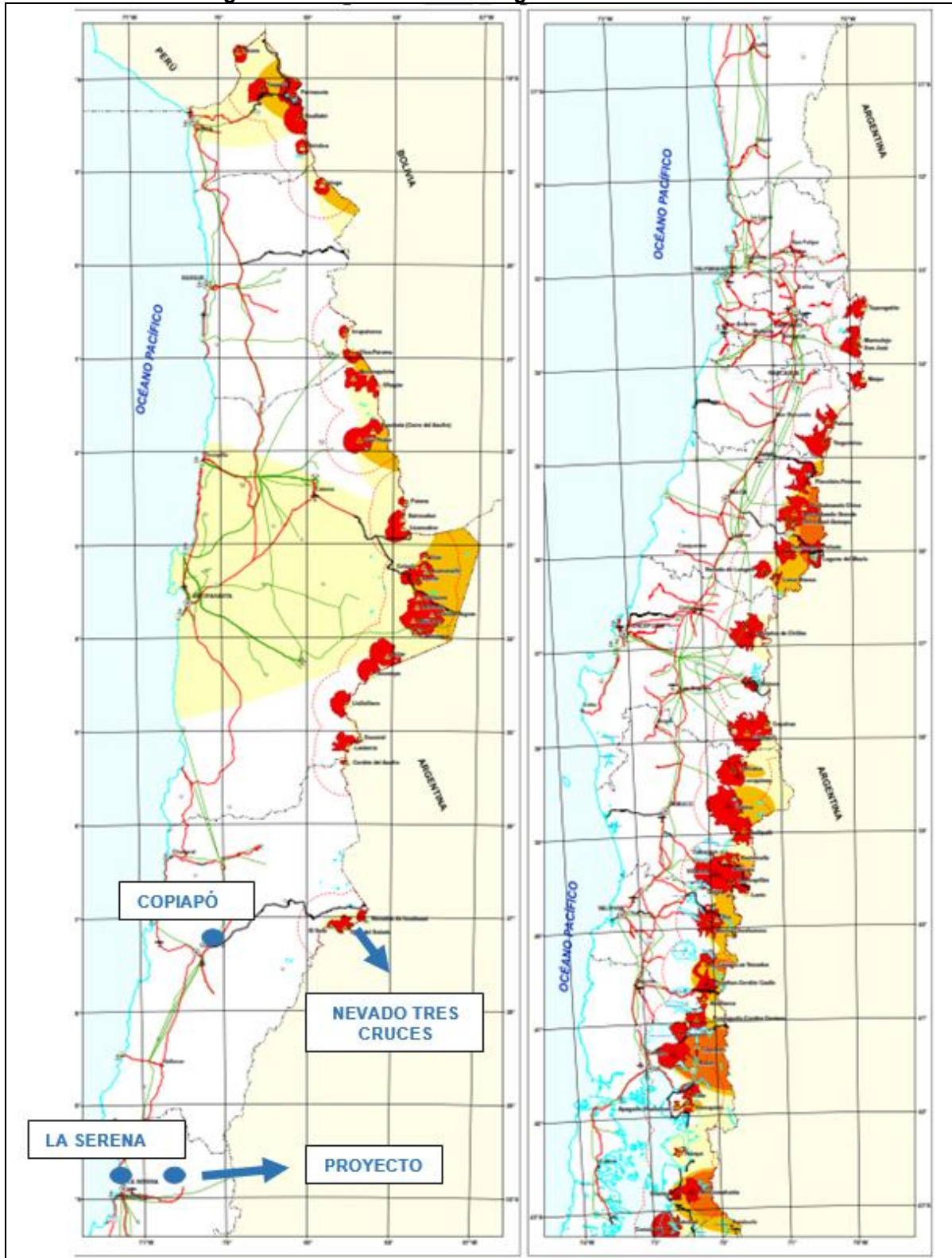
#### 3.1.8.4. Resultados

##### A. Riesgos Volcánicos

Chile se ubica en el llamado Cinturón o Anillo de fuego del Pacífico, la cual corresponde a una línea imaginaria que delimita la zona del planeta más sensible a los sismos y erupciones volcánicas, por estar ubicados justo sobre la unión de las placas tectónicas. En el caso de Chile, éste se sitúa justo sobre el límite convergente entre las placas de Nazca y Sudamericana, las que cada cierto tiempo liberan energía al reacomodarse.

A pesar de esto, no todas las zonas que forman parte de esta línea son igual de activas que otras, y de acuerdo a la información disponible en la base de datos del SERNAGEOMIN, en la Región de Coquimbo no se reconocen volcanes activos, encontrándose el más cercano el Volcán Nevado Tres Cruces, en la Región de Atacama, a 360 km de distancia, al norte del Proyecto, por lo que se define que no existe riesgo volcánico para el área de emplazamiento del Proyecto.

Figura Nº 3.1.8.1. Áreas de Peligros Volcánicos en Chile

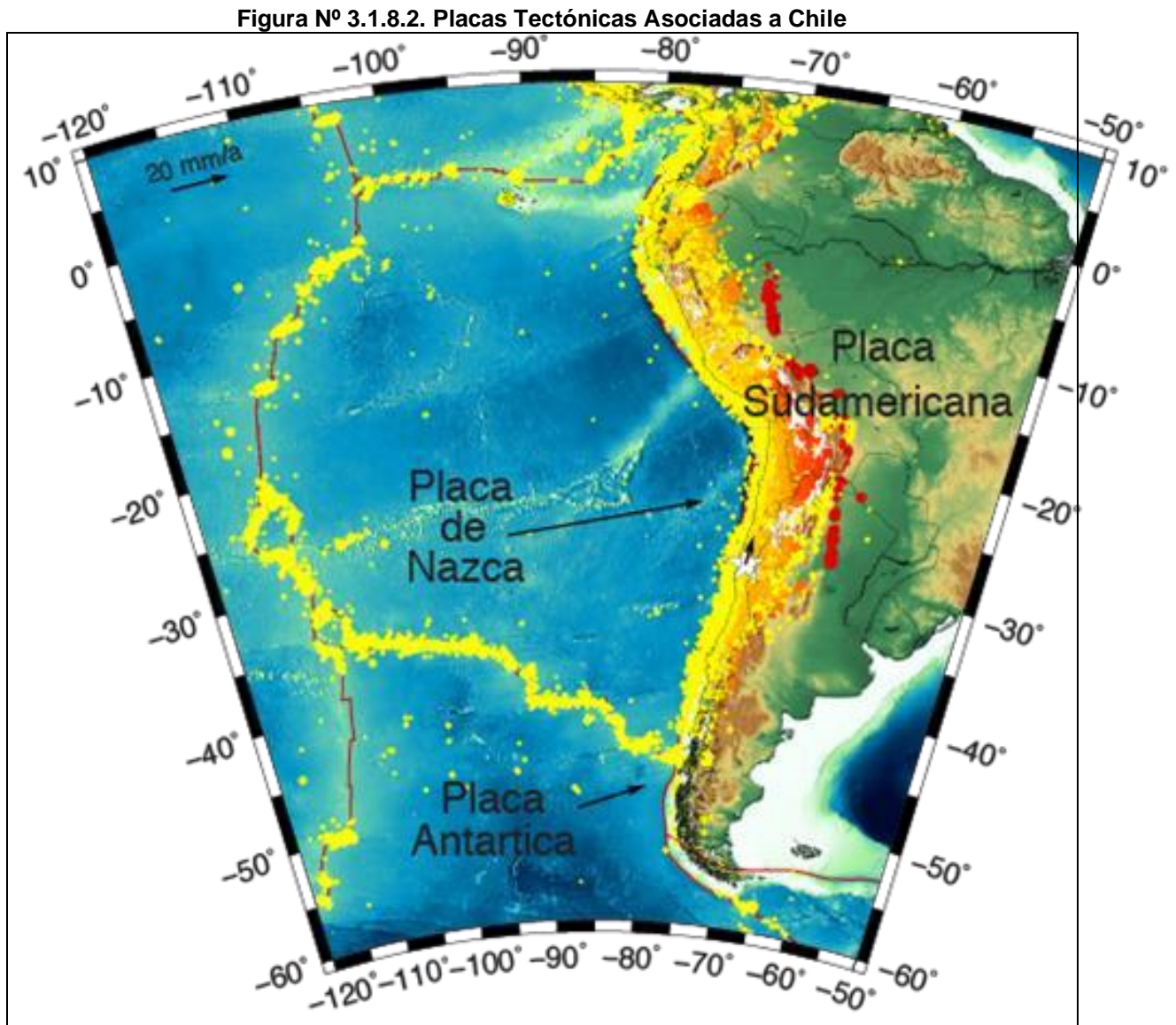


Fuente: Mapa peligros volcánicos de Chile, SERNAGEOMIN 2011.

## B. Riesgos Sísmicos

El Proyecto se encuentra localizado sobre la convergencia de las placas más importantes a. nivel nacional, la placa de Nazca (de origen oceánico) que se sumerge bajo la placa Sudamericana (de origen continental).

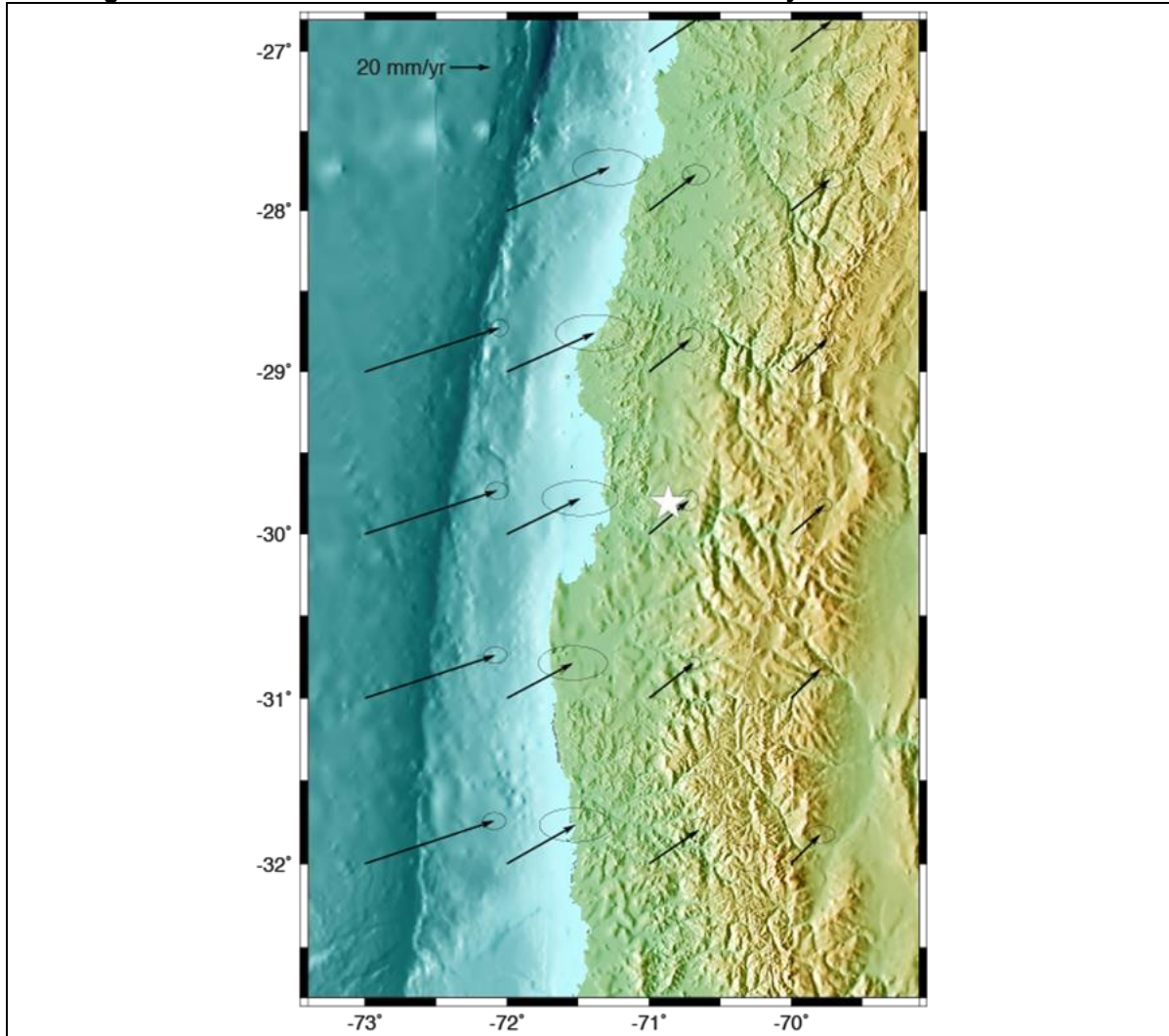
En la siguiente Figura, se presentan los riesgos sísmicos según la ubicación del Proyecto, donde las flechas reflejan el movimiento de las placas.



La localización aproximada del Proyecto se presenta con una estrella blanca.  
Las flechas indican el movimiento de las placas (<http://www.unavco.org/software/geodetic-utilities/plate-motion-calculator/plate-motion-calculator.html>).  
Fuente: Estudio de Riesgo Sísmico para el Proyecto Arqueros.

El emplazamiento del Proyecto, aproximadamente en 29.81°S, 70.86°W, se presenta en forma referencial con una estrella blanca en la siguiente Figura, donde se observan las estimaciones de la velocidad de la corteza, restringida a no tener rotación neta (Kreemer y otros, 2000, 2003); aquí, las flechas son proporcionales a la velocidad (ver escala en borde superior izquierdo), las cuales reafirman la convergencia de las placas. Este proceso es el principal causante de la alta sismicidad observada en casi todo el oeste del continente Sudamericano.

**Figura N° 3.1.8.3. Velocidad de Movimiento de la Corteza y el Error de la Estimación**

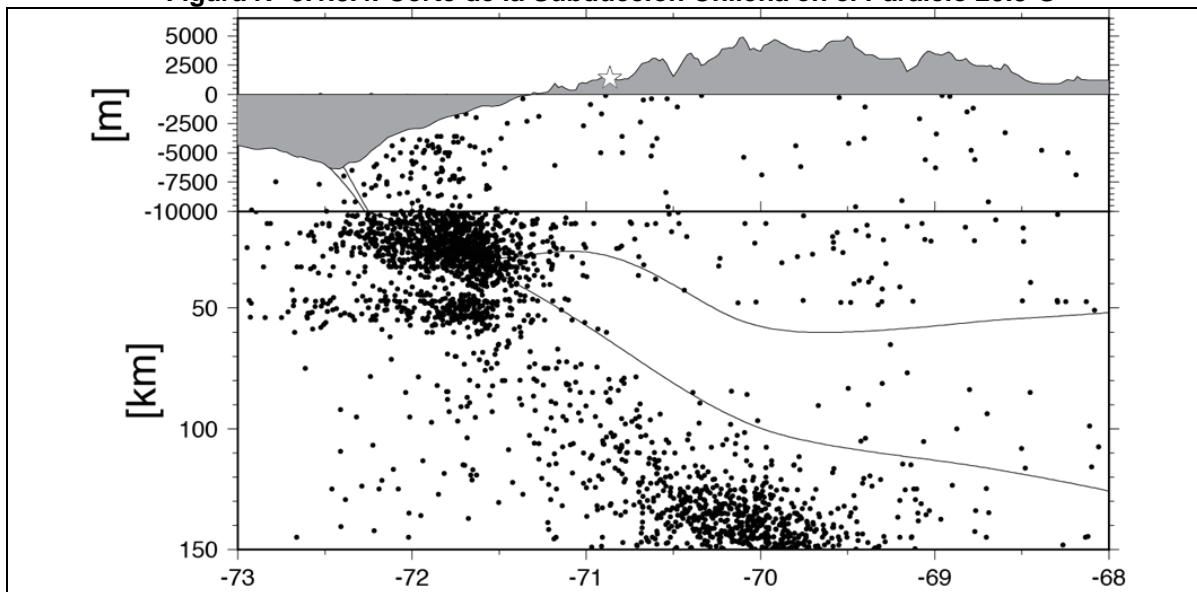


Mapa topográfico regional que muestra la velocidad de movimiento de la corteza (flechas) y el error de la estimación (elipses) (Kreemer y otros, 2000, 2003); la escala se presenta en el borde superior izquierdo. La localización del Proyecto se presenta con una estrella blanca.

Fuente: Estudio de Riesgo Sísmico para el Proyecto Arqueros, 2019.

Un corte Este-Oeste a la altura de la localidad en estudio, se presenta en la Figura N° 3.1.8.4., donde se observa la interacción entre las placas de Nazca y Sudamericana. En ella también se han graficado los sismos registrados en la zona de estudio: en el contacto entre ellas se encuentran los terremotos interplaca tipo thrust (falla inversa de bajo ángulo), los cuales se caracterizan por ocurrir en la zona costera; en el interior de la placa de Nazca ocurren terremotos de tipo intraplaca de profundidad intermedia, con hipocentros bajo el continente; mientras que los sismos más superficiales ocurren dentro de la placa Sudamericana (corticales, con profundidades < 25 km). Cabe destacar la escasa sismicidad detectada en la zona de estudio prevaleciendo, en esta Figura, la sismicidad cortical, pero, tal como se verá posteriormente, gran parte de esta sismicidad se haya reportada lejos de la zona del proyecto. Actualmente, se estima la velocidad de convergencia en 63.0 mm/yr (Khazaradze & Klotz, 2003) produciendo la colisión entre las placas de Nazca y Sudamericana, y luego la subducción de la primera bajo la segunda.

**Figura N° 3.1.8.4. Corte de la Subducción Chilena en el Paralelo 29.8°S**

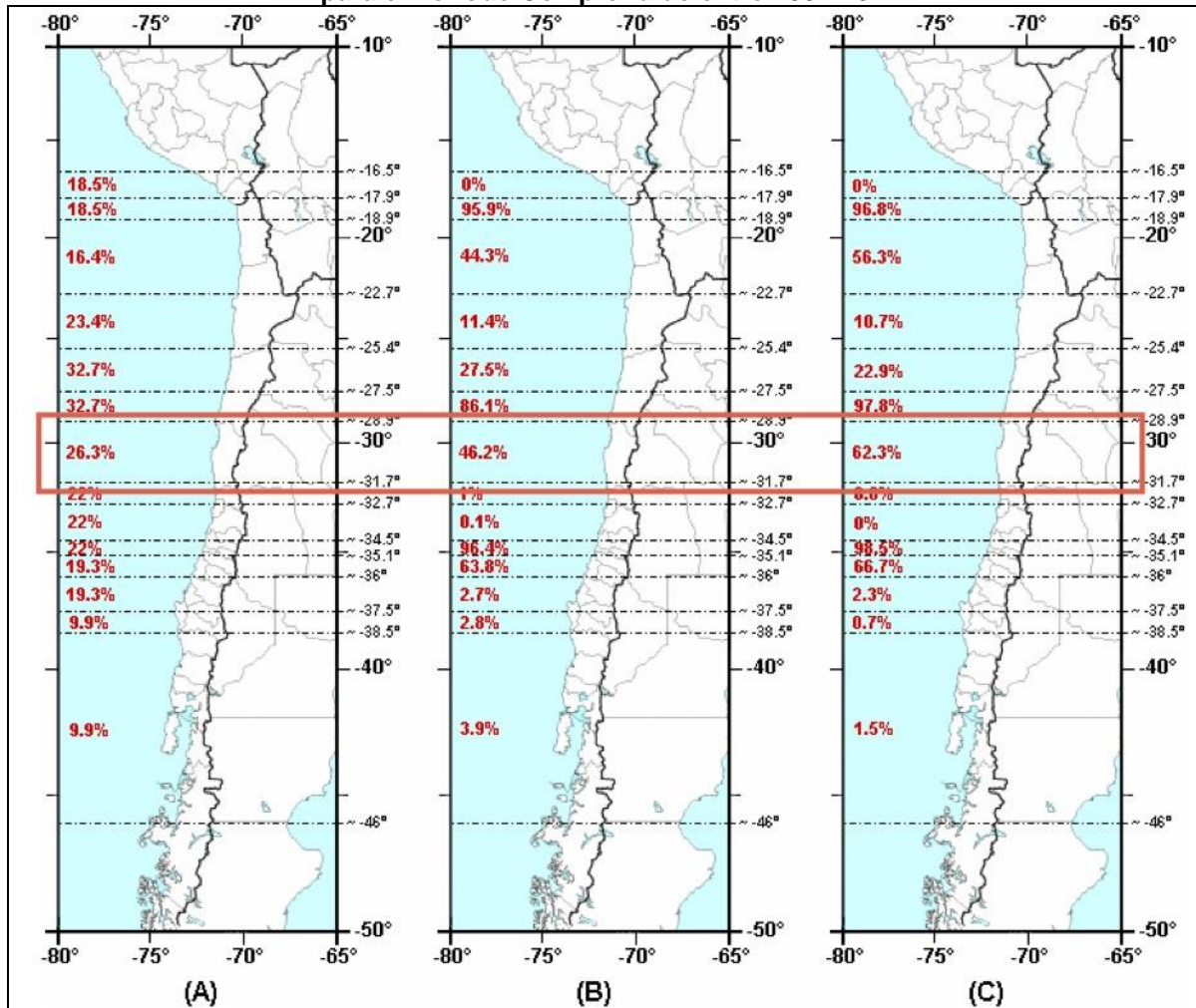


Corte de la subducción chilena en el paralelo 29.8°S donde se ha marcado la posición del borde superior de la placa subductante (Nazca) y la inferior de la placa Sudamericana; en puntos negros los sismos registrados en la zona de estudio; la estrella marca la posición del sitio en estudio, aproximadamente.

Fuente: Estudio de Riesgo Sísmico para el Proyecto Arqueros, 2019.

En Chile se han desarrollado varias investigaciones que estiman el riesgo sísmico a diversas escalas. En primer lugar se muestran los resultados obtenidos por Susa (2004) en los cuales se estimó la probabilidad de ocurrencia de un terremoto de magnitud importante (sobre 7.0-7.5) en diversas regiones del país (ver siguiente Figura) dentro de un determinado rango de tiempo. Para la zona en estudio se tiene un rango entre 25% al 65%, dependiendo del modelo probabilístico considerado, presentando posibilidades relativamente altas de ocurrencia; sin embargo, dichos cálculos no consideran la ocurrencia del terremoto de Illapel 2015. Luego, es razonable pensar que estos valores deben haber disminuido.

**Figura N° 3.1.8.5. Probabilidades de que Ocurra un Terremoto de Magnitud Superior a 7.0-7.5 para el Período Comprendido entre 2004-2024**

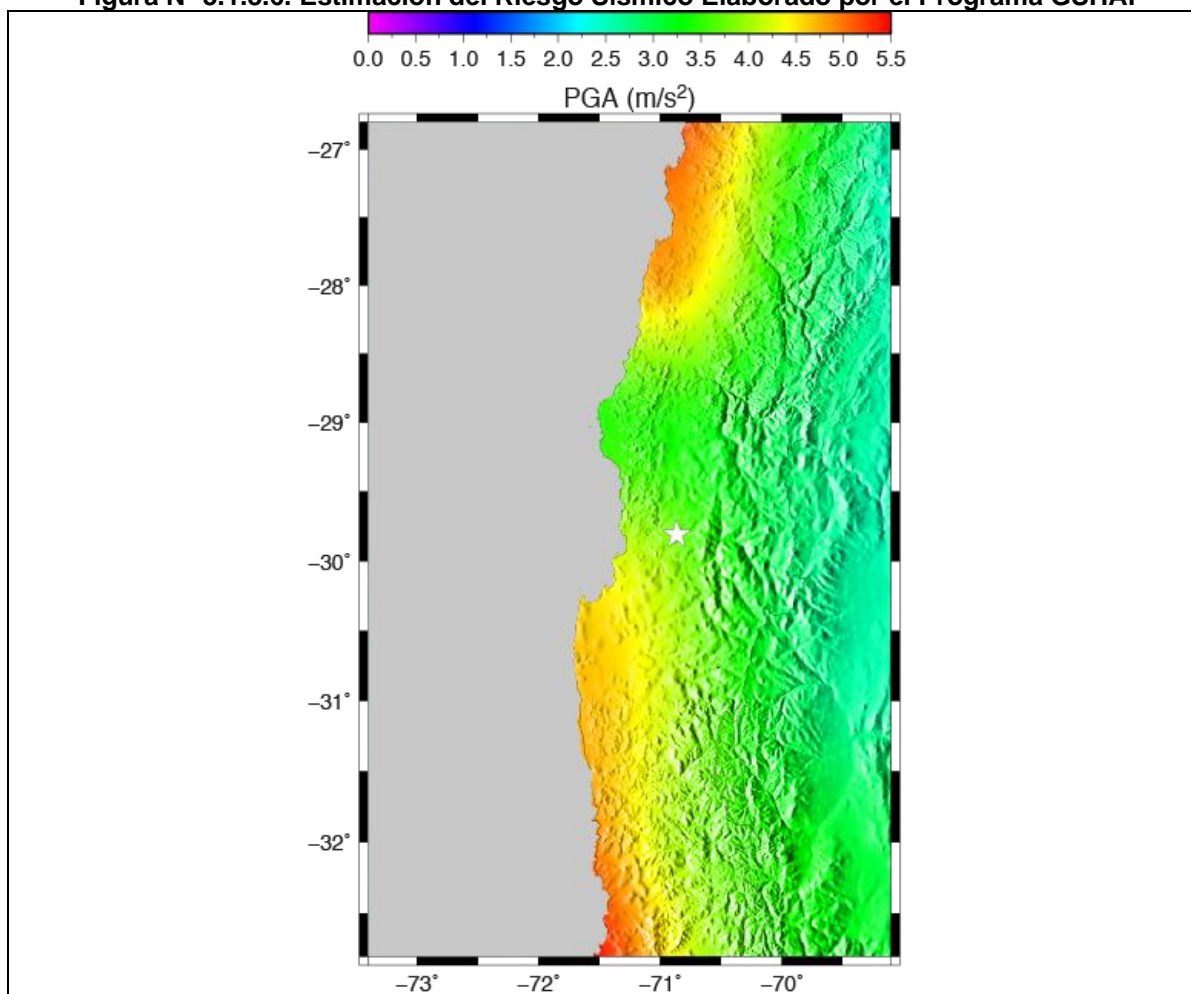


Para su determinación, se consideraron las siguientes distribuciones: (A) Poisson, (B) Weibull, determinada mediante mínimos cuadrados, y (C) Weibull, determinada mediante máxima verosimilitud (Susa, 2004).

Fuente: Estudio de Riesgo Sísmico para el Proyecto Arqueros, 2019.

Por otro lado, el proyecto Global Seismic Hazard Assessment Program (GSHAP) (Giardini y otros, 1992) desarrollado entre 1992 y 1999, tuvo como objetivo elaborar un mapa a escala global del riesgo sísmico. Por ello, se estimó la aceleración máxima en la horizontal para un plazo de vida útil de 50 años considerando un 10% de probabilidad de excedencia (equivalente a un período de retorno de 475 años). Los resultados obtenidos para el área en el que se emplaza el Proyecto se presentan en la siguiente Figura (ver detalles en texto de la Figura).



**Figura N° 3.1.8.6. Estimación del Riesgo Sísmico Elaborado por el Programa GSHAP**

Estimación del riesgo sísmico elaborado por el programa GSHAP (Giardini y otros, 1992). El color presenta la aceleración máxima (en m/s<sup>2</sup>) en la componente horizontal que tiene un 10% de probabilidad de ser excedido en 50 años (ver escala en el borde superior). La estrella blanca marca la posición del sitio estudiado.

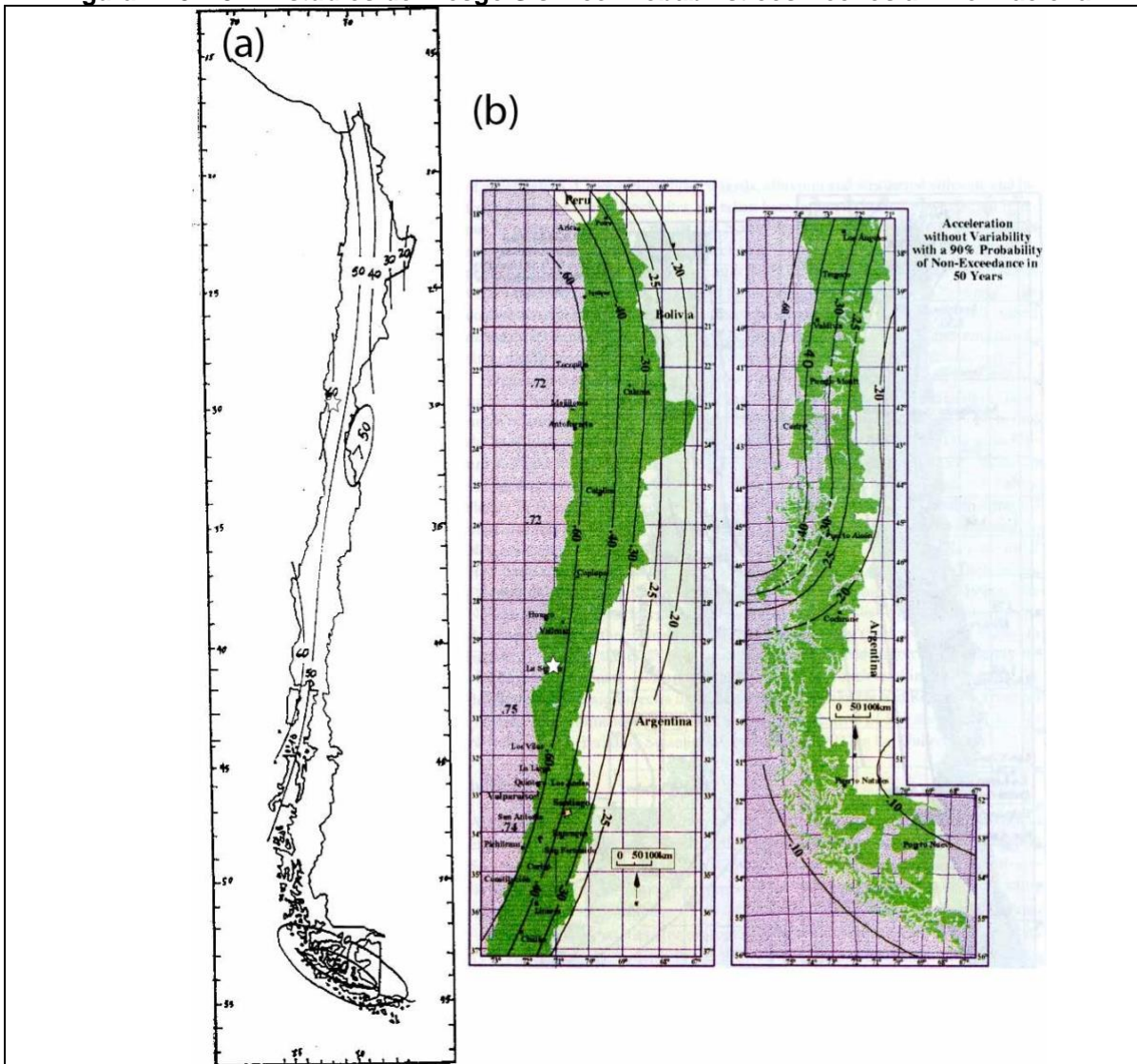
Fuente: Estudio de Riesgo Sísmico para el Proyecto Arqueros, 2019.

Para la zona de estudio, se tiene una aceleración máxima en la horizontal de 3.378 m/s<sup>2</sup> (38.5% g) para el período de retorno de 475 años. Cabe destacar que en el trabajo desarrollado por Giardini y otros (1992) no se mencionan estimaciones del error que este valor posee.

A nivel nacional se han desarrollado una serie de estudios que estiman el riesgo sísmico de manera probabilística. Entre ellos, se destacan los desarrollados por Martín (1990) y Algermissen y otros (1992) los cuales se caracterizan por estar fuertemente influenciados por los registros obtenidos después del terremoto de Valparaíso de 1985; ambos estudios consideran las fuentes sismogénicas interplaca tipo thrust e intraplaca de profundidad intermedia por separado. Martín (1990) define una ley de atenuación que todos los eventos registrados hasta ese momento, sin separar aquellos de tipo interplaca de los

intraplaca de profundidad intermedia. Por su parte, Algermissen y otros (1992) considera la ley de atenuación definida por Martin (1990) y, para las fuentes sismogénicas, este estudio define 16 fuentes planares que representan el contacto sismogénico, al igual que otras que incluyen las fuentes intraplaca de profundidad somera (fuentes corticales). Los resultados se presentan en la siguiente Figura, ambos para un periodo de retorno de 475 años.

**Figura Nº 3.1.8.7. Estudios de Riesgo Sísmico Probabilísticos Hechos a Nivel Nacional**



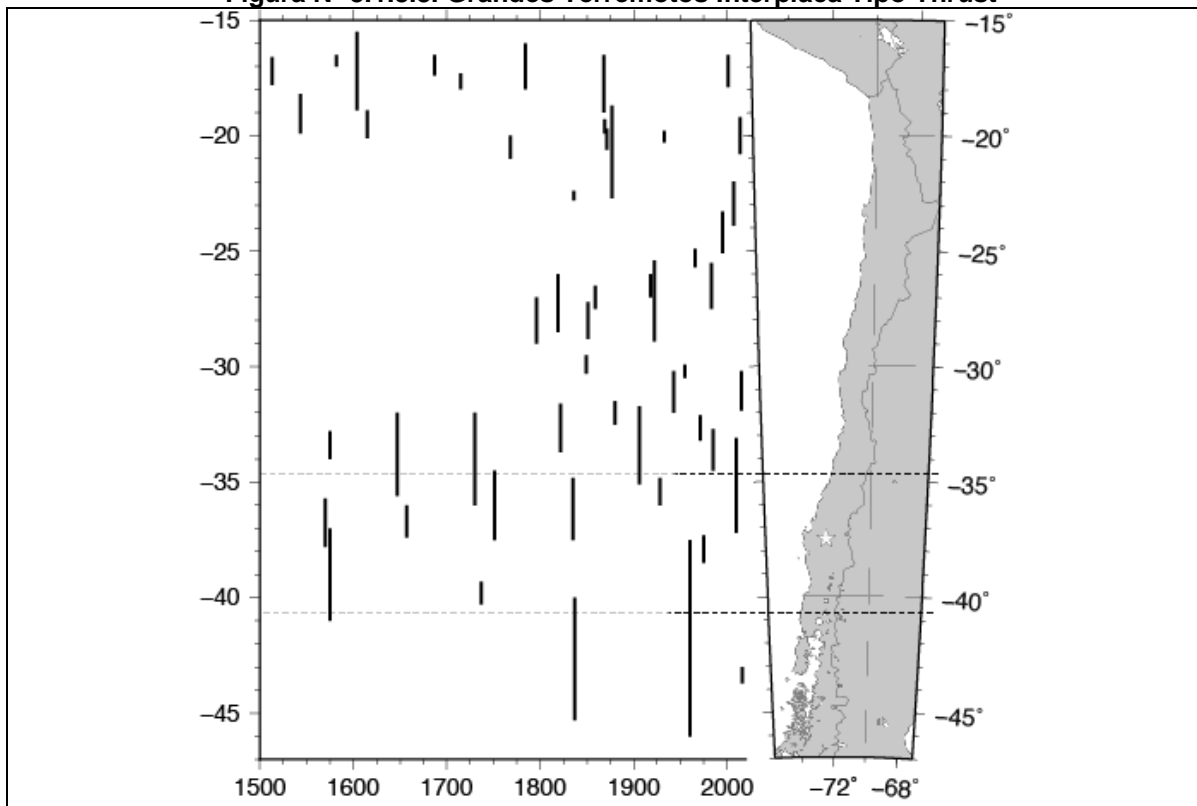
Estudios de riesgo sísmico probabilísticos hechos a nivel nacional: (a) Martin (1990) y (b) Algermissen y otros (1992). La estrella marca la posición del lugar en estudio.  
Fuente: Estudio de Riesgo Sísmico para el Proyecto Arqueros, 2019.

De estos estudios es posible ver que se estiman aceleraciones horizontales máximas de 56% y 65% de g, en los estudios de Martin (1990) y Algermissen y otros (1992), para un periodo de retorno de 475 años.

Sismo históricos en la zona de estudio

La zona donde se ubica el proyecto posee antecedentes históricos de grandes terremotos interplaca tipo thrust (terremotos de 1796, 1849, 1918, 1922 y 1943), los cuales se muestran en la siguiente Figura. Estos antecedentes son complementados con registros de grandes eventos de este tipo ocurridos en esta y otras zonas del país.

**Figura Nº 3.1.8.8. Grandes Terremotos Interplaca Tipo Thrust**

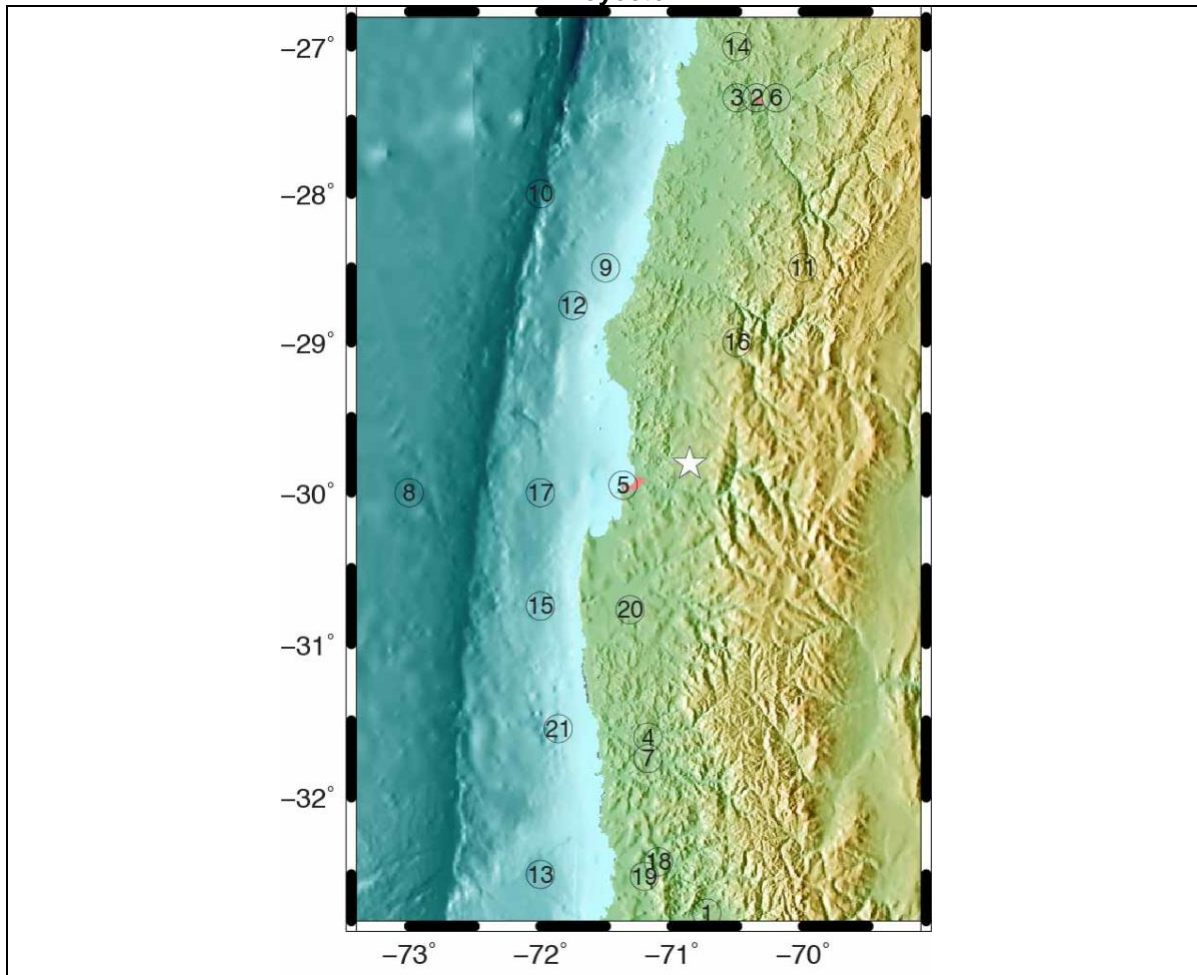


Grandes terremotos interplaca tipo thrust (falla inversa de bajo ángulo), observados a lo largo de la costa de Chile y sur del Perú (modificada de Susa, 2004), donde destacan la secuencia de eventos del lugar en estudio. Las barras verticales representan la estimación del largo de ruptura de cada evento.

Fuente: Estudio de Riesgo Sísmico para el Proyecto Arqueros, 2019.

En la siguiente Figura se grafica la posición de Eventos históricos con epicentros cercanos al emplazamiento del Proyecto.

**Figura N° 3.1.8.9. Eventos Históricos con Epicentros Cercanos al Emplazamiento del Proyecto**



Mapa topográfico con los eventos históricos con epicentros cercanos, de magnitud superior a 7.0 ocurridos cercanos al emplazamiento del Proyecto, desde 1687. El tamaño es proporcional a la magnitud y el número corresponde al terremoto del siguiente Cuadro.

Fuente: Estudio de Riesgo Sísmico para el Proyecto Arqueros, 2019.

El siguiente Cuadro indica los terremotos señalados en la Figura precedente.

**Cuadro N° 3.1.8.1. Datos de Terremotos de Magnitud Superior a 7.0 Ocurridos en la Zona**

EVENTO	FECHA LOCAL	HORA LOCAL	LATITUD	LONGITUD	MS	MW	PROFUNDIDAD [KM]
1	12/07/1687	2:00	-32.75	-70.73	7.3	-	-
2	30/03/1796	6:45	-27.35	-70.35	7.7	-	-
3	11/04/1819	10:00	-27.35	-70.35	8.3	-	-
4	08/10/1847	11:30	-31.61	-71.18	7.3	-	-
5	17/12/1849	6:00	-29.95	-71.37	7.5	-	-
6	05/10/1859	8:00	-27.35	-70.35	7.6	-	-
7	15/08/1880	8:48	-31.62	-71.18	7.7	-	-

EVENTO	FECHA LOCAL	HORA LOCAL	LATITUD	LONGITUD	MS	MW	PROFUNDIDAD [KM]
8	14/02/1917	20:48	-30.00	-73.00	7.0	-	-
9	20/05/1918	12:57	-28.50	-71.50	7.9	-	-
10	07/11/1922	19:00	-28.00	-72.00	7.0	-	-
11	10/11/1922	23:53	-28.50	-70.00	8.4	8.5	25
12	04/05/1923	17:47	-28.75	-71.75	7.0	-	60
13	18/03/1931	4:02	-32.50	-72.00	7.1	-	-
14	18/04/1939	2:22	-27.00	-70.50	7.4	-	100
15	06/04/1943	12:07	-30.75	-72.00	8.3	8.2	55
16	08/02/1954	-	-29.00	-70.50	7.7	-	-
17	19/04/1955	16:24	-30.00	-72.00	7.1	-	-
18	28/03/1965	12:33	-32.42	-71.10	7.4	-	68
19	08/07/1971	23:03	-32.51	-71.21	7.5	-	40
20	14/10/1997	22:03	-30.77	-71.32	-	7.1	56
21	16/09/2015	19:54	-31.55	-71.86	-	8.4	11

Fuente: Estudio de Riesgo Sísmico para el Proyecto Arqueros, 2019.

### C. Riesgo de Tsunami e inundación

Encontrándose a 40 km de la línea de costa, el Proyecto no presenta peligro de inundación por Tsunami, ya que, de acuerdo al mapa de peligro para la zona de La Serena de SERNAGEOMIN, este no se extiende más allá de 1 km de la línea costera, lo cual coincide con la Carta de Inundación de Tsunami del sector Coquimbo-La Serena por el SHOA.

Sin embargo, debido a que parte del Proyecto se encuentra en el valle del Río Elqui, en particular la obra de captación (bocatoma) y partes de las obras lineales, existe riesgo de inundación por aumento del nivel del río.

Las inundaciones pueden ocurrir como resultado de lluvias intensas que terminan sobrepasando la capacidad de retención de los suelos y cauces. Al respecto, se revisaron los mapas e informes de zonas de riesgo elaborados por SERNAGEOMIN en consideración del efecto meteorológico del 24 y 25 de marzo de 2015, considerando las ubicación de la bocatoma del Proyecto en el cauce del río Elqui. Conforme a estos antecedentes, no se definen zonas de riesgo de inundación u ocurrencia de flujos de detritos en el sector de emplazamiento de la bocatoma. Sin embargo, se definen zonas afectadas por flujos de detritos en sectores asociados al Proyecto en relación a la quebrada Marquesa, los cuales se indican en el acápite de riesgo de remoción en masa.

### D. Riesgo de remoción en masa

Como el Proyecto se ubica entre cerros, colinas y quebradas, en particular la quebrada Marquesa, los riesgos geomorfológicos más relevantes son los de deslizamientos de tierra, los cuales pueden ocurrir por diferentes factores, como sismicidad y fuertes precipitaciones. Estas generan una disminución en la resistencia del suelo, lo que produce

desplazamientos o fallas del terreno, y por procesos en cadena se generan remociones en masa. Según Golubev (1969) en esta región se darían las 3 condiciones para generar remociones en masa: material detrítico, chubascos ocasionales torrenciales y laderas de más de 25% de pendiente.

Efectivamente, el 2015 ocurrió un evento meteorológico que consistió de una serie de aluviones que avanzaron por el valle del Río Elqui y las quebradas que caen a este, de manera que varios puntos del valle fueron afectados por flujo de detritos.

De acuerdo al reporte del SERNAGEOMIN, entre los puntos que fueron afectados por el flujo de detritos, se indican sectores asociados a la quebrada Marquesa por la cual se emplazará parte del trazado del ducto de agua y la de línea de transmisión eléctrica del Proyecto.

De esta manera, se definieron zonas afectadas para sectores asociados a las localidades de Nueva Talcuna, Marquesa y Viñita, emplazadas en la quebrada Marquesa. Al respecto, el emplazamiento de las obras del Proyecto no se relaciona con la quebrada Marquesa en el sector de la localidad de Viñita, sin embargo, por el sector de Nueva Talcuna y Marquesa, se emplazará parte del trazado del ducto de agua y la de línea de transmisión eléctrica del Proyecto.

La siguiente Figura muestra las áreas afectadas y área de evacuación propuestas por SERNAGEOMIN en el sector de la localidad de Nueva Talcuna y Marquesa.

**Figura N° 3.1.8.10 Zona Afectada por Flujos de Detritos Localidad de Nueva Talcuna y Marquesa**



Fuente: SERNAGEOMIN, 2015.

En este sector, las zonas afectadas corresponden al desborde del cauce de la quebrada Marquesa, afectando a las localidades de Nueva Talcuna y Marquesa. El flujo presenta poco espesor (20cm) debido a que no se canalizó por un lugar determinado, sino que ocupó todo el ancho del valle para trasladarse. Por lo anterior, varias viviendas ubicadas en el borde de la quebrada fueron afectadas por la inundación del flujo. Con respecto a la granulometría, no es posible establecer patrones representativos de la remoción. Los flujos que alcanzaron dominios más alejados del cauce central presentaban granulometría muy fina, comportándose como flujos de barro (SERNAGEOMIN, 2015).

**Figura N° 3.1.8.11 Zona Afectada por Flujos de Detritus Sector Nueva Talcuna**

Sector de Nueva Talcuna. Arriba, crecida detrítica y desborde de la quebrada Marquesa (tomada en terreno). Abajo, pre eventos meteorológicos de marzo 2015 (tomada desde Street View, Google Earth).

Fuente: SERNAGEOMIN, 2015.



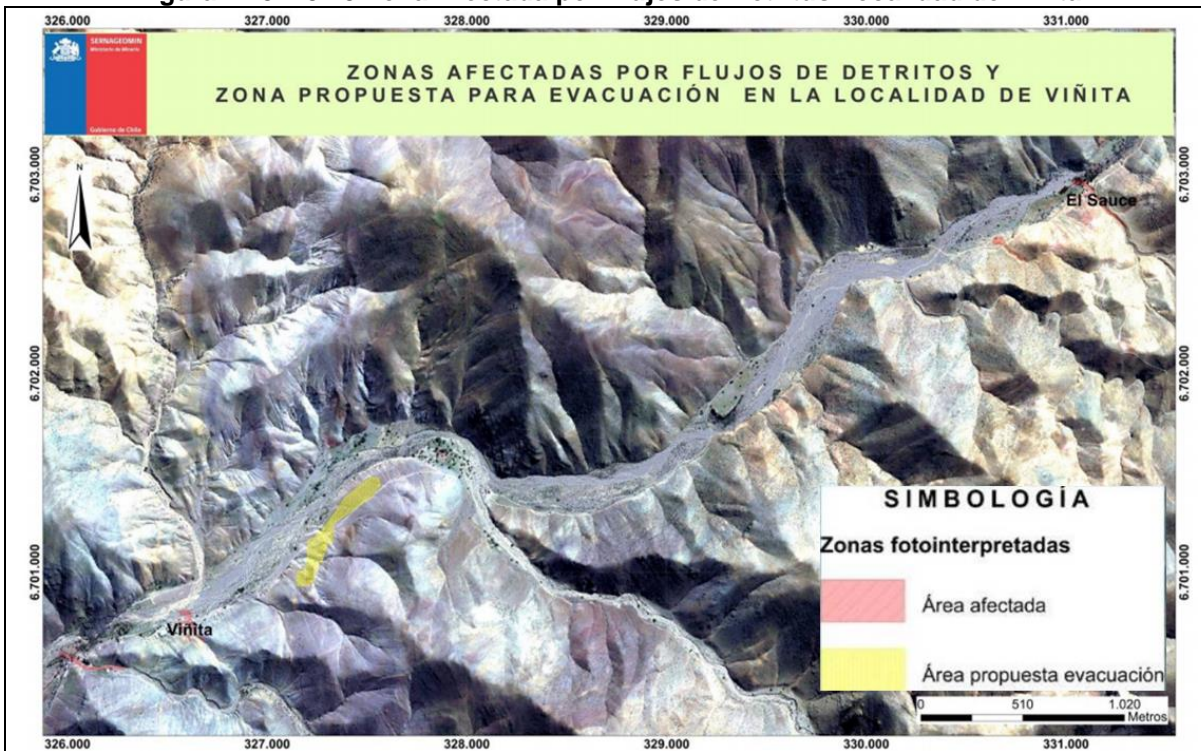
**Figura N° 3.1.8.12 Zona Afectada por Flujos de Detritus Sector Marquesa**



Fuente: SERNAGEOMIN, 2015.

Por su parte, la siguiente Figura presenta las áreas afectadas y área de evacuación propuestas por SERNAGEOMIN en el sector de la localidad de Viñita. Cabe señalar que estas áreas se encuentran 5 km al noroeste del acceso desde la ruta D-215 desde la quebrada Marquesa hacia el área del Proyecto. Asociado a este sector, no hay emplazamiento de obras del Proyecto, sin embargo la ruta D-215 será empleada como ruta de acceso.

**Figura N° 3.1.8.13 Zona Afectada por Flujos de Detritus Localidad de Viñita**



Fuente: SERNAGEOMIN, 2015.

Cabe señalar que el emplazamiento de alrededor de 7,5 km del trazado del ducto de agua y de la línea de transmisión eléctrica se asocian espacialmente con la quebrada Marquesa.

### **3.1.8.5. Conclusión**

Para el componente Riesgos Geológicos y Geomorfológicos se determinó que no existe riesgo volcánico en la zona del Proyecto, dada su lejanía a cualquier cuerpo volcánico y áreas de riesgo relacionadas. Por su parte, se han detectado sismos cercanos al Proyecto, y el país en general presenta riesgo sísmico, lo que es considerado en el diseño de las obras del Proyecto.

Para el riesgo de inundación y considerando el evento meteorológico de marzo de 2015, conforme a los mapas de riesgo definidos por SERNAGEOMIN, para el cauce del río Elqui no se observaron sectores afectados por inundación ni por flujo de detritos en el cauce del río Elqui en el sector de emplazamiento de la bocatoma del Proyecto, cuyo emplazamiento se asocia al cauce del río Elqui y se encuentra unos 800 metros aguas arriba de la conjunción de la quebrada Marquesa con dicho río.

En cuanto al componente riesgo de remoción en masa, considerando el evento meteorológico de marzo de 2015, se han definido por parte de SERNAGEOMIN sectores asociados a flujos de detritos en la quebrada Marquesa, siendo que parte del trazado de la tubería de aducción de agua y de la línea de transmisión eléctrica del Proyecto se relacionan espacialmente con esta quebrada. Al respecto, tras este evento meteorológico, se observaron flujos de detritos asociados al sector de Nueva Talcuna y Marquesa.

### 3.1.8.6. Bibliografía

ICASS. 2018. Estudio de Riesgo Sísmico para el Proyecto Arqueros.

ALGERMISSEN, S.T., KAUSEL, E., HANSON, S. & Thenhaus (1992) Earthquake Hazard in Chile, *Rev. Geofísica*, 37, pp 195-218.

GIARDINI, D., P. BASHAM, & M. BERRY (1992), The global seismic hazard assessment program, *Eos Trans. AGU*, 73(48), 518.

GOLUBEV, G. 1969. Avalanchas y corrientes de barro en Chile. *Revista Informaciones Geográficas* 17:31-74.

KHAZARADZE, G. & KLOTZ, (2003) Short and long-term effects of GPS measured crustal deformation rates along the South-Central Andes, *Journ. Geophys. Res.*, 108(B4), doi: 10.1029/2002JB001879, PP 1–13.

KREEMER, C, A.J. HAINES, W.E. HOLT, G. BLEWITT, & D. LAVALÉE (2000) On the determination of a global strain rate model, *Earth Planets Space*, 52, pp 765-770

KREEMER, C., W.E. HOLT & A.J. HAINES (2003) An integrated global model of present-day plate motions and plate boundary deformation, *Geophys. J. Int.*, 154, pp 8-34.

MARTIN, A. (1990). Hacia una nueva regionalización y cálculo del peligro sísmico en Chile. Memoria para optar al título de Ingeniero Civil, Universidad de Chile

SERVICIO NACIONAL DE GEOLOGÍA Y MINERÍA. 2011. Mapa Nacional de Peligros Volcánicos de Chile.

SERVICIO NACIONAL DE GEOLOGÍA Y MINERÍA. 2015. Informes Región de Coquimbo. Efecto geológico del evento meteorológico del 24 y 25 de Marzo de 2015 en la Región de Coquimbo.

SUSA, D (2004). Evaluación del peligro sísmico asociado a sismos de tipo interplaca en Chile y sur del Perú utilizando una distribución bi-paramétrica de Weibull . Memoria para optar al título de Ingeniero Civil, Universidad de Chile

**CAPÍTULO 3.1.9 LÍNEA DE BASE**  
**MEDIO FÍSICO CARACTERIZACIÓN FÍSICO QUÍMICA DEL SUELO**

---

**ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL**  
**PROYECTO MINERO ARQUEROS**  
**CAPÍTULO 3.1.9 LÍNEA DE BASE**  
**MEDIO FÍSICO CARACTERIZACIÓN FÍSICO**  
**QUÍMICA DEL SUELO**

ELABORADO PARA



Av. Andrés Bello 2233, Piso 3, Providencia · Santiago · Chile · Fono (+56) 2 2963 8560 · [www.inercochile.com](http://www.inercochile.com)

**DICIEMBRE DE 2019**

## ÍNDICE DE CONTENIDOS

<b>3. LÍNEA DE BASE.....</b>	<b>1</b>
3.1. MEDIO FÍSICO.....	1
3.1.9. <i>Caracterización de Suelo</i> .....	1
3.1.9.1. Introducción.....	1
3.1.9.2. Área de influencia.....	1
3.1.9.3. Metodología.....	1
3.1.9.4. Resultados.....	4
3.1.9.5. Conclusión.....	39
3.1.9.6. Bibliografía.....	41
3.1.9.7. Apéndice.....	41

## ÍNDICE DE CUADROS

CUADRO Nº 3.1.9.1. ZONAS EDÁFICAS DE CHILE .....	4
CUADRO Nº 3.2 PERFIL 1, CRITERIOS PAUTA PARA ESTUDIO DE SUELOS SAG 2011 (RECTIFICADA) .....	21
CUADRO Nº 3.3 PERFIL 2, CRITERIOS PAUTA PARA ESTUDIO DE SUELOS SAG 2011 (RECTIFICADA).....	25
CUADRO Nº 3.4 PERFIL 3, CRITERIOS PAUTA PARA ESTUDIO DE SUELOS SAG 2011 (RECTIFICADA).....	30
CUADRO Nº 3.5 PERFIL 4, CRITERIOS PAUTA PARA ESTUDIO DE SUELOS SAG 2011 (RECTIFICADA).....	34
CUADRO Nº 3.6 PERFIL 5, CRITERIOS PAUTA PARA ESTUDIO DE SUELOS SAG 2011 (RECTIFICADA).....	38

## ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA Nº 3.1.9.1. ZONAS EDÁFICAS DE CHILE.....	5
FIGURA Nº 3.1.9.2. ÁREA ABARCADA POR ESTUDIO AGROLÓGICO CIREN, COMUNA DE VICUÑA .....	7
FIGURA Nº 3.1.9.3. UBICACIÓN OBRAS DEL PROYECTO Y SECTORES DE ANÁLISIS.....	8
FIGURA Nº 3.1.9.4. VISTA GENERAL SECTOR BOCATOMA.....	9
FIGURA Nº 3.1.9.5. VISTA GENERAL SUELOS SECTOR 0 (S0) .....	10
FIGURA Nº 3.1.9.6. VISTA GENERAL SUELOS SECTOR 1 (S1) .....	11
FIGURA Nº 3.1.9.7. VISTA GENERAL SECTOR QUEBRADA MARQUESA.....	12
FIGURA Nº 3.1.9.8. VISTA GENERAL SECTOR 3 (S3).....	13
FIGURA Nº 3.1.9.9. VISTA GENERAL SECTOR 4 (S4).....	14
FIGURA Nº 3.1.9.10. IMÁGENES REPRESENTATIVAS ÁREAS MINA, PLANTA CONCENTRADORA Y DEPÓSITO DE RELAVES .....	14
FIGURA Nº 3.1.9.11. RANGOS DE PENDIENTE GENERAL ÁREA PROYECTO.....	16
FIGURA Nº 3.1.9.12. RANGOS DE PENDIENTE OBRAS Y PARTES DEL PROYECTO .....	17

FIGURA Nº 3.1.9.13. UBICACIÓN PERFILES DE SUELO DESCRITOS.....	18
FIGURA Nº 3.1.9.14. UBICACIÓN PERFIL DE SUELO DESCRITO S1 .....	19
FIGURA Nº 3.1.9.15. PEDREGOSIDAD SUPERFICIAL ÁREA PERFIL 1 .....	19
FIGURA Nº 3.1.9.16. PERFIL 1 DE SUELO.....	20
FIGURA Nº 3.1.9.17. UBICACIÓN PERFIL 2 DE SUELO DESCRITO, ÁREA MINA.....	23
FIGURA Nº 3.1.9.18. PEDREGOSIDAD SUPERFICIAL ÁREA MINA .....	23
FIGURA Nº 3.1.9.19. PERFIL 2 DE SUELO.....	24
FIGURA Nº 3.1.9.20. VISTA GENERAL SECTOR PLANTA CONCENTRADORA .....	26
FIGURA Nº 3.1.9.21. UBICACIÓN PERFIL 3 DE SUELO DESCRITO ÁREA PLANTA CONCENTRADORA .....	27
FIGURA Nº 3.1.9.22. PEDREGOSIDAD SUPERFICIAL PERFIL DESCRITO ÁREA PLANTA CONCENTRADORA .....	27
FIGURA Nº 3.1.9.23. PERFIL 3 DE SUELO.....	29
FIGURA Nº 3.1.9.24. VISTA GENERAL ÁREA DEPÓSITO DE RELAVES.....	32
FIGURA Nº 3.1.9.25. UBICACIÓN PERFIL DE SUELO DESCRITO ÁREA DEPÓSITO DE RELAVES, POSICIÓN QUEBRADA.....	32
FIGURA Nº 3.1.9.26.. PERFIL 4 DE SUELO.....	33
FIGURA Nº 3.1.9.27. UBICACIÓN PERFIL DE SUELO DESCRITO DEPÓSITO DE RELAVE, LADERA .....	35
FIGURA Nº 3.1.9.28. PEDREGOSIDAD SUPERFICIAL PERFIL DE SUELO DESCRITO DEPÓSITO DE RELAVES, LADERA.....	36
FIGURA Nº 3.1.9.29. PERFIL 5 DE SUELO.....	37

## ÍNDICE DE APÉNDICES

Apéndice A: Análisis de laboratorio de muestras de suelo

### **3. LÍNEA DE BASE**

#### **3.1. Medio Físico**

##### **3.1.9. Caracterización de Suelo**

###### **3.1.9.1. Introducción**

De acuerdo a lo establecido en la Ley N° 19.300 y en el Artículo 18, literal e.1) del Decreto Supremo N° 40/2012 “Reglamento del Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental” del Ministerio del Medio Ambiente, la presente sección da cuenta de los antecedentes que caracterizan la línea de base de Caracterización Físico Química del Suelo en el área de influencia del Proyecto Minero Arqueros (en adelante el Proyecto), el cual se emplaza en la Región de Coquimbo, comunas de La Serena y Vicuña, fuera del límite urbano definido para ambas comunas.

El Proyecto considera el desarrollo de una mina subterránea, la construcción de una Planta Concentradora, un Depósito de Relaves y Obras Complementarias para el suministro de energía, agua y otros servicios. Entre otros aspectos, considera un sistema de captación e impulsión de agua desde el río Elqui. (para más detalles ver Capítulo 1 Descripción de Proyecto)

El área de emplazamiento del Proyecto, corresponde principalmente a laderas y cumbres de cerros, no observándose la existencia de cultivos agrícolas ni obras de riego, siendo la vegetación que se encuentra en el área, aquella que crece de forma natural en el lugar. Lo anterior es consistente con los antecedentes disponibles en CIREN, donde el Estudio Agrológico IV Región (CIREN, 2005), solo ha relevado los suelos asociados al valle del río Elqui donde se encuentra la obra Bocatoma del Proyecto.

###### **3.1.9.2. Área de influencia**

El área de influencia del componente Caracterización de Suelo, corresponde al espacio geográfico donde se desarrollan las partes, obras y acciones del Proyecto, las cuales consideran una ocupación de superficie en su lugar de emplazamiento.

Es importante señalar que, el levantamiento de información de la línea de base para este componente, abarcó una escala de análisis mayor que el emplazamiento de las obras del Proyecto, a fin de verificar el contexto edafológico en el que se emplaza el Proyecto.

En el Capítulo 2 “Determinación y Justificación del Área de Influencia” del presente EIA, se presenta el área de influencia delimitada para este componente ambiental.

###### **3.1.9.3. Metodología**

Para determinar las características de los suelos del lugar, se realizó tanto una revisión de información de gabinete, como descripción de perfiles de suelo en terreno.



La revisión bibliográfica se empleó tanto para la caracterización general de los suelos a nivel nacional, como local. No obstante, como se indicó anteriormente, a excepción del valle del río Elqui (sector Bocatoma) la totalidad de las obras del Proyecto no está abarcada por el Estudio Agrológico de CIREN para la Región.

Por su parte, la topografía del área se revisó mediante un modelo de rangos de pendiente, así como mediante la observación de terreno, considerando la topografía de cerros en la que se emplaza la mayor parte de las obras del Proyecto.

Para la descripción de suelos a nivel local, se realizó una prospección por las áreas de emplazamiento de las obras y partes del Proyecto los días 23 y 24 de febrero y 30 de mayo de 2019, con el objeto de describir morfológicamente perfiles del suelo, ver características superficiales como cobertura vegetal y pedregosidad superficial, tomando fotografías representativas de lo observado.

La caracterización de los horizontes del perfil de suelo, se realizó mediante su separación principalmente por grado de consolidación (resistencia a la penetración del cuchillo) o por algún otro rasgo distintivo como pedregosidad, cambio de color o cambio textural importante que permitiera la delimitación de los horizontes o capas de suelo.

Los materiales empleados para la descripción de perfiles de suelo correspondieron a cuchillo, tabla Munsell (color), huincha de medir, agua, cámara digital y GPS para marcar la posición georreferenciada de las calicatas.

Para la descripción de perfiles de suelo en terreno se consideraron los rangos señalados en la Pauta para Estudios del Suelo (SAG 2011 rectificada), así como criterios de descripción morfológica indicados en la Guía de campo para el muestreo y descripción de perfiles de suelo (U.S.D.A, 2002). La denominación de horizontes se basó en el capítulo relacionado del libro Claves Para la Taxonomía de Suelos (SOIL SURVEY STAFF, 2006). Adicionalmente, se consideró la Guía Trámite PAS Artículo 160 Reglamento del SEIA (SEA) Resolución Exenta N°295 de la Dirección Ejecutiva del SEA del 11 de marzo de 2019, en relación a los siguientes criterios.

- Criterios de aproximación:
  - Profundidad.
  - Pendiente.
  - Pedregosidad superficial.
  - Drenaje.
- Criterios de definición.
  - Textura.
  - Humedad aprovechable.
  - Pedregosidad subsuperficial.
  - Erosión.

- Criterios especiales:
  - Inundación.
  - Salinidad (Conductividad Eléctrica).
  - Sodicidad (Relación Adsorción de Sodio, RAS).
- Otros criterios:
  - Materia orgánica.
  - Densidad aparente.
  - pH.

Para determinar la humedad aprovechable expresada en centímetros de columna de agua (cm.c.a.), se utilizó la fórmula indicada en Sandoval et al., (2011).

$$HA = (CC - PMP)/100 * Da * z * (1 - P)$$

Donde:

- HA = altura de agua (cm).
- CC = capacidad de campo (%hbss).
- PMP = punto de marchites permanente (%hbss).
- Da = densidad aparente del suelo (g cm<sup>-3</sup>).
- z = profundidad de suelo involucrada (cm).
- P = fracción relativa de pedregosidad.

Para los análisis de laboratorio, se tomaron muestras de suelo en las calicatas de forma manual mediante pala, las que luego fueron guardadas en bolsas plásticas herméticas separadas para cada muestra. Los resultados se encuentran en el Apéndice A Análisis de Laboratorio de Muestras de Suelo, del presente documento.

### 3.1.9.4. Resultados

#### 3.1.9.4.1 Contexto Edáfico a Nivel Nacional y Regional

A nivel nacional, basado en Suelos de Chile (Luzio, 2010), el país se subdivide en ocho (8) Zonas Edáficas. Teniendo presente la enorme variabilidad de suelos que se puede encontrar en una misma Zona Edáfica, existen al menos dos (2) elementos que se pueden considerar relativamente constantes, los cuales son, el contenido de agua y la temperatura media en la sección de control de los suelos. Los límites de las Zonas Edáficas pueden parecer arbitrarios, pero en la práctica reflejan diferencias en las propiedades de la mayoría de los suelos, haciéndolos particulares y diferentes a aquellos de otras Zonas Edáficas del país. Las Zonas Edáficas para el país se indican en el siguiente cuadro:

**Cuadro N° 3.1.9.1. Zonas Edáficas de Chile**

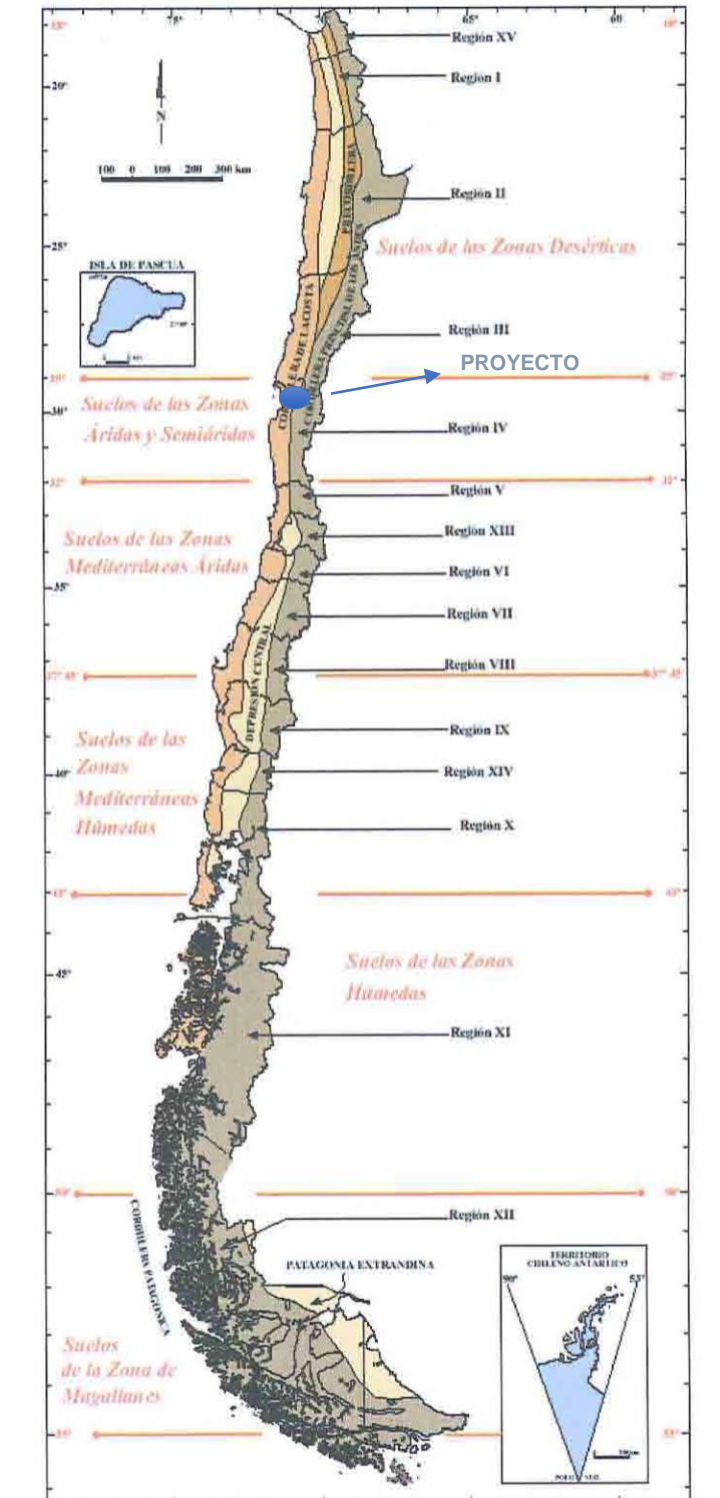
TIPO	DESDE	HASTA
Suelos de la Zona Desértica	18° 00'LS	29° 00'LS
Suelos de la Zona Árida y Semiárida	29° 00'LS	32° 00'LS
Suelos de la Zona Mediterránea Árida	32° 00'LS	37° 00'LS
Suelos de la Zona Mediterránea Húmeda	37° 00'LS	43° 00'LS
Suelos de la Zona Húmeda	43° 00'LS	50° 00'LS
Suelos de la Zona de Magallanes	50° 00'LS	55° 00'LS
Suelos de la Zona Antártica	62° 00'LS	63° 00'LS
Suelos de la Isla de Pascua y de Juan Fernández	-	-

Fuente: Luzio, 2010.

De acuerdo a los antecedentes del cuadro precedente, el área de análisis se encuentra dominada por los suelos de zonas áridas y semi áridas, considerando su emplazamiento en la Región de Coquimbo.

Por su parte, la siguiente figura muestra la distribución de los suelos a nivel nacional.

Figura Nº 3.1.9.1. Zonas Edáficas de Chile



Fuente: Luzio, 2010.

### 3.1.9.4.2 Descripción de Suelos a Nivel Local

Para la caracterización de suelos a nivel local, a continuación, se desarrollan los siguientes aspectos:

- Series de suelo área Proyecto.
- Uso actual de suelo área Proyecto y entorno.
- Topografía área Proyecto.
- Descripción de perfiles de suelo.

### 3.1.9.4.3 Series de suelo área Proyecto

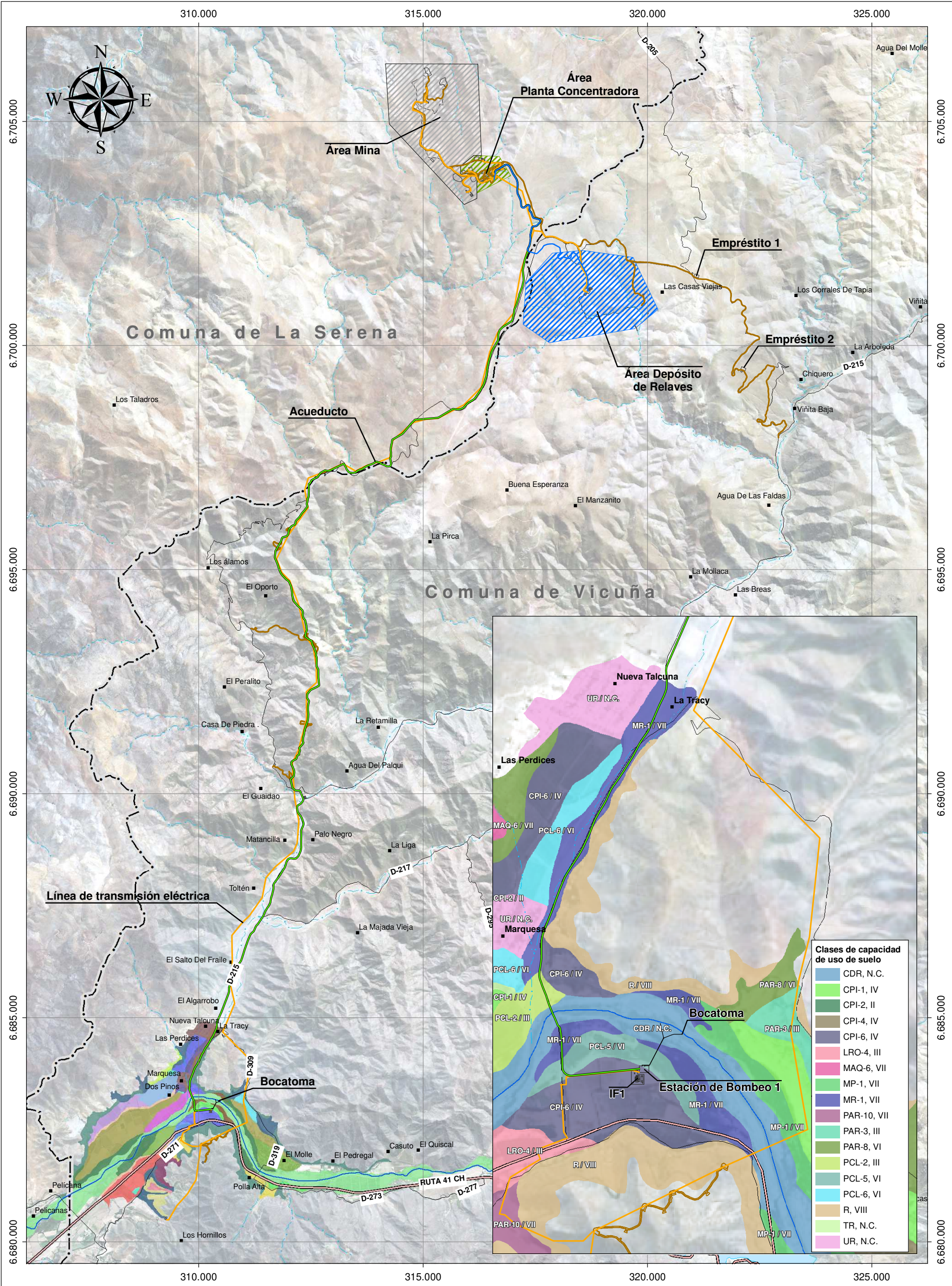
El Proyecto considera la implementación de distintas obras y partes tanto en la Comuna de La Serena, en particular el Área Mina y Área Planta Concentradora, como en la Comuna de Vicuña en la cual se emplaza el resto de las obras y partes: Área Depósito de Relaves, obras lineales, además del sector Bocatoma que se encontrará en el río Elqui.

Considerando la ubicación de las obras y partes del Proyecto, caracterizada mayoritariamente por cerros y quebradas sólo una pequeña porción del Proyecto se encuentra abarcado por el Estudio Agrológico IV Región (CIREN, 2005), correspondiente al sector de la Bocatoma, donde se encuentra el punto de captación de agua en el río Elqui, la Estación de Bombeo 1, así como la Instalación de Faena asociada a la construcción de estas obras. El resto de las obras del Proyecto, en particular las áreas Mina, Planta Concentradora y Depósito de Relaves, así como la gran parte de las obras lineales, corresponden a áreas no cubiertas por el Estudio Agrológico de CIREN para la Región.

Conforme al Estudio Agrológico IV Región (CIREN, 2005), la Bocatoma se encuentra en un área definida como Caja de Río, No Calificado (CDR, N.C.) o No Suelo, lo anterior debido a que corresponde al cauce del río Elqui. En tanto, La Estación de Bombeo 1 e Instalación de Faena se ubica en una terraza fluvial intervenida, la cual se asocia con la serie de suelo Chapilca (CPI) en su variación CPI-6 que corresponde a Clase IV de Capacidad de Uso, y a la Serie Puclaro (PCL) en su variación PCL-5 que corresponde a Clase VI de Capacidad de Uso<sup>1</sup>.

En la siguiente Figura se observa la ubicación de las obras y partes del Proyecto, el área abarcada por el Estudio Agrológico de CIREN para la Comuna de Vicuña en el sector de Bocatoma, y un detalle de las series de suelo relacionadas con el emplazamiento de las obras del Proyecto en este sector.

<sup>1</sup> Conforme a lo observado en antecedentes de CIREN disponibles en <http://visor.sit rural.cl/mapa>.



**LEYENDA**

<p><b>Proyecto</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li><span style="color: green;">—</span> Acueducto</li> <li><span style="color: orange;">—</span> Línea de transmisión eléctrica</li> <li><span style="color: brown;">—</span> Camino Projectado</li> <li><span style="border: 1px solid black; display: inline-block; width: 10px; height: 10px;"></span> Instalaciones</li> <li><span style="background-color: #cccccc; border: 1px solid black; display: inline-block; width: 10px; height: 10px;"></span> Área Mina</li> <li><span style="background-color: #add8e6; border: 1px solid black; display: inline-block; width: 10px; height: 10px;"></span> Área Depósito de Relaves</li> <li><span style="background-color: #90ee90; border: 1px solid black; display: inline-block; width: 10px; height: 10px;"></span> Área planta concentradora</li> </ul>	<p><b>Centros Poblados</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li><span style="color: black;">■</span> Caserío; Pueblo</li> </ul> <p><b>Red Vial</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li><span style="color: black;">—</span> Caminos Principales</li> <li><span style="color: brown;">—</span> Rutas Principales</li> </ul> <p><b>Hidrografía</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li><span style="color: blue;">~</span> Estero; Quebrada</li> <li><span style="color: blue;">—</span> Río</li> <li><span style="color: blue;">—</span> Cuerpos de Agua</li> </ul> <p><b>Límite Administrativo</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li><span style="color: black;">- - -</span> Límite Comunal</li> </ul>
---	--

**ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL  
PROYECTO MINERO ARQUEROS**

FIGURAN° 3.1.9.2.  
ÁREA ABARCADA POR ESTUDIO  
AGROLÓGICO CIREN, COMUNA DE VICUÑA.

0 1 2 4 km

Escala: 1:80.000	Elaboró: LMM
Datum: WGS 84	Revisó: EF
Sist. de Coord.: UTM Huso 19 S.	Aprobó: AR

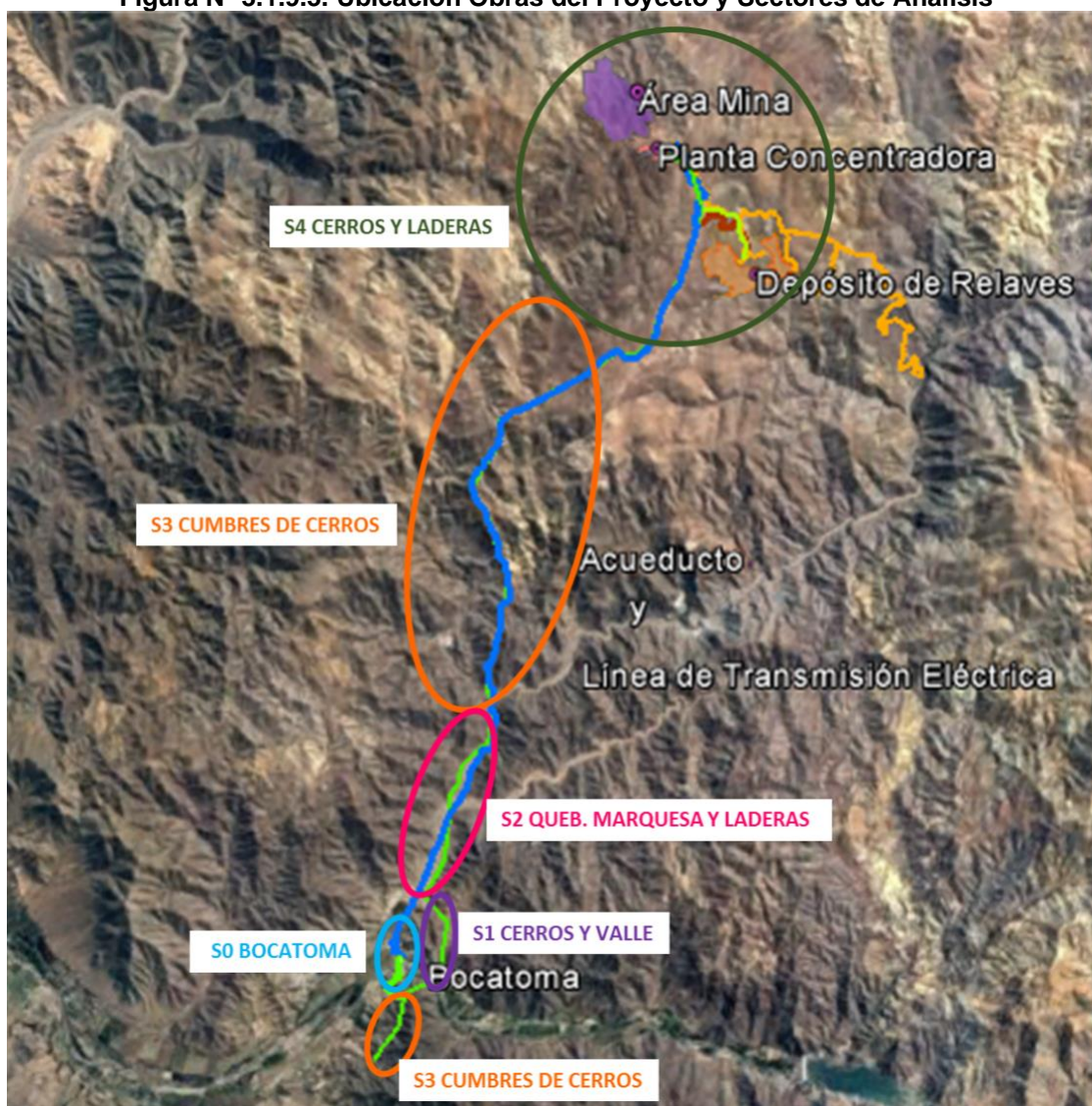
**INERCO** Fecha: Octubre, 2019.

### 3.1.9.4.4 Uso Actual de Suelo Área Proyecto

Para describir el contexto geomorfológico, topográfico y de uso de suelo donde se emplaza el Proyecto, considerando la extensión del Proyecto asociada a las obras lineales de acueducto, línea de transmisión eléctrica y camino a ser habilitado para la construcción de estas obras, además de las obras asociadas a las áreas Bocatoma, Mina, Planta Concentradora y Depósito de Relaves, se definieron sectores de observación correspondientes a S0, S1, S2, S3 y S4;

Los sectores considerados se representan en la siguiente Figura, para luego ser descritos en los puntos siguientes.

Figura N° 3.1.9.3. Ubicación Obras del Proyecto y Sectores de Análisis



Fuente: Elaboración propia 2019, base Google Earth.

### Sector 0 (S0) Bocatoma

El sector de la Bocatoma considera la Bocatoma, la Estación de Bombeo y una Instalación de Faenas Temporal. La Bocatoma se ubica en el cauce del río Elqui, y la Estación de Bombeo 1 mediante la cual se impulsará el agua hacia el Área Planta Concentradora junto con el área a ocupar por la instalación de faenas corresponde a una terraza fluvial intervenida.

Asociado a las áreas inmediatamente aledañas al cauce del río Elqui donde se emplazará la Bocatoma, no se observan cultivos agrícolas ni plantaciones forestales, ni se observan obras de riego ni obras de acumulación de agua asociadas. Tampoco se observa presencia de ganado al momento de la visita.

Se observa en estas áreas la vegetación que crece de forma natural sobre el sustrato.

La siguiente Figura muestra imágenes representativas del sector de Bocatoma. Cabe señalar que, correspondiendo al lecho del río, no corresponde a suelo.

**Figura N° 3.1.9.4. Vista General Sector Bocatoma**



Vista hacia el nororiente. Al fondo de la explanada se encuentra el cauce del río Elqui

Lecho del cauce del río Elqui

Fuente: Fotografía capturada por el autor, 2019.

Por su parte, la Estación de Bombeo 1 se encuentra en una explanada en la cual no se observan cultivos agrícolas ni plantaciones forestales, ni se observan obras de riego ni obras de acumulación de agua asociadas. Tampoco se observa presencia de ganado al momento de la visita. Se observa en esta área la vegetación que crece de forma natural en el lugar.



La siguiente Figura muestra imágenes representativas del sector de Estación de Bombeo 1. Cabe señalar que, correspondiendo al lecho del río, no corresponde a suelo.

**Figura N° 3.1.9.5. Vista General Suelos Sector 0 (S0)**



Fuente: Fotografía capturada por el autor, 2019.

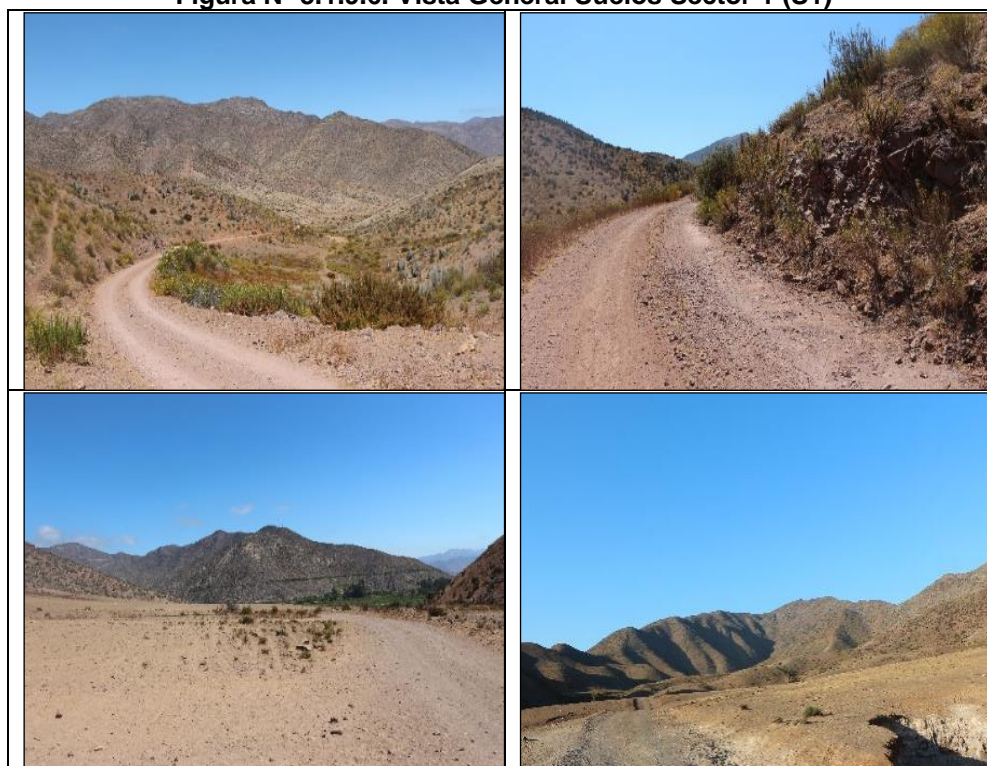
### **Sector 1 (S1) Cerros y Valle**

El Sector 1 (S1) corresponde al sector que se encuentra al norte del río Elqui, por el que se emplaza la obra del proyecto correspondiente al tramo inicial de la línea de transmisión eléctrica (LTE) desde la bocatoma. En este sector la LTE se emplaza entre cerros de diversa pendiente.

En los sectores asociados al emplazamiento de la LTE en el Sector 1, tanto en las laderas de cerros como en las posiciones bajas del paisaje, no se observan cultivos agrícolas ni plantaciones forestales, ni se observan obras de riego ni obras de acumulación de agua asociadas. Sin embargo, cabe señalar que es posible observar presencia de ganado caprino por las laderas de los cerros, asociado a la vegetación que crece de forma natural en el lugar. También se observa la presencia de postaciones eléctricas y de caminos existentes.

En las laderas de los cerros es posible observar afloramientos rocosos, y el perfil de suelo puede presentar un horizonte "R" (roca) a escasa profundidad.

La siguiente Figura muestra imágenes representativas de los suelos del Sector 1 (S1).

**Figura N° 3.1.9.6. Vista General Suelos Sector 1 (S1)**

Fuente: Fotografía capturada por el autor, 2019.

### **Sector 2 (S2) Quebrada Marquesa y Laderas**

Este sector se encuentra asociado a la quebrada Marquesa. Las obras del Proyecto que se emplazaran en este sector corresponden al acueducto y a la línea de transmisión eléctrica (LTE). El emplazamiento de estas obras se asocia al lecho de la quebrada y a partes bajas de las laderas de cerros que bordean la quebrada Marquesa.

Asociado al emplazamiento de las obras del Proyecto, en este sector, no se observan cultivos agrícolas ni plantaciones forestales, ni se observan obras de riego ni obras de acumulación de agua asociadas. Sin embargo, cabe señalar que es posible observar presencia de ganado caprino por las laderas de los cerros, asociado a la vegetación que crece de forma natural en el lugar. También se observa la presencia de postaciones eléctricas y de caminos existentes.

Los suelos asociados al fondo de quebrada corresponden a misceláneo río, correspondiente a un depósito de gravas y piedras. Los depósitos fluviales están constituidos por sedimentos que se acumulan a partir de la actividad erosiva de los ríos y los procesos de deslizamiento por gravedad asociados a la escorrentía de la Quebrada Marquesa. Está compuesto de una matriz no consolidada producto de la deposición de arena, sedimento, grava y piedras.

Por su parte, los suelos de laderas presentan distintos grados de inclinación, y en general presentan moderada a abundante pedregosidad en el perfil, así como afloramientos rocosos.

La siguiente Figura muestra imágenes representativas de este sector.

**Figura Nº 3.1.9.7. Vista General Sector Quebrada Marquesa**



Fuente: Fotografía capturada por el autor, 2019.

### Sector 3 (S3) Cumbres de Cerros

Las obras del Proyecto que se emplazarán en este sector corresponden al acueducto y a la línea de transmisión eléctrica (LTE), junto con el camino a ser habilitado para la construcción de estas obras. Igualmente, este sector incluye el trazado al sur del Río Elqui, por donde va la LTE hasta el punto de conexión en la Subestación Eléctrica Damascal, donde se conectará el Proyecto.

Estas obras del Proyecto se emplazarán en las cumbres de los cerros presentes en el área.

Las laderas de los cerros en este sector presentan pendientes escarpadas, siendo común observar afloramientos rocosos. El perfil de suelo puede presentar un horizonte "R" (roca) a escasa profundidad.

No se observan cultivos agrícolas ni forestales, ni obras asociadas a la conducción de agua para riego, observándose únicamente la vegetación que crece de forma natural en el lugar.

La siguiente figura muestra imágenes representativas de los suelos del Sector 3 (S3).

**Figura N° 3.1.9.8. Vista General Sector 3 (S3)**



Fuente: Fotografía capturada por el autor, 2019


#### **Sector 4 (S4) Cerros y Laderas**

En este sector se observan vastas superficies, relativamente homogéneas en términos de geomorfología, vegetación y suelo. Las obras del Proyecto cuyo emplazamiento se asocia a este sector, corresponden a parte del tramo del acueducto y línea de transmisión eléctrica junto con los caminos a ser habilitados para su construcción. Se encuentran además en este sector, junto con las instalaciones asociadas, las áreas Mina, Planta Concentradora y Depósito de Relaves.

No se observan cultivos agrícolas ni forestales, ni obras asociadas a la conducción de agua para riego, observándose únicamente la vegetación que crece de forma natural en el lugar.

La siguiente Figura muestra imágenes representativas del contexto geomorfológico del Sector 4 (S4).

**Figura Nº 3.1.9.9. Vista General Sector 4 (S4)**

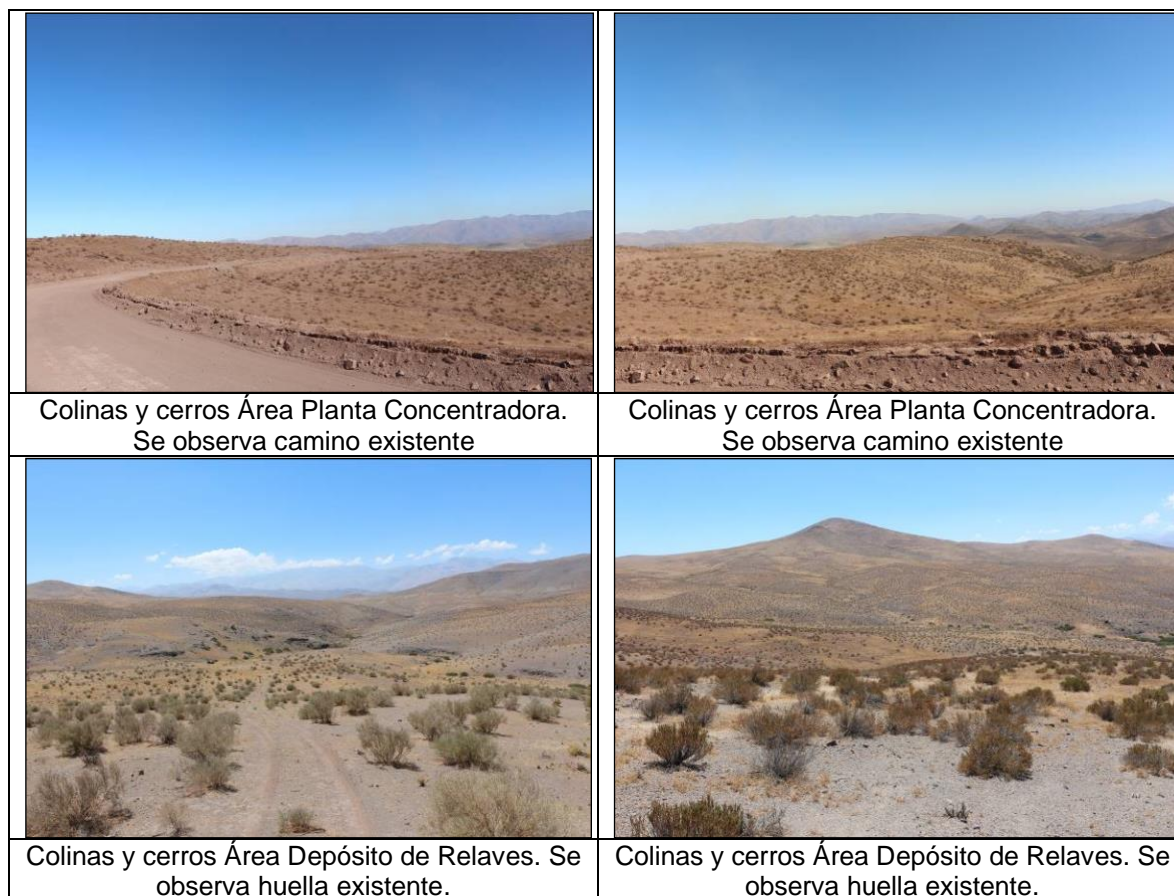
	
<p>Se observa sector con menores inclinación, expresándose una explanada, en comparación con la geoforma general del área</p>	<p>Colinas y cerros</p>

Fuente: Fotografía capturada por el autor, 2019

Dentro del Sector 4 se encuentran las áreas Mina, Planta Concentradora y Depósito de Relaves. A continuación, se muestran imágenes representativas de estas áreas.

**Figura Nº 3.1.9.10. Imágenes Representativas Áreas Mina, Planta Concentradora y Depósito de Relaves**

	
<p>Área Mina. Sector de menores inclinaciones asociado a cumbre de cerros. De fondo se alcanza a percibir Mina Tugal presente en el sector.</p>	<p>Colinas y cerros Área Mina</p>



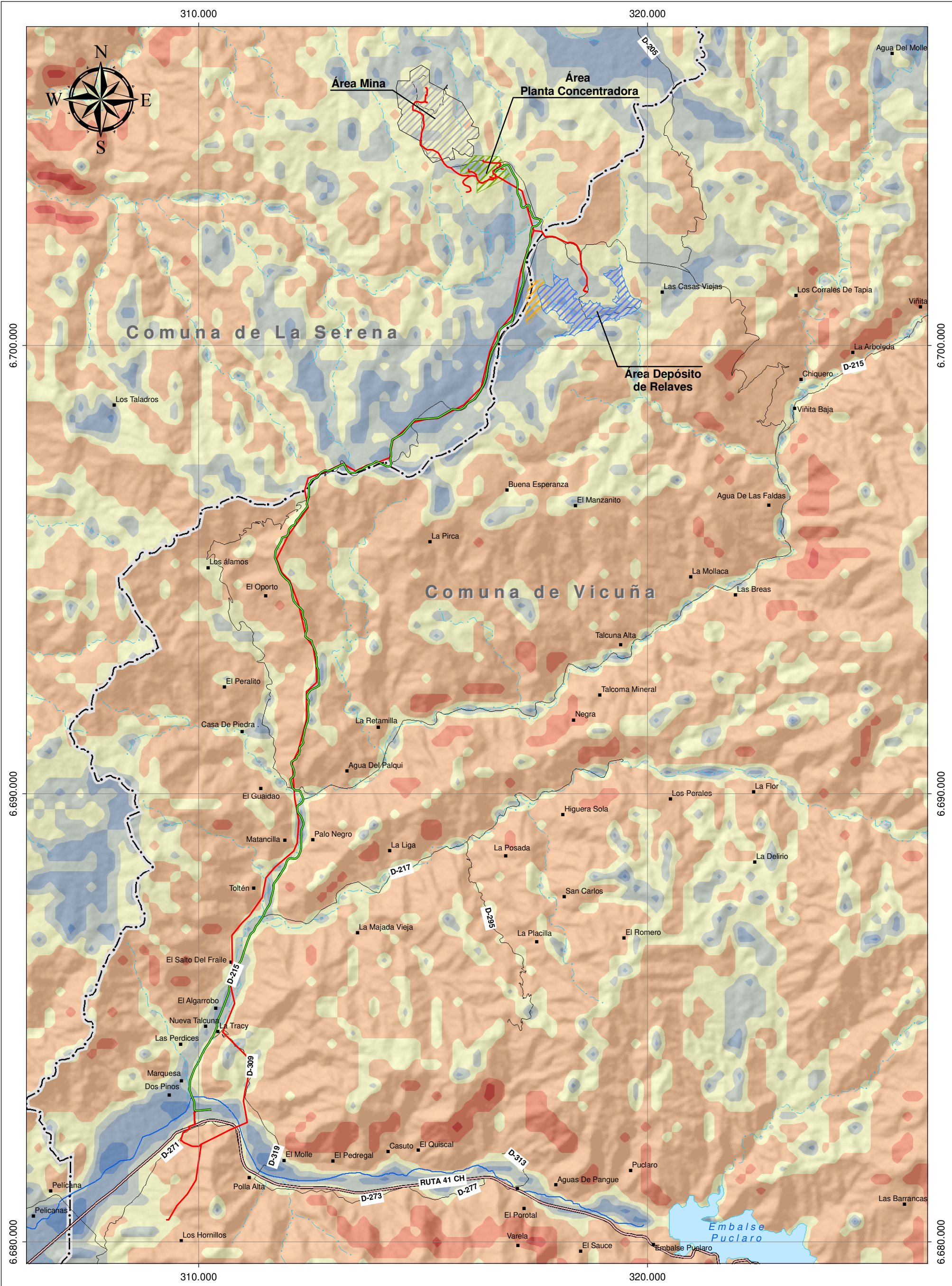
Fuente: Fotografía capturada por el autor, 2019

### 3.1.9.4.5 Topografía Área Proyecto

La totalidad de las áreas relacionadas con el emplazamiento de las obras y partes del Proyecto, se relaciona con laderas de cerros, colinas y serranías, habiendo sectores con laderas de pendientes abruptas y sectores con colinas de laderas menos inclinadas, situación común a toda el área de emplazamiento del Proyecto, salvo sectores donde es posible ver la expresión de llanos y cimas de cerros, así como el fondo de quebrada Marquesa y el valle del río Elqui.

De esta manera, la generalidad del área corresponde a una topografía heterogénea, siendo común observar distintos grados de inclinación siendo los rangos predominantes: 5 a 8%, 8 a 15%, 15% a 45%, 45% a 60% y mayores porcentajes de inclinación.

En la siguiente Figura se observa una modelación por rangos de pendiente, donde es posible observar las características topográficas del área general y su entorno en cuanto a rangos de inclinación. Por su parte la Figura subsiguiente, muestra los rangos de pendiente asociados al emplazamiento de las obras y partes del Proyecto, generados mediante información topográfica específica del área de Proyecto generada a partir de un levantamiento aerofotogramétrico LIDAR.



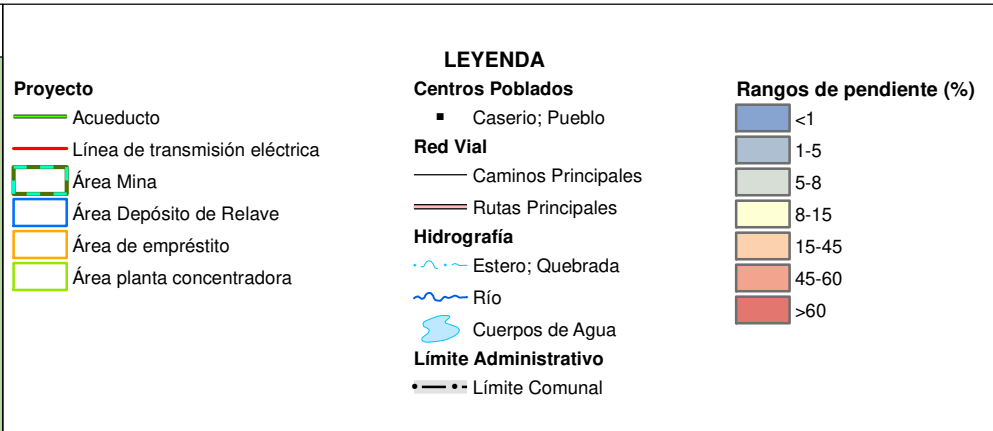
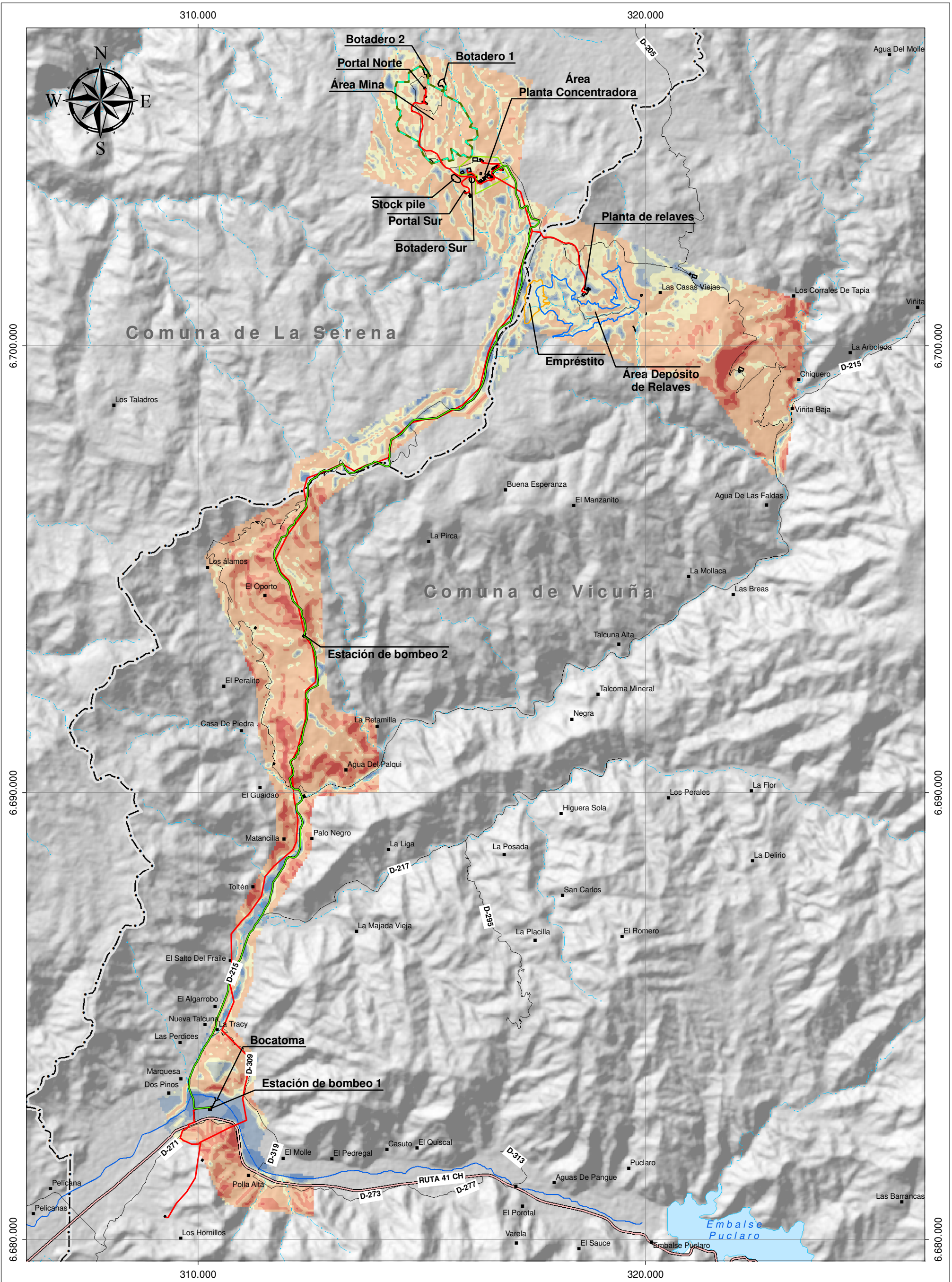
LEYENDA	
<b>Proyecto</b>	<b>Rangos de pendiente (%)</b>
— Acueducto	<1
— Línea de transmisión eléctrica	1-5
▨ Área Mina	5-8
▨ Área Depósito de Relaves	8-15
▨ Área de empréstito	15-45
▨ Área planta concentradora	45-60
■ Caserío; Pueblo	>60
— Caminos Principales	
— Rutas Principales	
<b>Hidrografía</b>	
— Estero; Quebrada	
— Río	
— Cuerpos de Agua	
— Límite Administrativo	
— Límite Comunal	

**ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL  
PROYECTO MINERO ARQUEROS**

FIGURANº 3.1.9.11  
RANGOS DE PENDIENTE  
ÁREA PROYECTO

Escala: 1:80.000	Elaboró: LMM
Datum: WGS 84	Revisó: EF
Sist. de Coord.: UTM Huso 19 S.	Aprobó: AR

**INERCO** Fecha: Noviembre, 2019.



**ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL**  
**PROYECTO MINERO ARQUEROS**

FIGURANº 3.1.9.12  
 RANGOS DE PENDIENTE  
 ÁREA PROYECTO

0 0,5 1 2 3 km

Escala:	1:80.000	Elaboró:	LMM
Datum:	WGS 84	Revisó:	EF
Sist. de Coord.:	UTM Huso 19 S.	Aprobó:	AR

**INERCO**

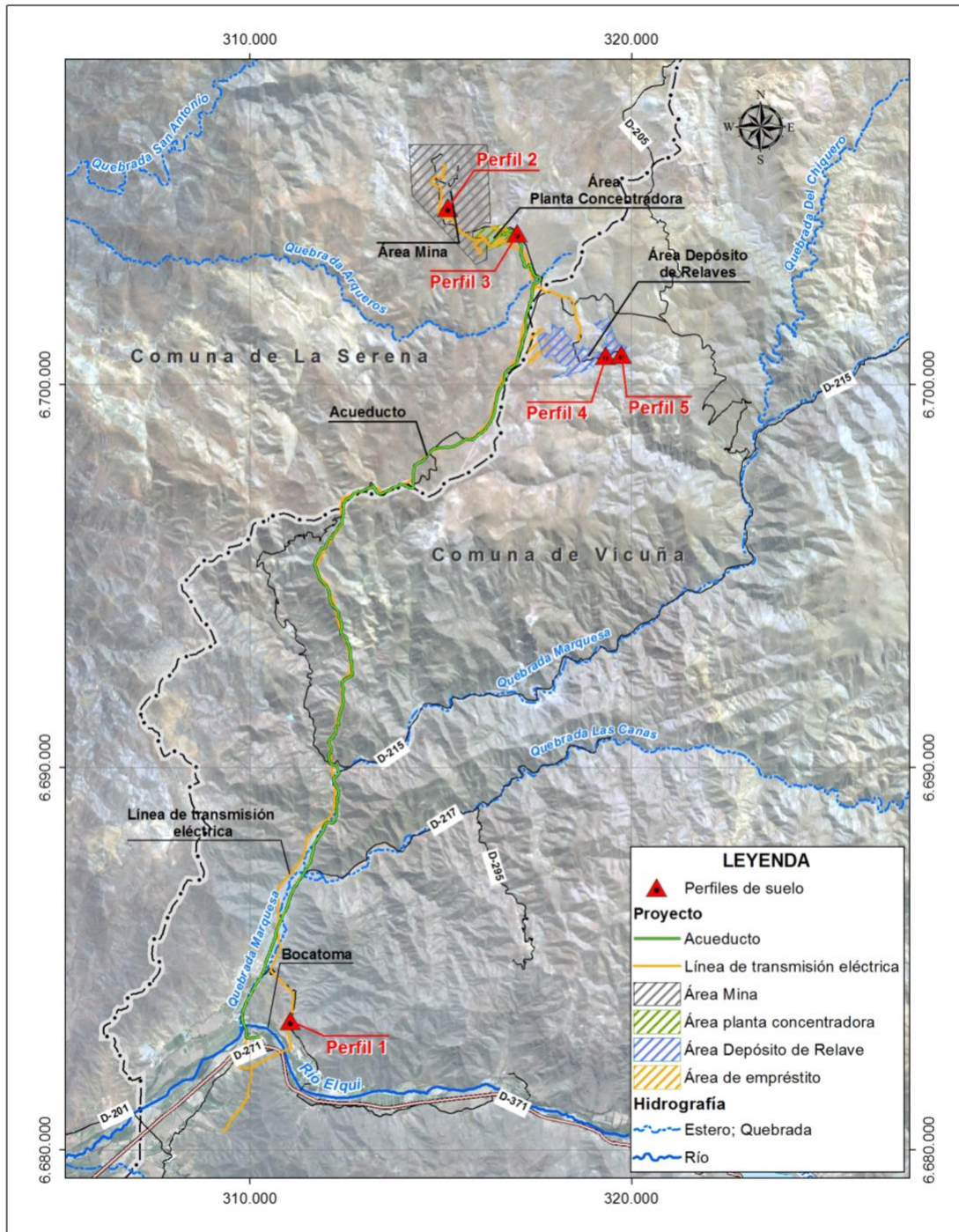
Fecha: Noviembre, 2019.



### 3.1.9.4.6 Descripción de Perfiles de Suelo

Se describieron morfológicamente cinco (5) perfiles de suelo en el área de emplazamiento del Proyecto, cuya ubicación se observa en la siguiente Figura.

**Figura Nº 3.1.9.13. Ubicación Perfiles de Suelo Descritos**



Fuente: Elaboración propia, 2019

**Perfil 1**

La siguiente Figura muestra una imagen representativa de la ubicación del perfil descrito, el cual se encuentra en posición de ladera de cerro.

**Figura N° 3.1.9.14. Ubicación Perfil de Suelo Descrito S1**



Fuente: Fotografía capturada por el autor, 2019.

El siguiente cuadro indica las coordenadas de ubicación del perfil descrito.

**Cuadro N° 3.1.9.1. Coordenadas Ubicación Perfil 1 de Suelo Descrito Área LTE**

PERFIL	COORDENADAS UTM H19S WGS 84	
	ESTE (m)	NORTE (m)
Perfil 1	311.065	6.683.357

Fuente: Elaboración propia, 2019.

Por su parte, en la siguiente figura se observa la presencia de pedregosidad superficial y afloramientos rocosos.

**Figura N° 3.1.9.15. Pedregosidad Superficial Área Perfil 1**



Fuente: Fotografía capturada por el autor, 2019

El Perfil 1 de suelo descrito se encuentra en posición de ladera de cerro; se observa pedregosidad en superficie y vegetación que crece de forma natural en el lugar. El perfil de suelo presenta textura franca en superficie la cual se torna más fina en profundidad, y estructura de bloques subangulares. A partir de los 36 cm el perfil presenta pedregosidad moderada, la cual se observa abundante desde los 52 cm de profundidad. En el cuadro a continuación se indica la descripción morfológica del perfil de suelo.

**Cuadro N° 3.1.9.2. Descripción Morfológica Perfil 1 de Suelo**

PROFUNDIDAD (cm)	DESCRIPCIÓN MORFOLÓGICA
0 - 16 A	Pardo (10YR 5/3) en seco, Pardo muy oscuro (10YR 2/2) en húmedo; franco limoso; moderadamente plástico, moderadamente adhesivo; estructura de bloques sub angulares medios y gruesos moderados; raíces finas abundantes; poros finos y medios comunes; friable; límite lineal claro.
16 - 36 B	Pardo (10YR 4/3) en seco, Pardo muy oscuro (10YR 2/2) en húmedo; franco; moderadamente plástico, moderadamente adhesivo; estructura de bloques sub angulares medios y finos moderados; raíces finas comunes; poros finos y medios comunes; friable; límite lineal claro.
36 – 52 B	Pardo amarillento oscuro (10YR 4/4) en seco, Pardo muy oscuro (10YR 2/2) en húmedo; franco arcillo arenosa; moderadamente plástico, moderadamente adhesivo; estructura de bloques sub angulares medios débiles; raíces finas escasas; poros medios y comunes escasos moderada pedregosidad (30%; 10% piedras angulosas de 2 a 7 cm; 20% de gravas de 2 a 4 mm); límite lineal claro.
52 – 85 y más C	Pardo amarillento oscuro (10YR 4/4) en seco, Pardo muy oscuro (10YR 2/2) en húmedo; matriz arcillosa; plástico, adhesivo; estructura de bloques sub angulares medios débiles; raíces finas muy escasas; poros finos y medios escasos; abundante pedregosidad (45%: 25% piedras angulares de 3 a 7 cm; 20% de gravas de 2 a 8 mm).

Fuente: Elaboración propia, 2019

La Figura a continuación muestra una imagen del perfil de suelo descrito.

**Figura N° 3.1.9.16. Perfil 1 de Suelo**



Fuente: Fotografía capturada por el autor, 2019.

Por su parte, en el Cuadro a continuación se presenta una caracterización del suelo en base a criterios indicados en la Pauta para estudio de suelos (SAG 2011, rectificada).

**Cuadro N° 3.2 Perfil 1, Criterios Pauta Para Estudio de Suelos SAG 2011 (Rectificada)**

Criterios de aproximación					
Profundidad efectiva:	Moderadamente profundo (85 cm).				
Pendiente:	Heterogéneo. Rangos predominantes: 8 a 15%, y 15 a 45%.				
Pedregosidad superficial:	Moderada pedregosidad (20% de piedras y 10% de gravas).				
Drenaje:	Bien drenado				
Criterios de definición					
Textura_	Textura media				
Humedad aprovechable (retención de humedad):	Parámetro	0 a 36 cm	36 a 52 cm	52 a 85 cm	
	Capacidad de campo (%)	11,2	10,8	10,8	
	Punto de marchitez permanente (%)	4,8	5,6	5,6	
	Densidad aparente (g/cm <sup>3</sup> )	1,64	1,67	1,67	
	Cm (grosor horizonte)	36	16	33	
	(1-P) P= fracción de pedregosidad	1	0,7	0,55	
	HA cm c.a.	3,78	0,97	1,58	6,33
6,33 cm c.a. (0 a 85) cm. Pobre					
Pedregosidad subsuperficial:	Sin pedregosidad (<5%): 0 a 36 cm Moderada pedregosidad (30%): 16 a 52 cm Abundante pedregosidad (45%): 52 a 85 cm				
Erosión:	No aparente.				
Criterios especiales					
Inundación:	Ninguna. El sector se encuentra en posición de baja ladera, no se observan signos de inundación. El sector es árido.				
Salinidad:	C. Eléctrica (en extracto) dS/m: 0,42 (16-36 cm). No salino				
	C. Eléctrica (en extracto) dS/m: 0,66 (36-52 cm). No salino				
Sodicidad:	Relación Adsorción de Sodio %: 0,9 (16-36 cm). No sódico				
	Relación Adsorción de Sodio %: 1,5 (36-52 cm). No sódico				
Alcalinidad	Carbonato total (CaO <sub>3</sub> ) %: 1,8 (16-36 cm).				
	Carbonato total (CaO <sub>3</sub> ) %: 1,6 (36-52 cm).				
	Caliza activa (CaO <sub>3</sub> ) %: 0,75 (16-36 cm). Sin problema				
	Caliza activa (CaO <sub>3</sub> ) %: 0,75 (36-52 cm). Sin problema				
Otros criterios					
Materia orgánica:	0,68 % (16-36 cm). Bajo.				
	0,59 % (36-56 cm). Bajo.				
Densidad aparente:	1,64 g/cc (16-36 cm).				
	1,67 g/cc (36-52 cm).				
pH:	Agua, relación 1:2,5: 8,6 (16-36 cm). Fuertemente alcalino.				
	Agua, relación 1:2,5: 8,6 (36-52 cm). Fuertemente alcalino.				
	En extracto: 7,5 (16-36 cm). Sin problema.				
	En extracto: 7,5 (36-52 cm). Sin problema.				

Fuente: Elaboración propia base SAG 2011 (rectificada), 2019.

En el Apéndice A del presente documento se encuentran los análisis de laboratorio indicados en el cuadro anterior, según corresponda, así como la retención de humedad a capacidad de campo y a punto de marchitez permanente empleada para el cálculo de la humedad aprovechable. Las muestras asociadas a Perfil 1 corresponden a LTE Muestra N°1.1 y LTE Muestra N°1.2.

#### Clasificación interpretativa de suelos Perfil 1:

Para determinar la Clase de capacidad de uso, se consideran los factores limitantes o atributos críticos indicados por la Pauta de SAG como criterios de clasificación.

Los factores limitantes asociados a Perfil 1, así como a su emplazamiento considerando la topografía y grados de inclinación asociados, se indican a continuación.

Humedad aprovechable pobre de 6,33 cm.c.a. entre 0 y 85 cm, lo que determina Clase IV de capacidad de uso.

Pedregosidad subsuperficial (pedregosidad en el perfil) bajo los 25 cm, presentando moderada pedregosidad (30%) de 16 a 52 cm, lo que determina Clase IV de capacidad de uso, sin embargo, presenta abundante pedregosidad (45%) de 52 a 85 cm, lo que determina Clase VI de capacidad de uso.

Debido a la ubicación de Perfil 1 en posición de ladera de cerro, se observan pendientes en el rango de 15 a 45%, lo que determina Clase VI de capacidad de uso. Cabe destacar el emplazamiento del perfil descrito en topografía de cerros.

En consideración a lo anterior, el factor que presenta la mayor limitación para la clasificación del suelo corresponde a la pedregosidad subsuperficial y la pendiente, permitiendo establecer que el suelo Perfil 1 corresponde a la Clase VI de capacidad de uso.

#### **Perfil 2**

El Perfil 2 de suelo descrito morfológicamente, se encuentra en el Área Mina, correspondiente a un área relativamente homogénea en términos de vegetación y geomorfología de cerros. Corresponde a suelos en pendiente asociado a laderas de cerros, siendo común observar presencia de abundante pedregosidad superficial y eventualmente afloramientos rocosos.

En la siguiente Figura se muestra la ubicación del perfil descrito.

**Figura N° 3.1.9.17. Ubicación Perfil 2 de Suelo Descrito, Área Mina**



Fuente: Fotografía capturada por el autor, 2019

El siguiente cuadro indica las coordenadas de ubicación del perfil descrito.

**Cuadro N° 3.1.9.3.Coordenadas Ubicación Perfil 2 de Suelo Descrito, Área Mina**

PERFIL	COORDENADAS UTM H19S WGS 84	
	ESTE (m)	NORTE (m)
Perfil 2	315.196	6.704.626

Fuente: Elaboración propia, 2019.

Por su parte, en la siguiente figura se observa la presencia de abundante pedregosidad superficial.

**Figura N° 3.1.9.18. Pedregosidad Superficial Área Mina**



Fuente: Fotografía capturada por el autor, 2019

El Perfil 2 de suelo descrito se encuentra en posición de ladera de cerro; se observa abundante pedregosidad en superficie. El perfil de suelo presenta texturas finas y estructura de bloques subangulares medios moderados, con presencia de gravas y piedras en torno al 15% en el perfil, y presenta roca (horizonte “R”) a partir de los 35 cm de profundidad.

En el Cuadro a continuación se indica la descripción morfológica del perfil de suelo.

**Cuadro N° 3.1.9.4. Descripción Morfológica Perfil 2 de Suelo, Área Mina**

PROFUNDIDAD (cm)	DESCRIPCIÓN MORFOLÓGICA
0 - 5 A	Pardo oscuro (7,5YR 3/3) en seco, Pardo muy oscuro (7,5YR 2,5/3) en húmedo; franco arcillosa; plástico, adhesivo; estructura de bloques sub angulares medios y finos moderados; raíces finas escasas; poros medios comunes; moderada pedregosidad (20%: 10% piedras angulosas de 1 a 3 cm, 10% gravas de 2 a 4 mm; límite lineal abrupto).
5 - 35 B	Pardo oscuro (7,5YR 3/3) en seco, Pardo muy oscuro (7,5YR 2,5/3) en húmedo; Franco arcillosa; muy plástico, muy adhesivo; estructura de bloques sub angulares medios y finos moderados; raíces finas muy escasas; poros medios comunes (por grietas que se observan en el horizonte); moderada pedregosidad (20%: 15% piedras angulosas de 1 a 4 cm, 5% gravas de 2 a 4 mm; límite irregular claro).
35 – 130 y más R	Roca consolidada con fracturas

Fuente: Elaboración propia, 2019

La figura a continuación muestra una imagen del perfil de suelo descrito.

**Figura N° 3.1.9.19. Perfil 2 de Suelo**



Fuente: Fotografía capturada por el autor, 2019

Por su parte, en el Cuadro a continuación se presenta una caracterización del suelo en base a criterios indicados en la Pauta para estudio de suelos (SAG 2011, rectificada).

**Cuadro Nº 3.3 Perfil 2, Criterios Pauta Para Estudio de Suelos SAG 2011 (Rectificada).**

Criterios de aproximación				
Profundidad efectiva:	Delgado (35 cm).			
Pendiente:	Heterogéneo: Rangos predominantes: 15 a 45%; 8 a 15%,			
Pedregosidad superficial:	Moderada pedregosidad (30% de piedras y 20% de gravas).			
Drenaje:	Bien drenado			
Criterios de definición				
Textura	Textura moderadamente fina			
Humedad aprovechable (retención de humedad):	Parámetro	0 a 5 cm	5 a 35 cm	3,11
	Capacidad de campo (%)	16,3	16,3	
	Punto de marchitez permanente (%)	8,8	8,8	
	Densidad aparente (g/cm <sup>3</sup> )	1,48	1,48	
	Cm (grosor horizonte)	5	30	
	(1-P) P= fracción de pedregosidad	0,8	0,8	
	HA cm c.a.	0,44	2,66	
3,11 cm c.a. (0 a 35) cm. Muy pobre				
Pedregosidad subsuperficial:	Moderada pedregosidad (20%): 0 a 5 cm Moderada pedregosidad (20%): 5 a 35 cm Roca: 35 a 130 cm y más			
Erosión:	No aparente.			
Criterios especiales				
Inundación:	Ninguna. El sector se encuentra en posición de ladera, no se observan signos de inundación. El sector es árido.			
Salinidad:	C. Eléctrica (en extracto) dS/m: 0,35 (5-35 cm). No salino			
Sodicidad:	Relación Adsorción de Sodio %: 0,5 (5-35 cm). No sódico			
Alcalinidad	Carbonato total (CaO <sub>3</sub> ) %: 1,5 (5-35 cm).			
	Caliza activa (CaO <sub>3</sub> ) %: 0,75 (5-35 cm). Sin problema			
Otros criterios				
Materia orgánica:	0,81 % (5-35 cm). Bajo.			
Densidad aparente:	1,48 g/cc (5-35 cm).			
pH:	Agua, relación 1:2,5: 7,9 (5-35 cm). Ligeramente alcalino.			
	En extracto: 7,5 (5-35 cm). Sin problema.			

Fuente: Elaboración propia base SAG 2011 (rectificada), 2019.

En el Apéndice A del presente documento se encuentran los análisis de laboratorio indicados en el cuadro anterior, según corresponda, así como la retención de humedad a capacidad de campo y a punto de marchitez permanente empleada para el cálculo de la humedad aprovechable. La muestra asociada a Perfil 2 corresponde a Mina Muestra N°2.

Clasificación interpretativa de suelos Perfil 2:

Para determinar la Clase de capacidad de uso, se consideran los factores limitantes o atributos críticos indicados por la Pauta de SAG como criterios de clasificación.



Los factores limitantes asociados a Perfil 2, así como a su emplazamiento considerando la topografía y grados de inclinación asociados, se indican a continuación.

Profundidad efectiva de 35 cm, determinando Clase IV de capacidad de uso.

Humedad aprovechable muy pobre de 3,11 cm.c.a. entre 0 y 35 cm, profundidad a la cual se observa el estrato R (roca) en el perfil, lo que determina que no corresponde a Clase IV de capacidad de uso, relevando la capacidad de uso a VI, VII u VIII.

Debido a la ubicación de Perfil 2 en posición de ladera de cerro, se observan pendientes heterogéneas, entre las que se encuentran pendientes en el rango de 15 a 45%, lo que determina Clase VI de capacidad de uso. Cabe destacar el emplazamiento del perfil descrito en topografía de cerros.

En consideración a lo anterior, el factor que presenta la mayor limitación para la clasificación del suelo corresponde a la humedad aprovechable y la pendiente, permitiendo establecer que el suelo Perfil 2 corresponde a la Clase VI de capacidad de uso.

### Perfil 3

El Perfil 3 de suelo descrito morfológicamente, se encuentra en el Área Planta Concentradora, la cual corresponde a un área relativamente homogénea en términos de vegetación y geomorfología, siendo similar a lo observado en el Área Mina. Corresponde a suelos en pendiente asociado a laderas de cerros, siendo común observar presencia de pedregosidad superficial y eventualmente afloramientos rocosos.

En el área asociada al emplazamiento de la Planta Concentradora, no se observan cultivos agrícolas ni forestales, ni obras asociadas a la conducción de agua para riego. Al momento de la visita, no se observa la presencia de ganado en el lugar. Se observa un camino asociado a actividades mineras y huellas de vehículos.

La siguiente Figura muestra imágenes representativas del sector de emplazamiento de la Planta Concentradora.

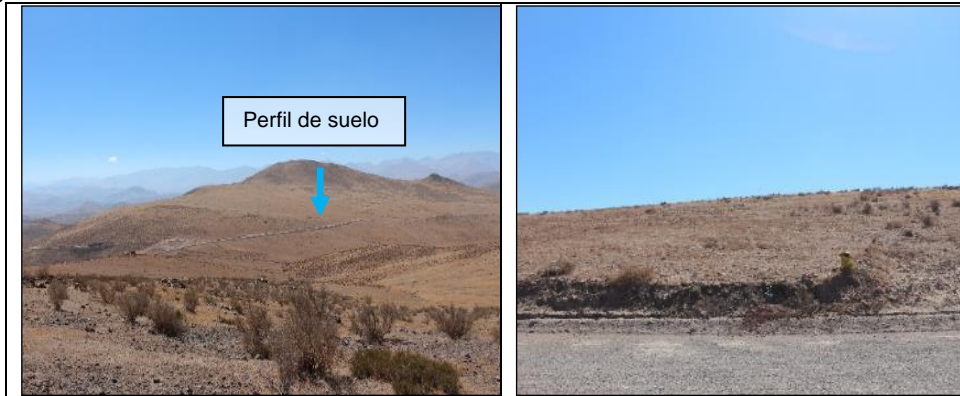
**Figura Nº 3.1.9.20. Vista General Sector Planta Concentradora**



Fuente: Fotografía capturada por el autor, 2019

En esta área se describió morfológicamente un perfil de suelo. La siguiente imagen muestra la ubicación del perfil descrito.

**Figura N° 3.1.9.21. Ubicación Perfil 3 de Suelo Descrito Área Planta Concentradora**



Fuente: Fotografía capturada por el autor, 2019

El siguiente cuadro indica las coordenadas de ubicación del perfil descrito.

**Cuadro N° 3.1.9.5.Coordenadas Ubicación Perfil de Suelo Descrito Área Planta Concentradora**

PERFIL	COORDENADAS UTM H19S WGS 84	
	ESTE (m)	NORTE (m)
Perfil 3	317.010	6.703.952

Fuente: Elaboración propia, 2019.

Por su parte, en la siguiente figura se observa la pedregosidad superficial presente en el sector del perfil de suelo descrito.

**Figura N° 3.1.9.22. Pedregosidad Superficial Perfil Descrito Área Planta Concentradora**



Fuente: Fotografía capturada por el autor, 2019

El perfil descrito se encuentra en posición de ladera de cerro; se observa moderada pedregosidad en superficie. El perfil de suelo presenta textura fina en todo el perfil, a excepción de la capa superficial que presenta textura media. A partir de los 36 cm se

observa un horizonte de color claro arcilloso, sin estructura, con moderada presencia de piedras y gravas.

En el cuadro a continuación se indica la descripción morfológica del perfil de suelo.

**Cuadro N° 3.1.9.6. Descripción Morfológica del Perfil 3 de Suelo**

<b>PROFUNDIDAD (cm)</b>	<b>DESCRIPCIÓN MORFOLÓGICA</b>
0 - 2 A	Pardo pálido (10YR 6/3) en seco, Pardo oscuro amarillo (10YR 4/6) en húmedo; franco limoso; ligeramente plástico, moderadamente adhesivo; masivo (sin estructura); raíces finas comunes; poros finos comunes; límite lineal abrupto.
2 - 18 B	Pardo oscuro amarillo (10YR 3/4) en seco, Pardo oscuro (10YR 3/3) en húmedo; franco arcillosa; muy plástico, muy adhesivo; estructura de bloques sub angulares medios y finos moderados; raíces finas escasas; poros finos y medios comunes; moderada pedregosidad (25%: 15% piedras angulosas de 1 a 2 cm, 10% gravas de 2 a 3 mm; límite lineal claro).
18 - 36 B	Pardo oscuro amarillo (10YR 3/4) en seco, Pardo oscuro (10YR 3/3) en húmedo; franco arcillosa; muy plástico, muy adhesivo; estructura de bloques sub angulares medios y finos débiles; poros finos y medios comunes; abundante pedregosidad (35%: 20% piedras angulosas de 1 a 2 cm, 15% piedras angulosas de 8 a 12 cm); límite lineal claro.
36 - 48 C	Color mezcla entre 5YR6/6 (amarillo rojizo) 5YR8/3 (rosado) y 5YR6/4 (pardo rojizo claro); arcillosa; muy plástico, muy adhesivo; sin estructura; poros finos comunes; ligera pedregosidad (10% gravas de 2 a 3 mm); límite lineal claro).
48 – 64 y más C	Color mezcla entre 5YR6/6 (amarillo rojizo) 5YR8/3 (rosado) y 5YR6/4 (pardo rojizo claro); matriz arcillosa; muy plástico, muy adhesivo; sin estructura; poros finos comunes; moderada pedregosidad (20%: 10% gravas de 6 a 9 mm, 10% gravas de 2 a 3 mm).

Fuente: Elaboración propia, 2019

La figura a continuación muestra una imagen del perfil de suelo descrito.

**Figura N° 3.1.9.23. Perfil 3 de Suelo**

Fuente: Fotografía capturada por el autor, 2019

Por su parte, en el Cuadro a continuación se presenta una caracterización del suelo en base a criterios indicados en la Pauta para estudio de suelos (SAG 2011, rectificada).

**Cuadro Nº 3.4 Perfil 3, Criterios Pauta Para Estudio de Suelos SAG 2011 (Rectificada).**

Criterios de aproximación						
Profundidad efectiva:	Ligeramente profundo (64 cm).					
Pendiente:	Heterogéneo: Rangos predominantes: 15 a 45%; 8 a 15%					
Pedregosidad superficial:	Ligera pedregosidad (10% de piedras y 10% de gravas).					
Drenaje:	Bien drenado					
Criterios de definición						
Textura_	Textura moderadamente fina hasta los 36 cm, muy fina desde los 36 cm de profundidad					
Humedad aprovechable (retención de humedad):	Parámetro	2 a 18 cm	18 a 36 cm	36 a 48 cm	48 a 64 cm	
	Capacidad de campo (%)	20,8	20,8	21,5	21,5	
	Punto de marchitez permanente (%)	11,6	11,6	11,4	11,4	
	Densidad aparente (g/cm <sup>3</sup> )	1,42	1,42	1,32	1,32	
	Cm (grosor horizonte)	18	18	12	16	
	(1-P) P= fracción de pedregosidad	0,75	0,65	0,9	0,8	
	HA cm c.a.	1,76	1,53	1,44	1,71	6,44
6,44 cm c.a. (0 a 64) cm. Pobre						
Pedregosidad subsuperficial:	Moderada pedregosidad (25%): 2 a 18 cm Moderada pedregosidad (35%): 18 a 36 cm Ligera pedregosidad (10%): 36 a 48 cm Ligera pedregosidad (20%): 48 a 64 cm					
Erosión:	No aparente.					
Criterios especiales						
Inundación:	Ninguna. El sector se encuentra en posición de ladera, no se observan signos de inundación. El sector es árido.					
Salinidad:	C. Eléctrica (en extracto) dS/m: 0,57 (2-36 cm). No salino C. Eléctrica (en extracto) dS/m: 0,55 (36-48 cm). No salino					
Sodicidad:	Relación Adsorción de Sodio %: 0,6 (2-36 cm). No sódico Relación Adsorción de Sodio %: 0,7 (36-48 cm). No sódico					
Alcalinidad	Carbonato total (CaO <sub>3</sub> ) %: 8,0 (2-36 cm).					
	Carbonato total (CaO <sub>3</sub> ) %: 14,5 (36-48 cm).					
	Caliza activa (CaO <sub>3</sub> ) %: 3,3 (2-36 cm). (>2,5)					
	Caliza activa (CaO <sub>3</sub> ) %: 5,5 (36-48 cm). (>2,5)					
Otros criterios						
Materia orgánica:	1,2 % (2-36 cm). Bajo.					
	1,1 % (36-48 cm). Bajo.					
Densidad aparente:	1,42 g/cc (2-36 cm).					
	1,32 g/cc (36-48 cm).					
pH:	Agua, relación 1:2,5: 8,2 (2-36 cm). Alcalino.					
	Agua, relación 1:2,5: 8,5 (36-48 cm). Fuertemente alcalino.					
	En extracto: 7,5 (2-36 cm). Sin problema.					
	En extracto: 7,6 (36-48 cm). Sin problema.					

Fuente: Elaboración propia base SAG 2011 (rectificada), 2019.

En el Apéndice A del presente documento se encuentran los análisis de laboratorio indicados en el cuadro anterior, según corresponda, así como la retención de humedad a capacidad de campo y a punto de marchitez permanente empleada para el cálculo de la humedad aprovechable. Las muestras asociadas a Perfil 3 corresponden a Planta Muestra N°3.1 y Planta Muestra N°3.2.

#### Clasificación interpretativa de suelos Perfil 3:

Para determinar la Clase de capacidad de uso, se consideran los factores limitantes o atributos críticos indicados por la Pauta de SAG como criterios de clasificación.

Los factores limitantes asociados a Perfil 3, así como a su emplazamiento considerando la topografía y grados de inclinación asociados, se indican a continuación.

Debido a la ubicación de Perfil 3 en posición de ladera de cerro, se observan pendientes heterogéneas, entre las que se encuentran pendientes en el rango de 15 a 45%, lo que determina Clase VI de capacidad de uso. Cabe destacar el emplazamiento del perfil descrito en topografía de cerros.

En consideración a lo anterior, el factor que presenta la mayor limitación para la clasificación del suelo corresponde a la pendiente, permitiendo establecer que el suelo Perfil 3 corresponde a la Clase VI de capacidad de uso.

#### **Perfil 4**

El Perfil 4 de suelo descrito geomorfológicamente, se encuentra en el Área Depósito de Relave, la cual corresponde a un área relativamente homogénea en términos de vegetación y geomorfología de cerros, siendo similar a lo observado tanto en el Área Mina como en el Área Planta Concentradora. Corresponde a suelos en pendiente, siendo común observar presencia de pedregosidad superficial y eventualmente afloramientos rocosos.

En el área de emplazamiento del Depósito de Relaves no se observan cultivos agrícolas ni forestales, ni obras asociadas a la conducción de agua para riego. La vegetación del área está compuesta por la vegetación que crece de forma natural en el lugar. Al momento de la visita, no se observa la presencia de ganado. Se observan huellas de vehículos en el sector.

La siguiente Figura muestra imágenes representativas del sector de emplazamiento del Depósito de Relaves.

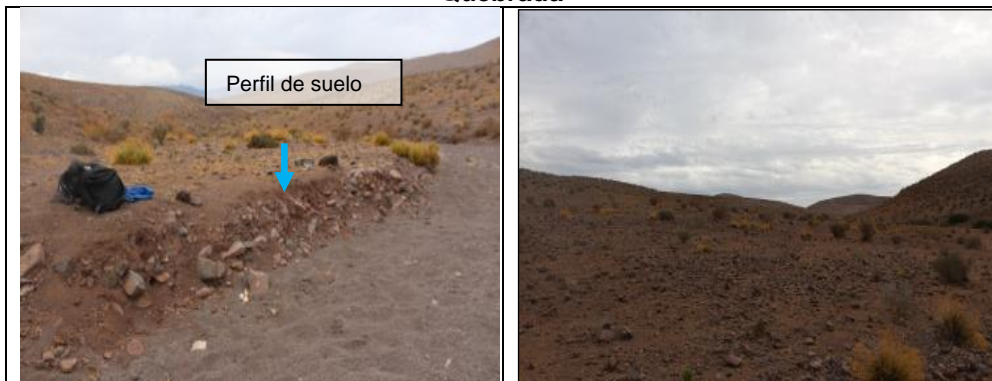
**Figura N° 3.1.9.24. Vista General Área Depósito de Relaves**



Fuente: Fotografía capturada por el autor, 2019

En esta área se describió morfológicamente un perfil de suelo asociado a fondo de quebrada. Al respecto la siguiente imagen muestra la ubicación del perfil descrito.

**Figura N° 3.1.9.25. Ubicación Perfil de Suelo Descrito Área Depósito de Relaves, Posición Quebrada**



En la imagen de la derecha se observa la presencia de abundante pedregosidad superficial en las laderas de cerros que rodean la quebrada

Fuente: Fotografía capturada por el autor, 2019

El siguiente Cuadro indica las coordenadas de ubicación del perfil descrito.

**Cuadro N° 3.1.9.7. Coordenadas Ubicación Perfil Descrito Área Depósito de Relaves Posición Quebrada**

PERFIL	COORDENADAS UTM H19S WGS 84	
	ESTE (m)	NORTE (m)
Perfil 4	319.329	6.700.756

Fuente: Elaboración propia, 2019.

El perfil descrito se encuentra en posición de baja ladera llegando al fondo de quebrada; se observa abundante pedregosidad en superficie y grava fina de 2 a 4 mm, el perfil de suelo no presenta estructura (grano suelto). Se observa la presencia de gravas y piedras en torno al 55% en el perfil. En el Cuadro a continuación se indica la descripción morfológica del perfil de suelo.

**Cuadro N° 3.1.9.8. Descripción Morfológica Perfil de Suelo Área Relave, Quebrada**

PROFUNDIDAD (cm)	DESCRIPCIÓN MORFOLÓGICA
0 – 20 A	Pardo grisáceo muy oscuro (10YR 3/2) en húmedo; matriz franco arenosa; no plástico, no adhesivo; sin estructura (grano suelto); raíces finas y medias muy escasas; poros medios y gruesos muy abundantes; abundante pedregosidad (55%: 20% piedras de 3 a 5 cm, 15% piedras de 1 a 2,5 cm; 20% grava de 2 a 3 mm); límite lineal claro.
20 - 52 y más C	Pardo rojizo (5YR 4/3) en seco, Pardo rojizo oscuro (5YR 3/3) en húmedo; franco arenoso; moderadamente plástico, ligeramente adhesivo; sin estructura (grano suelto); raíces finas y medias muy escasas; poros medios y gruesos comunes; moderada pedregosidad (30%: 20% piedras angulosas de 3 a 5 cm, 10% piedras de 0,5 a 1 cm).

Fuente: Elaboración propia, 2019

La Figura a continuación muestra una imagen del perfil de suelo descrito.

**Figura N° 3.1.9.26.. Perfil 4 de Suelo**



Fuente: Fotografía capturada por el autor, 2019

Por su parte, en el Cuadro a continuación se presenta una caracterización del suelo en base a criterios indicados en la Pauta para estudio de suelos (SAG 2011, rectificada).



**Cuadro Nº 3.5 Perfil 4, Criterios Pauta Para Estudio de Suelos SAG 2011 (Rectificada).**

Criterios de aproximación				
Profundidad efectiva:	Ligeramente profundo (64 cm).			
Pendiente:	Heterogéneo: Rangos predominantes: 5 a 8%, 8 a 15%, 15 a 45%.			
Pedregosidad superficial:	Moderada pedregosidad (25% de piedras y 15% de gravas).			
Drenaje:	Bien drenado			
Criterios de definición				
Textura	Textura moderadamente gruesa			
Humedad aprovechable (retención de humedad):	Parámetro	0 a 20 cm	20 a 52 cm	
	Capacidad de campo (%)	8,7	10,7	
	Punto de marchitez permanente (%)	4,9	5,2	
	Densidad aparente (g/cm <sup>3</sup> )	1,78	1,69	
	Cm (grosor horizonte)	20	32	
	(1-P) P= fracción de pedregosidad	0,45	0,7	
	HA cm c.a.	0,61	2,08	2,69
2,69 cm c.a. (0 a 52) cm. Muy pobre				
Pedregosidad subsuperficial:	Abundante pedregosidad (55%): 0 a 20 cm Moderada pedregosidad (30%): 20 a 52 cm			
Erosión:	No aparente.			
Criterios especiales				
Inundación:	Ninguna. El sector se encuentra en posición de ladera, no se observan signos de inundación. El sector es árido.			
Salinidad:	C. Eléctrica (en extracto) dS/m: 0,37 (2-20 cm). No salino			
	C. Eléctrica (en extracto) dS/m: 0,41 (20-52 cm). No salino			
Sodicidad:	Relación Adsorción de Sodio %: 0,2 (2-20 cm). No sódico			
	Relación Adsorción de Sodio %: 0,2 (20-52 cm). No sódico			
Alcalinidad	Carbonato total (CaO <sub>3</sub> ) %: 2,6 (2-20 cm).			
	Carbonato total (CaO <sub>3</sub> ) %: 2,4 (20-52 cm).			
	Caliza activa (CaO <sub>3</sub> ) %: 0,5 (2-20 cm). Sin problema			
	Caliza activa (CaO <sub>3</sub> ) %: 0,5 (20-52 cm). Sin problema			
Otros criterios				
Materia orgánica:	0,83 % (2-20 cm). Bajo.			
	1,3 % (20-52 cm). Bajo.			
Densidad aparente:	1,78 g/cc (2-20 cm).			
	1,69 g/cc (20-52 cm).			
pH:	Agua, relación 1:2,5: 7,9 (2-20 cm). Ligeramente alcalino.			
	Agua, relación 1:2,5: 7,8 (20-52 cm). Ligeramente alcalino.			
	En extracto: 7,4 (2-20 cm). Sin problema.			
	En extracto: 7,4 (20-52 cm). Sin problema.			

Fuente: Elaboración propia base SAG 2011 (rectificada), 2019.

En el Apéndice A del presente documento se encuentran los análisis de laboratorio indicados en el cuadro anterior, según corresponda, así como la retención de humedad a capacidad de campo y a punto de marchitez permanente empleada para el cálculo de la

humedad aprovechable. Las muestras asociadas a Perfil 4 corresponden a Relaves Quebrada 2-20 cm, y 20-50 cm.

#### Clasificación interpretativa de suelos Perfil 4:

Para determinar la Clase de capacidad de uso, se consideran los factores limitantes o atributos críticos indicados por la Pauta de SAG como criterios de clasificación.

Los factores limitantes asociados a Perfil 4, así como a su emplazamiento considerando la topografía y grados de inclinación asociados, se indican a continuación.

Humedad aprovechable muy pobre de 2,69 cm.c.a. entre 0 y 52 cm.

Pedregosidad subsuperficial (pedregosidad en el perfil) bajo los 25 cm, presentando Abundante pedregosidad (55%) de 0 a 20 cm, lo que correspondería a Clase VI de capacidad de uso, sin embargo, esta pedregosidad sub superficial no se encuentra bajo los 25 cm por lo que no permite determinar un factor limitante en base de los criterios de la pauta de SAG, moderada pedregosidad (30%) de 20 a 52 cm, lo que determina Clase VI de capacidad de uso.

Debido a la ubicación de Perfil 4 en posición de baja ladera de cerro llegando al fondo de quebrada, se observan pendientes heterogéneas, observándose pendientes mayores a 15 %, lo que determina Clase VI de capacidad de uso. Cabe destacar el emplazamiento del perfil descrito en topografía de cerros.

En consideración a lo anterior, el factor que presenta la mayor limitación para la clasificación del suelo corresponde a la pendiente, permitiendo establecer que el suelo Perfil 4 corresponde a la Clase VI de capacidad de uso.

#### **Perfil 5**

En el área del Depósito de Relave se describió morfológicamente un perfil de suelo en posición de ladera de cerro. Al respecto la siguiente imagen muestra la ubicación del perfil descrito.

**Figura Nº 3.1.9.27. Ubicación Perfil de Suelo Descrito Depósito de Relave, Ladera**



Fuente: Fotografía capturada por el autor, 2019

Por su parte, en la siguiente figura se observa la presencia de abundante pedregosidad superficial.

**Figura N° 3.1.9.28. Pedregosidad Superficial Perfil de Suelo Descrito Depósito de Relaves, Ladera**



Fuente: Fotografía capturada por el autor, 2019

El perfil descrito se encuentra en posición de ladera de cerro; se observa abundante pedregosidad en superficie y grietas en el perfil. El perfil de suelo presenta textura fina y estructura granular fina moderada y bloques sub angulares medios moderados, con presencia de gravas y piedras en torno al 40% en el perfil, y presenta roca (horizonte “R”) a partir de los 56 cm de profundidad.

El siguiente cuadro indica las coordenadas de ubicación del perfil descrito.

**Cuadro N° 3.1.9.9. Coordenadas Ubicación Perfil de Suelo Descrito Depósito de Relaves, Ladera**

PERFIL	COORDENADAS UTM H19S WGS 84	
	ESTE (m)	NORTE (m)
Perfil 5	319.744	6.700.784

Fuente: Elaboración propia, 2019.

En el cuadro a continuación se indica la descripción morfológica del perfil de suelo.

**Cuadro N° 3.1.9.10. Descripción Morfológica Perfil 5 de Suelo Área Depósito de Relaves, Ladera**

PROFUNDIDAD (cm)	DESCRIPCIÓN MORFOLÓGICA
0 - 10 A	Pardo oscuro (7,5YR 3/3) en seco, Pardo muy oscuro (7.5YR 2.5/3) en húmedo; franco arcilloso limoso; moderadamente plástico, moderadamente adhesivo; estructura granular fina moderada y bloques sub angulares medios moderados; raíces finas comunes; poros medios abundantes; abundante pedregosidad (50%: 25% piedras de 8 a 20 cm, 25% piedras de 2 a 4 cm); límite lineal abrupto.
10 - 28 B	Pardo oscuro (7,5YR 3/3) en seco, Pardo muy oscuro (7.5YR 2.5/3) en húmedo; arcilloso; muy plástico, muy adhesivo; bloques angulares gruesos moderados; raíces finas escasas; poros medios abundantes;

PROFUNDIDAD (cm)	DESCRIPCIÓN MORFOLÓGICA
	moderada pedregosidad (30%: 15% piedras angulosas de 2 a 6 cm, 15% piedras de 1 a 2 cm); límite lineal claro.
28 – 56 C	Pardo amarillento (10YR 5/4) en seco, Pardo amarillento oscuro (10YR 4/4) en húmedo; matriz arcillosa; plástico, adhesivo; sin estructura (masivo); poros medios y finos escasos; moderada pedregosidad (40%: 15% piedras angulosas de 2 a 6 cm, 15% piedras de 1 a 2 cm; 10% gravas de 2 a 4 mm); límite irregular claro.
56 – 120 y más R	Roca, se observa roca meteorizada escasa.

Fuente: Elaboración propia, 2019

La figura a continuación muestra una imagen del perfil de suelo descrito.

**Figura N° 3.1.9.29. Perfil 5 de Suelo**



Fuente: Fotografía capturada por el autor, 2019.

Por su parte, en el Cuadro a continuación se presenta una caracterización del suelo en base a criterios indicados en la Pauta para estudio de suelos (SAG 2011, rectificada).

**Cuadro Nº 3.6 Perfil 5, Criterios Pauta para Estudio de Suelos SAG 2011 (Rectificada).**

Criterios de aproximación					
Profundidad efectiva:	Ligeramente profundo (56 cm).				
Pendiente:	Heterogéneo: Rangos predominantes: 5 a 8%, 8 a 15%, 15 a 45%.				
Pedregosidad superficial:	Abundante pedregosidad (50% de piedras y 10% de gravas).				
Drenaje:	Bien drenado				
Criterios de definición					
Textura	Textura moderadamente gruesa				
Humedad aprovechable (retención de humedad):	Parámetro	0 a 10 cm	10 a 28 cm	28 a 56 cm	
	Capacidad de campo (%)	19,0	17,5	17,5	
	Punto de marchitez permanente (%)	10,2	9,6	9,6	
	Densidad aparente (g/cm <sup>3</sup> )	1,46	1,46	1,46	
	Cm (grosor horizonte)	10	18	28	
	(1-P) P= fracción de pedregosidad	0,5	0,7	0,6	
	HA cm c.a.	0,64	1,45	1,94	4,03
4,03 cm c.a. (0 a 56) cm. Muy pobre					
Pedregosidad subsuperficial:	Abundante pedregosidad (50%): 0 a 10 cm Moderada pedregosidad (30%): 10 a 28 cm Abundante pedregosidad (40%): 28 a 56 cm				
Erosión:	No aparente.				
Criterios especiales					
Inundación:	Ninguna. El sector se encuentra en posición de ladera, no se observan signos de inundación. El sector es árido.				
Salinidad:	C. Eléctrica (en extracto) dS/m: 0,51 (2-10 cm). No salino				
	C. Eléctrica (en extracto) dS/m: 0,27 (10-29 cm). No salino				
Sodicidad:	Relación Adsorción de Sodio %: 0,4 (2-10 cm). No sódico				
	Relación Adsorción de Sodio %: 0,4 (10-29 cm). No sódico				
Alcalinidad	Carbonato total (CaCO <sub>3</sub> ) %: 2,0 (2-10 cm).				
	Carbonato total (CaCO <sub>3</sub> ) %: 2,9 (10-29 cm).				
	Caliza activa (CaCO <sub>3</sub> ) %: 1,0 (2-10 cm). Sin problema				
	Caliza activa (CaCO <sub>3</sub> ) %: 1,0 (10-29 cm). Sin problema				
Otros criterios					
Materia orgánica:	2,0 % (2-10 cm). Bajo.				
	1,2 % (10-29 cm). Bajo.				
Densidad aparente:	1,46 g/cc (2-10 cm).				
	1,46 g/cc (10-29 cm).				
pH:	Agua, relación 1:2,5: 8,0 (2-10 cm). Ligeramente alcalino.				
	Agua, relación 1:2,5: 7,8 (10-29 cm). Ligeramente alcalino.				
	En extracto: 7,6 (2-10 cm). Sin problema.				
	En extracto: 7,8 (10-29 cm). Sin problema.				

Fuente: Elaboración propia base SAG 2011 (rectificada), 2019.

En el Apéndice A del presente documento se encuentran los análisis de laboratorio indicados en el cuadro anterior, según corresponda, así como la retención de humedad a capacidad de campo y a punto de marchitez permanente empleada para el cálculo de la humedad aprovechable. Las muestras asociadas a Perfil 5 corresponden a Relaves Ladera Muestra N°5.1 y Relaves Ladera Muestra N°5.2.

#### Clasificación interpretativa de suelos Perfil 5:

Para determinar la Clase de capacidad de uso, se consideran los factores limitantes o atributos críticos indicados por la Pauta de SAG como criterios de clasificación.

Los factores limitantes asociados a Perfil 5, así como a su emplazamiento considerando la topografía y grados de inclinación asociados, se indican a continuación.

Profundidad efectiva de 56 cm, determinando Clase III de capacidad de uso.

Humedad aprovechable muy pobre de 4,03 cm.c.a. entre 0 y 56 cm, profundidad a la cual se observa el estrato R (roca) en el perfil, lo que determina que no corresponde a Clase IV de capacidad de uso, relevando la capacidad de uso a VI, VII u VIII.

Debido a la ubicación de Perfil 5 en posición de ladera de cerro, se observan pendientes heterogéneas, entre las que se encuentran pendientes mayores a 15%, lo que determina Clase VI de capacidad de uso. Cabe destacar el emplazamiento del perfil descrito en topografía de cerros.

En consideración a lo anterior, el factor que presenta la mayor limitación para la clasificación del suelo corresponde a la humedad aprovechable y la pendiente, permitiendo establecer que el suelo Perfil 5 corresponde a la Clase VI de capacidad de uso.

#### **3.1.9.5. Conclusión**

El área de ubicación del Proyecto, considerando la extensión de las obras lineales y su emplazamiento asociado principalmente a laderas y cumbres de cerros, no se encuentra abarcada por el Estudio Agrológico IV Región (CIREN, 2005), a excepción de los suelos asociados al Elqui donde se emplaza la Bocatoma y Estación de Bombeo.

De acuerdo a antecedentes de CIREN, la Bocatoma se emplaza en Caja de Río, No Clasificada (CDR, N.C.) en tanto la estación de bombeo se emplaza en suelo definido como Clase IV. No obstante, no se observan actividades agrícolas en el área.

De igual forma, asociado al emplazamiento de las obras y partes restantes del Proyecto (Mina, Depósito de Relaves, Planta Industrial, obras lineales y otras), no se observa la existencia de cultivos agrícolas ni obras de riego, siendo la vegetación que se encuentra en el área aquella que crece de forma natural en el lugar, asociado a lo cual, es posible observar tránsito de ganado caprino.

Desde un punto de vista productivo y de la capacidad de uso, los suelos a ser empleados por el Proyecto presentan capacidad de uso Clase VI correspondiendo a suelos inadecuados para los cultivos y su uso está limitado a pastos y forestales.

El principal factor limitante corresponde a la topografía de cerros, colinas y laderas de distinta inclinación, observándose pendientes mayores a 15%, lo que determina una Clase VI de capacidad de uso. Por otra parte, también se encuentran otros factores limitantes, referidos a la escasa profundidad del suelo cuando la estrata R (roca) se encuentra cercana a la superficie, lo que además determina una pobre humedad aprovechable. Otros factores limitantes corresponden a la pedregosidad superficial y pedregosidad en el perfil.

Sin embargo, también se observan sectores con pendientes mayores a 45% asociadas a Clase VII de capacidad de uso, y afloramientos rocosos y roca en superficie, asociado a Clase VIII de capacidad de uso.

Finalmente, sin perjuicio de la capacidad de uso del suelo, cabe señalar que el Proyecto se emplaza en vastas áreas relativamente homogéneas, principalmente en topografía de cerros, observándose a nivel de sitio heterogeneidad de geoformas y de grados de inclinación, sin que se observen áreas singulares en términos de desarrollo de suelo, en el emplazamiento de las obras del Proyecto respecto de su entorno.

### 3.1.9.6. Bibliografía

- CIREN. 2005. Estudio agrológico IV Región. Publicación CIREN N°129. 280 p.
- COMPAÑÍA MINERA SAN GERÓNIMO. 2008. Estudio de Impacto Ambiental Proyecto Tugal.
- LUZIO, W., 2010. Suelos de Chile. Universidad de Chile. Santiago, Chile. 364 P.
- MINISTERIO DE BIENES NACIONALES. 2018. Infraestructura de Datos Geoespaciales. [on line]. Sitio: < <http://www.ide.cl/> >.
- SANDOVAL MARCO, FERNÁNDEZ JOSÉ, SEGUEL OSCAR, CUEVAS JOSÉ, SALAZAR DIEGO. 2011. Método de Análisis Físico de Suelos.
- SERVICIO DE EVALUACIÓN AMBIENTAL. Guía Trámite PAS Artículo 160 Reglamento del SEIA. 26 p, Resolución Exenta N°295 de la Dirección Ejecutiva del SEA del 11 de marzo de 2019.
- SERVICIO AGRÍCOLA Y GANADERO. 2011. Pauta para estudio de suelos (rectificada).
- SISTEMA DE INFORMACIÓN TERRITORIAL RURAL DE CIREN (SIT RURAL CIREN). 2016. Suelos Petorca. [En línea] Disponible en <<http://visor.sitrural.cl/mapa>> Consultado el 10 de julio de 2019.
- U.S.D.A. 2002. Guía de campo para el muestreo y descripción de perfiles de suelo. Versión 2.0, ed. -Natural Resources Conservation Service. 300 p.
- U.S.D.A. 2006. Claves Para La Taxonomía de Suelos, 10ª Edición, ed. -Natural Resources Conservation Service, Washington, DC. 331 p.
- UNIVERSIDAD DE CHILE. Facultad de Ciencias Agronómicas. 2004. Edafología: Guía de Clases Prácticas. 75 p.

### 3.1.9.7. Apéndice

Apéndice A: Análisis de laboratorio de muestras de suelo



**APÉNDICE A: ANÁLISIS DE LABORATORIO DE MUESTRAS DE SUELO**

---

Productor : Compañía Minera Arqueros  
Predio : Proyecto Arqueros

Empresa :  
Remite : Douglas Torres

Provincia : Elqui  
Comuna : Coquimbo  
Localidad : Coquimbo

Fecha muestreo : 30-09-2019 F.ingreso : 02-10-2019  
Fecha análisis : 02-10-2019 F.informe : 15-10-2019

Pag. 1/3

Identificación Cuartel	:	LTE Muestra N°	LTE Muestra N°	Mina Muestra N°	Planta Muestra
		1.1	1.2	2	N° 3.1
Profundidad muestreo(cm)	:	16-36 Cms.	36-52 Cms.	5-35 Cms.	2-36 Cms.
N° de Laboratorio	:	216394	216395	216396	216397
<b>Fertilidad</b>					
pH	(agua, relación 1:2,5) 1:2,5	8,6 Fuert.Alcalino	8,6 Fuert.Alcalino	7,9 Lig.Alcalino	8,2 Alcalino
Materia orgánica	%	0,68 Bajo	0,59 Bajo	0,81 Bajo	1,2 Bajo
<b>Textura</b>					
Arena	(2,00 - 0,05 mm) %	41	51	46	33
Limo	(0,05 - 0,002 mm) %	36	38	20	29
Arcilla	(< 0,002 mm) %	23	11	34	38
Clase Textural		Franca	Franca	Fco.Arc.Arenosa	Fco.Arcillosa
Densidad aparente (terrón)	g/cc	1,64	1,67	1,48	1,42
Densidad real	g/cc	2,73	2,68	2,73	2,61
<b>Retención de humedad</b>					
0,3 bar (Capacidad de Campo)	%	11,2	10,8	16,3	20,8
15,0 bar (Pto.Marchitez Permanente)	%	4,8	5,6	8,8	11,6
Humedad aprovechable (peso)	%	6,4	5,2	7,5	9,2
<b>Espacio poroso</b>					
Porosidad total	%	40	38	46	46
Microporosidad	%	18	18	24	30
Macroporosidad	%	22	20	22	16

Equivalencias. C.Eléctrica: dS/m = mmhos/cm; Nutrientes: mg/kg = ppm; Cat.Intercambiables: cmol+/kg = meq/100g

**Notas:**

- Agrolab se encuentra acreditado por la Comisión de Normalización y Acreditación(CNA) de la Soc.Chilena de la Ciencia del Suelo para realizar análisis de Suelo.
- Metodologías: pH:en agua relación 1:2,5. C.Eléctrica:extracto saturado. Materia orgánica:Walkley y Black. N:Bremmer. P:Olsen. K,Ca,Mg,Na:AcNH4. Al int:KCl. CIC:AcNa. Fe,Mn,Zn,Cu:DTPA. B agua caliente. Textura:Bouyouco. D.aparente:terrón con parafina. Retencion humedad:Placas de presión (Richards).
- Este informe no debe ser reproducido parcialmente sin la autorización por escrito del laboratorio.
- Los resultados son válidos sólo para las muestras analizadas las cuales fueron proporcionadas por el cliente

**INFORME DE RESULTADOS - Nº Orden: 154.682**  
**ANALISIS SUELO**

 Productor : Compañía Minera Arqueros  
 Predio : Proyecto Arqueros

 Empresa :  
 Remite : Douglas Torres

 Provincia : Elqui  
 Comuna : Coquimbo  
 Localidad : Coquimbo

 Fecha muestreo : 30-09-2019 F.ingreso : 02-10-2019  
 Fecha análisis : 02-10-2019 F.informe : 15-10-2019

Pag. 2/3

Identificación Cuartel	:	Planta Muestra	Relaves	Relaves	Relaves Ladera
		Nº 3.2	Quebrada	Quebrada	Muestra Nº 5.1
Profundidad muestreo(cm)	:	36-48 Cms.	2-20 Cms.	20-50 Cms.	2-10 Cms.
Nº de Laboratorio	:	216398	216399	216400	216401
<b>Fertilidad</b>					
pH	(agua, relación 1:2,5) 1:2,5	8,5 Fuert.Alcalino	7,9 Lig.Alcalino	7,8 Lig.Alcalino	8,0 Alcalino
Materia orgánica	%	1,1 Bajo	0,83 Bajo	1,3 Bajo	2,0 Bajo
<b>Textura</b>					
Arena	(2,00 - 0,05 mm) %	31	75	67	43
Limo	(0,05 - 0,002 mm) %	27	15	19	19
Arcilla	(< 0,002 mm) %	42	10	14	38
Clase Textural		Arcillosa	Fco.Arenosa	Fco.Arenosa	Fco.Arcillosa
Densidad aparente (terrón)	g/cc	1,32	1,78	1,69	1,46
Densidad real	g/cc	2,59	2,73	2,72	2,57
<b>Retención de humedad</b>					
0,3 bar (Capacidad de Campo)	%	21,5	8,7	10,7	19,0
15,0 bar (Pto.Marchitez Permanente)	%	11,4	4,9	5,2	10,2
Humedad aprovechable (peso)	%	10,1	3,8	5,6	8,8
<b>Espacio poroso</b>					
Porosidad total	%	49	35	38	43
Microporosidad	%	28	15	18	28
Macroporosidad	%	21	20	20	15

Equivalencias. C.Eléctrica: dS/m = mmhos/cm; Nutrientes: mg/kg = ppm; Cat.Intercambiables: cmol+/kg = meq/100g

**Notas:**

- Agrolab se encuentra acreditado por la Comisión de Normalización y Acreditación(CNA) de la Soc.Chilena de la Ciencia del Suelo para realizar análisis de Suelo.
- Metodologías: pH:en agua relación 1:2,5. C.Eléctrica:extracto saturado. Materia orgánica:Walkley y Black. N:Bremmer. P:Olsen. K,Ca,Mg,Na:AcNH4. Al int:KCl. CIC:AcNa. Fe,Mn,Zn,Cu:DTPA. B agua caliente. Textura:Bouyouco. D.aparente:terrón con parafina. Retencion humedad:Placas de presión (Richards).
- Este informe no debe ser reproducido parcialmente sin la autorización por escrito del laboratorio.
- Los resultados son válidos sólo para las muestras analizadas las cuales fueron proporcionadas por el cliente

**INFORME DE RESULTADOS - Nº Orden: 154.682**  
**ANALISIS SUELO**

Productor : Compañía Minera Arqueros  
Predio : Proyecto Arqueros

Empresa :  
Remite : Douglas Torres

Provincia : Elqui  
Comuna : Coquimbo  
Localidad : Coquimbo

Fecha muestreo : 30-09-2019 F.ingreso : 02-10-2019  
Fecha análisis : 02-10-2019 F.informe : 15-10-2019

Pag. 3/3

Identificación Cuartel	:	Relaves Ladera
		Muestra Nº 5.2
Profundidad muestreo(cm)	:	10-29 Cms.
Nº de Laboratorio	:	216402
<b>Fertilidad</b>		
pH (agua, relación 1:2,5)	1:2,5	7,8 Lig.Alcalino
Materia orgánica	%	1,2 Bajo
<b>Textura</b>		
Arena (2,00 - 0,05 mm)	%	58
Limo (0,05 - 0,002 mm)	%	14
Arcilla (< 0,002 mm)	%	28
Clase Textural		Fco.Arc.Arenosa
Densidad aparente (terrón)	g/cc	1,46
Densidad real	g/cc	2,60
<b>Retención de humedad</b>		
0,3 bar (Capacidad de Campo)	%	17,5
15,0 bar (Pto.Marchitez Permanente)	%	9,6
Humedad aprovechable (peso)	%	7,9
<b>Espacio poroso</b>		
Porosidad total	%	44
Microporosidad	%	26
Macroporosidad	%	18

Equivalencias. C.Eléctrica: dS/m = mmhos/cm; Nutrientes: mg/kg = ppm; Cat.Intercambiables: cmol+/kg = meq/100g



*R. Espinoza*  
Rosa Espinoza Astudillo  
Jefe Laboratorio

**Notas:**

- Agrolab se encuentra acreditado por la Comisión de Normalización y Acreditación(CNA) de la Soc.Chilena de la Ciencia del Suelo para realizar análisis de Suelo.
- Metodologías: pH:en agua relación 1:2,5. C.Eléctrica:extracto saturado. Materia orgánica:Walkley y Black. N:Bremmer. P:Olsen. K,Ca,Mg,Na:AcNH4. Al int:KCl. CIC:AcNa. Fe,Mn,Zn,Cu:DTPA. B agua caliente. Textura:Bouyouco. D.aparente:terrón con parafina. Retencion humedad:Placas de presión (Richards).
- Este informe no debe ser reproducido parcialmente sin la autorización por escrito del laboratorio.
- Los resultados son válidos sólo para las muestras analizadas las cuales fueron proporcionadas por el cliente

José Domingo Cañas # 2914 - Santiago - Teléfono: (02) 225 80 87 - e-mail: laboratorio@agrolab.cl

Productor : Compañía Minera Arqueros  
Predio : Proyecto Arqueros

Empresa :  
Remite : Douglas Torres

Provincia : Elqui  
Comuna : Coquimbo  
Localidad : Coquimbo

Fecha muestreo : 30-09-2019 F.ingreso : 02-10-2019  
Fecha análisis : 02-10-2019 F.informe : 15-10-2019

Pag. 1/3

Identificación Cuartel	:	LTE Muestra Nº	LTE Muestra Nº	Mina Muestra Nº	Planta Muestra Nº 3.1	Rango para Interpretación	
						Sin Problema	Problema Severo
Profundidad muestreo(cm)	:	16-36 Cms.	36-52 Cms.	5-35 Cms.	2-36 Cms.		
Nº de Laboratorio	:	216394	216395	216396	216397		
<b>Salinidad</b>							
pH (en extracto)		7,5	7,5	7,5	7,5	6,5-8,0	> 8,5
C.Eléctrica (en extracto) dS/m		0,42	0,66	0,35	0,57	< 2,0	> 4,0
RAS (Relación Adsorción de Sodio) -		0,9	1,5	0,5	0,6	<10,0	>15,0
<b>Cationes y aniones solubles (meq/l)</b>							
Calcio (Ca) meq/l		2,6	3,0	2,0	3,6		
Magnesio (Mg) meq/l		0,6	0,9	0,7	0,6		
Potasio (K) meq/l		0,26	0,24	0,32	0,23		
Sodio (Na) meq/l		1,2	2,1	0,61	0,82	< 5,0	>30,0
Cloruro (Cl) meq/l		0,25	2,1	0,80	0,85	<10,0	>30,0
Sulfato (SO4) meq/l		0,12	0,56	0,58	1,5		
Bicarbonato (HCO3)meq/l		3,5	2,9	1,7	2,9	< 4,0	> 8,5
<b>Cationes y aniones solubles (mg/l)</b>							
Calcio (Ca) mg/l		52	60	40	72		
Magnesio (Mg) mg/l		7	11	9	7		
Potasio (K) mg/l		10	9	13	9		
Sodio (Na) mg/l		28	48	14	19	<115	>700
Cloruro (Cl) mg/l		9	74	28	30	<350	>1000
Sulfato (SO4) mg/l		6	27	28	72		
Bicarbonato (HCO3)mg/l		214	177	104	177	<240	>500
<b>Otras determinaciones</b>							
%Saturación (retención agua en pasta)		27	28	28	44		
Carbonato total (CaCO3:%)		1,8	1,6	1,5	8,0	<5,0	>20
Caliza activa (CaCO3:%)		0,75	0,75	0,75	3,3	<2,5	>10

\* Análisis de salinidad realizado en el extracto saturado



*R. Espinoza*  
Rosa Espinoza Astudillo  
Jefe Laboratorio

**Notas:**

- Agrolab se encuentra acreditado por la Comisión de Normalización y Acreditación (CNA) de la Soc.Chilena de la Ciencia del Suelo para realizar análisis de Suelo, además está acreditado por el Servicio Agrícola Ganadero (SAG) para realizar los análisis requeridos por el Ministerio de Agricultura para los programas de recuperación de suelos degradados.
- Metodologías: pH,Cl,NNH4:Potenciometría con electrodo específico. C.Electrica:Conductivimetro. Ca,Mg,Na,K,Zn,Mn,Fe,Cu, y otros metales:Absorción atómica. P,B:Colorimetrico. HCO3:titulación. SO4:Turbidimetría..
- Los resultados son válidos sólo para las muestras analizadas las cuales fueron proporcionadas por el cliente

**INFORME DE RESULTADOS - Nº Orden: 154.682**  
**ANALISIS SUELO**

 Productor : Compañía Minera Arqueros  
 Predio : Proyecto Arqueros

 Empresa :  
 Remite : Douglas Torres

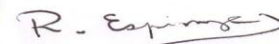
 Provincia : Elqui  
 Comuna : Coquimbo  
 Localidad : Coquimbo

 Fecha muestreo : 30-09-2019 F.ingreso : 02-10-2019  
 Fecha análisis : 02-10-2019 F.informe : 15-10-2019

Pag. 2/3

Identificación Cuartel	Planta Muestra	Relaves Quebrada	Relaves Quebrada	Relaves Ladera Muestra Nº 5.1	Rango para Interpretación	
					Sin Problema	Problema Severo
Profundidad muestreo(cm)	36-48 Cms.	2-20 Cms.	20-50 Cms.	2-10 Cms.		
Nº de Laboratorio	216398	216399	216400	216401		
<b>Salinidad</b>						
pH (en extracto)	7,6	7,4	7,4	7,6	6,5-8,0	> 8,5
C.Eléctrica (en extracto) dS/m	0,55	0,37	0,41	0,51	< 2,0	> 4,0
RAS (Relación Adsorción de Sodio) -	0,7	0,2	0,2	0,4	<10,0	>15,0
<b>Cationes y aniones solubles (meq/l)</b>						
Calcio (Ca) meq/l	3,8	2,5	3,0	3,5		
Magnesio (Mg) meq/l	0,5	1,0	1,1	1,3		
Potasio (K) meq/l	0,21	0,27	0,34	0,18		
Sodio (Na) meq/l	0,98	0,27	0,35	0,57	< 5,0	>30,0
Cloruro (Cl) meq/l	1,4	0,25	0,25	0,45	<10,0	>30,0
Sulfato (SO4) meq/l	1,3	0,26	0,22	0,53		
Bicarbonato (HCO3)meq/l	1,9	2,8	2,4	3,4	< 4,0	> 8,5
<b>Cationes y aniones solubles (mg/l)</b>						
Calcio (Ca) mg/l	76	50	60	70		
Magnesio (Mg) mg/l	6	12	13	16		
Potasio (K) mg/l	8	11	13	7		
Sodio (Na) mg/l	23	6	8	13	<115	>700
Cloruro (Cl) mg/l	50	9	9	16	<350	>1000
Sulfato (SO4) mg/l	62	12	11	25		
Bicarbonato (HCO3)mg/l	116	171	146	207	<240	>500
<b>Otras determinaciones</b>						
%Saturación (retención agua en pasta)	39	26	25	42		
Carbonato total (CaCO3:%)	14,5	2,6	2,4	2,0	<5,0	>20
Caliza activa (CaCO3:%)	5,5	0,50	0,50	1,00	<2,5	>10

\* Análisis de salinidad realizado en el extracto saturado


  
 Rosa Espinoza Astudillo  
 Jefe Laboratorio

**Notas:**

- Agrolab se encuentra acreditado por la Comisión de Normalización y Acreditación (CNA) de la Soc.Chilena de la Ciencia del Suelo para realizar análisis de Suelo, además está acreditado por el Servicio Agrícola Ganadero (SAG) para realizar los análisis requeridos por el Ministerio de Agricultura para los programas de recuperación de suelos degradados.
- Metodologías: pH,Cl,NNH4:Potenciometría con electrodo específico. C.Eléctrica:Conductivímetro. Ca,Mg,Na,K,Zn,Mn,Fe,Cu, y otros metales:Absorción atómica. P,B:Colorimétrico. HCO3:titulación. SO4:Turbidimetría..
- Los resultados son válidos sólo para las muestras analizadas las cuales fueron proporcionadas por el cliente

**INFORME DE RESULTADOS - Nº Orden: 154.682**  
**ANALISIS SUELO**

 Productor : Compañía Minera Arqueros  
 Predio : Proyecto Arqueros

 Empresa :  
 Remite : Douglas Torres

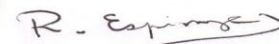
 Provincia : Elqui  
 Comuna : Coquimbo  
 Localidad : Coquimbo

 Fecha muestreo : 30-09-2019 F.ingreso : 02-10-2019  
 Fecha análisis : 02-10-2019 F.informe : 15-10-2019

Pag. 3/3

Identificación Cuartel :	Relaves Ladera Muestra Nº 5.2	Rango para Interpretación	
		Sin Problema	Problema Severo
Profundidad muestreo(cm) :	10-29 Cms.		
Nº de Laboratorio :	216402		
<b>Salinidad</b>			
pH (en extracto)	7,8	6,5-8,0	> 8,5
C.Eléctrica (en extracto) dS/m	0,27	< 2,0	> 4,0
RAS (Relación Adsorción de Sodio) -	0,4	<10,0	>15,0
<b>Cationes y aniones solubles (meq/l)</b>			
Calcio (Ca) meq/l	2,1		
Magnesio (Mg) meq/l	0,7		
Potasio (K) meq/l	0,07		
Sodio (Na) meq/l	0,53	< 5,0	>30,0
Cloruro (Cl) meq/l	0,30	<10,0	>30,0
Sulfato (SO4) meq/l	0,39		
Bicarbonato (HCO3)meq/l	1,9	< 4,0	> 8,5
<b>Cationes y aniones solubles (mg/l)</b>			
Calcio (Ca) mg/l	42		
Magnesio (Mg) mg/l	9		
Potasio (K) mg/l	3		
Sodio (Na) mg/l	12	<115	>700
Cloruro (Cl) mg/l	11	<350	>1000
Sulfato (SO4) mg/l	19		
Bicarbonato (HCO3)mg/l	116	<240	>500
<b>Otras determinaciones</b>			
%Saturación (retención agua en pasta)	35		
Carbonato total (CaCO: %)	2,9	<5,0	>20
Caliza activa (CaCO: %)	1,5	<2,5	>10

\* Análisis de salinidad realizado en el extracto saturado


  
 Rosa Espinoza Astudillo  
 Jefe Laboratorio

**Notas:**

- Agrolab se encuentra acreditado por la Comisión de Normalización y Acreditación (CNA) de la Soc.Chilena de la Ciencia del Suelo para realizar análisis de Suelo, además está acreditado por el Servicio Agrícola Ganadero (SAG) para realizar los análisis requeridos por el Ministerio de Agricultura para los programas de recuperación de suelos degradados.
- Metodologías: pH,Cl,NNH4:Potenciometría con electrodo específico. C.Electrica:Conductivimetro. Ca,Mg,Na,K,Zn,Mn,Fe,Cu, y otros metales:Absorción atómica. P,B:Colorimetrico. HCO3:titulación. SO4:Turbidimetría..
- Los resultados son válidos sólo para las muestras analizadas las cuales fueron proporcionadas por el cliente

**APÉNDICE A: ANÁLISIS DE LABORATORIO DE MUESTRAS DE SUELO**

---





## RESOLUCIÓN EXENTA N°:8461/2019

**EXTIENDE LA ACREDITACIÓN DE LOS LABORATORIOS DEL SISTEMA DE INCENTIVOS PARA LA SUSTENTABILIDAD AGROAMBIENTAL DE LOS SUELOS AGROPECUARIOS (SIRSD-S) ESTABLECIDA EN LA RESOLUCIÓN EXENTA N°7279/2017.**

Santiago, 04/ 11/ 2019

### VISTOS:

La Ley N° 18.755 que establece normas sobre el Servicio Agrícola y Ganadero; lo dispuesto por la Ley N°19.880, que establece bases de los procedimientos administrativos que rigen los actos de los Órganos de la Administración del Estado; la Ley N° 20.412, que establece un Sistema de Incentivos para la Sustentabilidad Agroambiental de los Suelos Agropecuarios; lo indicado en el Decreto Supremo N° 51 de 2011 del Ministerio de Agricultura y sus modificaciones posteriores, que fija el reglamento de la Ley precedentemente indicada; lo señalado en el Decreto Supremo N° 112 de 2018 del Ministerio de Agricultura; lo establecido en la Resolución N° 7 de 2019 de la Contraloría General de la República, que fija normas de exención del trámite de toma de razón; y las facultades que invisto como Director Nacional de la Institución.

### CONSIDERANDO:

1. Que, los interesados en optar al incentivo que establece la Ley N° 20.412, deben presentar un Plan de Manejo en que, dependiendo del tipo de práctica postulada, adjuntarán análisis de suelos que representen la condición inicial de éstos.
2. Que, el artículo 14 del Reglamento de la Ley N°20.412, aprobado mediante el Decreto Supremo N°51 de 2011, del Ministerio de Agricultura, establece que los laboratorios que practiquen los análisis requeridos por aquellos usuarios que postulen Planes de Manejo, a fin de procurar la obtención de los incentivos del Programa, deberán acreditar ante el SAG, mediante la aprobación de las exigencias establecidas en el proceso de acreditación, que cuentan con las instalaciones necesarias, las metodologías y el personal profesional idóneo para efectuarlos. Esta acreditación deberá ser realizada cada dos años.
3. Que, por Resolución Exenta N°7279, de fecha 22 de noviembre de 2017, se establecieron las nóminas de laboratorios acreditados del Sistema de Incentivos para la Sustentabilidad Agroambiental de los Suelos Agropecuarios (SIRSD-S); por un plazo de 2 años.
4. Que mediante Resolución Exenta N° 4791 de 2019 se publicó el llamado a Licitación Pública ID N° 612-40-LE19 para la contratación de Servicio de Acreditación de Laboratorios de suelos para programa SIRSD-S en el sistema de información de compras públicas [www.mercadopublico.cl](http://www.mercadopublico.cl); con el objetivo de ejecutar una nueva ronda de acreditación de laboratorios a fin de dar operatividad a los concursos regionales para la Temporada 2020 y dar cumplimiento a lo señalado en el artículo 7

de la Ley N°20.412 y del artículo N°14 del Decreto Supremo N°51 de 2011 del Ministerio de Agricultura.

5. Que, en virtud de lo señalado mediante Resolución Exenta N°5507 de fecha 25 de julio 2019, se declaró inadmisibles la oferta presentada y desierto el proceso de licitación pública ID N°612-40-LE19, resultando necesario recurrir al proceso de trato o contratación directa del Servicio de Acreditación de Laboratorios de suelos en el marco del Programa SIRSD-S, con el proveedor Sociedad Chilena de la Ciencia del Suelo A.G, en conformidad a lo dispuesto en el artículo 8 letra g) de la Ley N°19.886 y en el artículo 10 número 7 letra l) del Reglamento de la misma Ley.
6. Que, mediante Resolución Exenta N°5858 de fecha 07 de agosto de 2019, se aprobó el trato Directo para el Servicio de Acreditación de Suelos para el Programa SIRSD-S, con el proveedor Sociedad Chilena de la Ciencia del Suelo A.G.
7. Que, la División de Protección de Recursos Naturales Renovables, solicita la anulación del trato directo, debido a que el proveedor adjudicado, informa que no suscribirá el respectivo contrato, toda vez que su cotización no se ajusta a los Términos de Referencia del Trato de Directo.
8. Que, mediante Resolución Exenta N°6874 de fecha 30 de agosto de 2019, se deja sin efecto la resolución exenta N°5858/2019, que aprobó el trato directo para el Servicio de Acreditación de Laboratorios de Suelos para el Programa SIRSD-S con el proveedor Sociedad Chilena de la Ciencia del Suelo A.G.
9. Que, considerando lo anterior, el Servicio Agrícola y Ganadero se hizo cargo directamente de la planificación y realización de la Ronda de Acreditación de Laboratorios 2019, cuyo objetivo final es contar con una nómina de laboratorios del país que informen resultados de análisis de un grupo de muestras de suelo proporcionadas por el Servicio, utilizando los procedimientos publicados por Sadzawka, M. A., et al (2006) en "Métodos de análisis recomendados para los suelos de Chile. Revisión 2006", Instituto de Investigaciones Agropecuarias, serie Actas INIA N° 34, Santiago, Chile, 164 p.
10. Que, este proceso se inició a durante el mes de septiembre 2019 invitándose a los Laboratorios interesados en participar en las Rondas de Acreditación para análisis de suelos, que tiene por objetivo entregar una nómina de Laboratorios acreditados para suelos ácidos y para suelos afectados por sales, en lo relativo al Sistema de Incentivos para la Sustentabilidad Agroambiental de los Suelos Agropecuarios (SIRSD-S). Paralelamente, por parte de los funcionarios del SAG de las regiones de Antofagasta y Los Ríos se realizó la recolección de las muestras de suelos salinos y ácidos. Actualmente, éstas muestras de suelo se están procesando, envasando y rotulando en el laboratorio de Lo Aguirre, restando despachar las muestras a los laboratorios interesados y recibir de estos los resultados de los correspondientes análisis.
11. Que, por lo anteriormente expuesto, para dar continuidad a lo señalado en el artículo 14 del Reglamento de la Ley N°20.412, aprobado mediante el Decreto Supremo N°51 de 2011, del Ministerio de Agricultura, es necesario extender la acreditación formalizada mediante la Resolución Exenta N°7279, de fecha 22 de noviembre de 2017, del SAG, hasta la entrada en vigencia de la Resolución Exenta que la reemplace.

#### **RESUELVO:**

1. Se extiende la acreditación de los laboratorios del Sistema de Incentivos para la Sustentabilidad Agroambiental de los Suelos Agropecuarios establecida en la Resolución Exenta N° 7279/2017 hasta la entrada en vigencia de la Resolución Exenta que la reemplace.

**ANÓTESE Y COMUNÍQUESE**



**HORACIO BÓRQUEZ CONTI**  
**DIRECTOR NACIONAL SERVICIO AGRÍCOLA Y**  
**GANADERO**

6/3/2018

**II.- LABORATORIOS DE ANÁLISIS DE SUELOS AFECTADOS POR SALES**  
**QUE ACREDITAN EN LA TOTALIDAD DE LOS PARÁMETROS EXIGIDOS**

**Parámetros exigidos:**

- pH-H<sub>2</sub>O
- Materia orgánica
- Fósforo disponible (P-Olsen)
- Conductividad eléctrica del extracto de saturación
- Calcio, magnesio, sodio solubles en el extracto de saturación
- RAS (relación de adsorción de sodio)
- PSI (porcentaje de sodio intercambiable)

AGROLAB Ltda.	Jefe de Laboratorio: Rosa Espinoza Dirección: Av. José Domingo Cañas N° 2914, Ñuñoa Casilla electrónica: laboratorio@agrolab.cl, antonio@agrolab.cl Teléfono: 222258087
---------------	---

**RESUELVO:**

1. Apruébense las siguientes Nóminas de Laboratorios Acreditados para suelos ácidos y para suelos afectados por sales, para los efectos del programa Sistema de Incentivos para la Sustentabilidad Agroambiental de los Suelos Agropecuarios. Estos laboratorios sólo podrán informar, en el marco de dicho programa, aquellos parámetros de análisis de suelo en que han acreditado.

**I.- LABORATORIOS DE ANÁLISIS DE SUELOS ÁCIDOS****QUE ACREDITAN EN LA TOTALIDAD DE LOS PARÁMETROS EXIGIDOS****Parámetros exigidos:**

- o pH-H<sub>2</sub>O
- o pH-CaCl<sub>2</sub>
- o Materia orgánica
- o Fósforo disponible (P-Olsen)
- o Calcio, magnesio, potasio, sodio y aluminio intercambiables
- o CICE (capacidad de intercambio de cationes efectiva)
- o Saturación de Al
- o Azufre disponible
- o Requerimiento de encalado para pH-H<sub>2</sub>O de 5,8
- o Capacidad tampón de pH
- o Capacidad tampón de P.

AGROLAB Ltda.	<p>Jefe de Laboratorio: Rosa Espinoza</p> <p>Dirección: Av. José Domingo Cañas N° 2914, Ñuñoa</p> <p>Casilla electrónica: laboratorio@agrolab.cl, antonio@agrolab.cl</p> <p>Teléfono: 222258087</p> <p><b>Análisis acreditados:</b></p> <p>pH-H<sub>2</sub>O pH-CaCl<sub>2</sub> Materia orgánica Fósforo disponible (P-Olsen) Ca, Mg, K, Na y Al intercambiables CICE (capacidad de intercambio de cationes efectiva) Saturación de Al Azufre disponible Requerimiento de encalado para pH-H<sub>2</sub>O de 5,8 Capacidad tampón de P.</p>
---------------	--

**CAPÍTULO 3.1.10 LÍNEA DE BASE  
MEDIO FÍSICO HIDROLOGÍA**

---

**ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL**

**PROYECTO MINERO ARQUEROS**

**CAPÍTULO 3.1.10 LÍNEA BASE  
MEDIO FÍSICO  
HIDROLOGÍA**

ELABORADO PARA



**INERCO** 



**DICIEMBRE DE 2019**

## ÍNDICE DE CONTENIDOS

3.1. MEDIO FÍSICO .....	1
3.1.10. Hidrología .....	1
3.1.10.1. Introducción.....	1
3.1.10.2. Área de Influencia.....	1
3.1.10.3. Metodología .....	1
3.1.10.4. Resultados .....	4
3.1.10.5. Conclusión .....	28
3.1.10.6. Bibliografía .....	28

## ÍNDICE DE CUADROS

CUADRO N° 3.1.10.1: ESTACIONES METEOROLÓGICAS CONSIDERADAS.....	4
CUADRO N° 3.1.10.2: DISTRIBUCIÓN DEL PROYECTO EN LAS SUBCUENCAS DGA.....	8
CUADRO N° 3.1.10.3. RESUMEN DE RESULTADOS ANÁLISIS DE FRECUENCIA [1958-2017].....	19
CUADRO N° 3.1.10.4. RESUMEN DE RESULTADOS ANÁLISIS DE FRECUENCIA [1990-2017].....	20
CUADRO N° 3.1.10.5. ESTACIONES METEOROLÓGICAS PRÓXIMAS A LA ZONA DE ESTUDIO ....	23
CUADRO N° 3.1.10.6. VARIACIÓN ESTACIONAL DE LOS CAUDALES NATURALES EN LA CUENCA DEL ELQUI SEGÚN DGA 1995 PEXC [%].....	25
CUADRO N° 3.1.10.7 RESUMEN DE RESULTADOS ANÁLISIS DE FRECUENCIA LOG-NORMAL [1954-2017].....	27

## ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA N° 3.1.10.1. ESTACIONES METEOROLÓGICAS CERCANAS AL PROYECTO .....	5
FIGURA N° 3.1.10.2: CUENCA DEL RÍO ELQUI.....	7
FIGURA N° 3.1.10.3. CUENCA DEL RÍO ELQUI Y SUB SUBCUENCAS .....	8
FIGURA N° 3.1.10.4: SUBCUENCAS EN EL ÁREA DE EMPLAZAMIENTO DEL PROYECTO.....	9
FIGURA N° 3.1.10.5. UBICACIÓN CAMINO ÁREA MINA.....	10
FIGURA N° 3.1.10.6. CUENCAS APORTANTES CAMINO SECTOR MINA PROYECTO MINERO ARQUEROS.....	11
FIGURA N° 3.1.10.7: UBICACIÓN DEL DEPÓSITO DE RELAVES PROYECTO MINERO ARQUEROS .....	12
FIGURA N° 3.1.10.8 CUENCAS APORTANTES AL DEPÓSITO DE RELAVES PROYECTO MINERO ARQUEROS.....	13
FIGURA N° 3.1.10.9. CUENCAS APORTANTES DEL CAMINO DE ACCESO PROYECTO MINERO ARQUEROS.....	14
FIGURA N° 3.1.10.10 MAPA N°2 CUENCAS APORTANTES CAMINO ACCESO PROYECTO MINERO ARQUEROS.....	15
FIGURA N° 3.1.10.11 CUENCAS APORTANTES ACUEDUCTO PROYECTO MINERO ARQUEROS..	16
FIGURA N° 3.1.10.12. PRECIPITACIONES TOTALES ANUALES EN ESTACIONES PERIODO 1950 17	

FIGURA N° 3.1.10.13. PRECIPITACIONES MEDIAS MENSUALES PROMEDIO PARA ALGUNAS ESTACIONES CUENCA RIO ELQUI (PERIODO 1950-2000) .....	18
FIGURA N° 3.1.10.14. ANÁLISIS DE FRECUENCIA ESTACIONES METEOROLÓGICAS [1958-2017] .....	20
FIGURA N° 3.1.10.15. ANÁLISIS DE FRECUENCIA ESTACIONES METEOROLÓGICAS [1990-2017] .....	21
FIGURA N° 3.1.10.16. UBICACIÓN DE LA BOCATOMA PROYECTO MINERO ARQUEROS .....	22
FIGURA N° 3.1.10.17. REGISTRO HISTÓRICO DE CAUDALES MEDIOS MENSUALES DE LA ESTACIÓN DGA RÍO ELQUI EN ALMENDRAL [1918-2017].....	24
FIGURA N° 3.1.10.18 REGISTRO HISTÓRICO DE CAUDALES MEDIOS MENSUALES DE LAS ESTACIONES DGA RÍO ELQUI EN ALMENDRAL VS RÍO ELQUI EN ALGARROBAL [1918-2017] ...	24
FIGURA N° 3.1.10.19. CURVAS DE VARIACIÓN ESTACIONAL DE LA ESTACIÓN RÍO ELQUI EN ALMENDRAL [1958-2018] ASOCIADAS A DIVERSAS PROBABILIDADES DE EXCEDENCIA.....	26



### **3. LÍNEA DE BASE**

#### **3.1. Medio Físico**

##### **3.1.10. Hidrología**

###### **3.1.10.1. Introducción**

De acuerdo a lo establecido en la Ley N° 19.300 y en el Artículo 18, literal e.1) del Decreto Supremo N° 40/2012 “*Reglamento del Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental*” del Ministerio del Medio Ambiente, la presente sección da cuenta de los antecedentes que caracterizan la línea de base de Hidrología en el área de emplazamiento del Proyecto Minero Arqueros.

El Proyecto Minero Arqueros corresponde a un proyecto de explotación y tratamiento de mineral de cobre, que incluye el desarrollo de una mina subterránea, la construcción de una planta concentradora, un depósito de relaves espesados, y la instalación de sistemas para el suministro de agua, energía y otras instalaciones de apoyo y complementarias.

El Proyecto se ubica en la Región Coquimbo, Provincia del Elqui, Comuna de La Serena y Comuna de Vicuña. En este contexto, se presentan las cuencas hidrográficas, estaciones meteorológicas, pluviometría y fluviometría en las áreas del con el propósito de generar una caracterización hidrológica del emplazamiento del Proyecto.

###### **3.1.10.2. Área de Influencia**

El área de influencia del componente Hidrología, corresponde al espacio geográfico donde se desarrollan las partes, obras y acciones del Proyecto.

Es importante señalar que el levantamiento de información de la línea de base para este componente, abarca un área mayor que el del emplazamiento de las partes, obras y acciones del Proyecto, a fin de verificar el contexto Hidrológico del sitio de emplazamiento.

En el Capítulo 2 “*Determinación y Justificación del Área de Influencia*” del presente EIA, se presenta el área de influencia delimitada para este componente ambiental.

###### **3.1.10.3. Metodología**

En esta sección se describe la metodología requerida para elaborar la descripción de Hidrología, que consiste en una caracterización hidrográfica e hidrometeorológica, tendiente a evaluar la disponibilidad hídrica superficial del sistema. A continuación, se lista la metodología de caracterización hidrológica y posteriormente una breve descripción.

- Revisión de Antecedentes públicos y privados disponibles
- Identificación de Estaciones de Monitoreo
- Caracterización Hidrográfica
- Caracterización Pluviométrica
- Caracterización Fluviométrica

### **A. Revisión de Antecedentes Disponibles**

Con el objetivo de poder analizar la hidrología en el emplazamiento del Proyecto, se han recopilado los siguientes documentos:

- 100-HI-CD-001 Criterios de Diseño Hidráulico e Hidrología, ICASS, 2018 para Compañía Minera Arqueros.
- 350-HI-INF-001 Hidrología Canal de Contorno, del Depósito de Relaves, 2018, elaborado por ICASS para Compañía Minera Arqueros, expediente ambiental.
- 110-HI-INF-001 Hidrología del Canal de Contorno Stock Pile, 2018, elaborado por ICASS para Compañía Minera Arqueros, expediente ambiental.
- 120-HI-INF-001 Hidrología atraveso de obras lineales, 2018, elaborado por ICASS para Compañía Minera Arqueros, expediente ambiental.
- 100-HI-INF-001 Hidrología Botadero Sur, 2018, elaborado por ICASS para Compañía Minera Arqueros, expediente ambiental.
- 100-HI-INF-001 Hidrología Bocatoma, 2018, elaborado por ICASS para Compañía Minera Arqueros, expediente ambiental.
- Documentos públicos existentes.

Los documentos listados se encuentran disponibles en el apéndice del Anexo 10.16: PAS 156 del Presente EIA.

### **B. Identificación de Estaciones de Monitoreo**

Con el fin de realizar una descripción hidrológica del área en donde se ubicarán las obras, partes y acciones del Proyecto, se utilizó la información de las estaciones meteorológicas pertenecientes a la Dirección General de Aguas (DGA).

### **C. Caracterización Hidrográfica**

La descripción general de las características morfológicas de las cuencas hidrográficas en las que se ubica el Proyecto, se realizó a una escala general, considerando la Cuenca del Río Elqui y las cuencas de las principales áreas del emplazamiento del Proyecto, para las principales áreas del proyecto Minero Arqueros:

- Área Mina
- Área Planta Concentradora
- Área Depósito de Relaves
- Obras Complementarias

## **Caracterización Pluviométrica**

Para la caracterización Pluviométrica se analizaron las precipitaciones máximas de 24 horas anuales, para un período determinado y con estaciones representativas de la condición histórica y espacial de la zona del Proyecto.

Las precipitaciones máximas de 24 horas (anuales) se consideraron para evaluar eventos particulares, sobre las cuales se realizó un análisis de frecuencia de las estadísticas en base a un ajuste de distribución de probabilidad a las series de precipitación.

### **D. Caracterización Fluviométrica**

El Proyecto considera una bocatoma en el río Elqui por lo que se recopilará información de las estaciones fluviométricas representativas del emplazamiento del Proyecto para medir caudales del río señalado.

### 3.1.10.4. Resultados

Primeramente se describe la cuenca Río Elqui, con el objetivo de poder identificar la ubicación de las distintas estaciones hidrometeorológicas tales como estaciones pluviométricas y fluviométricas existentes cercanas al Proyecto. Posteriormente se identifican las cuencas aportantes, describiendo a escala macro, la cuenca del río Elqui y las cuencas más pequeñas relacionadas a la ubicación de las partes, obras y acciones del Proyecto.

Finalmente se muestran los resultados pluviométricos de las estaciones meteorológicas y los resultados fluviométricos asociados a la bocatoma del Proyecto, la cual se emplazará en el río Elqui.

#### 3.1.10.4.1 Identificación de Estaciones de Monitoreo

La ubicación de estaciones meteorológicas en el área del emplazamiento del proyecto se presentan en la Figura N° 3.1.10.1 y cuentan con registros por más de 30 años.

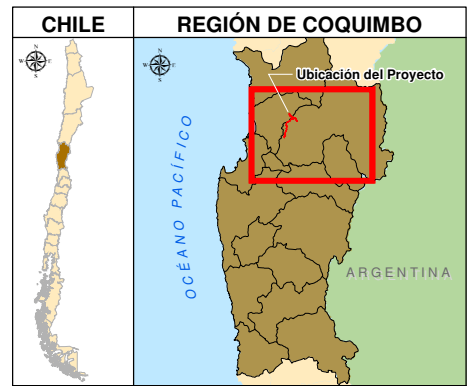
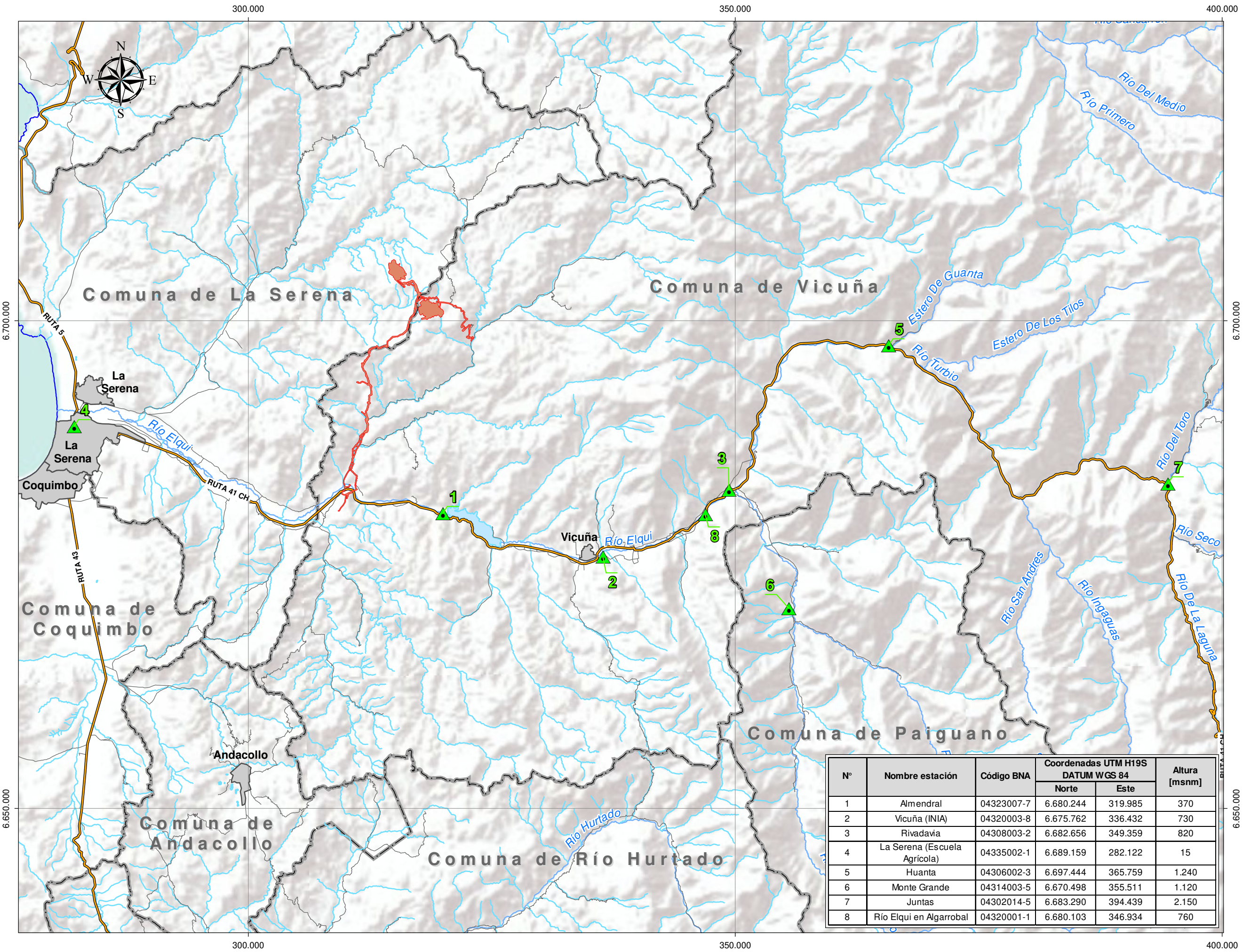
En cuadro siguiente, indica ubicación geográfica en coordenadas UTM, la altitud y el código BNA. El código BNA corresponde al código de la estación en el Sistema Banco Nacional de Aguas, DGA. Este sistema registra información histórica de la Red Hidrometeorológica Nacional.

**Cuadro N° 3.1.10.1: Estaciones Meteorológicas Consideradas**

N°	NOMBRE ESTACIÓN	CÓDIGO BNA	COORDENADAS UTM H 19, DATUM WGS-84		ALTURA (msnm)	REGISTRO HISTÓRICO DISPONIBLE	
			NORTE (m)	ESTE (m)		FECHA INICIO	FECHA FINAL**
1	Almendral	04323007-7	6.680.244	319.985	370	01-09-1958	11-05-2017
2	Vicuña (INIA)	04320003-8	6.675.762	336.432	730	01-05-1944	10-05-2017
3	Rivadavia	04308003-2	6.682.656	349.359	820	01-01-1937	12-05-2017
4	La Serena (Escuela Agrícola)	04335002-1	6.689.159	282.122	15	01-01-1971	25-06-2017
5	Huanta	04306002-3	6.697.444	365.759	1.240	01-04-1989	11-05-2017
6	Monte Grande	04314003-5	6.670.498	355.511	1.120	01-01-1958	11-05-2017
7	Juntas	04302014-5	6.683.290	394.439	2.150	01-11-1989	10-05-2017
8	Río Elqui en Algarrobal	04320001-1	6.680.103	346.934	760	ND	

\*ND: Información No disponible en la plataforma BNA.

\*\*Fecha final: según recopilación estudios Hidrológicos de ICASS para Compañía Minera Arqueros  
Fuente: Banco Nacional de Datos- BNA DGA, 2019.



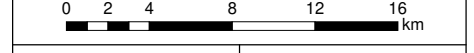
**LEYENDA**

- Estaciones meteorológicas
- Proyecto**
- Proyecto Minero Arqueros
- Principales Centros Poblados**
- Ciudades y Pueblos
- Red Vial**
- Caminos Principales
- Rutas Principales
- Hidrografía**
- Quebradas
- Ríos y Esteros
- Cuerpos de Agua
- Límite Administrativo**
- Límite Comunal
- Costa

N°	Nombre estación	Código BNA	Coordenadas UTM H19S DATUM WGS 84		Altura [msnm]
			Norte	Este	
1	Almendral	04323007-7	6.680.244	319.985	370
2	Vicuña (INIA)	04320003-8	6.675.762	336.432	730
3	Rivadavia	04308003-2	6.682.656	349.359	820
4	La Serena (Escuela Agrícola)	04335002-1	6.689.159	282.122	15
5	Huanta	04306002-3	6.697.444	365.759	1.240
6	Monte Grande	04314003-5	6.670.498	355.511	1.120
7	Juntas	04302014-5	6.683.290	394.439	2.150
8	Río Elqui en Algarrobal	04320001-1	6.680.103	346.934	760

**ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL  
PROYECTO MINERO ARQUEROS**

FIGURA Nº 3.1.10.1  
ESTACIONES METEOROLÓGICAS  
CERCANAS AL PROYECTO



Escala: 1:365.000  
Datum: WGS 84  
Sist. de Coord.: UTM Huso 19 S.

Elaboró: LMM  
Revisó: JS  
Aprobó: AR

### 3.1.10.4.2 Caracterización Hidrográfica

#### A. Caracterización Hidrográfica Cuenca Río Elqui

La Hoya hidrográfica del río Elqui se ubica íntegramente en la Región de Coquimbo. Los diferentes cursos de agua que dan origen al río Elqui, nacen en la cordillera de los Andes, y la desembocan en el océano Pacífico a la altura de la ciudad de La Serena. La Cuenca Hidrográfica del río Elqui, tiene una longitud en línea recta de 150 km y una superficie de 9.657 km<sup>2</sup>.

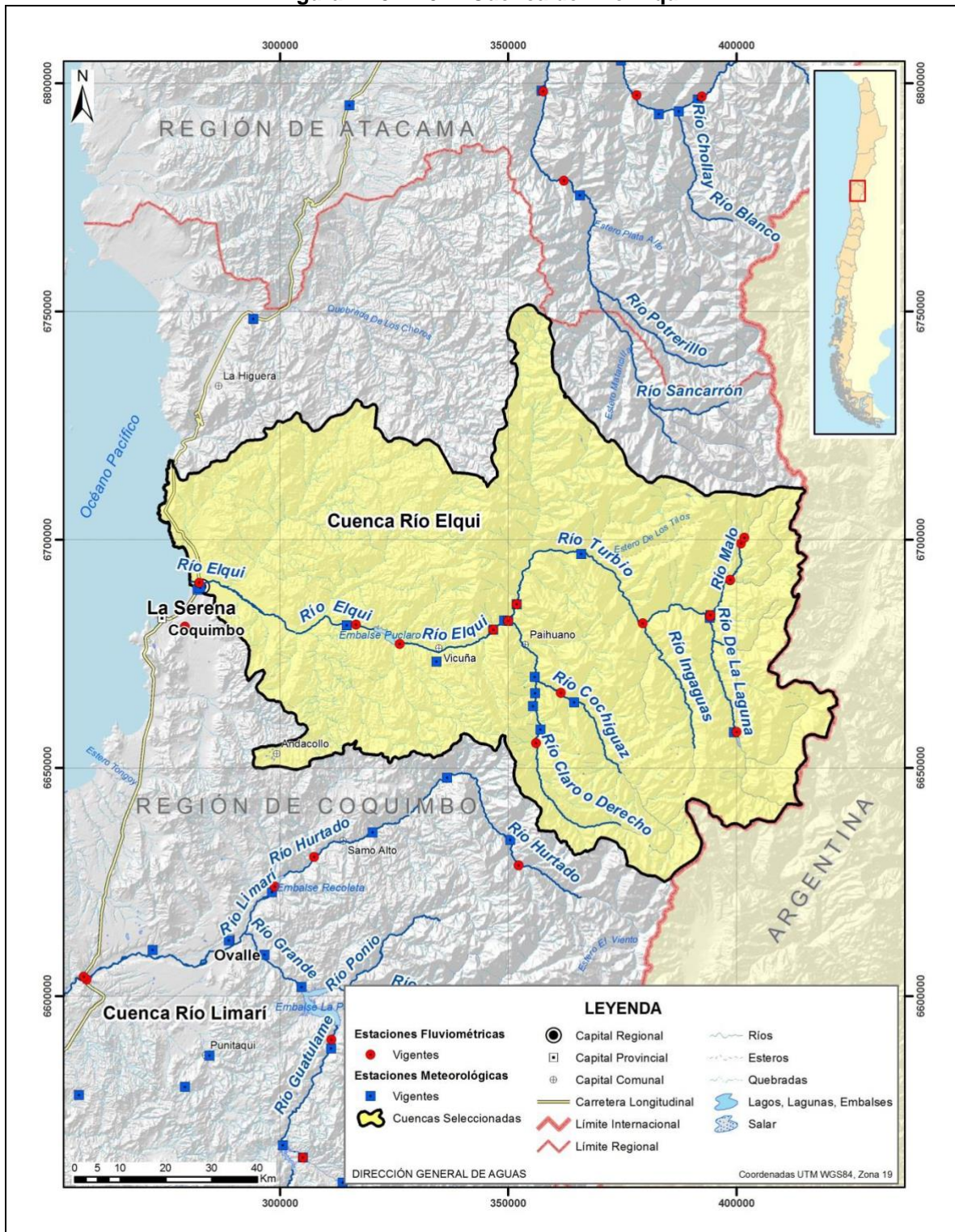
El río Elqui es el cauce principal de la cuenca del Río Elqui, tiene una extensión de 75 km y nace a 815 m.s.n.m., a 2 km aguas arriba de la localidad de Rivadavia y a 75 km aproximadamente aguas arriba de la ciudad de La Serena. Los afluentes al río, son los ríos Turbio, Cochiguaz y Claro. Recibe aporte de los ríos Malo, río De La Laguna e Ingaguas. La Figura N° 3.1.10.2 muestra la cuenca del Río Elqui.

La cuenca del Río Elqui cuenta con dos (2) embalses; Embalse La Laguna, que cuenta con una superficie de 1,65 km<sup>2</sup> y capacidad de 40 Millones de m<sup>3</sup>, y, el Embalse Puclaro con una superficie de 6,9 km<sup>2</sup> y una capacidad de 200 Millones de m<sup>3</sup>. Actualmente tiene un volumen acumulado de 32 Mm<sup>3</sup>. La Figura N° 3.1.10.2, presenta la ubicación de la cuenca del Río Elqui.

La cuenca del Río Elqui no posee aportes externos a ella, esto es, que no recibe trasvase de aguas desde cuencas vecinas, por lo tanto la única fuente de agua de la cuenca son las precipitaciones. En este caso y de acuerdo a las altitudes que se dan al interior de la cuenca, precipitaciones líquidas y sólidas.

Las precipitaciones sólidas se restringen solo a los sectores altos, sobre cotas 2500 m.s.n.m. lo que representa el 30% de la Cuenca del Río Elqui. Observando el régimen de precipitaciones medias en la zona pluvial de la cuenca, en el rango de 100 mm/año y las tasas de evapotranspiración potencial, sobre los 1500 mm/año, es posible clasificar a esta cuenca como del tipo semi-árida.

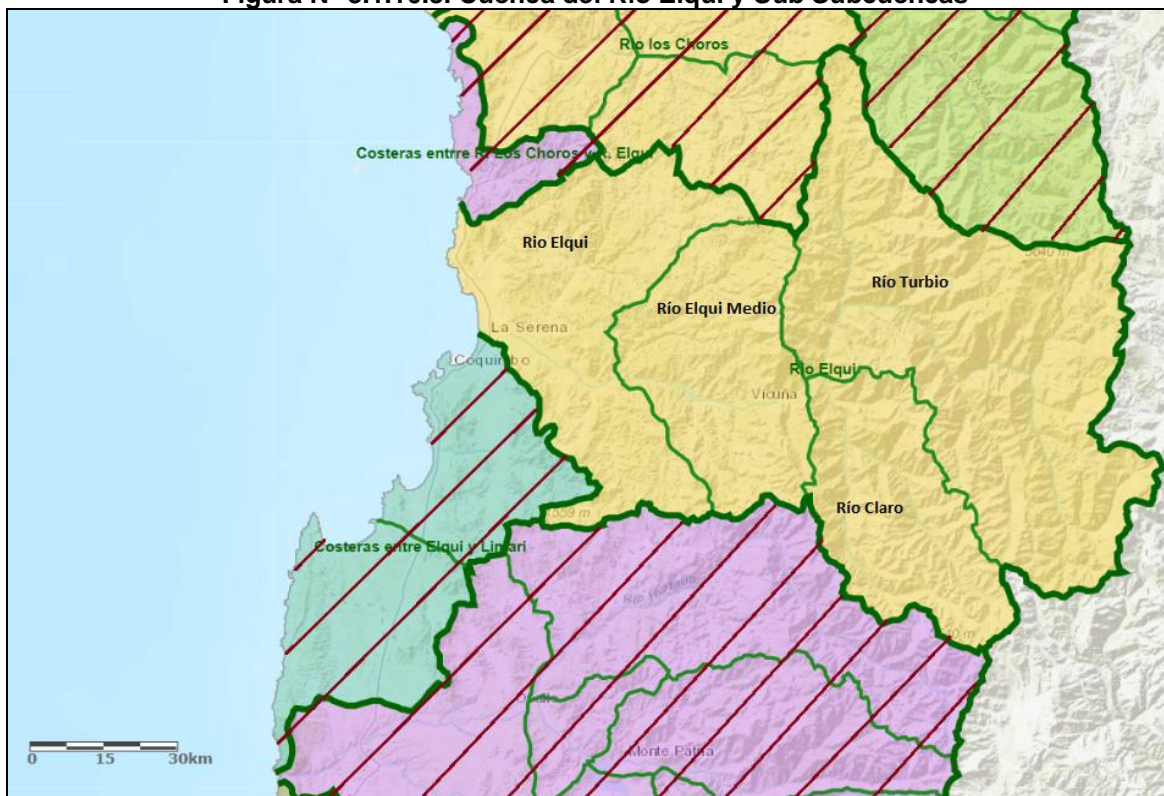
Figura N° 3.1.10.2: Cuenca del Río Elqui



Fuente: Dirección General de Aguas, 2015.

Como se puede observar en la Figura N° 3.1.10.3., la cuenca del Río Elqui se subdivide en cuatro subcuencas denominadas cuencas Río Elqui Bajo, Río Elqui Medio, Río Turbio y Río Claro.

**Figura N° 3.1.10.3. Cuenca del Río Elqui y Sub Subcuencas**



Fuente: Elaboración propia a partir de Dirección General de Aguas, 2019.

El Proyecto se encuentra en la Subcuenca del Río Elqui Medio, esta subcuenca se divide a la vez en sub-subcuencas, las que se muestran en Figura N° 3.1.10.4. El cuadro siguiente (Cuadro N°3.1.10.2.) indica la ubicación de las obras del Proyecto, respecto a las sub-subcuencas:

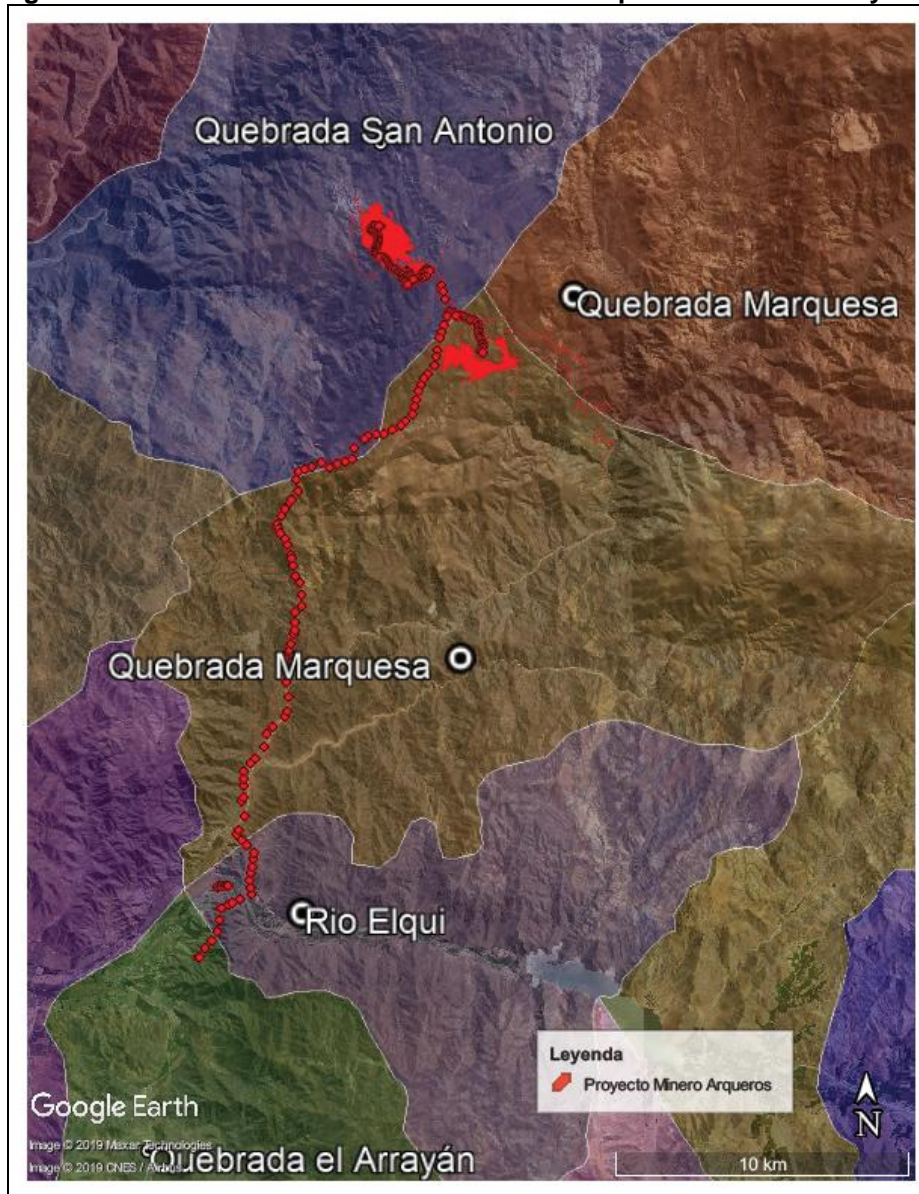
**Cuadro N° 3.1.10.2: Distribución del Proyecto en las Subcuencas DGA**

ÁREA	OBRAS Y PARTES / Sub-subcuenca	
Mina	Quebrada San Antonio	
Planta Concentradora		
Depósito de Relaves	Quebrada La Marquesa	
Obras Complementarias	Camino acceso	Quebrada la Marquesa
	Líneas de Transmisión Eléctrica	
	Acueducto	
	bocatoma	Río Elqui

Fuente: Elaboración Propia, 2019.



**Figura N° 3.1.10.4: Subcuencas en el Área de Emplazamiento del Proyecto**



Fuente: Elaboración propia a partir de Dirección General de Aguas, 2019.

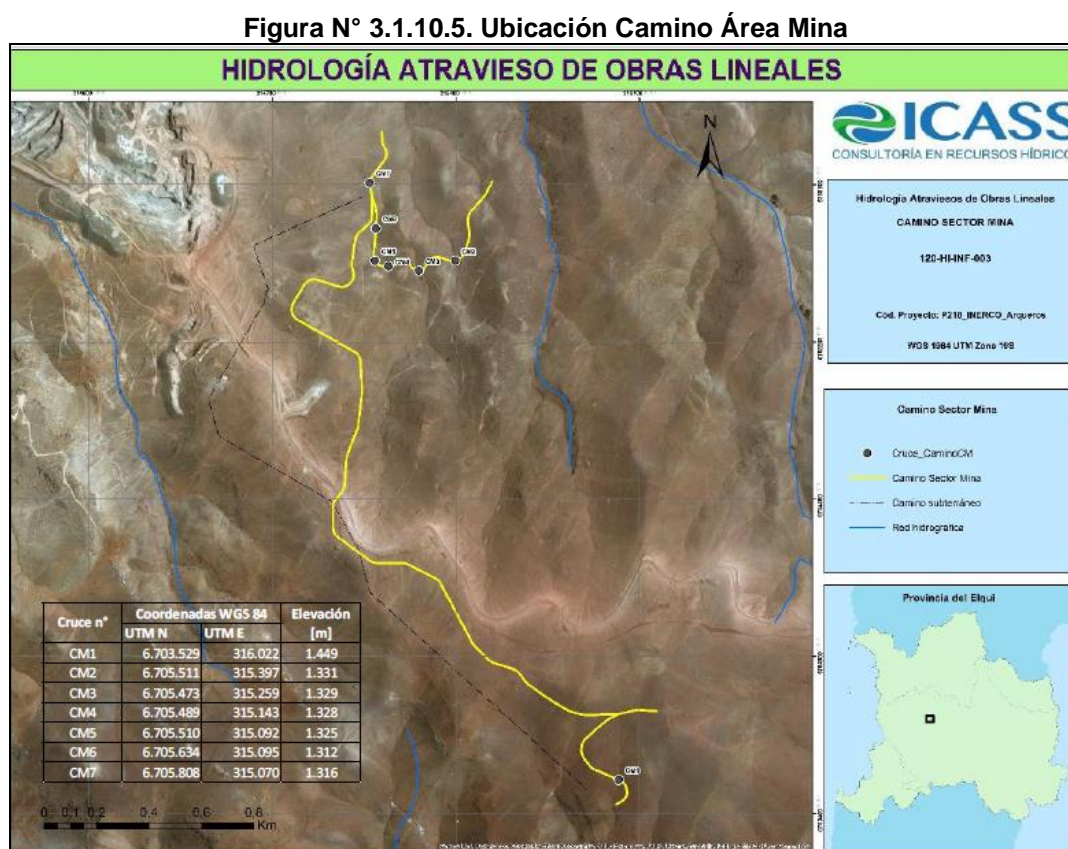
## B. Caracterización Hidrográfica del Proyecto

La caracterización hidrográfica se realiza abarcando las principales obras y partes del Proyecto Minero Arqueros, las cuales son; Mina, Planta Concentradora, Depósito de Relaves y Obras Complementarias.

### B.1 Caracterización Hidrográfica Área Mina

El Proyecto considera la explotación de un yacimiento por método subterráneo, en donde se realizarán actividades asociadas a perforación, tronadura, carguío y transporte del mineral hasta el sector de la Planta Concentradora. La extracción de la mina subterránea se realizará principalmente mediante el método Room and Pillar, considerando una tasa de extracción de 5.000 toneladas por día aproximadamente. El área Mina se ubica en la sub-subcuenca Quebrada San Antonio.

El Proyecto no considera descargas a cauces superficiales, ya que todos los efluentes que genere el Proyecto serán recirculados, es decir, que todas las aguas de procesos y las aguas de las Plantas de Tratamiento de Aguas Servidas (PTAS), serán tratadas y reutilizadas. En el área mina se proyectan atravesos de cauces para el camino que conecta los portales de la mina con la planta concentradora. El camino se encuentra ubicado a una altura entre 1.312 y 1.449 msnm y se muestra en la siguiente Figura N°3.1.10.5.

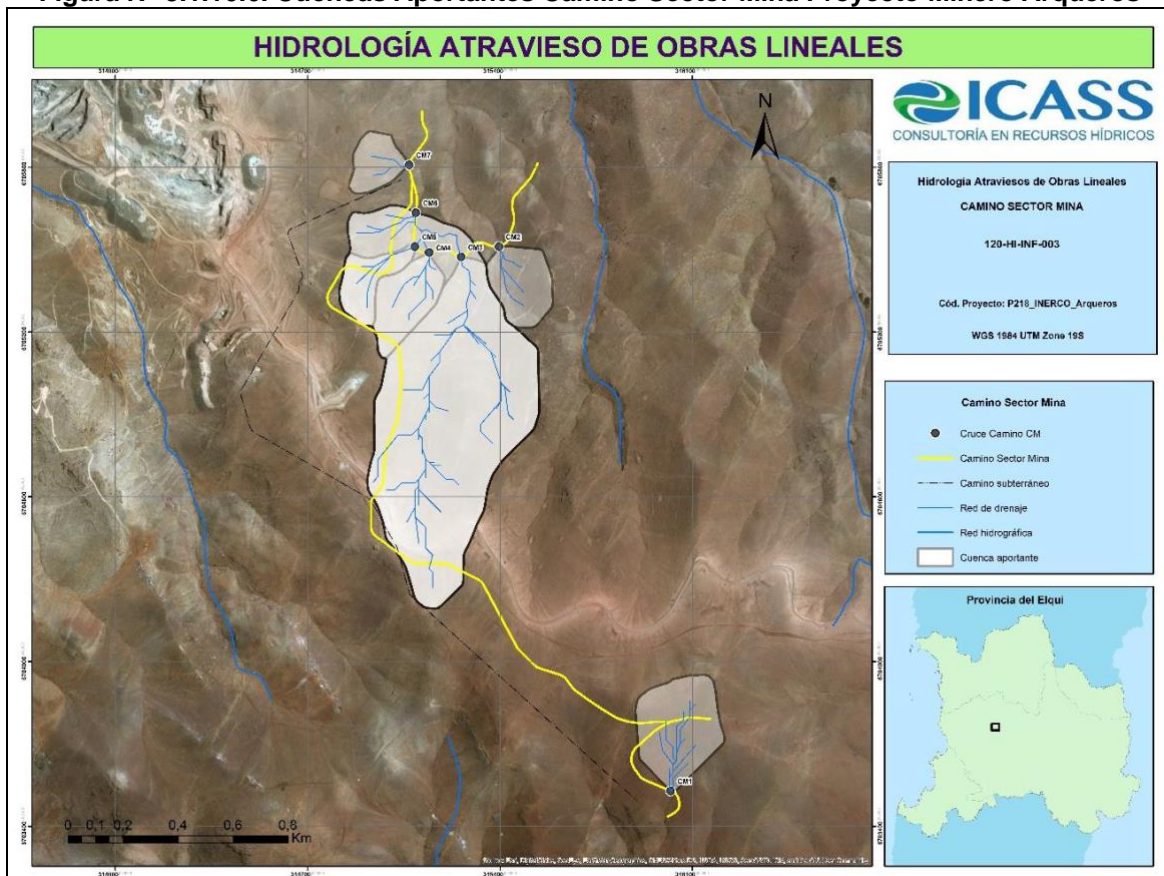


Fuente: ICASS, Elaborado para Compañía Minera Arqueros, 2018.

Se ha realizado una caracterización morfológica de las cuencas aportantes de cada uno de los siete (7) atravesos de quebradas del Camino del Sector Mina para lo cual se trazaron los límites de las cuencas y la red de drenaje.

En la Figura N°3.1.10.6. siguiente se muestran las cuencas aportantes de los siete (7) atravesos de quebradas del Camino Sector Mina, las cuales se han denominado (subcuencas: CM1 hasta CM7).

**Figura N° 3.1.10.6. Cuencas Aportantes Camino Sector Mina Proyecto Minero Arqueros**



Fuente: ICASS, Elaborado para Compañía Minera Arqueros, 2018.

## B.2 Caracterización Hidrográfica Planta Concentradora

El Área Planta Concentradora corresponderá a la instalación asociada al procesamiento del mineral y obtención de producto final, y se compone de las partes y obras específicas para el chancado, Molienda y Flotación, además de instalaciones de apoyo a la planta concentradora.

El área Planta concentradora se encuentra ubicada en la sub-subcuenca Quebrada San Antonio al igual que el área Mina. El Proyecto no considera descargas a cauces superficiales y todas las aguas de procesos y las aguas de la Planta de Tratamiento de Aguas servidas (PTAS) de la planta concentradora, serán tratadas y reutilizadas. En el área planta concentradora no se proyectan atravesos de cauces ni desvíos de aguas superficiales.

### B.3 Caracterización Hidrográfica Depósito de Relaves

El Área de Depósito de Relaves está compuesta por un relaveducto de 5,3 km de longitud cuya función es transportar gravitacionalmente el relave desde la planta concentradora a la planta de relaves. El relave es espesado y será descargado en el Depósito de Relaves. Esta área tendrá un canal de contorno para colectar y conducir las aguas lluvias superficiales a su curso de agua natural. El agua recuperada en el espesador del relave será recirculada hacia la planta concentradora mediante bombas y una tubería de HDPE cuyo trazado irá paralelo al relaveducto.

El Depósito de Relaves del Proyecto Minero Arqueros (ver Figura N° 3.1.10.7) se encuentra a una altitud entre 1.263 y 1.370 msnm. Dicho depósito de relaves proyectado, se encuentra ubicado dentro de la cuenca del Río Elqui, a 20 km del embalse Puclaro existente y a 75 km de la ciudad de La Serena (JRI-Nittetsu, 2016).

Los caudales aportados al depósito de relaves, serán recibidos por el Canal de Contorno para luego ser retornados a los cursos de agua superficiales, aguas abajo del depósito a través de una obra de descarga.

**Figura N° 3.1.10.7: Ubicación del Depósito de Relaves Proyecto Minero Arqueros**

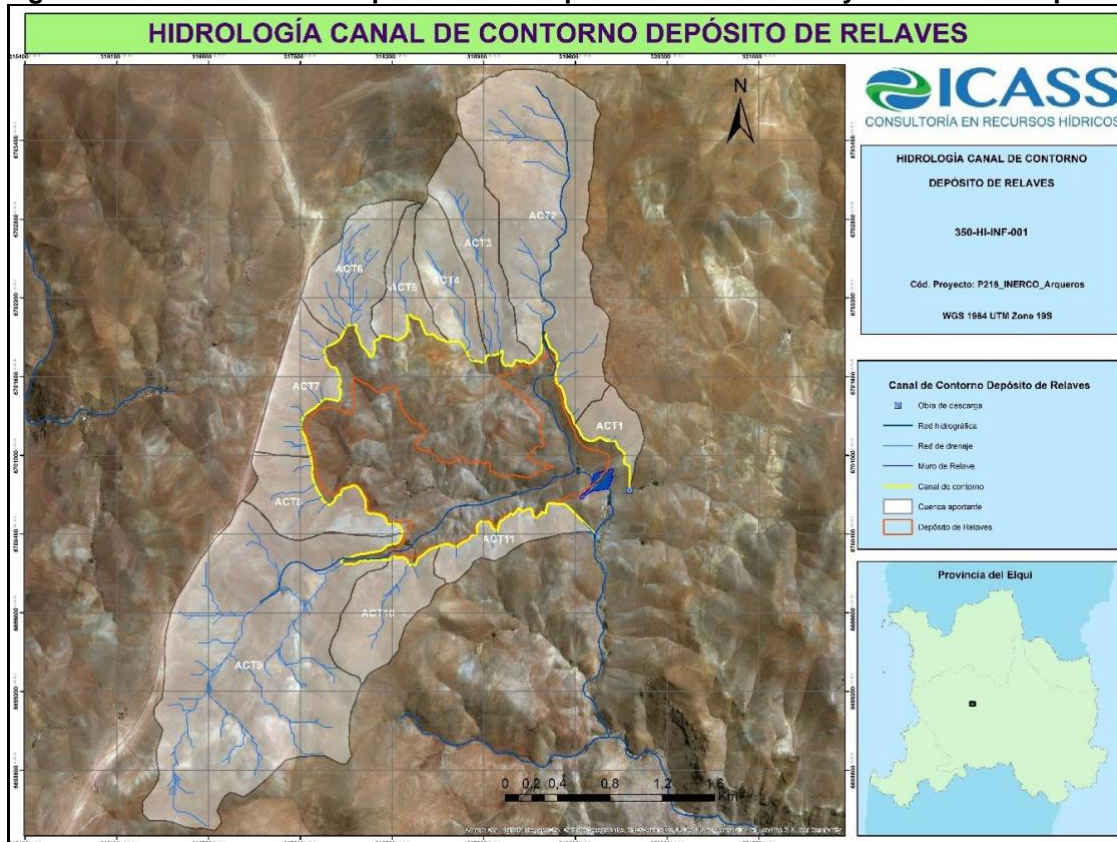


Fuente: ICASS, Elaborado para Compañía Minera Arqueros, 2018.

De acuerdo al emplazamiento del depósito de relaves proyectado, la cuenca del depósito de relaves de 7,96 km<sup>2</sup> fue dividida en once (11) diferentes subcuencas menores, de manera de evaluar los aportes de cada una de ellas de forma independiente. En la Figura

N° 3.1.10.8 se muestran las cuencas aportantes del Canal de Contorno del Depósito de Relaves, las cuales se han denominado (subcuencas: ACT1 hasta ACT11).

**Figura N° 3.1.10.8 Cuencas Aportantes al Depósito de Relaves Proyecto Minero Arqueros**



Fuente: ICASS, Elaborado para Compañía Minera Arqueros, 2018.

### B.4 Caracterización Hidrológica Obras Complementarias

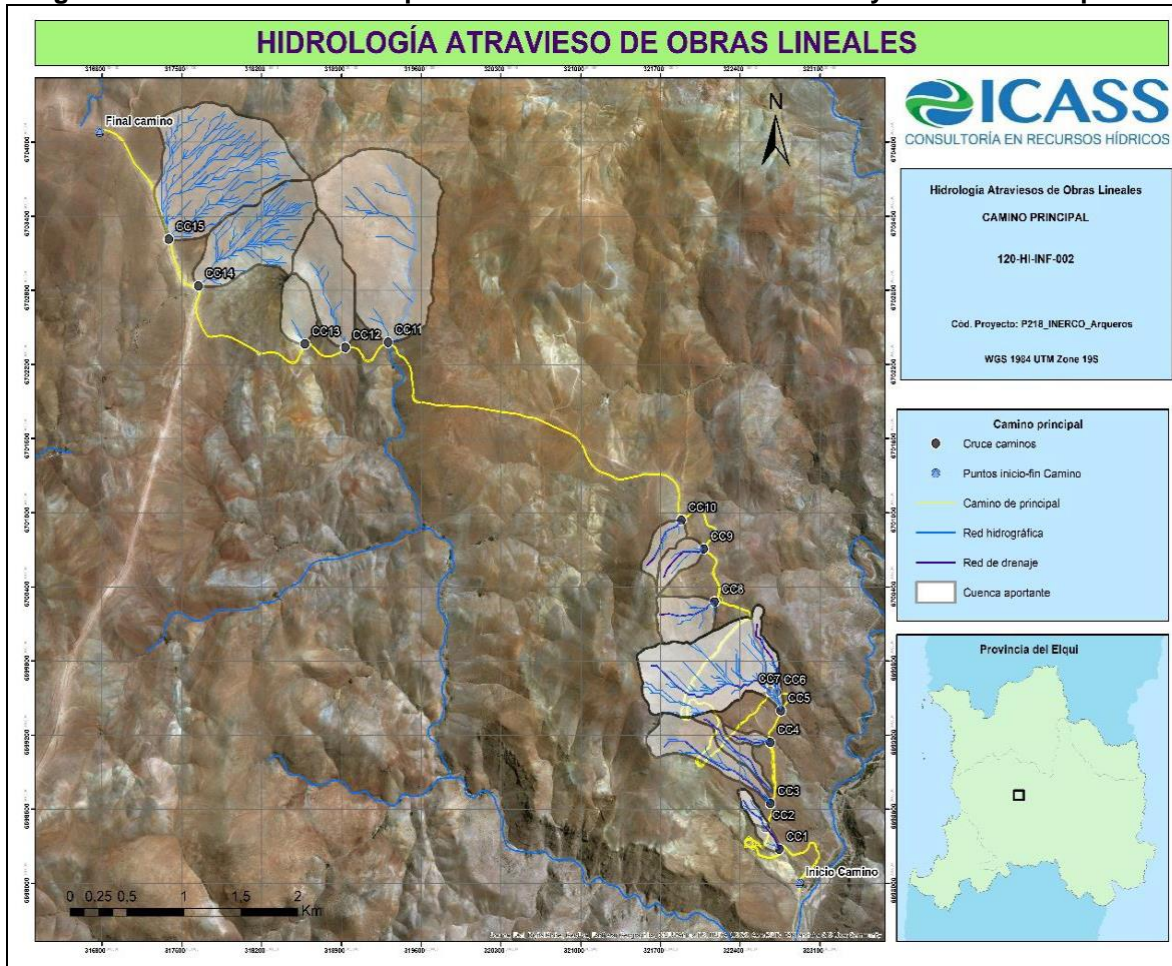
El Proyecto considera el mejoramiento del camino de acceso y la toma de agua en el río Elqui para trasladar el agua empleando un acueducto de 26,6 km de longitud. A continuación la caracterización Hidrológica de las obras a proyectar mencionadas.

#### B.4.1 Camino de acceso

La zona de estudio corresponde a los atravesos de quebradas del camino de acceso del Proyecto Minero Arqueros (desde el km 25 de la Ruta D-215 hasta la Planta Concentradora del Proyecto Minero Arqueros), los cuales se encuentran ubicados a una altura entre 889 y 1.454 msnm.

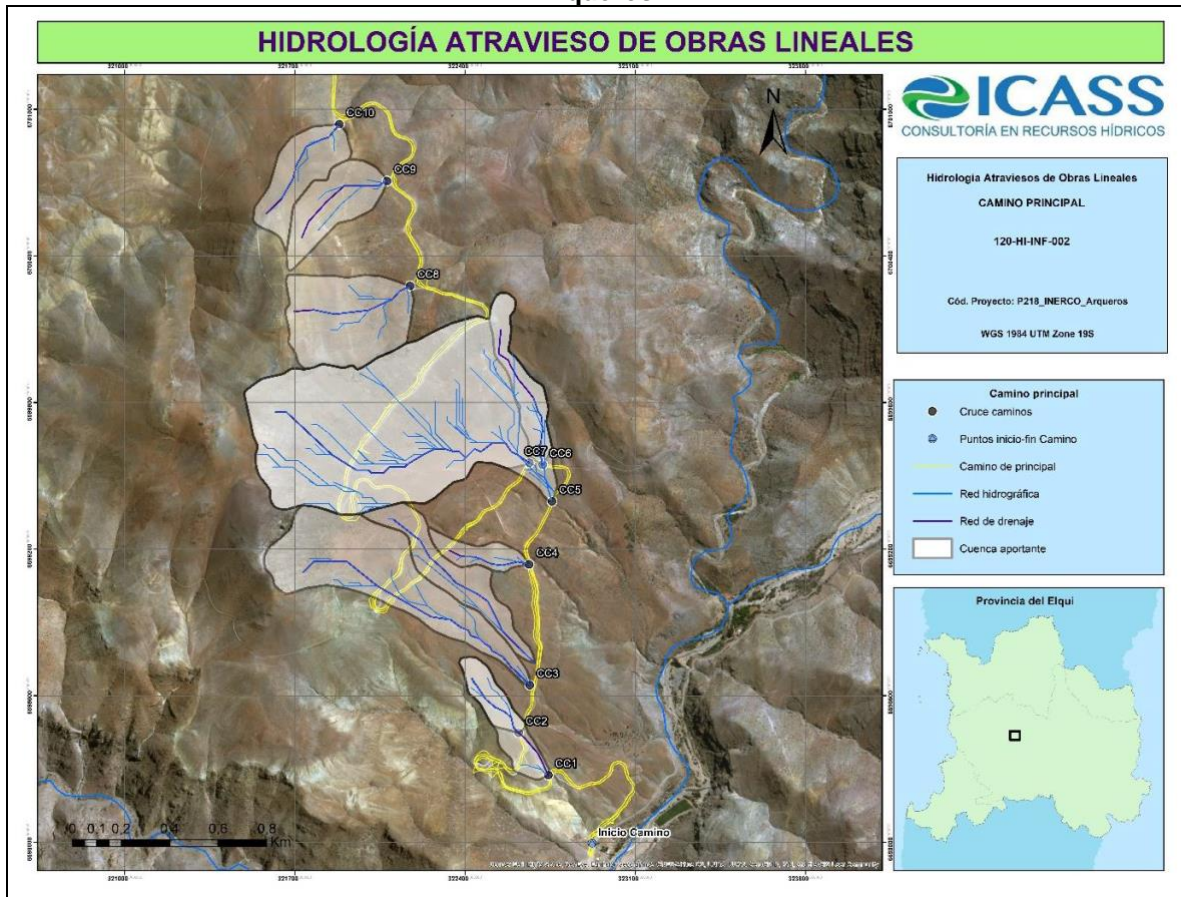
En la Figura N° 3.1.10.9 y Figura N° 3.1.10.10 se muestran las cuencas aportantes de los 15 atravesos de quebradas del mejoramiento camino principal, las cuales se han denominado (subcuencas: CC-1 hasta CC-15).

Figura N° 3.1.10.9. Cuencas Aportantes del Camino de Acceso Proyecto Minero Arqueros



Fuente: ICASS, Elaborado para Compañía Minera Arqueros, 2018.

**Figura N° 3.1.10.10 Mapa N°2 Cuencas Aportantes Camino Acceso Proyecto Minero Arqueros**

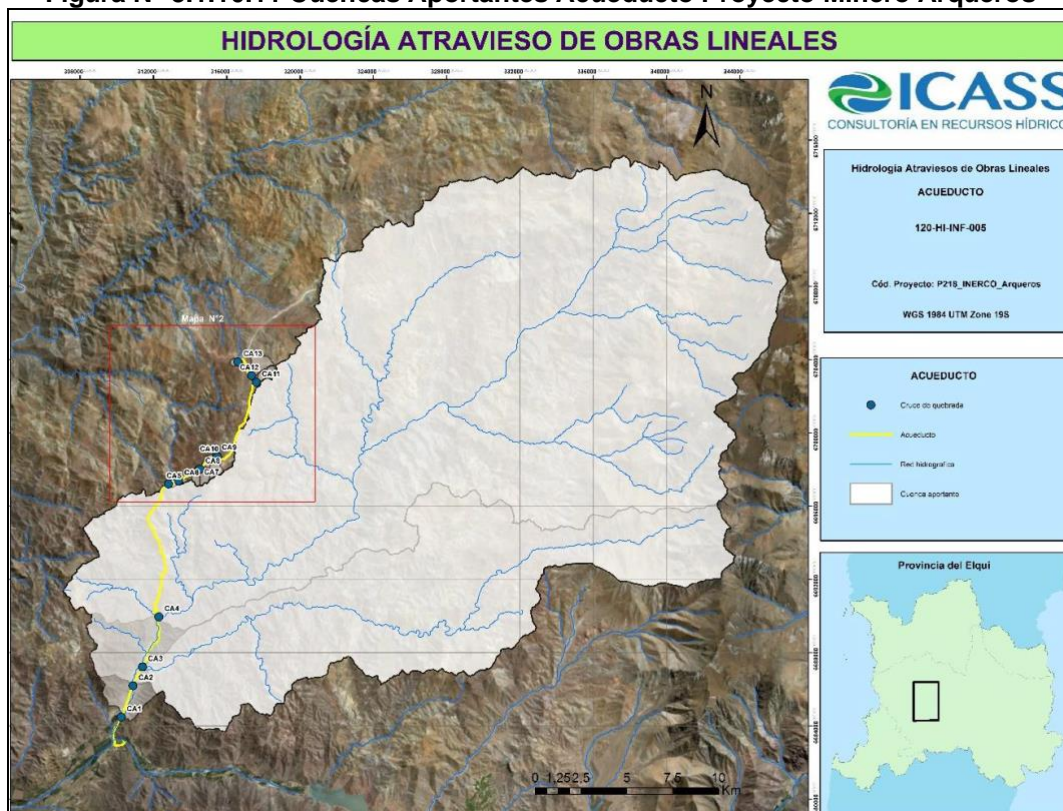


Fuente: ICASS, Elaborado para Compañía Minera Arqueros, 2018.

### B.4.2 Acueducto

El acueducto proyectado se encuentra a una altura entre 383 y 1.488 msnm . En la Figura N° 3.1.10.11 y se muestra la ubicación del acueducto y las cuencas aportantes de los atravesos de quebradas del Acueducto, las cuales se han denominado: subcuencas CA1 hasta CA13.

**Figura N° 3.1.10.11 Cuencas Aportantes Acueducto Proyecto Minero Arqueros**



Fuente: ICASS, Elaborado para Compañía Minera Arqueros, 2018.

### 3.1.10.4.3 Precipitaciones Anuales Cuenca Río Elqui

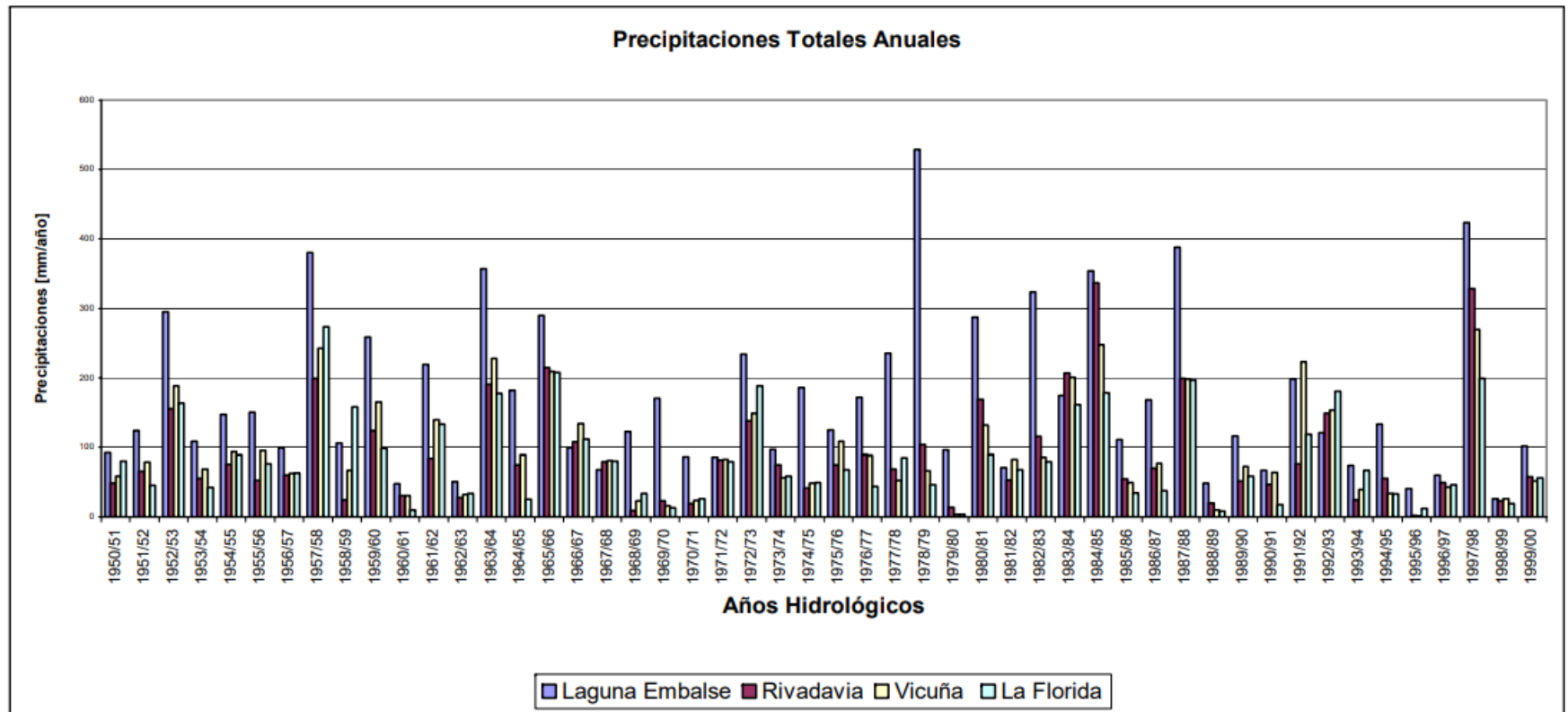
A continuación, se entrega algunos registros de precipitación total anual para el periodo de los años 1950 a 2000, en las estaciones hidrometeorológicas. Estos registros sirven para ilustrar el rango de variación de las precipitaciones medias en la zona. Se observa la gran variabilidad interanual que presentan las precipitaciones en la cuenca y en la IV Región en general, variabilidad propia de zonas semi-áridas.

En la Figura N° 3.1.10.12 se entregan valores de las precipitaciones totales anuales en estaciones pluviométricas representativas cuenca Río Elqui. En general, las precipitaciones medias anuales se ubican en el rango de 80mm/año a 170 mm/año.

En la Figura N° 3.1.10.13 se entregan valores de las precipitaciones medias mensuales en la cuenca del Río Elqui para un periodo del año 1950 a 2000 en estaciones pluviométricas representativas cuenca Río Elqui. En general, las precipitaciones medias mensuales se registran en los meses de mayo a agosto.

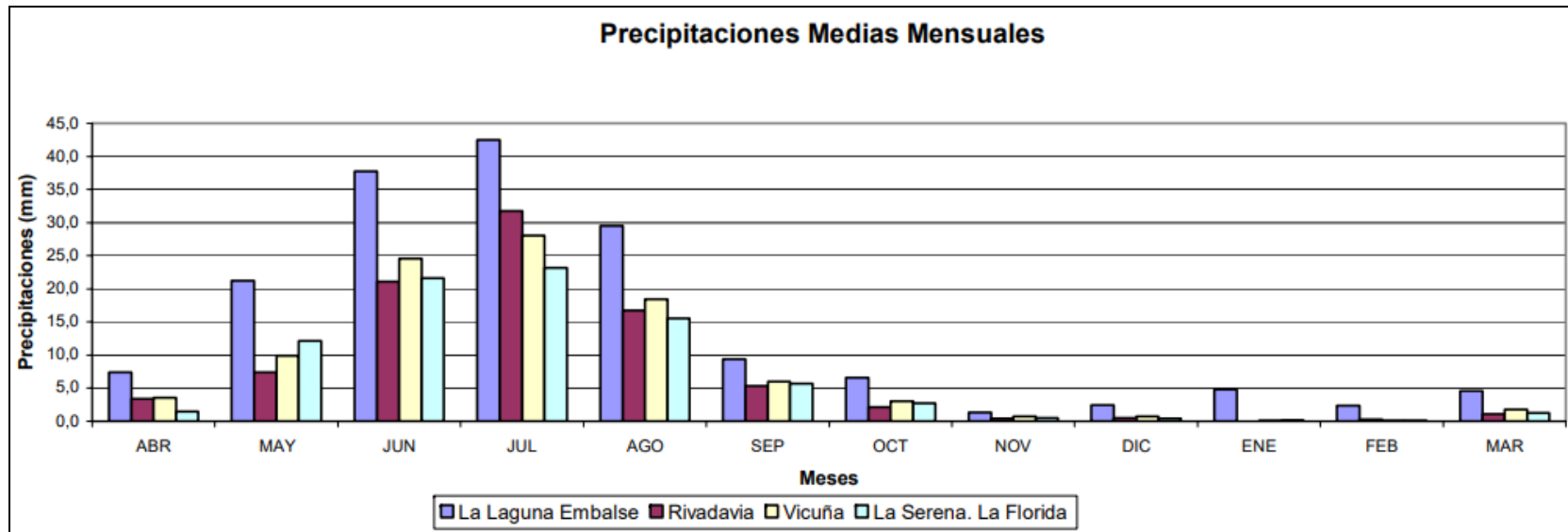


Figura N° 3.1.10.12. Precipitaciones Totales Anuales en Estaciones Periodo 1950



Fuente: Hidrología Cuenca Río Elqui, Zavala H, 2004.

Figura N° 3.1.10.13. Precipitaciones Medias Mensuales Promedio para Algunas Estaciones Cuenca Río Elqui (periodo 1950-2000)



Fuente: Hidrología Cuenca Río Elqui, Zavala H, 2004.

### 3.1.10.4 Precipitaciones Máximas Proyecto Minero Arqueros

En el Cuadro N° 3.1.10.3 se presenta un resumen de los resultados de análisis de frecuencia para el periodo analizado (1958-2017) para las estaciones Almendral, Monte Grande, Vicuña (INIA) y Huanta, las cuales son coherentes con las estimaciones realizadas por DGA (1987)<sup>1</sup> y DGA (1989)<sup>2</sup> para un periodo de retorno de 10 años. Así mismo, en el Cuadro N° 3.1.10.4 y Figura N° 3.1.10.15 presenta un resumen de los resultados de análisis de frecuencia para considerando el periodo 1990-2017 (sin vacío de información) para las estaciones analizadas.

**Cuadro N° 3.1.10.3. Resumen de Resultados Análisis de Frecuencia [1958-2017]**

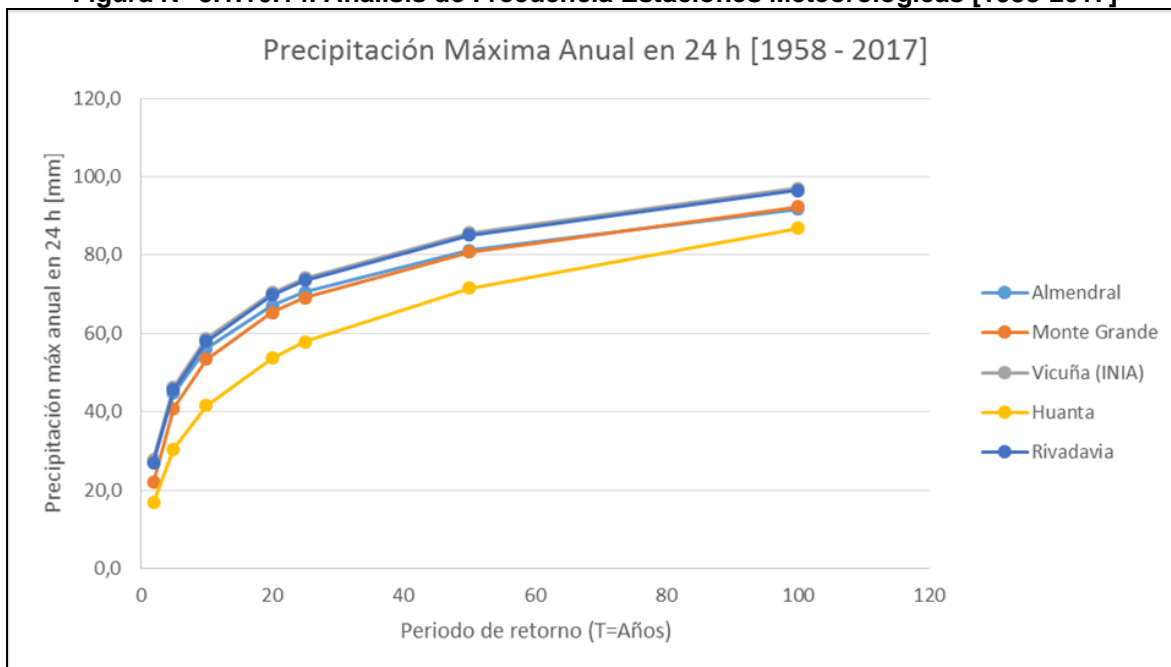
PERÍODO DE RETORNO	PRECIPITACIÓN MÁXIMA ANUAL EN 24 HORAS (mm)				
	ALMENDRAL	MONTE GRANDE	VICUÑA (INIA)	HUANTA	RIVADAVIA
AÑOS					
2	27,6	21,9	27,9	16,8	27,1
5	44,8	40,9	46,4	30,4	45,6
10	56,1	53,3	58,6	41,5	57,9
20	67,1	65,3	70,4	53,6	69,7
25	70,5	69,1	74,1	57,8	73,5
50	81,2	80,7	85,6	71,6	85,0
100	91,8	92,3	97,0	86,8	96,4
x <sub>2</sub> (calculado)=	2,64	4,72	2,13	2,57	1,28
x <sub>2</sub> (0,05)=	5,99	5,99	5,99	5,99	5,99
Test	Aceptado	Aceptado	Aceptado	Aceptado	Aceptado

Fuente: ICASS, Elaborado para Compañía Minera Arqueros, 2018

<sup>1</sup> DGA (1987) Balance Hídrico de Chile. Departamento de Hidrología. Dirección General de Aguas. Ministerio de Obras Públicas. Santiago, Chile.

<sup>2</sup> DGA, 1989. Precipitaciones máximas en 1, 2 y 3 días. Dirección General de Aguas, Ministerio de Obras Públicas. Santiago, Chile.

**Figura N° 3.1.10.14. Análisis de Frecuencia Estaciones Meteorológicas [1958-2017]**

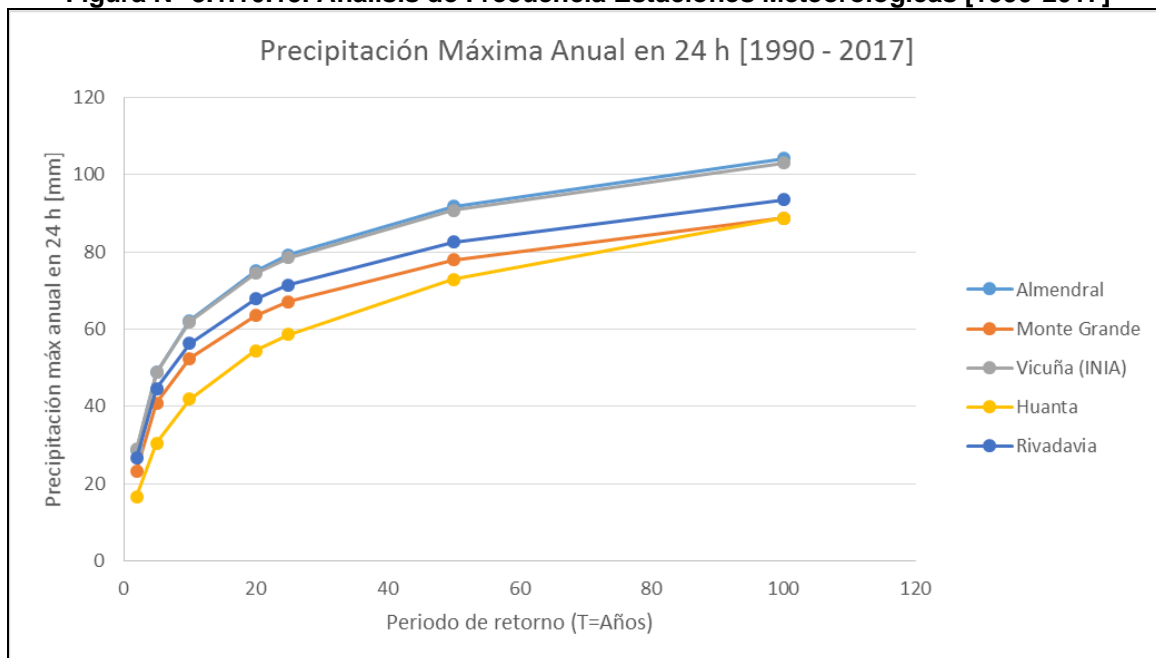


Fuente: ICASS, Elaborado para Compañía Minera Arqueros, 2018.

**Cuadro N° 3.1.10.4. Resumen de Resultados Análisis de Frecuencia [1990-2017]**

PERÍODO DE RETORNO (AÑOS)	PRECIPITACIÓN MÁXIMA ANUAL EN 24 HORAS (mm)				
	ALMENDRA L	MONTE GRANDE	VICUÑA (INIA)	HUANTA	RIVADAVIA
2	28,7	23,3	29,0	16,7	26,7
5	48,9	40,9	48,8	30,5	44,6
10	62,3	52,5	61,9	41,9	56,4
20	75,1	63,6	74,5	54,4	67,8
25	79,2	67,1	78,5	58,7	71,4
50	91,7	78,0	90,8	72,9	82,5
100	104,2	88,7	103,0	88,7	93,5
$\chi^2(\text{calculado}) =$	3,08	0,27	1,90	2,23	0,74
$\chi^2(0,05) =$	5,99	5,99	5,99	5,99	5,99
Test	Aceptado	Aceptado	Aceptado	Aceptado	Aceptado

Fuente: ICASS, Elaborado para Compañía Minera Arqueros, 2018.

**Figura N° 3.1.10.15. Análisis de Frecuencia Estaciones Meteorológicas [1990-2017]**

Fuente: ICASS, Elaborado para Compañía Minera Arqueros, 2018.

A partir de los resultados presentados se puede resumir lo siguiente:

- El periodo 1990-2017 (serie sin vacío de datos) presenta un escenario más conservador con precipitaciones mayores que el registro año 1950-2017 (serie con vacío de datos). Dado que existen distintos registros de precipitaciones, y, por seguridad de las obras proyectadas, se considerará el periodo año 1990-2017 para presentar un registro más conservador de precipitaciones máximas en 24 horas para distintos periodos de retorno.
- Por lo tanto, para un periodo de retorno de T=100 años se ha estimado una precipitación de diseño de 104 mm en base a la estación meteorológica DGA Almendral. Dicha precipitación es coherente (en órdenes de magnitud) con la estimada por la estación Rivadavia (P= 94 mm) y Vicuña (INIA) (P= 103 mm).
- Algunos años del periodo de referencia (1958 a 2017) fueron completados para tener una serie de datos más homogénea. Además, dichos resultados han sido comparados con el periodo 1990-2017 que no presenta vacíos de información. La comparación de ambas estadísticas muestra una coherencia en la estimación de las precipitaciones máximas en 24 horas para distintos periodos de retorno, cuya variación puede oscilar entre 2 y 12 mm para un periodo de retorno de 100 años en las estaciones analizadas.
- La máxima precipitación en 24 horas que ha sido registrado por la estación Almendral es de 95 mm (que corresponde a un evento con un periodo de retorno de 100 años) y tuvo lugar en el año 1997.
- Las cuencas aportantes al Proyecto Minero Arqueros se encuentran en una zona sin control fluviométrico (es decir, que no existen mediciones de caudales en cauces) por parte de la Dirección General de Aguas.

### 3.1.10.4.5 Caracterización Fluviométrica

El Proyecto considera la construcción y utilización de una Bocatoma, que extraerá agua del río Elqui a razón de 27 litros por segundo, por lo que hace relevante la caracterización del Proyecto con respecto al punto de construcción y posterior captación de agua de parte de la bocatoma.

La bocatoma se ubicará en el río Elqui a una altura de 330 msnm en las coordenadas asociadas al derecho de aprovechamiento de agua existente, correspondiente a N: 6.683.124 y E: 310.477 (WGS 84), según se muestra en la Figura N° 3.1.10.16

**Figura N° 3.1.10.16. Ubicación de la Bocatoma Proyecto Minero Arqueros**



Fuente: ICASS, Elaborado para Compañía Minera Arqueros, 2018.

#### A. Estaciones Fluviométricas

Elemento clave para el conocimiento de la hidrología de cualquier curso de agua son las estaciones fluviométricas. Se entiende por estación fluviométrica a aquella sección ubicada en un cauce natural de régimen permanente o intermitente donde se miden tanto niveles de escurrimiento o caudales con una cierta periodicidad.

En la zona próxima a la bocatoma proyectada existen estaciones fluviométricas vigentes pertenecientes a la Dirección General de Aguas (DGA). Dichas estaciones presentadas en el Cuadro N° 3.1.10.5 cuentan con registro de caudales medios mensuales y caudales máximos instantáneos desde el año 1918 hasta la fecha.

**Cuadro N° 3.1.10.5. Estaciones Meteorológicas Próximas a la Zona de Estudio**

NOMBRE ESTACIÓN		Río Elqui en Almendral*	Río Elqui en Algarrobal**
CÓDIGO BNA		04323001-8	04320001-1
UTM N [m]		6681433	6680103
UTM E [m]		316645	346934
ALTURA	[m]	395	760
ÁREA DE DRENAJE [km2]		6.681	5.729
REGISTRO HISTÓRICO	FECHA INICIO	01-05-1918	01-01-1918
	FECHA FINAL	30-11-2017	31-12-2017
DISTANCIA A LA BOCATOMA (Km)		6,7	38,6

\*Ubicación referencial: Aguas abajo Embalse Puclaro

\*\*Ubicación referencial: Aguas arriba Embalse Puclaro

Fuente: ICASS, Elaborado para Compañía Minera Arqueros, 2018.

### B. Estación Río Elqui en Almendral

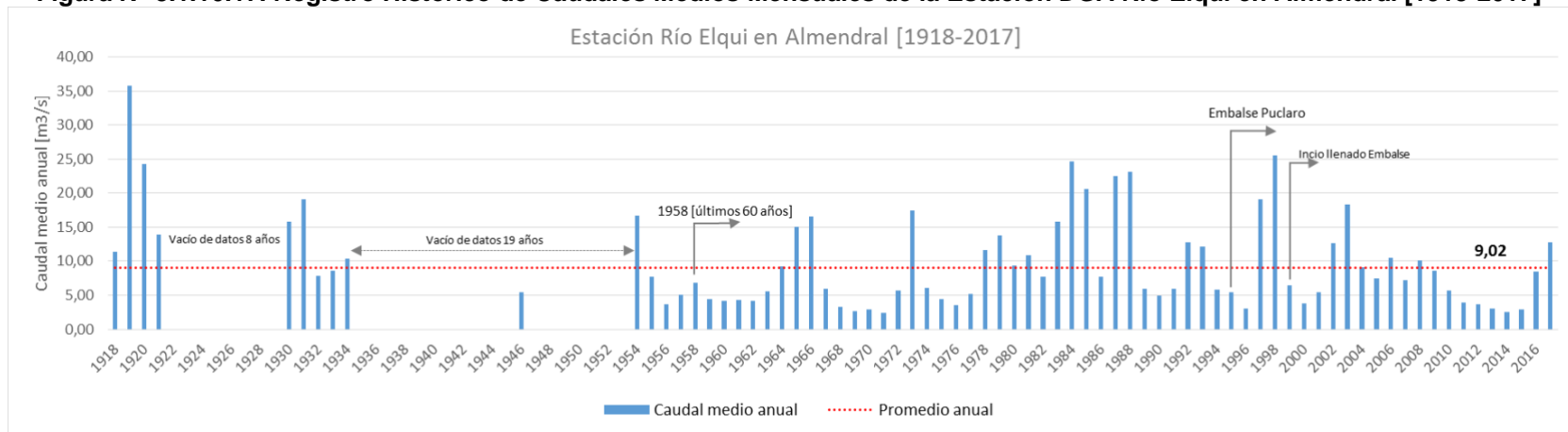
La estación fluviométrica Río Elqui en Almendral está ubicada a una altura de 395 msnm (aguas abajo del Embalse Puclaro) y posee un registro de datos de caudales medios desde 1918 hasta 2017 (ICASS, 2018). Es la estación más cercana a la zona de emplazamiento del Proyecto con un registro representativo. Figura N° 3.1.10.17 muestra el registro anual de caudales totales para el periodo señalado (1918-2017).

Los datos de caudales indican que:

- Existen años con vacíos de datos: 1921 a 1930 (8 años) y 1935 a 1954 (19 años).
- El año con mayor caudal fue en 1919 con 35,7 m<sup>3</sup>/s, seguido del año 1998 con 25,5 m<sup>3</sup>/s.
- Los años con menor caudal fueron 1971 y 2014 con 2,5 m<sup>3</sup>/s en ambos años.
- El caudal promedio (1958-2017) es de 9,02 m<sup>3</sup>/s.
- En los últimos 60 años existe un registro de datos representativos de la estación (1958-2017), con algunos meses y años puntuales con vacío de datos.

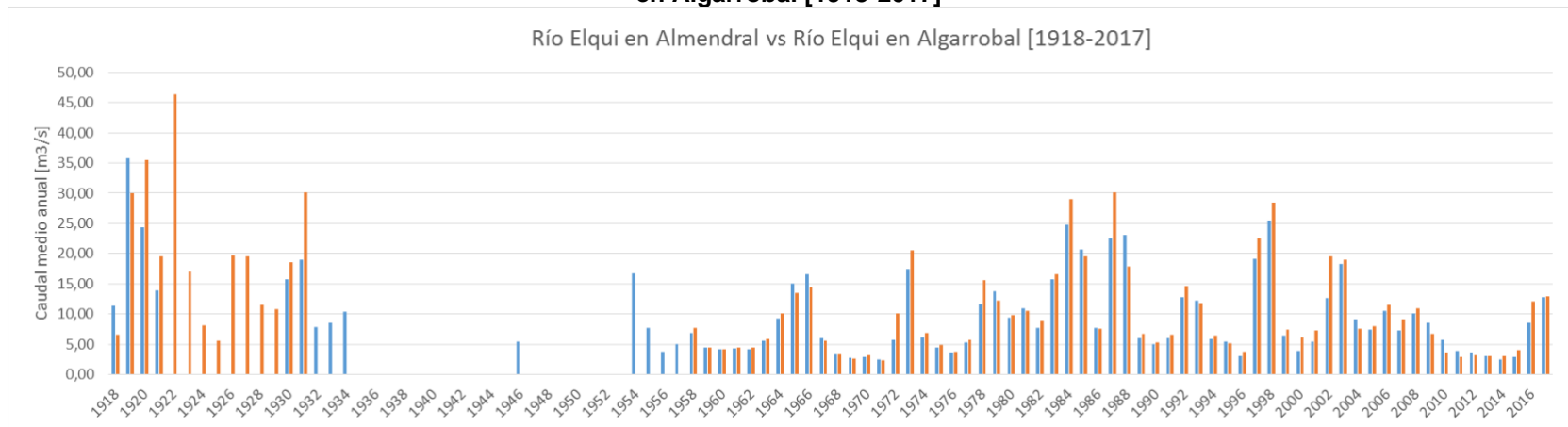
Los datos faltantes en el registro de la estación han sido completados con la estación Río Elqui en Algarrobal ubicada a una altura de 760 msnm (aguas arriba del Embalse Puclaro) a una distancia de 38,6 km de la Bocatoma y que posee un registro similar (1918-2017), tal como se muestra en Figura N° 3.1.10.18.

**Figura N° 3.1.10.17. Registro Histórico de Caudales Medios Mensuales de la Estación DGA Río Elqui en Almendral [1918-2017]**



Fuente: ICASS, Elaborado para Compañía Minera Arqueros, 2018.

**Figura N° 3.1.10.18 Registro Histórico de Caudales Medios Mensuales de las Estaciones DGA Río Elqui en Almendral vs Río Elqui en Algarrobal [1918-2017]**



Fuente: ICASS, Elaborado para Compañía Minera Arqueros, 2018.



### C. Variación estacional de caudales

En primer lugar, hay que señalar que la cuenca del Río Elqui es una cuenca que presenta grandes intervenciones antrópicas (Zavala y Trigos, 2008; Villa, 2013)<sup>3</sup> principalmente en su parte alta y media, que condicionan los flujos naturales de la cuenca, debido a las extracciones, los flujos de retorno de riego a la red de drenaje y la operación de los embalses.

En segundo lugar, la DGA (1995)<sup>4</sup> realizó un estudio de reconstrucción de los caudales naturales (recuperaciones sin considerar intervenciones en el cauce) de la cuenca del río Elqui basados en la aplicación de los principios fundamentales de balances hídricos entre la zona de Algarrobal y Almendral.

En el Cuadro N° 3.1.10.6 se presenta la variación estacional de los caudales en la estación Río Elqui en Almendral para distintas probabilidades de excedencias en un periodo de 33 años de datos (entre 1944 y 1980). Según los resultados obtenidos de dicho estudio, se deduce que las recuperaciones medias anuales en el tramo analizado (Algarrobal-Almendral) alcanzan unos 2,1 m<sup>3</sup>/s en promedio (DGA, 1995), es decir, los caudales naturales de la cuenca en ese momento eran 2,1 m<sup>3</sup>/s más alto que los observados en el registro de datos más actuales (1980-2017).

**Cuadro N° 3.1.10.6. Variación Estacional de los Caudales Naturales en la Cuenca del Elqui según DGA 1995 Pexc [%]**

Pexc (%)	CAUDALES [m <sup>3</sup> /s]											
	ESTACIÓN RÍO ELQUI EN ALMENDRAL [1944-1980]											
	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR
5	21,8	19,9	20,8	20,7	20,8	20,6	26,1	39,1	58,5	70,1	35,3	25,8
10	18,2	17,0	17,9	18,0	17,9	17,7	21,4	30,2	42,7	48,9	27,4	20,9
20	14,6	14,1	14,9	15,1	15,1	14,7	16,8	22,1	29,2	31,7	20,1	16,3
30	12,5	12,3	13,1	13,4	13,3	12,8	14,1	17,6	22,2	23,1	16,0	13,5
40	10,9	10,9	11,7	12,0	11,9	11,5	12,2	14,5	17,6	17,7	13,3	11,6
50	9,6	9,8	10,5	10,9	10,8	10,3	10,6	12,2	14,1	13,8	11,1	10,0
60	8,5	8,8	9,5	9,9	9,7	9,3	9,2	10,2	11,4	10,7	9,3	8,7
70	7,4	7,8	8,5	8,9	8,7	8,3	7,9	8,4	9,0	8,2	7,7	7,4
80	6,3	6,8	7,4	7,8	7,7	7,2	6,7	6,7	6,8	6,0	6,1	6,2
85	5,8	6,2	6,9	7,3	7,1	6,6	6,0	5,8	5,8	4,9	5,4	5,5
90	5,1	5,6	6,2	6,6	6,4	6,0	5,2	4,9	4,7	3,9	4,5	4,8
95	4,3	4,8	5,3	5,7	5,6	5,1	4,3	3,8	3,4	2,7	3,5	3,9

Fuente: Elaboración a partir de DGA 1995, ICASS 2018.

<sup>3</sup> Zavala H. y Trigos H., 2008. Hidrología de la Cuenca del Río Elqui. En: LOS SISTEMAS NATURALES DE LA CUENCA DEL RÍO ELQUI (Región de Coquimbo, Chile): Vulnerabilidad y cambio del clima. CEPEDA PJ (ed): 66-164 (2008). Ediciones Universidad de La Serena, La Serena, Chile.

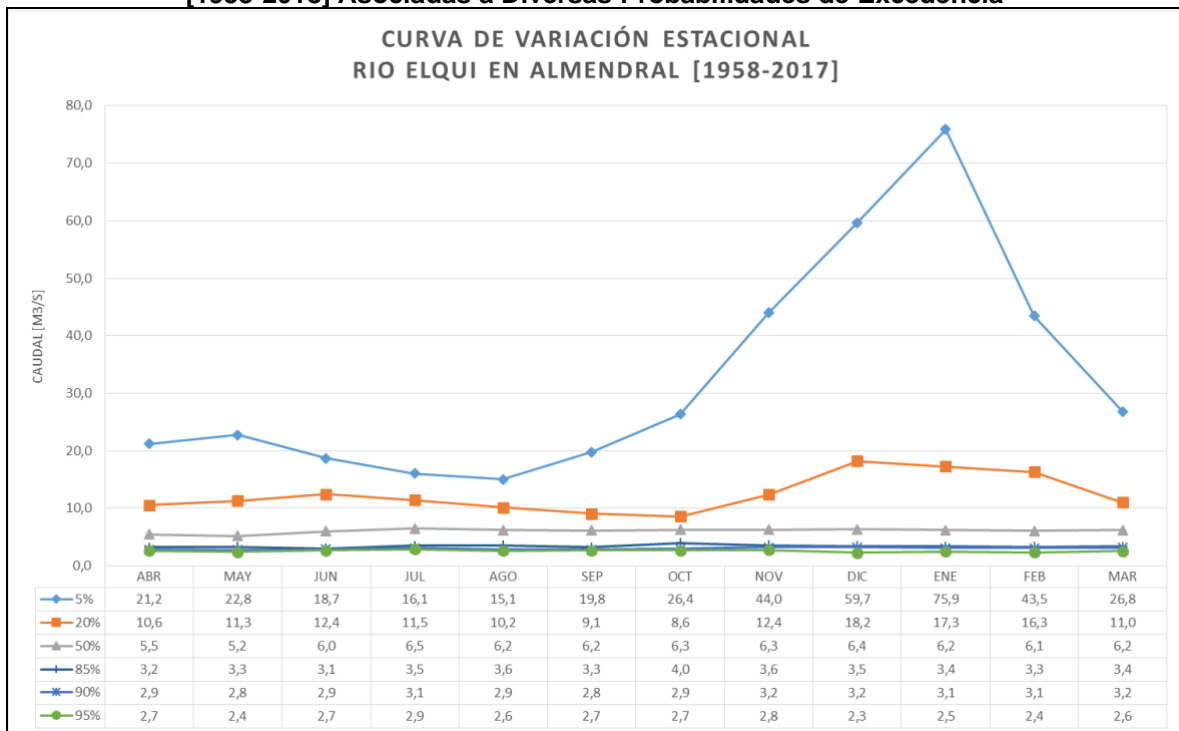
Villa E., 2013. Impacto del cambio climático sobre la disponibilidad de agua y sus efectos sobre los usos de agua en la Cuenca del Río Elqui. Tesis de grado, Departamento Ingeniería Civil, Universidad de Chile.

<sup>4</sup> DGA, 1995. Análisis de la oferta y demanda de recursos, hídricos en cuencas críticas Huasco y Elqui. Informe Final desarrollado por BROWN FERRER Y CONIC-BF. SIT N°23.

Basado en el cuadro Cuadro N° 3.1.10.6 y considerando el inicio de la construcción del Embalse Puclaro (1995) y llenado del mismo (2000), se ha realizado el análisis de la estadística hidrológica disponible, tomando como referencia la estación Río Elqui en Almendral por ser la estación que cuenta con un registro de datos más representativo. El periodo 1958 a 2017 [últimos 60 años] se tomará como referencia para el cálculo del caudal de diseño de la Bocatoma.

El caudal medio anual de la estación es del orden de 9 m<sup>3</sup>/s. Según la curva de variación estacional mostrada en la figura siguiente los mayores caudales (Pex= 5%) se registran en los meses de primavera y verano mostrando un régimen nival en la cuenca aportante. Durante los años húmedos los mayores caudales ocurren entre noviembre y febrero, producto de deshielos, mientras que los menores se registran entre abril y septiembre. Por lo tanto, el periodo de estiaje de la cuenca ocurre en meses de invierno entre junio y agosto.

**Figura N° 3.1.10.19. Curvas de Variación Estacional de la Estación Río Elqui en Almendral [1958-2018] Asociadas a Diversas Probabilidades de Excedencia**



Fuente: Elaboración a partir de DGA 1995, ICASS 2018.

De acuerdo a la DGA (2004)<sup>5</sup> en años secos los caudales en la cuenca del Elqui tienden a ser más uniformes a lo largo del año sin mostrar variaciones importantes. Sin embargo, durante algunos periodos secos los caudales han bajó a menos de 1 m<sup>3</sup>/s (por ejemplo, en junio 2014 el caudal bajó a 0,8 m<sup>3</sup>/s), mientras que en periodos muy lluviosos estos pueden aumentar a más de 80 m<sup>3</sup>/s, por ejemplo, en diciembre 1987 el caudal alcanzó los 98,6 m<sup>3</sup>/s).

<sup>5</sup> DGA, 2004. Cuenca del Río Elqui: Diagnóstico y clasificación de los cursos y cuerpos de agua según objetivos de calidad. Informe desarrollado por CADE-IDEPE.

### A. Caudales Máximos instantáneos

Se analizaron los caudales máximos instantáneos de la estaciones fluviométricas DGA Río Elqui en Almendral y Río Elqui en Algarrobal cuyos resultados se muestran en el cuadro siguiente:

**Cuadro N° 3.1.10.7 Resumen de Resultados Análisis de Frecuencia Log-Normal [1954-2017]**

PERÍODO DE RETORNO (años)	CAUDAL MÁXIMO ANUAL (m <sup>3</sup> /s)	
	RÍO ELQUI EN ALMENDRAL	RÍO ELQUI EN ALGARROBAL
2	18	19
5	43	45
10	67	70
20	96	101
25	107	112
50	146	152
100	193	201
200	248	259
300	285	297
x <sub>2</sub> (calculado)=	1,36	2,38
x <sub>2</sub> (0,05)=	5,99	5,99
Test	Aceptado	Aceptado
Razón	4,401	2,517

Fuente: ICASS, Elaborado para Compañía Minera Arqueros, 2018.

A partir del análisis de frecuencias mostrado anteriormente se puede comentar lo siguiente:

- La obtención de los periodos de retorno de interés son coherentes a lo esperado en la zona de estudio.
- Para un periodo de retorno de T=100 años se obtuvo un valor de 193 m<sup>3</sup>/s en la Estación Río Elqui en Almendral. Dicho caudal es un 4% menor que el caudal obtenido por la estación Río Elqui en Algarrobal (Q= 201 m<sup>3</sup>/s), lo cual es coherente dado la regulación del Embalse Puclaro aguas arriba de la zona de estudio.
- Algunos años del periodo de referencia (1954 a 2017) fueron completados para tener una serie de datos más homogénea.
- El mayor caudal instantáneo que ha sido registrado por la estación Río Elqui en Almendral es de 160 m<sup>3</sup>/s y tuvo lugar en el año 2017.

### 3.1.10.5. Conclusión

El Proyecto se encuentra emplazado en la cuenca del Río Elqui. Respecto de la distribución de las obras del Proyecto en las distintas subsubcuencas, esta se indica a continuación:

- Área Mina y Planta Concentradora: Sub-subcuenca Quebrada San Antonio.
- Área Depósito de Relaves, caminos de acceso y acueducto: Sub-subcuenca Quebrada La Marquesa
- Bocatoma: Sub-subcuenca Río Elqui

Respecto de la Pluviometría del Proyecto para un periodo de retorno de  $T=100$  años, se estimó una precipitación de diseño de 104 mm en base a la estación meteorológica DGA Almendral. Dicha precipitación es coherente (en órdenes de magnitud) con la estimada por la estación Rivadavia ( $P=94$  mm) y Vicuña (INIA) ( $P=103$  mm). La máxima precipitación en 24 horas que ha sido registrado por la estación Almendral es de 95 mm (que corresponde a un evento con un periodo de retorno de 100 años) y tuvo lugar en el año 1997.

Por último, respecto a la bocatoma se encuentra en una zona cuyo flujo superficial está monitoreado (aguas arriba) por la Dirección General de Aguas y regulado por el Embalse Puclaro. El caudal promedio en la zona de estudio es de  $9 \text{ m}^3/\text{s}$ , registrado en la estación DGA Río Elqui en Almendral para el periodo año 1958-2017.

El mayor caudal instantáneo del río Elqui que ha sido registrado por la estación Río Elqui en Almendral es de  $160 \text{ m}^3/\text{s}$  y tuvo lugar en el año 2017. Para un periodo de retorno de  $T=100$  años se estimó un valor de  $193 \text{ m}^3/\text{s}$  en la Estación Río Elqui en Almendral.

### 3.1.10.6. Bibliografía

DIRECCIÓN GENERAL DE AGUAS. 2004. Diagnóstico y Clasificación de los Cursos y Cuerpos de Agua según objetivo de calidad. Cuenca del Río Elqui. En línea.  
[<http://portal.mma.gob.cl/wp-content/uploads/2017/12/Elqui.pdf>]

DIRECCIÓN GENERAL DE AGUAS. 2019. Información oficial de Hidrometeorología y Calidad de aguas. Estación Almendral por Río Elqui.

DIRECCIÓN GENERAL DE AGUAS. 2019. Inventario Público de Cuencas Hidrográficas. En línea.  
[<http://www.arcgis.com/apps/OnePane/basicviewer/index.html?appid=140491cbe86847cab6b18949442393f9>]

**CAPÍTULO 3.1.11 LÍNEA DE BASE  
MEDIO FÍSICO HIDROGEOLOGÍA**

---

**ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL**  
**PROYECTO MINERO ARQUEROS**  
**CAPÍTULO 3.1.11 LÍNEA DE BASE**  
**MEDIO FÍSICO HIDROGEOLOGÍA**

ELABORADO PARA



Av. Andrés Bello 2233, Piso 3, Providencia · Santiago · Chile · Fono (+56 ) 2 2963 8560 · [www.inercochile.com](http://www.inercochile.com)

**DICIEMBRE DE 2019**

## ÍNDICE DE CONTENIDOS

<b>3. LÍNEA DE BASE.....</b>	<b>1</b>
3.1. MEDIO FÍSICO.....	1
3.1.11. Hidrogeología.....	1
3.1.11.1. Introducción.....	1
3.1.11.2. Área de influencia.....	1
3.1.11.3. Metodología.....	1
3.1.11.4. Resultados.....	3
3.1.11.5. Conclusiones.....	55
3.1.11.6. Bibliografía.....	57

## ÍNDICE DE CUADROS

CUADRO Nº 3.1.11.1. INVENTARIO DE POZO Y PIEZÓMETROS SECTOR DEPÓSITO DE RELAVES	8
CUADRO Nº 3.1.11.2. INVENTARIO DE POZO Y PIEZÓMETROS SECTOR DEPÓSITO DE RELAVES	8
CUADRO Nº 3.1.11.3. CONDUCTIVIDADES HIDRÁULICAS OBTENIDAS.....	27
CUADRO Nº 3.1.11.4. RESUMEN DE BOMBEOS REALIZADOS EN POZO BDR-01 .....	32
CUADRO Nº 3.1.11.5. RESUMEN DE BOMBEOS REALIZADOS EN POZO BDR-01.....	33
CUADRO Nº 3.1.11.6. NIVELES ESTÁTICOS Y PIEZOMÉTRICOS DE LA CAMPAÑA DE TERRENO DE FEBRERO DE 2019 .....	33
CUADRO Nº 3.1.11.7. CATASTRO DE VERTIENTES EN EL ÁREA DEL PROYECTO.....	40
CUADRO Nº 3.1.11.8. INVENTARIO DE POZO Y PIEZÓMETROS SECTOR DEPÓSITO DE RELAVES .....	40
CUADRO Nº 3.1.11.9. PIEZÓMETROS CONSTRUIDOS EN ÁREA MINA .....	41
CUADRO Nº 3.1.11.10. RQD DE LAS DISTINTAS UNIDADES.....	49
CUADRO Nº 3.1.11.11. NIVELES MEDIDOS EN SONDAJES MINA TUGAL, 2007 .....	49

## ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA Nº 3.1.11.1. UNIDADES HIDROGEOLÓGICAS SECTOR DE LA CUENCA DEL RÍO ELQUI ....	4
FIGURA Nº 3.1.11.2. UNIDADES HIDROGEOLÓGICAS SECTOR DE LA CUENCA DEL RÍO ELQUI ....	5
FIGURA Nº 3.1.11.3. UBICACIÓN DE LOS PUNTOS DE AGUA EN SECTOR DEPÓSITO DE RELAVES .....	7
FIGURA Nº 3.1.11.4. EVOLUCIÓN EN EL TIEMPO DE LOS CAUDALES DE LAS VERTIENTES EN SECTOR DEPÓSITO DE RELAVES .....	9
FIGURA Nº 3.1.11.5. FOTOGRAFÍA DE LA VERTIENTE VE-D EN OCTUBRE DE 2018 EN SECTOR DEPÓSITO DE RELAVES .....	10
FIGURA Nº 3.1.11.6. LOCALIZACIÓN DE ESTUDIOS GEOFÍSICOS DE LA CAMPAÑA DEL 2016 Y LOS SONDAJES GEOTÉCNICOS REALIZADOS DURANTE EL 2016 Y 2018 (ICASS, 2016A; ICASS, 2019A).....	11

FIGURA Nº 3.1.11.7. MODELO DE RESISTIVIDAD ERT 1.....	12
FIGURA Nº 3.1.11.8. MODELO DE RESISTIVIDAD ERT 2.....	12
FIGURA Nº 3.1.11.9.UBICACIÓN DE LOS LEVANTAMIENTOS GEOFÍSICOS REALIZADOS EN SECTOR DE DEPÓSITO DE RELAVES (ICASS, 2019A).....	13
FIGURA Nº 3.1.11.10 SECCIÓN DE RESISTIVIDAD REALIZADA EN LA DIRECCIÓN LONGITUDINAL DEL FUTURO MURO (PERFIL L1).....	15
FIGURA Nº 3.1.11.11 REFRACCIÓN SÍSMICA PARALELA AL FUTURO MURO (PERFIL L1). A.) MODELO, REALIZADA POR GEODATOS .....	17
FIGURA Nº 3.1.11.12 . REFRACCIÓN SÍSMICA PARALELA AL FUTURO MURO (PERFIL L1). B.) INTERPRETACIÓN DE VP REALIZADA POR GEODATOS .....	18
FIGURA Nº 3.1.11.13 GEOFÍSICA SUPERFICIAL (MASW) REALIZADA EN LA DIRECCIÓN LONGITUDINAL DEL FUTURO MURO (PERFIL L1).....	20
FIGURA Nº 3.1.11.14. SECCIÓN DE RESISTIVIDAD REALIZADA EN EL LÍMITE SUR DEL FUTURO DEPÓSITO DE RELAVES (PERFIL L2).....	22
FIGURA Nº 3.1.11.15. ESQUEMA DE LA UNIDAD ACUÍFERA EN EL ÁREA DEL DEPÓSITO DE RELAVES.....	24
FIGURA Nº 3.1.11.16. PERFIL HIDROGEOLOGICO SECTOR DEPÓSITO DE RELAVES. PERFIL LONGITUDINAL EN QUEBRADA PRINCIPAL .....	25
FIGURA Nº 3.1.11.17. PERFIL HIDROGEOLOGICO SECTOR DEPÓSITO DE RELAVES. PERFIL TRANSVERSAL AL MURO.....	26
FIGURA Nº 3.1.11.18. GRÁFICO DE DESCENSO VS TIEMPO EQUIVALENTE Y EL ANÁLISIS DE RECUPERACIÓN DE THEIS DEL POZO BDR-01 .....	28
FIGURA Nº 3.1.11.19. CONDUCTIVIDAD HIDRÁULICA EN PROFUNDIDAD DE ENSAYOS LUGEON REALIZADOS EN SECTOR DEL DEPÓSITO DE RELAVES .....	29
FIGURA Nº 3.1.11.20. RELACIÓN ENTRE CONDUCTIVIDAD HIDRÁULICA CON: (A) LITOLOGÍA Y (B) RQD .....	31
FIGURA Nº 3.1.11.21. DESCENSOS MEDIDOS DURANTE EL BOMBEO DEL POZO BDR-01 .....	32
FIGURA Nº 3.1.11.22. PIEZOMETRÍA DEL SECTOR DEL DEPÓSITO DE RELAVES DE FEBRERO DE 2019 .....	34
FIGURA Nº 3.1.11.23. ESQUEMA DEL FUNCIONAMIENTO CONCEPTUAL DE LA CUENCA HIDROGEOLOGICA DEL DEPÓSITO DE RELAVES PROYECTADO .....	37
FIGURA Nº 3.1.11.24. VISTA DE PÁJARO DEL SECTOR DEPÓSITO DE RELAVES PROYECTADO. 37	
FIGURA Nº 3.1.11.25. PUNTOS DE AGUA SUBTERRÁNEA EN EL ÁREA DEL PROYECTO.....	39
FIGURA Nº 3.1.11.26. UNIDADES HIDROGEOLOGICAS DEFINIDAS PARA EL ÁREA MINA.....	43
FIGURA Nº 3.1.11.27. LOCALIZACIÓN PERFILES ESQUEMÁTICOS DE LA GEOMETRÍA DEL ACUÍFERO .....	44
FIGURA Nº 3.1.11.28. RESULTADOS DE ENSAYOS DE CONDUCTIVIDAD HIDRÁULICA EN ÁREA MINA .....	45
FIGURA Nº 3.1.11.29. RELACIÓN ENTRE LA CONDUCTIVIDAD HIDRÁULICA Y LA LITOLOGÍA EN ÁREA MINA. ....	46
FIGURA Nº 3.1.11.30. FOTOGRAFÍA DETALLE DEL SECTOR EN QUE SE REALIZÓ ENSAYO LUGEON EN LA FALLA FR01 .....	46



FIGURA N° 3.1.11.31. RELACIÓN ENTRE LA CONDUCTIVIDAD HIDRÁULICA Y EL RQD EN EL ÁREA MINA .....	48
FIGURA N° 3.1.11.32 PIEZOMETRÍA ESTIMATIVA EN LA CUENCA HIDROLÓGICA DEL ÁREA MINA .....	50
FIGURA N° 3.1.11.33. UBICACIÓN DEL PERFIL A-A´ Y LOS NIVELES PIEZOMÉTRICOS (M.S.N.M) DE CADA SONDAJE .....	51
FIGURA N° 3.1.11.34. PERFIL A-A .....	52
FIGURA N° 3.1.11.35. ESQUEMA DE PLATAFORMA 39 (BLOQUE SUR) .....	53
FIGURA N° 3.1.11.36. ESQUEMA MODELO CONCEPTUAL .....	55

### 3. LÍNEA DE BASE

#### 3.1. Medio Físico

##### 3.1.11. Hidrogeología

###### 3.1.11.1. Introducción

De acuerdo a lo establecido en la Ley N° 19.300 y en el Artículo 18, literal e.1) del Decreto Supremo N° 40/2012 “Reglamento del Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental” del Ministerio del Medio Ambiente, la presente sección da cuenta de los antecedentes que caracterizan la línea de base de Hidrogeología en el área de influencia del Proyecto Minero Arqueros (en adelante el Proyecto), el cual se emplaza en la Región de Coquimbo, comunas de La Serena y Vicuña.

A nivel general conforme al Mapa Hidrogeológico de Chile, el Proyecto se emplaza en Rocas Sedimentarias y Mixto Sedimentario Volcánicas, presentando una permeabilidad Muy Baja a Ausente (en roca) y presentando una importancia hidrogeológica muy baja. Sin perjuicio de lo indicado, se han realizado actividades asociadas a la caracterización de la hidrogeología del emplazamiento del Proyecto, en particular en el sector Área Mina y en el sector de emplazamiento del Depósito de Relaves.

###### 3.1.11.2. Área de influencia

El área de influencia del componente Hidrogeología, corresponde al espacio geográfico donde se desarrollan las partes, obras y acciones del Proyecto. Sin embargo, la relación del Proyecto con este componente ambiental está dada principalmente por el Área Mina, debido a que el Proyecto corresponde a la explotación y extracción de mineral a partir de una mina subterránea, así como al sector del Depósito de Relaves, lo anterior, considerando que el resto de las instalaciones corresponden a instalaciones de servicio de carácter superficial.

Es importante señalar que, el levantamiento de información de la línea de base para este componente, abarcó una escala de análisis mayor que el emplazamiento de las obras del Proyecto, a fin de verificar el contexto hidrogeológico en el que se emplaza el Proyecto, sin embargo, lo anterior sólo tiene un carácter referencial.

En el Capítulo 2 “Determinación y Justificación del Área de Influencia” del presente EIA, se presenta el área de influencia delimitada para este componente ambiental.

###### 3.1.11.3. Metodología

El análisis geológico para el área del Proyecto se realizó en las siguientes escalas:

- **Marco Hidrogeológico General:** Se consideran las unidades hidrogeológicas señaladas en el Mapa Hidrogeológico de Chile, DGA, 1986.
- **Marco Hidrogeológico Sector Depósito de Relaves:** La caracterización hidrogeológica del sector del futuro Depósito de Relaves se realizó a partir del

entendimiento de la hidrogeología de la cuenca del río Elqui en base a sus antecedentes, para luego continuar con el análisis de las investigaciones de terreno, realizadas tanto en el 2016 (IDIEM, 2016 e ICASS, 2016) como en el 2018-2019 (ICASS, 2019a). En el año 2016, se realizaron varios trabajos en el sector para caracterizarlo geotécnica e hidrogeológicamente. En el 2018-2019, en tanto, se llevó a cabo una segunda serie de trabajos más específicos, para profundizar en el conocimiento hidrogeológico del sector.

- En el Sector del Depósito de Relave Espesados, durante el año 2016 la empresa IDIEM desarrolló tres (3) sondajes habilitados como piezómetros. Posteriormente durante 2018 y 2019 ICASS desarrolló otros sondajes habilitados como piezómetros en el Sector del Depósito de Relaves.
- En la campaña de exploración del 2016, IDIEM solicitó al Núcleo de Geofísica Aplicada de la Universidad de Chile (AGEOS Ltda.), la realización de Modelos de Resistividad Eléctrica a lo largo del eje de la quebrada y perpendicular a ésta, en la zona del muro del futuro Depósito de Relaves.
- Durante las investigaciones de terreno (ICASS, 2018 - 2019), se realizó el catastro de puntos de agua en el sector de estudio, consistente en el registro de pozos, piezómetros y vertientes del sector, considerando tanto los piezómetros habilitados por IDIEM como por ICASS.
- De acuerdo a las características litoestratigráficas, geotécnicas y de parámetros hidráulicos recopiladas a partir de las investigaciones de terreno, se definieron unidades hidrogeológicas en el Sector del Depósito de Relaves.
- Para caracterizar los parámetros hidráulicos del Depósito de Relaves, se cuenta con las investigaciones realizadas en el 2016 por IDIEM, así como los ensayos hidráulicos obtenidos durante la campaña de perforación realizada por ICASS entre octubre de 2018 y febrero de 2019.
- Para niveles de agua y piezometría, en la campaña de terreno de febrero de 2019 realizada por ICASS, se midieron los niveles estáticos de los sondajes habilitados el 2016, y los piezómetros construidos el 2018-2019.
- **Marco Hidrogeológico Sector Mina:** La caracterización hidrogeológica del sector futura Mina Arqueros se realizó a partir del entendimiento de la hidrogeología de la cuenca del río Elqui en base a sus antecedentes, para luego continuar con el análisis de las investigaciones de terreno realizadas en el 2018-2019 (ICASS, 2019a), en donde se llevó a cabo una serie de trabajos de caracterización hidrogeológica, para profundizar en el conocimiento hidrogeológico del sector.
- En las investigaciones del Proyecto Minero Arqueros se construyeron 2 piezómetros en el Área Mina en la campaña 2018-2019, habilitados por la empresa ICASS.
- Durante las investigaciones de terreno (ICASS, 2019a), se realizó el catastro de puntos de agua en el área de estudio, el cual se complementó con los registros de Agua Potable Rural (APR) y derechos de aprovechamiento de aguas subterráneas del MOP, consistente en el registro de i.) vertientes, ii.) pozos de agua con derechos de aprovechamiento de aguas, iii.) sondajes de exploración, y iv.) piezómetros construidos.

- Por otra parte, durante la campaña 2018-2019 realizada por ICASS, se realizó un catastro e inspección de los sondajes de exploración geológica existentes en el lugar desarrollados por Minera Arqueros. En aquellos sondajes habilitados se procedió a medir el nivel del agua y la profundidad actual del sondaje.

La información de los ensayos realizados en el Sector del Depósito de Relaves se encuentra en el Anexo 4.9 Modelo Hidrogeológico Conceptual del Sector Depósito de Relaves del Proyecto Minero Arqueros.

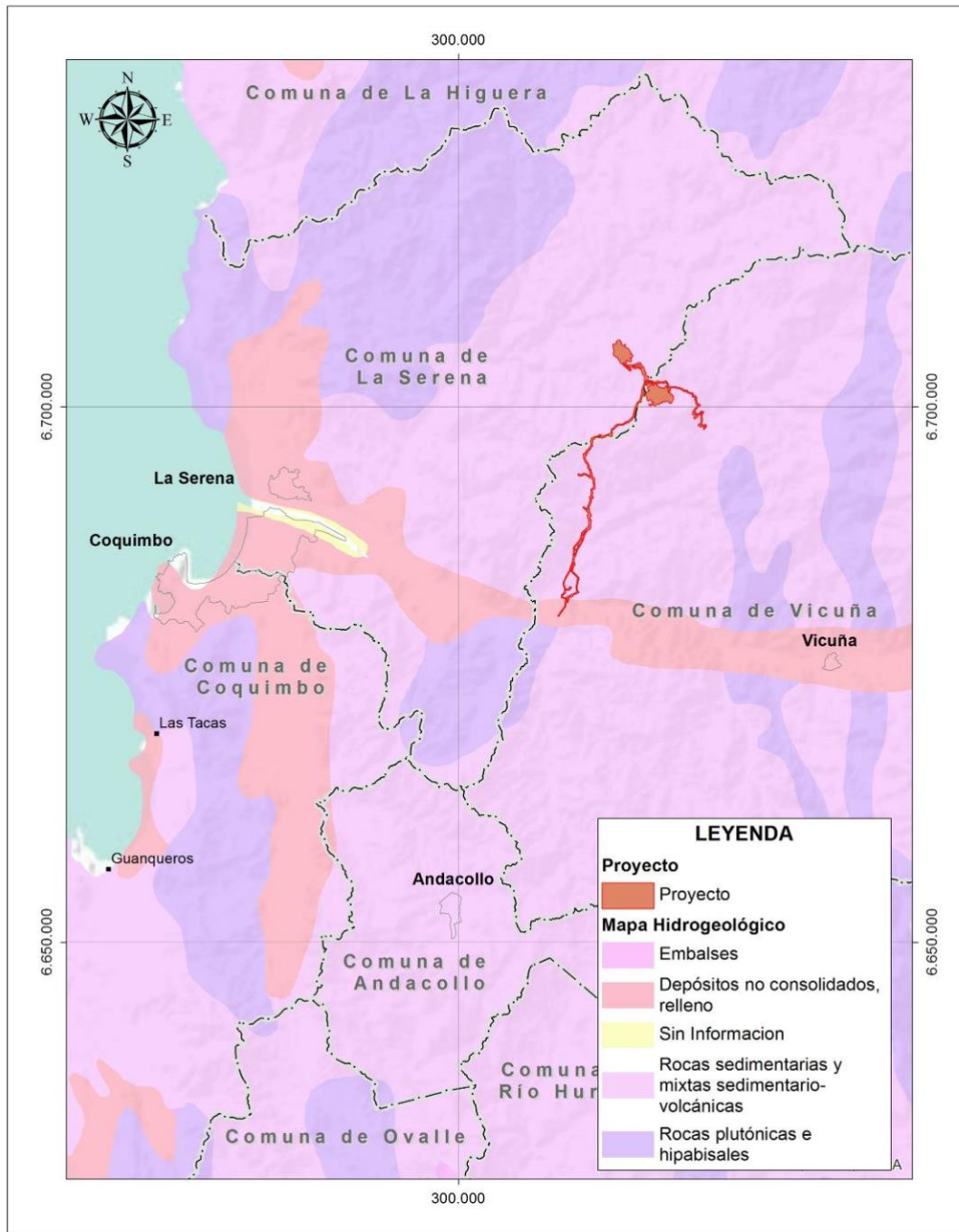
Por su parte, la información de los ensayos realizados en el Área Mina se encuentra en el Anexo 4.10 Modelo Hidrogeológico Conceptual del Sector Mina del Proyecto Minero Arqueros.

#### **3.1.11.4.Resultados**

##### **3.1.11.4.1 Marco Hidrogeológico General**

La hidrogeología de la Cuenca del Río Elqui ha sido obtenida del Mapa Hidrogeológico de Chile a escala 1:1.000.000 realizado por la DGA. En la siguiente Figura se observa la ubicación del Proyecto en las unidades hidrogeológicas.

**Figura N° 3.1.11.1. Unidades Hidrogeológicas Sector de la Cuenca del Río Elqui**



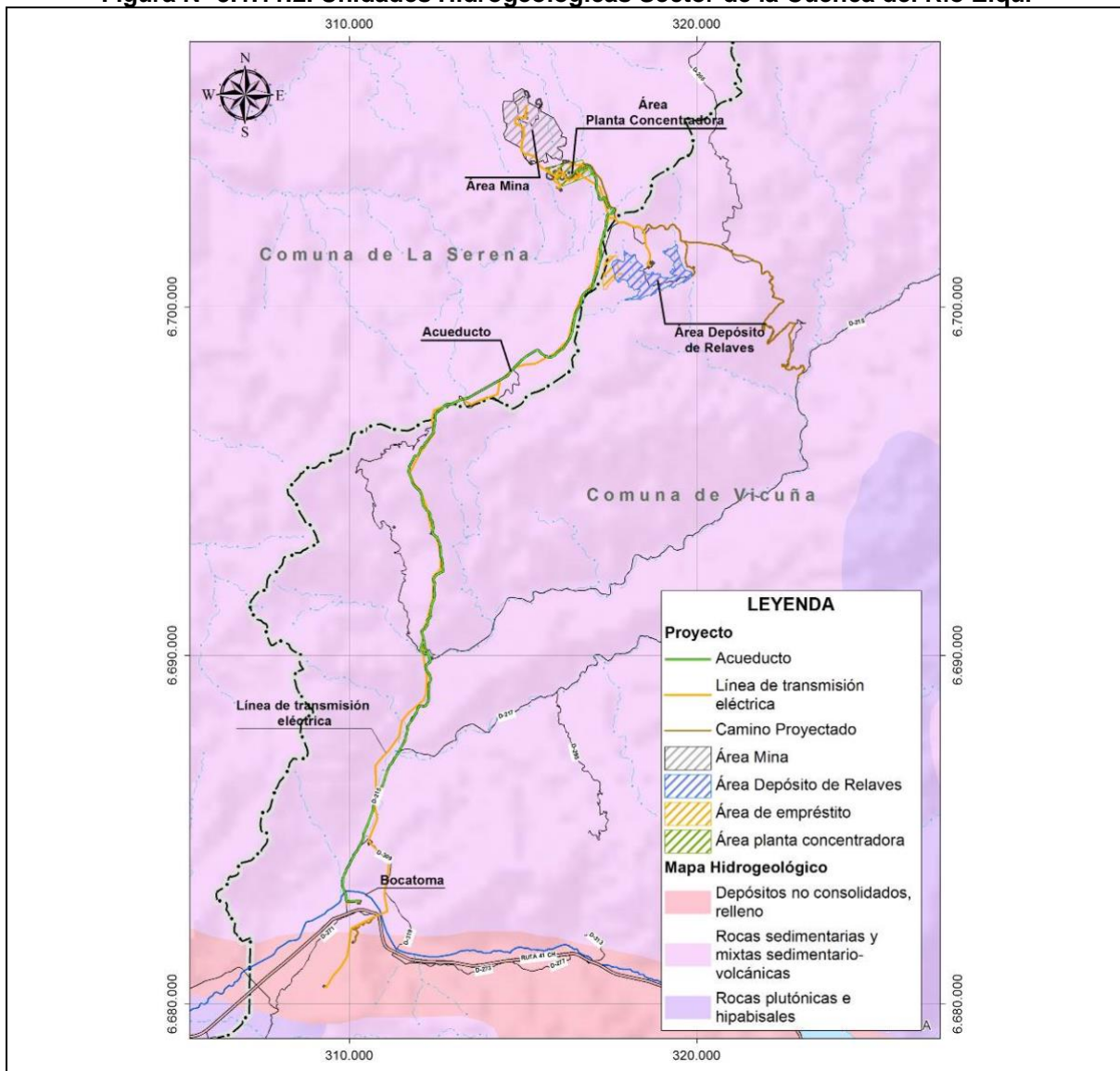
Fuente: Elaboración propia base Mapa Hidrogeológico de Chile, DGA, 1986.

Como se observa en la Figura anterior, una porción menor del Proyecto, se encuentra en Depósitos No Consolidados, Relleno, la cual presenta una permeabilidad Primaria (en formación porosa) y presenta una importancia hidrogeológica Alta a Media. Sin embargo, la mayor parte del Proyecto se encuentra conforme al Mapa Hidrogeológico de Chile, en Rocas Sedimentarias y Mixto Sedimentario Volcánicas, presentando una permeabilidad

Muy Baja a Ausente (en roca) y presentando una importancia hidrogeológica muy baja. Esto se explica porque el subsuelo del área del Proyecto Arqueros se caracteriza por estar compuesto por rocas volcanosedimentarias cretácicas e intrusivas graníticas sin permeabilidad primaria y muy baja permeabilidad secundaria (generada por fracturas).

En la siguiente Figura se observa en mayor detalle la ubicación de las obras del Proyecto en estas unidades hidrogeológicas.

**Figura Nº 3.1.11.2. Unidades Hidrogeológicas Sector de la Cuenca del Río Elqui**



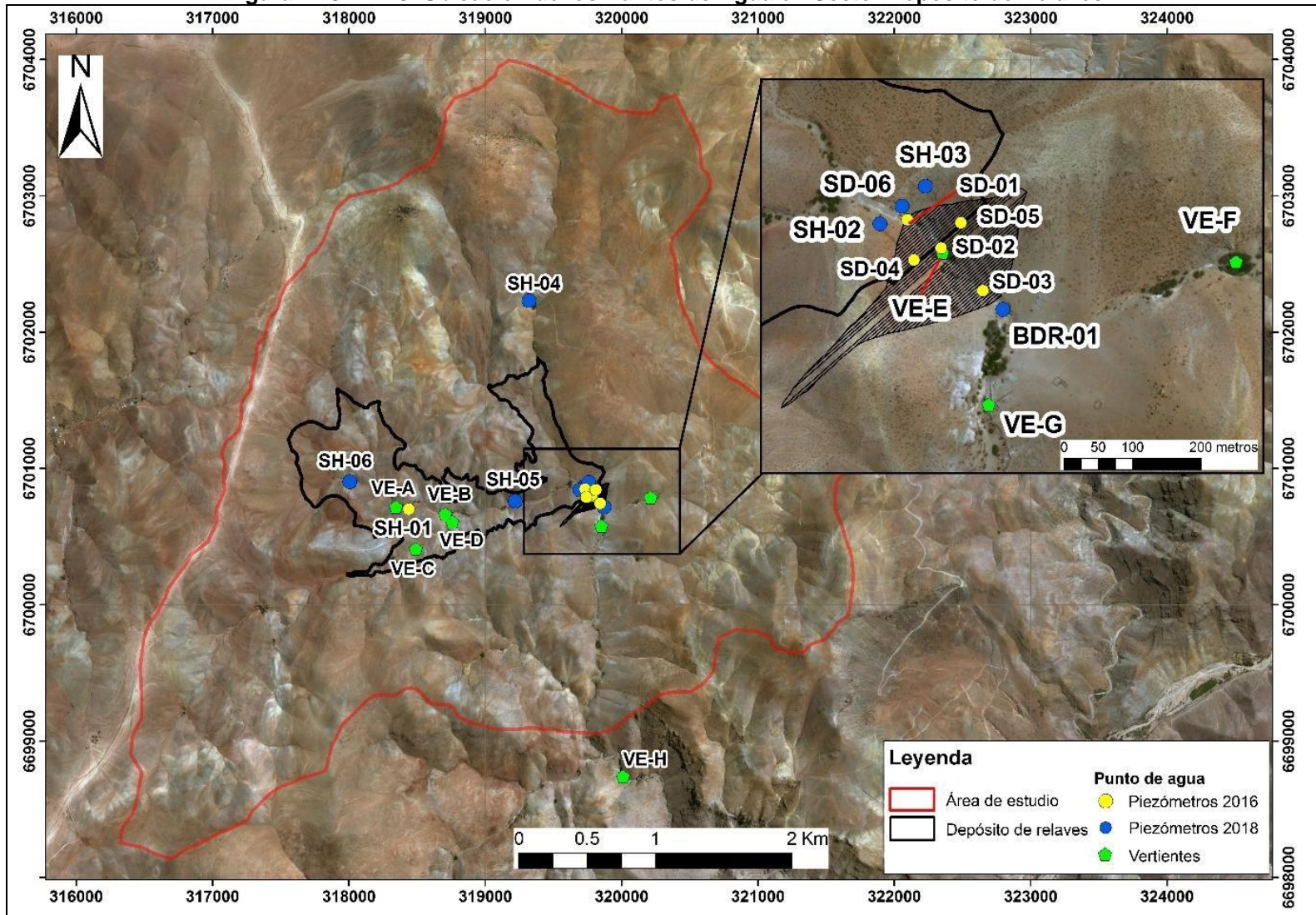
Fuente: Elaboración propia base Mapa Hidrogeológico de Chile, DGA, 1986.

### **3.1.11.4.2 Marco hidrogeológico Área Relave**

#### **A. Catastro de puntos de agua subterránea**

Durante las investigaciones de terreno (ICASS, 2019a), se realizó el catastro de puntos de agua en el sector de estudio, consistente en el registro de pozos, piezómetros y vertientes del sector. Para ello, se realizó un recorrido superficial en el área del Depósito de Relaves y, además, se visitó la zona, tanto aguas arriba como aguas abajo de éste, hasta llegar a Quebrada Marquesa. En total, se han identificado 21 puntos de agua, cuya ubicación se presenta en la siguiente Figura, de los cuales 18 se encuentran en condiciones óptimas para su monitoreo.

Figura Nº 3.1.11.3. Ubicación de los Puntos de Agua en Sector Depósito de Relaves



Fuente: Modelo Hidrogeológico Conceptual. Sector Depósito de Relaves. Proyecto Minero Arqueros. ICASS, 2019).



**Pozos de producción:** En relación a pozos de producción, en el área considerada no se cuenta con la presencia de pozos de APR ni de pozos particulares, lo cual, además de en terreno, se verificó a partir de los registros del MOP.

**Piezómetros:** En las investigaciones del Proyecto Minero Arqueros se realizaron 13 sondajes a partir de los cuales se construyeron 10 piezómetros entre las campañas de 2016 (IDIEM, 2016a) y 2018-2019 (ICASS, 2019a). El siguiente Cuadro resume las principales características de dichos puntos.

**Cuadro Nº 3.1.11.1. Inventario de Pozo y Piezómetros Sector Depósito de Relaves**

ESTACIÓN	COORDENADA UTM WGS 84		COTA (MSNM)	PROFUNDIDAD PERFOTACIÓN (M)	ESTADO	DIÁMETRO (PULG)	PROFUNDIDAD RAUNRADA (M)	PROFUNDIDAD DEL NIVEL DE AGUA (MBNT)**
	NORTE (M)	ESTE (M)						
SH-01	6.700.703	318.439	1295,3	30,0	Habilitado	2	0,0 a 30,0	3,9
SD-01	6.700.849	319.732	1247,8	10,0	No habilitado	-	-	-
SD-02	6.700.807	319.782	1250,6	30,0	Obstruido	2	0,7 a 13,2	-
SD-03	6.700.745	319.842	1239,5	30,0	Habilitado	2	21,1 a 30,0	2,8
SD-04	6.700.790	319.742	1282,1	10,0	No habilitado	-	-	-
SD-05	6.700.844	319.810	1282,7	10,0	No habilitado	-	-	-
BDR-01*	6.700.717	319.872	1238,8	46,0	Habilitado	6	2,3 a 38,0	2,4
SH-02*	6.700.842	319.692	1250,3	46,0	Habilitado	2	7,6 a 37,0	6,7
SH-03*	6.700.898	319.759	1253,7	35,2	Habilitado	2	5,8 a 32,3	11,1
SH-04*	6.702.231	319.321	1336,2	30,0	Habilitado	2	3,4 a 26,9	6,4
SH-05*	6.700.760	319.220	1260,4	35,4	Habilitado	2	0,9 a 27,4	4,8
SH-06*	6.700.902	318.007	1314,6	30,8	Habilitado	2	1,7 a 25,3	5,8
SD-06*	6.700.868	319.724	1247,1	62,5	Habilitado	2	3,0 a 56,0	3,8

\*: Febrero 2019

\*\*MBNT: Metros bajo en nivel del terreno

Fuente: Modelo Hidrogeológico Conceptual. Sector Depósito de Relaves. Proyecto Minero Arqueros. ICASS, 2019.

**Vertientes:** En el área investigada, se encontraron un total de ocho afloramientos de aguas subterráneas, de las cuales cinco se presentan en el interior del área del Depósito de Relaves proyectado. Las características principales de las vertientes se incluyen en el siguiente Cuadro.

**Cuadro Nº 3.1.11.2. Inventario de Pozo y Piezómetros Sector Depósito de Relaves**

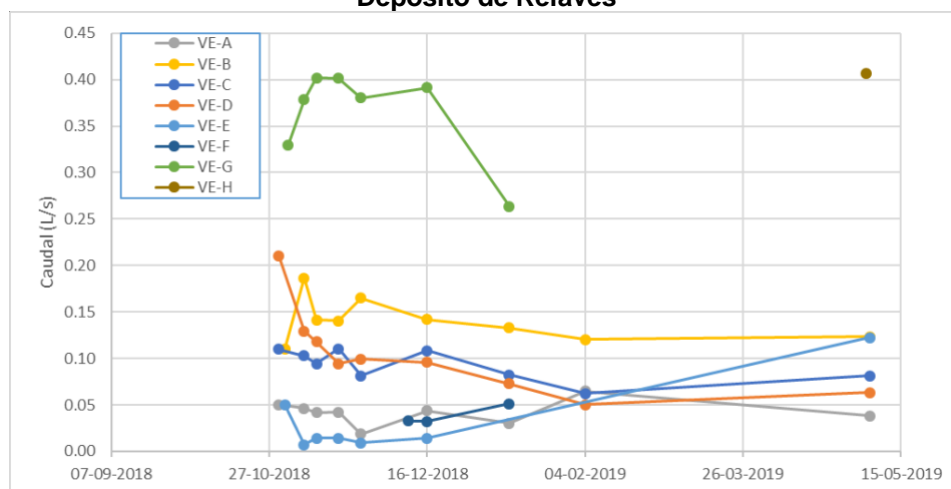
ESTACIÓN	COORDENADA UTM WGS 84		COTA (MSNM)	CAUDAL PROMEDIO (L/S)
	NORTE (M)	ESTE (M)		
VE-A	6.700.609	318.758	1.295	0,04
VE-B	6.700.718	318.346	1.280	0,14
VE-C	6.700.665	318.706	1.290	0,09

ESTACIÓN	COORDENADA UTM WGS 84		COTA (MSNM)	CAUDAL PROMEDIO (L/S)
	NORTE (M)	ESTE (M)		
VE-D	6.700.578	319.851	1.275	0,10
VE-E	6.700.800	319.784	1.241	0,03
VE-F	6.700.787	320.213	1.259	0,04
VE-G	6.700.578	319.851	1.232	0,36
VE-H	6.698.741	320.011	1.133	0,41

Fuente: Modelo Hidrogeológico Conceptual. Sector Depósito de Relaves. Proyecto Minero Arqueros. ICASS, 2019.

Los caudales registrados por las vertientes son bajos y varían entre 0,01 a 0,2 l/s. La vertiente VE-G, unos 200 m aguas abajo del muro proyectado, presenta un caudal ligeramente más elevado, oscilando entre 0,25 y 0,4 l/s; y la vertiente VE-H, ubicada aproximadamente a 2 km aguas abajo del Depósito de Relaves (ver siguiente Figura), registró un caudal de 0,4 l/s. En todos los casos, el agua subterránea aflorada se presenta en superficie como pequeños escurrimientos a lo largo de unos pocos metros a escasas decenas de metros hasta evaporarse y/o infiltrarse nuevamente, es decir, no generan cauces de agua superficial. Durante el monitoreo de las vertientes, desde octubre del 2018 en adelante, los caudales en general tienen una leve tendencia a disminuir.

**Figura Nº 3.1.11.4. Evolución en el Tiempo de los Caudales de las Vertientes en Sector Depósito de Relaves**



Fuente: Modelo Hidrogeológico Conceptual. Sector Depósito de Relaves. Proyecto Minero Arqueros. ICASS, 2019.

Si bien existe vegetación en sus entornos, ésta es escasa y espacialmente muy limitada al propio cauce, como se observa en la siguiente Figura.

**Figura N° 3.1.11.5. Fotografía de la Vertiente VE-D en Octubre de 2018 en Sector Depósito de Relaves**

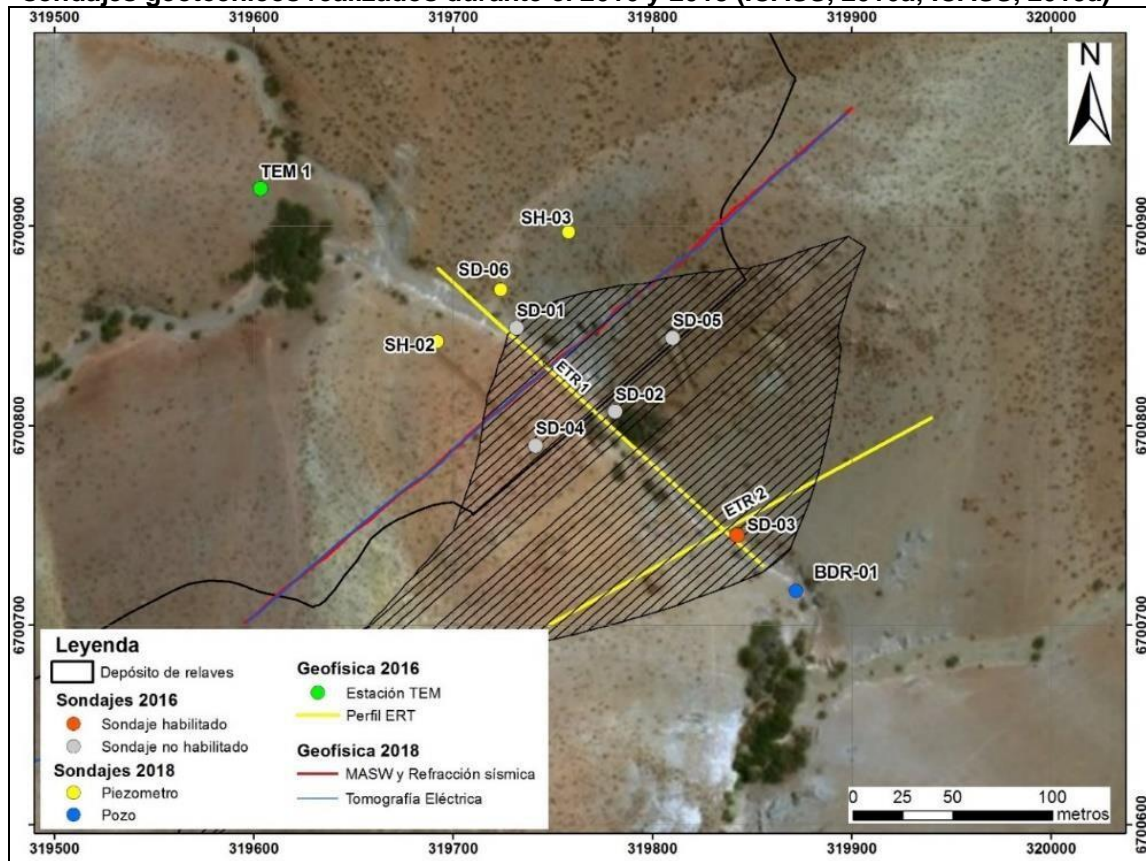


Fuente: Modelo Hidrogeológico Conceptual. Sector Depósito de Relaves. Proyecto Minero Arqueros. ICASS, 2019.

## **B. Geofísica**

En la campaña de exploración del 2016, IDIEM solicitó al Núcleo de Geofísica Aplicada de la Universidad de Chile (AGEOS Ltda.), la realización de Modelos de Resistividad Eléctrica a lo largo del eje de la quebrada y perpendicular a ésta, a la altura del sondaje SD-03, en la zona del muro del futuro depósito de relaves. La siguiente Figura representa lo señalado.

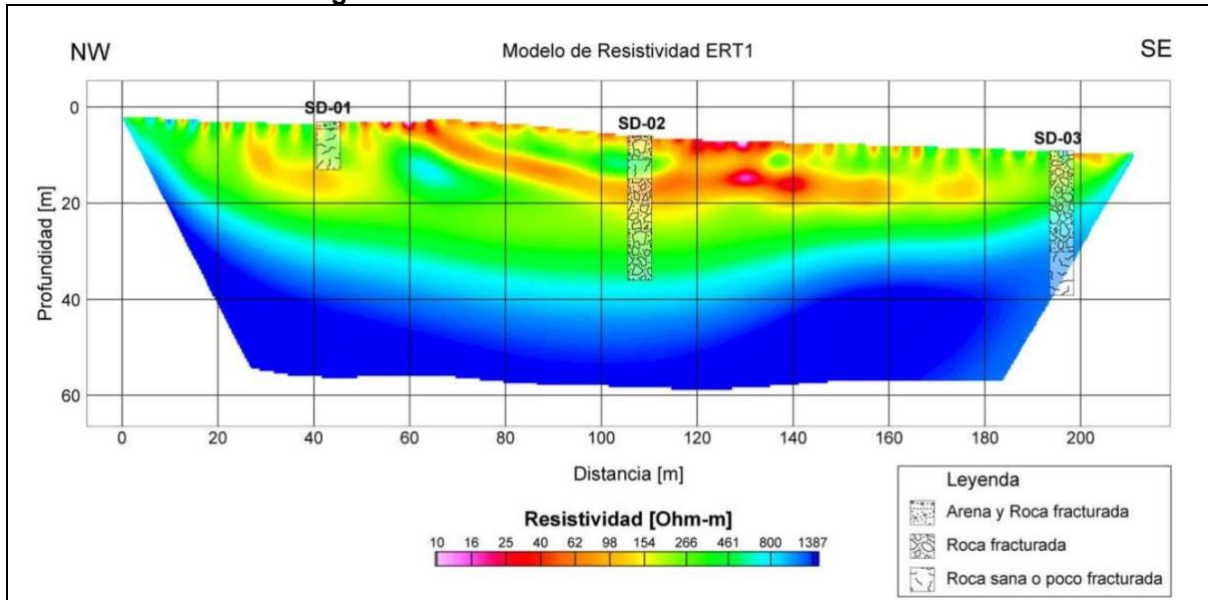
**Figura N° 3.1.11.6. Localización de estudios geofísicos de la campaña del 2016 y los sondajes geotécnicos realizados durante el 2016 y 2018 (ICASS, 2016a; ICASS, 2019a)**



Modelo Hidrogeológico Conceptual. Sector Depósito de Relaves. Proyecto Minero Arqueros. ICASS, 2019.

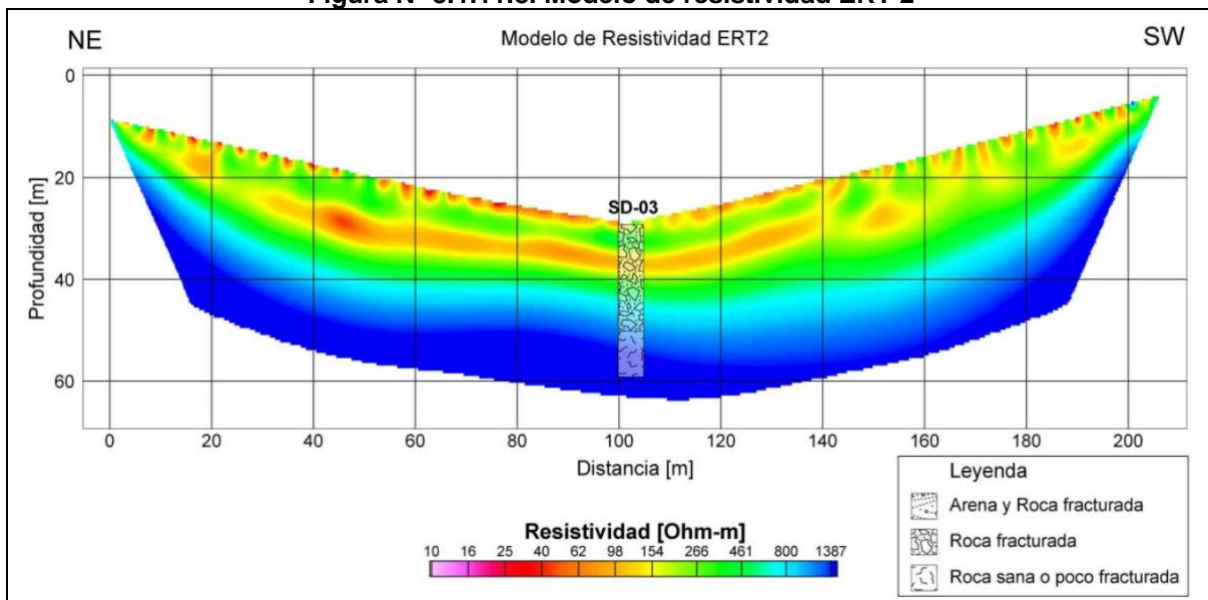
La modelación de los Perfiles de Tomografía de Resistividad Eléctrica (ERT) realizados por IDIEM se muestran en la Figura N° 3.1.11.7. y Figura N° 3.1.11.8. En estos perfiles de resistividad eléctrica (ERT), se observan zonas de menor resistividad (colores rojos en la Figura N° 3.1.11.7. y Figura N° 3.1.11.8) que se localizan, relativamente, cerca de la superficie. Aquellas zonas de menor resistividad, presentes a profundidades menores a 20m, se encuentran rodeadas de zonas de mayor resistividad (colores verdes en la Figura N° 3.1.11.7. y Figura N° 3.1.11.8), que correspondería a la unidad andesita intrusiva, estaría hospedando agua en zonas fracturadas. A partir de los 20-30m, de profundidad se tiene una zona de alta resistividad que correspondería al basamento impermeable.

**Figura N° 3.1.11.7. Modelo de resistividad ERT 1**



Fuente: Ageos, 2016

**Figura N° 3.1.11.8. Modelo de resistividad ERT 2**



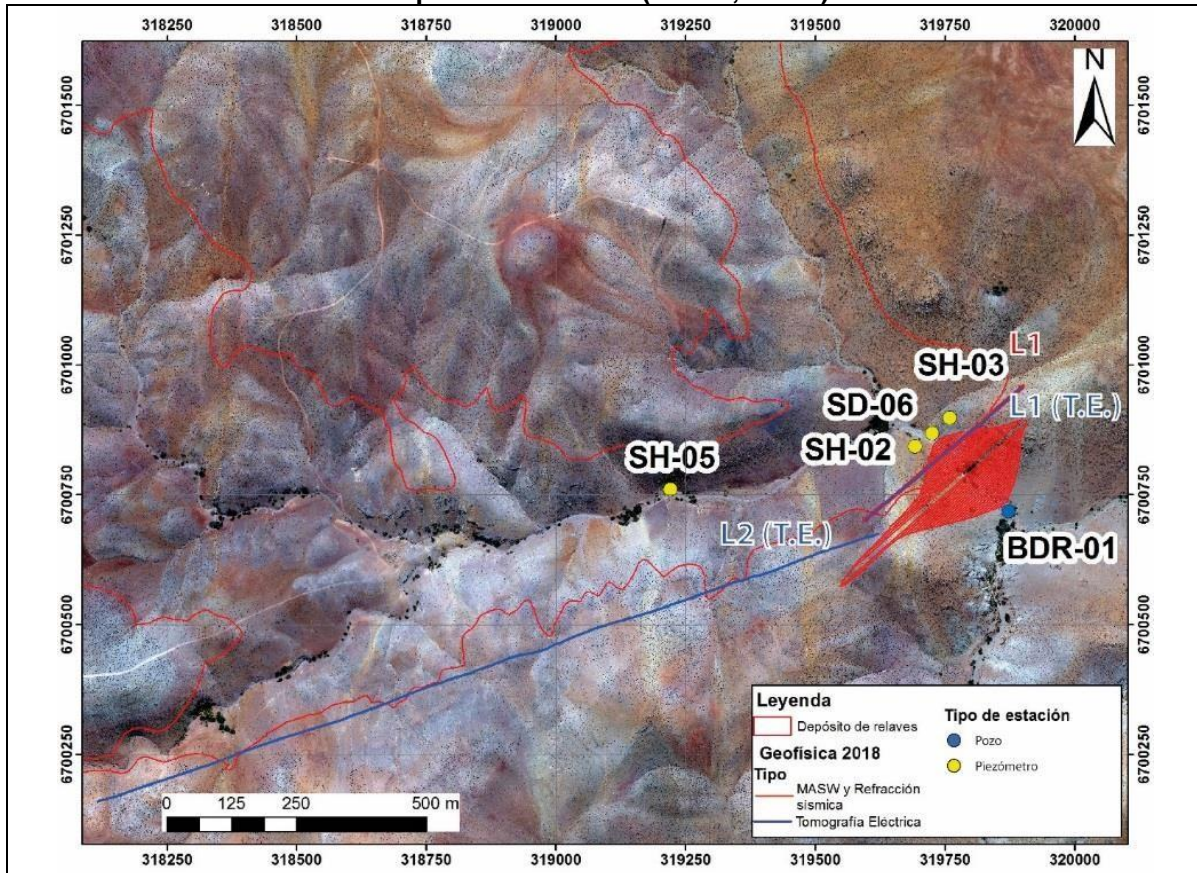
Fuente: Ageos, 2016

**Prospección del 2018**

Durante la campaña de terreno de ICASS en 2018 (ICASS, 2019a), se realizaron mediciones de geofísica superficial, orientadas a conocer la condición subterránea en el sector del futuro muro del depósito y del borde sur del depósito, permitiendo estimar la geometría y/o base del acuífero (basamento impermeable) en dichas secciones. Para esto, la empresa Geodatos realizó los siguientes levantamientos (Figura N° 3.1.11.6 y Figura N° 3.1.11.9):

- En el sector del muro del depósito de relaves: Tomografía eléctrica, refracción sísmica, Método MASW.
- En el límite sur del depósito: Tomografía eléctrica.

**Figura N° 3.1.11.9. Ubicación de los levantamientos geofísicos realizados en sector de depósito de relaves (ICASS, 2019a).**



En la figura se muestran, además, los pozos y piezómetros construidos en dicha zona en el 2018.  
 Fuente: Modelo Hidrogeológico Conceptual. Sector Depósito de Relaves. Proyecto Minero Arqueros. ICASS, 2019.

**a) Sector muro**

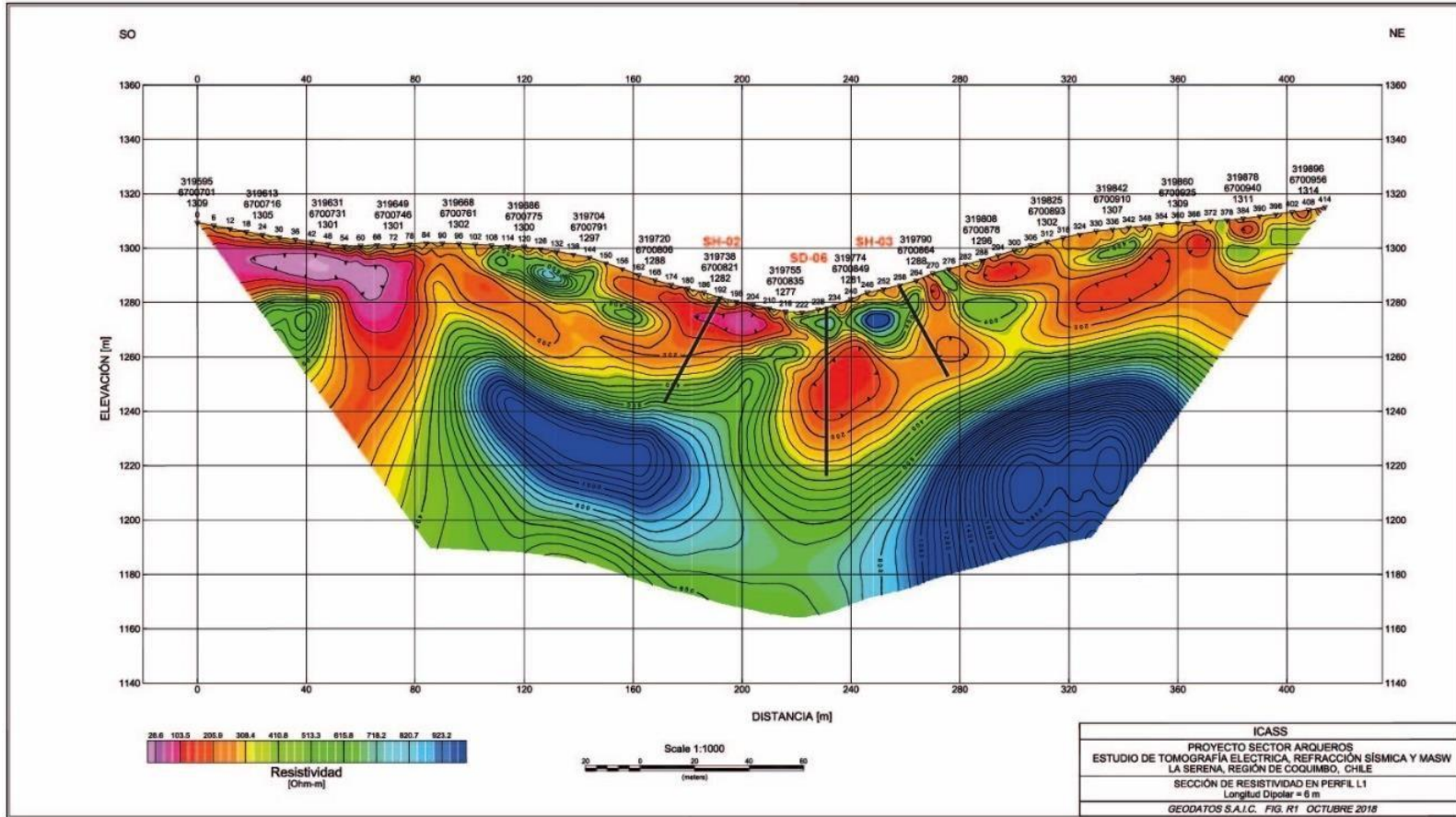
La Figura N° 3.1.11.10 muestra la sección de resistividad resultante de la tomografía eléctrica. En ésta se distinguen, básicamente, dos unidades:

Unidad de mediana resistividad eléctrica (mediana conductividad): presenta valores promedios de 200  $\Omega$ m, los cuales no representan valores de acuíferos productivos, pero pueden ser atribuidos a zonas de roca con algo de fracturación y saturación de fluidos (Geodatos, 2018). El valor mínimo de resistividad se alcanza en el sector SO y atraviesa la unidad de alta resistividad, lo cual es consistente con la ubicación de una falla NS que atraviesa el perfil, de acuerdo a lo mapeado por Asaki (2018), y, por ende, podría estar asociado a una zona de fallas. Otro aspecto relevante es que en el sector del eje de la

quebrada se produce una profundización de la base de esta unidad, lo cual se condice con observaciones en el sondaje SD-06. Por otro lado, se observan zonas donde la unidad de baja resistividad presenta anomalías de alta resistividad, las cuales podrían corresponder a zonas de escaso fracturamiento y saturación.

Unidad de alta resistividad eléctrica (baja conductividad): presenta un rango de resistividad de entre 600  $\Omega$ m poco más de 1000  $\Omega$ m. Esta unidad correspondería a roca impermeable y subyace a la unidad anterior. Los valores máximos de resistividad se identifican como dos cuerpos alargados ubicados en los márgenes laterales del eje de la quebrada., lo cual se condice con las observaciones en los sondajes SH-02 y SH-03.

Figura N° 3.1.11.10 Sección de resistividad realizada en la dirección longitudinal del futuro muro (Perfil L1)



Fuente: Geodatos, 2018



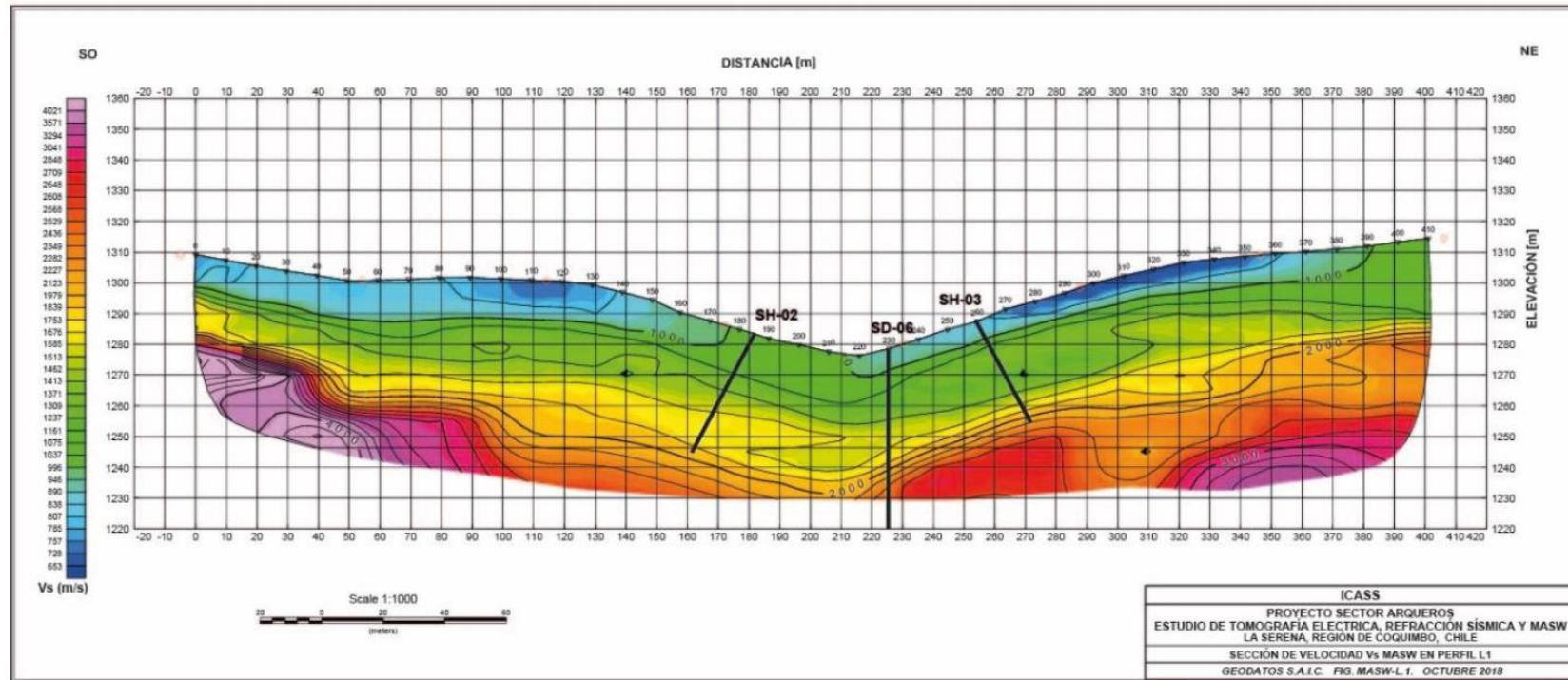
La Figura N° 3.1.11.11 muestra el modelamiento y la Figura N° 3.1.11.12 la interpretación de la refracción sísmica realizada por Geodatos (2018). En este caso, se definen tres dominios de acuerdo a sus velocidades de propagación ( $V_p$ ):

Velocidades bajas: esta unidad presenta valores inferiores a los 700 m/s. Se presenta en superficie como una capa discontinua de espesor variable que alcanza hasta los aprox. 10 m. Esta unidad correspondería a sedimentos no consolidados o suelos.

Velocidades media-altas: subyace a la unidad anterior y presenta  $V_p$  inferiores a los 2700 m/s. Esta unidad presenta un espesor variable (de 3 a 22 m, aproximadamente) y correspondería a roca fracturada.

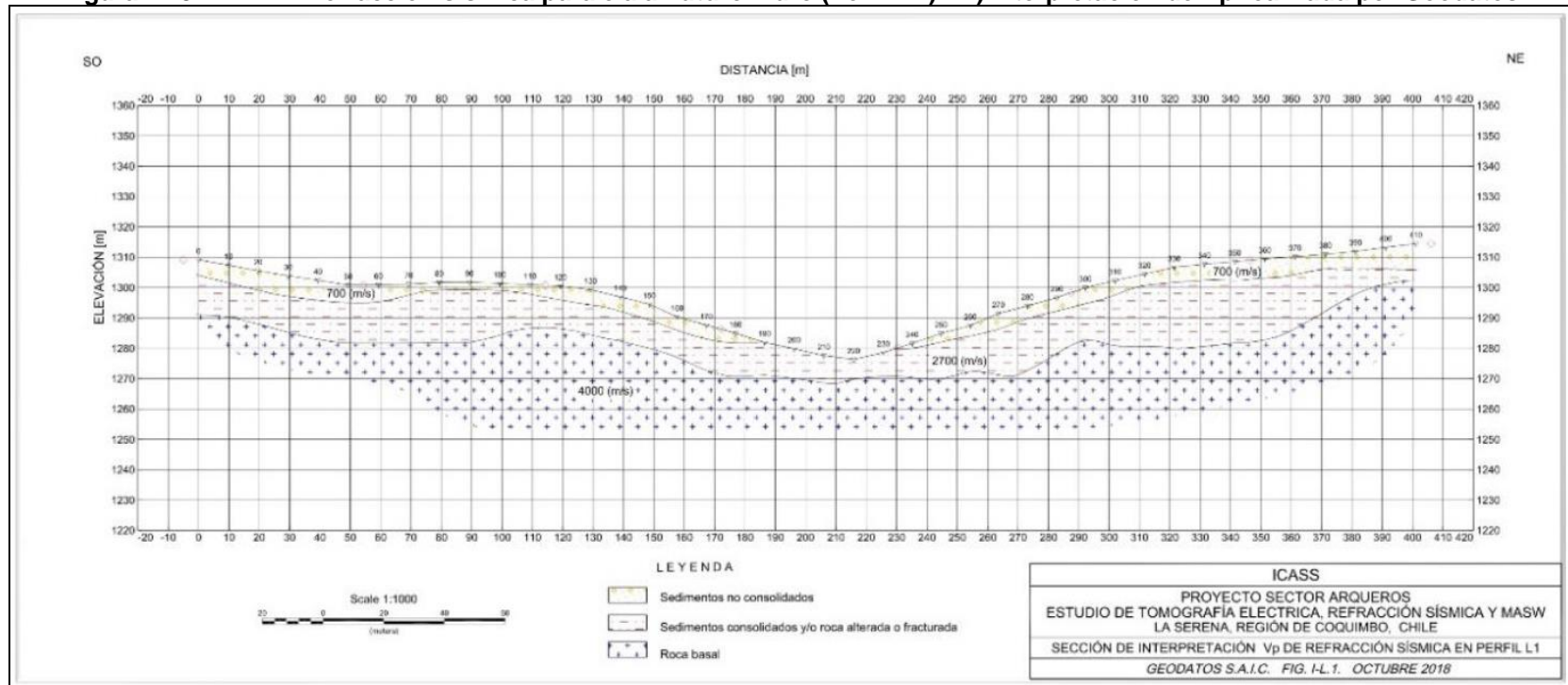
Velocidades altas: Corresponde a la unidad más profunda y presenta velocidades muy altas que superan los 4000 m/s. Esta unidad se interpreta como roca competente que actúa de basamento hidrogeológico impermeable.

Figura Nº 3.1.11.11 Refracción sísmica paralela al futuro muro (Perfil L1). A.) Modelo, realizada por Geodatos



Fuente: Geodatos, 2018

Figura N° 3.1.11.12 . Refracción sísmica paralela al futuro muro (Perfil L1). B.) Interpretación de Vp realizada por Geodatos



Fuente: Geodatos, 2016

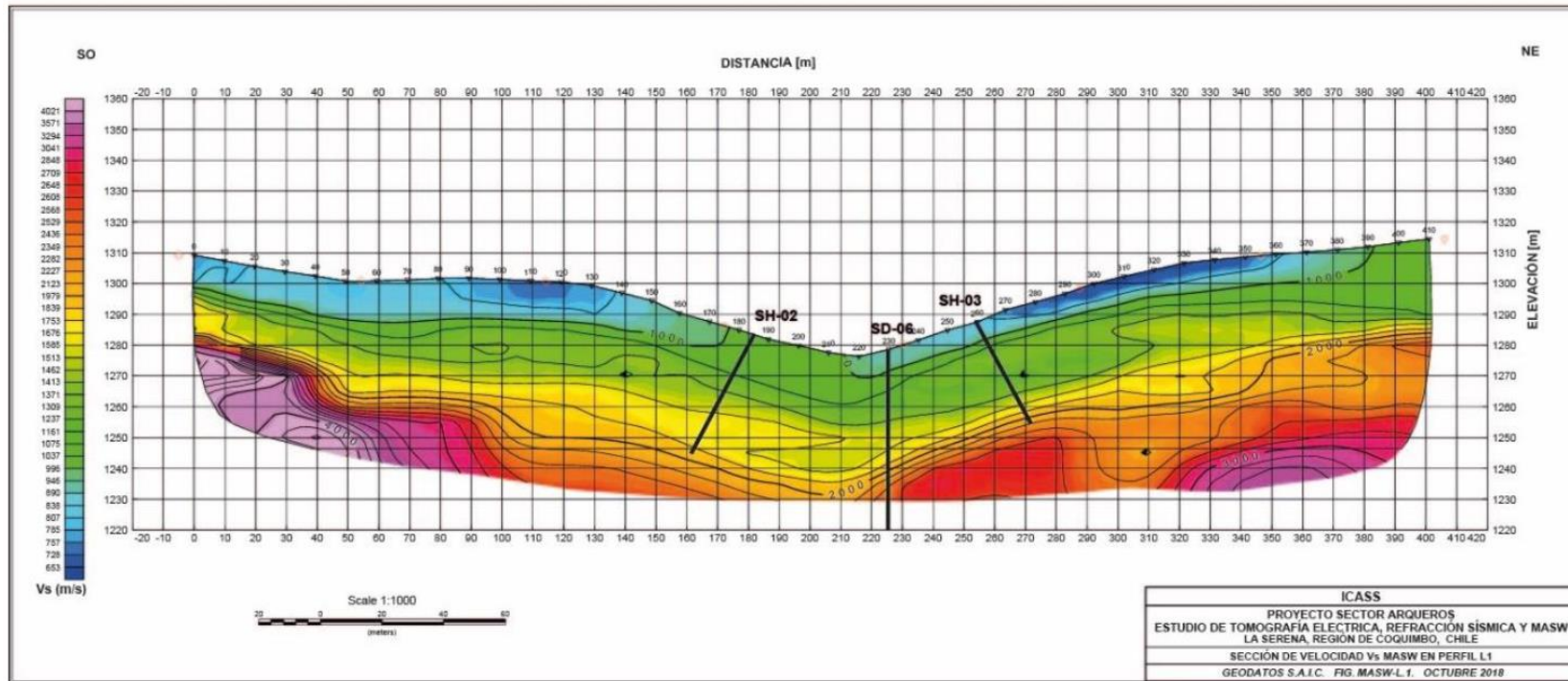
La Figura N° 3.1.11.13 muestra la sección de resistividad resultante del método MASW que permite diferenciar los materiales por la velocidad de las ondas de corte (ondas S). De acuerdo a lo señalado por Geodatos (2018), es posible distinguir tres unidades de forma congruente con la interpretación de las velocidades de propagación ( $V_p$ ):

Velocidades bajas: corresponde a la unidad superficial cuya velocidad  $V_s$  no supera los 1000 m/s. Se observa como una capa discontinua y ausente en el eje de la quebrada, con un espesor variable de un máximo de 10 m. Esta unidad corresponde a sedimentos no consolidados.

Velocidades medias-altas: corresponde a la unidad que sobreyace la unidad anterior y presenta una velocidad  $V_s$  entre los 1000 y 2500 m/s. Esta unidad corresponde a roca fracturada y muestra espesores variables, superando los 50 m.

Velocidades altas: comprende la unidad basal y presenta una velocidad  $V_s$  que supera los 2500 m/s. Esta unidad corresponde a roca intacta y se localiza en las zonas laterales del perfil en profundidad. Notar que en el sector SO del perfil se identificó una discontinuidad que se puede correlacionar con la falla inferida en la tomografía eléctrica, donde se observa una anomalía de baja resistividad con orientación vertical.

Figura N° 3.1.11.13 Geofísica superficial (MASW) realizada en la dirección longitudinal del futuro muro (Perfil L1).



Fuente: Modelo Hidrogeológico Conceptual. Sector Depósito de Relaves. Proyecto Minero Arqueros. ICASS, 2019.

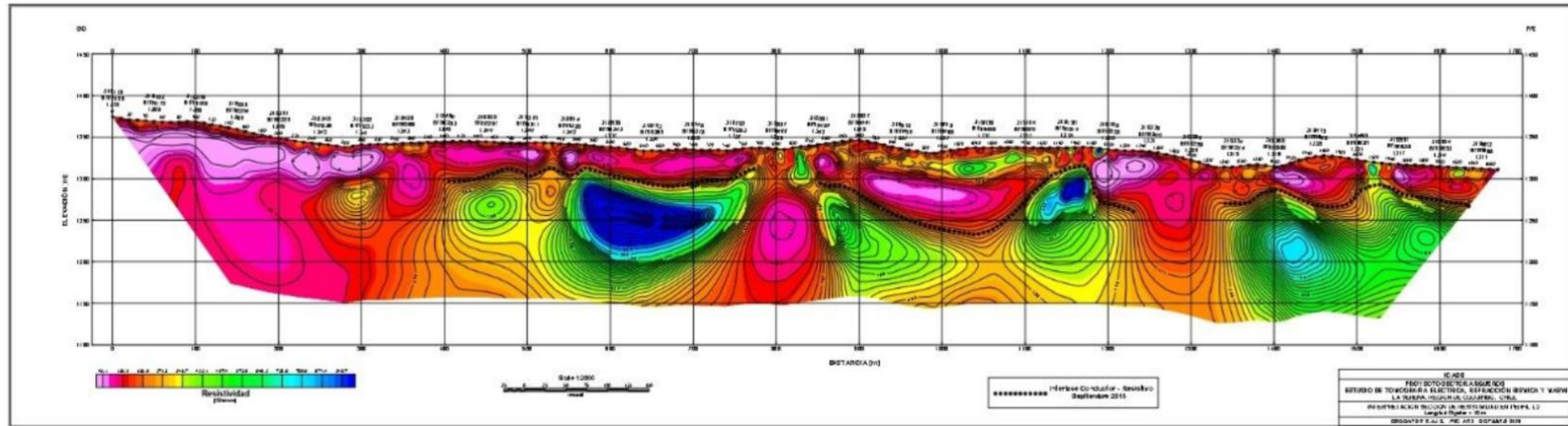
b) Límite sur del depósito de relaves

La Figura N° 3.1.11.14 muestra la sección de resistividad resultante de la tomografía eléctrica realizada a lo largo del margen sur del depósito de relaves. En ésta se distinguen, al igual que en el sector del muro, dos unidades:

Unidad de mediana resistividad (mediana conductividad): presenta un valor promedio de 150  $\Omega$ m. Los valores mínimos de resistividad se observan como zonas alargadas subparalelas a la superficie del terreno. La potencia de la unidad es variable, con espesores entre los 30 y 100 m. Por otro lado, en distintos sectores se aprecian anomalías subverticales de alta resistividad que podrían tratarse de estructuras.

Unidad de alta resistividad (baja conductividad): esta unidad presenta una potencia variable y subyace a la unidad anterior. El valor promedio de resistividad es de 300  $\Omega$ m y supera, en algunas secciones, los 1000  $\Omega$ m, lo cual se condice con rocas volcanosedimentarias competentes.

Figura N° 3.1.11.14. Sección de resistividad realizada en el límite sur del futuro depósito de relaves (Perfil L2).



Fuente: Geodatos, 2018

### C. Unidades Hidrogeológicas

De acuerdo a las características litoestratigráficas, geotécnicas y de parámetros hidráulicos recopiladas a partir de las investigaciones de terreno, es posible definir las siguientes unidades hidrogeológicas (ICASS, 2019):

**Unidad UH-1: Sedimentos no consolidados.** La mayoría de estos sedimentos presentan un tamaño arena y están relleno el fondo de las quebradas principales. El desarrollo de esta unidad es escaso (e incluso inexistente en algunas secciones donde aflora la roca), con una extensión transversal de hasta decenas de metros y un espesor máximo estimado de menos de 10 m. De acuerdo a los ensayos de infiltración realizados (IDIEM, 2016b), estos sedimentos son medianamente permeables a permeables, cuya velocidad de infiltración varía de media a alta. En general, en las calicatas no se detectó la presencia de agua en esta unidad, a excepción del nivel freático a los 0,6 mbnt (metros bajo en nivel del terreno) en el sector aguas abajo del muro. Por ende, la importancia de esta unidad como unidad hidrogeológica productiva es baja.

**Unidad UH-2: Rocas fracturadas.** Esta unidad corresponde a rocas volcanosedimentarias de la Formación Viñita y Quebrada Marquesa y rocas intrusivas de la unidad Andesita Intrusiva, a las cuales se le atribuye una permeabilidad secundaria, es decir, que almacena y transmite agua por fracturas. Esta unidad se ubica aflorando en superficie, o bien subyaciendo la unidad UH-1 en el fondo de las quebradas. Se estima que en el sector del Depósito de Relaves proyectado las fracturas presentan aperturas que permiten el flujo de agua hasta profundidades que varían de 5-20 metros, y, en el caso del sector muro, se estima que llega, puntualmente, hasta unos 30-60 m de profundidad, en función de las estructuras presentes. Debido a la presencia de pocas fracturas, la permeabilidad presentada por esta unidad es baja, oscilando entre los  $10^{-5}$  y los  $10^{-3}$  cm/s. Sin menoscabo de ello, en esta unidad, se observa el afloramiento de vertientes (vertientes VE-A a la VE-E).

**Unidad UH-3: Basamento impermeable.** Corresponde a las mismas rocas volcanosedimentarias de la Formación Viñita y Quebrada Marquesa y rocas intrusivas de la unidad Andesita Intrusiva que presentan un grado de fracturamiento aún menor, o bien, las fracturas se presentan cerradas. Esta unidad se ubica subyaciendo la unidad UH-2. La permeabilidad es muy baja ( $<10^{-6}$  cm/s), por lo que se considera el basamento hidrogeológico.

El sistema hidrogeológico presente en el sector del futuro Depósito de Relaves correspondería a un acuífero de tipo libre emplazado en las rocas que presentan fracturas con aperturas y/o con mayor grado de fracturamiento en los ejes de las principales quebradas, y, en parte, en los sedimentos no consolidados recientes, las cuales han sido identificadas como las unidades hidrogeológicas UH-2 y UH-1, respectivamente.

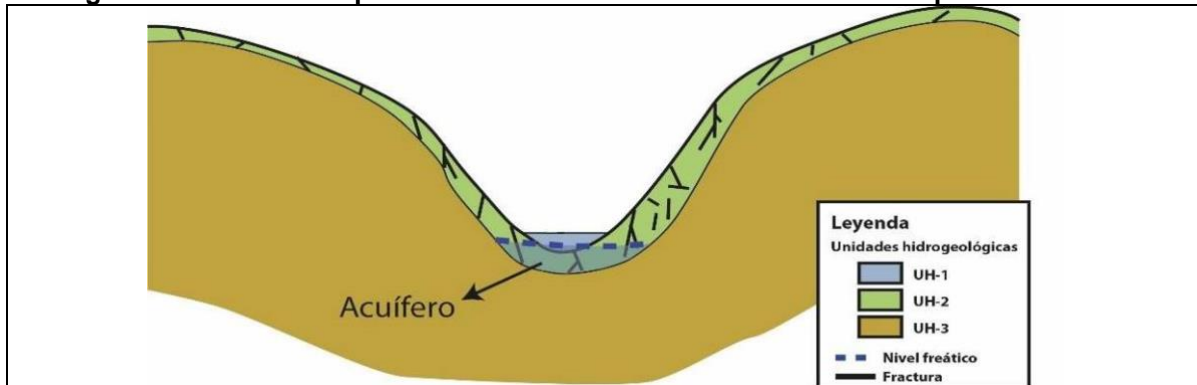
Para establecer las dimensiones o la geometría del acuífero, se consideraron los cambios de conductividad hidráulica registrados en los ensayos realizados en los pozos.

Los ensayos hidráulicos muestran que, en el sector de las quebradas de la zona de disposición de relaves espesados, la conductividad hidráulica tiende a ser muy baja y a formar el basamento hidrogeológico por debajo de los 5 a 15 metros de profundidad. De



este modo, si bien se observa que la UH-2, correspondiente a rocas fracturadas, puede presentar un espesor variable con un valor medio de, aproximadamente, 10 a 15 m a lo largo del eje de la quebrada principal (ver Figura Perfil hidrogeológico sector Depósito de Relaves. Perfil Longitudinal en Quebrada Principal). Por lo tanto, debido a las altas pendientes de las laderas de las quebradas y la escasa recarga del sector, la zona saturada se restringe al fondo de las quebradas, generando un acuífero de baja permeabilidad, muy poca productividad y de dimensiones muy pequeñas (ver siguiente Figura).

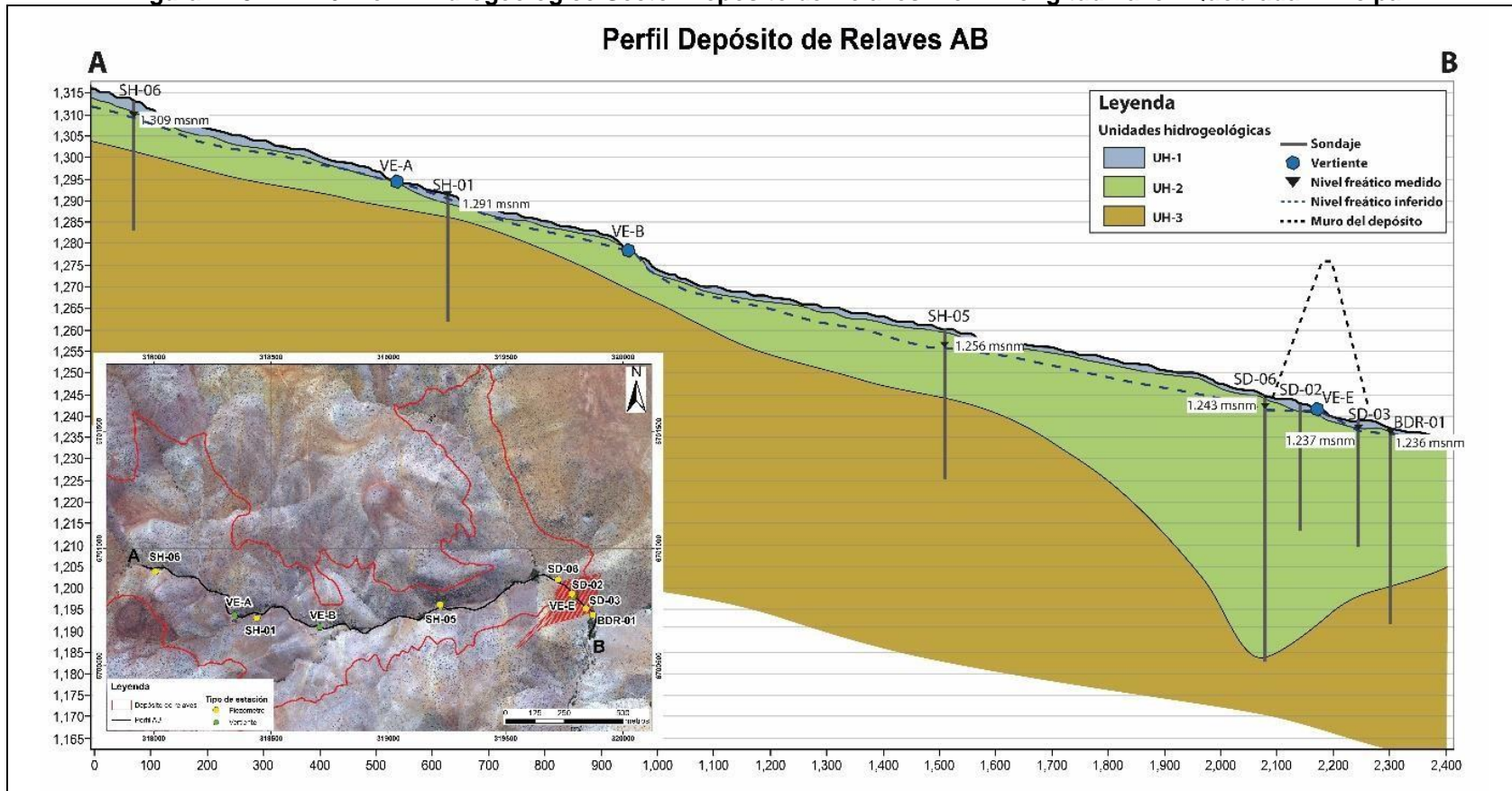
**Figura N° 3.1.11.15. Esquema de la Unidad Acuífera en el Área del Depósito de Relaves**



Fuente: Modelo Hidrogeológico Conceptual. Sector Depósito de Relaves. Proyecto Minero Arqueros. ICASS, 2019.

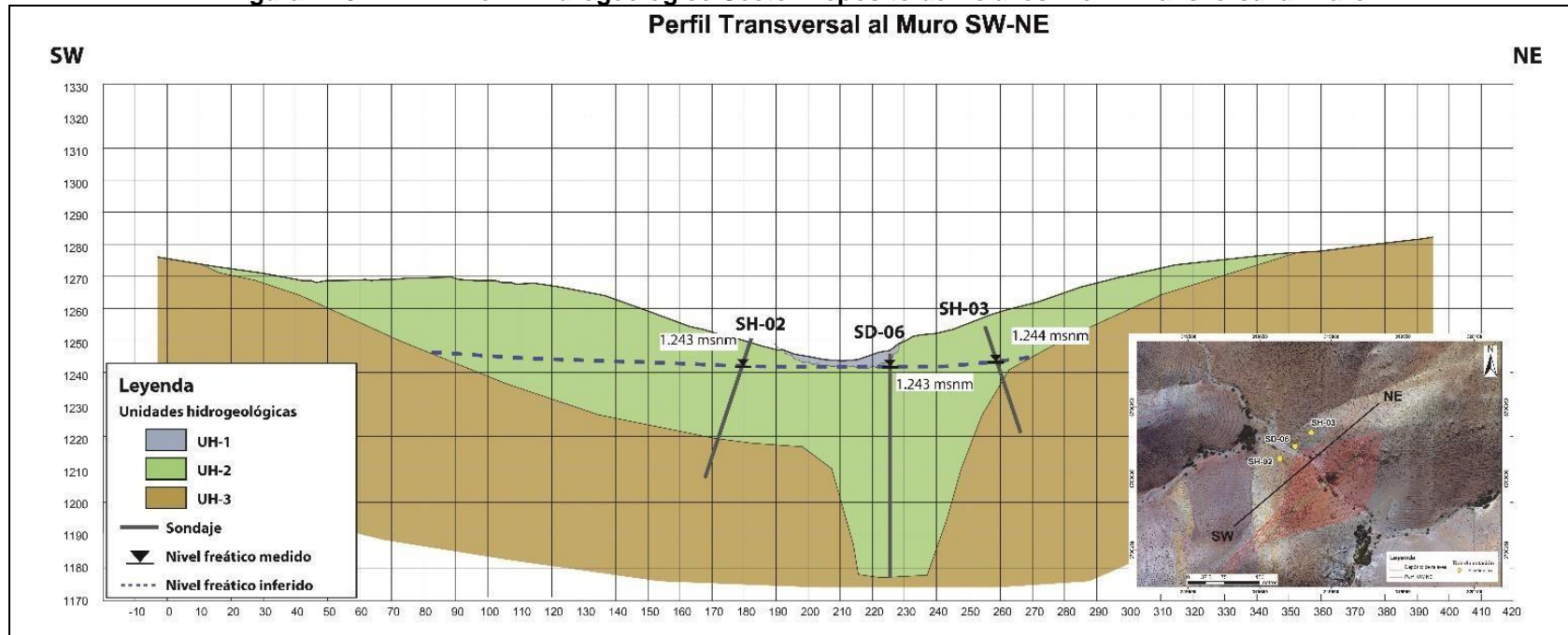
En relación a la sección transversal en el sector del muro (ver Figura Perfil hidrogeológico sector Depósito de Relaves. Perfil Transversal al Muro), para la definición del límite entre la UH-2 y la UH-3 la información de los parámetros hidráulicos obtenidos en ensayos y la geofísica es coincidente: en los flancos de la quebrada el basamento hidrogeológico (UH-3) se identifica a unos 15 m de profundidad en la ladera NE y a unos 30 m en la ladera SW, mientras que en el centro (entorno al pozo SD-06) se identifica una singularidad en donde la UH-2 alcanzaría hasta 60 m de profundidad, lo cual también fue reflejado en el sector del muro de la siguiente Figura.

Figura N° 3.1.11.16. Perfil Hidrogeológico Sector Depósito de Relaves. Perfil Longitudinal en Quebrada Principal



Fuente: Modelo Hidrogeológico Conceptual. Sector Depósito de Relaves. Proyecto Minero Arqueros. ICASS, 2019.

**Figura N° 3.1.11.17. Perfil Hidrogeológico Sector Depósito de Relaves. Perfil Transversal al Muro**  
**Perfil Transversal al Muro SW-NE**



Fuente: Modelo Hidrogeológico Conceptual. Sector Depósito de Relaves. Proyecto Minero Arqueros. ICASS, 2019.

## D. Parámetros Hidráulicos

Para caracterizar los parámetros hidráulicos del sector en estudio, se cuenta con las investigaciones realizadas en el 2016 (IDIEM, 2016c). En dicha oportunidad, se obtuvieron valores de conductividad hidráulica mediante ensayos puntuales de tipo Lugeon y Lugeon en los cuatro sondajes perforados y en ensayos de extracción o bombeo de pequeña magnitud en los tres piezómetros habilitados. Un resumen de los resultados se entrega en el siguiente Cuadro.

**Cuadro N° 3.1.11.3. Conductividades Hidráulicas Obtenidas**

SONDAJE	TIPO DE ENSAYO	NOMBRE ENSAYO	TRAMO ENSAYADO	CONDUCTIVIDAD HIDRÁULICA [CM/S]
SH-01	Lugeon	SH01_1	5 a 10 m	2,1E-06
	Lugeon	SH01_2	15 a 20 m	3,1E-07
	Lugeon	SH01_3	25 a 30 m	7,0E-06
	Bombeo	N/A	0 a 30 m	5,0E-07
SD-02	Lugeon	SD02_1	5 a 9 m	3,3E-03
	Lugeon	SD02_2	11,8 a 15 m	4,3E-03
	Lugeon	SD02_3	21 a 25 m	1,3E-03
	Bombeo	N/A	0,7 a 13,2 m	2,10E-04
SD-03	Bombeo	N/A	21,1 a 30 m	2,10E-05
SD-04	Lefranc	N/A	1 a 3 m	3,3E-04
	Lugeon	SD04_1	5 a 9 m	9,7E-04

Fuente: Modelo Hidrogeológico Conceptual. Sector Depósito de Relaves. Proyecto Minero Arqueros. ICASS, 2019.

Se observa que los valores de conductividad hidráulica estimados por los diferentes ensayos ejecutados indican niveles de permeabilidad media a baja para los sondajes ubicados en el sector del muro; mientras que en el sondaje SH-01, al oeste de la cubeta, son de dos a tres órdenes de magnitud menores, es decir, de permeabilidad muy baja.

Durante la campaña de perforación realizada por ICASS entre octubre de 2018 y febrero de 2019 (ICASS, 2019a), se efectuaron diversos ensayos hidráulicos con la finalidad de obtener los parámetros elásticos de la zona de estudio: ensayos puntuales de permeabilidad (Lugeon, Lefranc, Airlift) y pruebas de bombeo. La empresa perforista encargada de la construcción de los pozos y piezómetros, DV Drilling, llevó a cabo los ensayos hidráulicos.

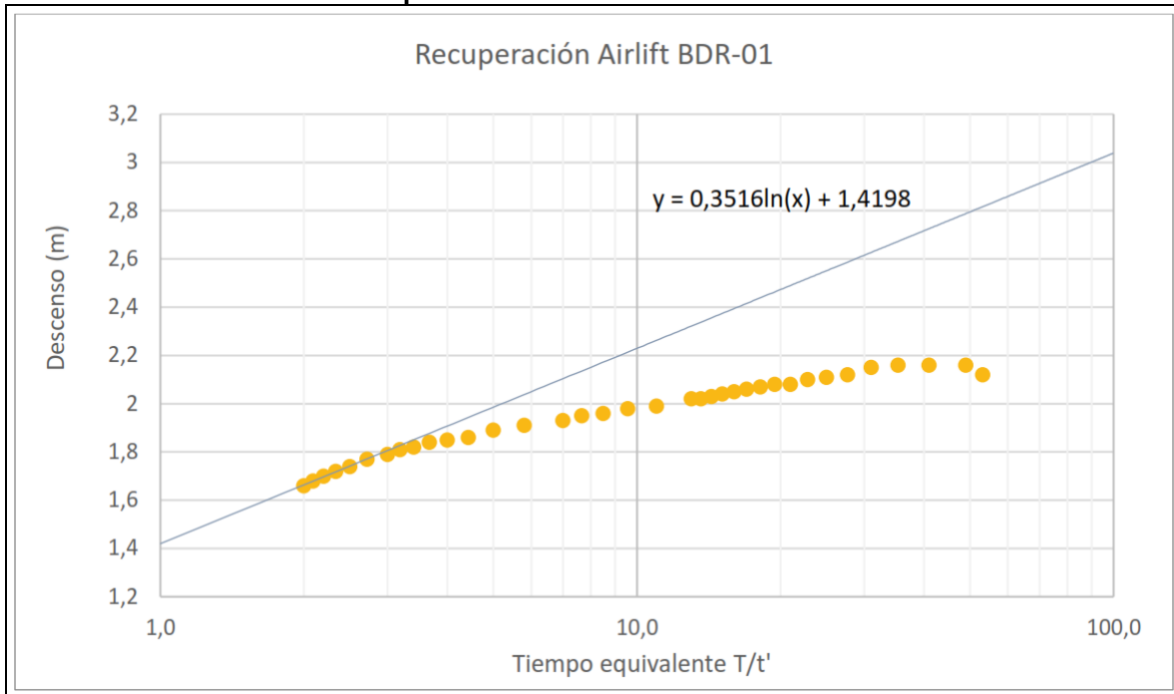
### a) Ensayo Airlift Final

Tras la finalización de la perforación del pozo BDR-01, se realizó un ensayo airlift final en un transcurso de 2 horas. Durante dicho ensayo, se obtuvieron parámetros fisicoquímicos y se aforó el caudal extraído, llegando a caudales de, aproximadamente, 3 l/s. Luego, se efectuó la medición de la recuperación del nivel durante dos horas más. El registro de la recuperación de los niveles permite, por medio del método de recuperación de Theis (Howell, 2013), la estimación de la transmisividad a través de la siguiente relación:

$$T = \frac{0.183 \cdot Q}{\Delta s}$$

Donde T es la transmisividad [m<sup>2</sup>/d], Q el caudal de descarga [m<sup>3</sup>/d], s el descenso residual [m] y Δs el cambio en el descenso residual en un ciclo logarítmico de T/t'. De este modo, al ajustar la curva, la transmisividad obtenida es de 25 m<sup>2</sup>/d.

**Figura N° 3.1.11.18. Gráfico de Descenso vs Tiempo Equivalente y el Análisis de Recuperación de Theis del Pozo BDR-01**

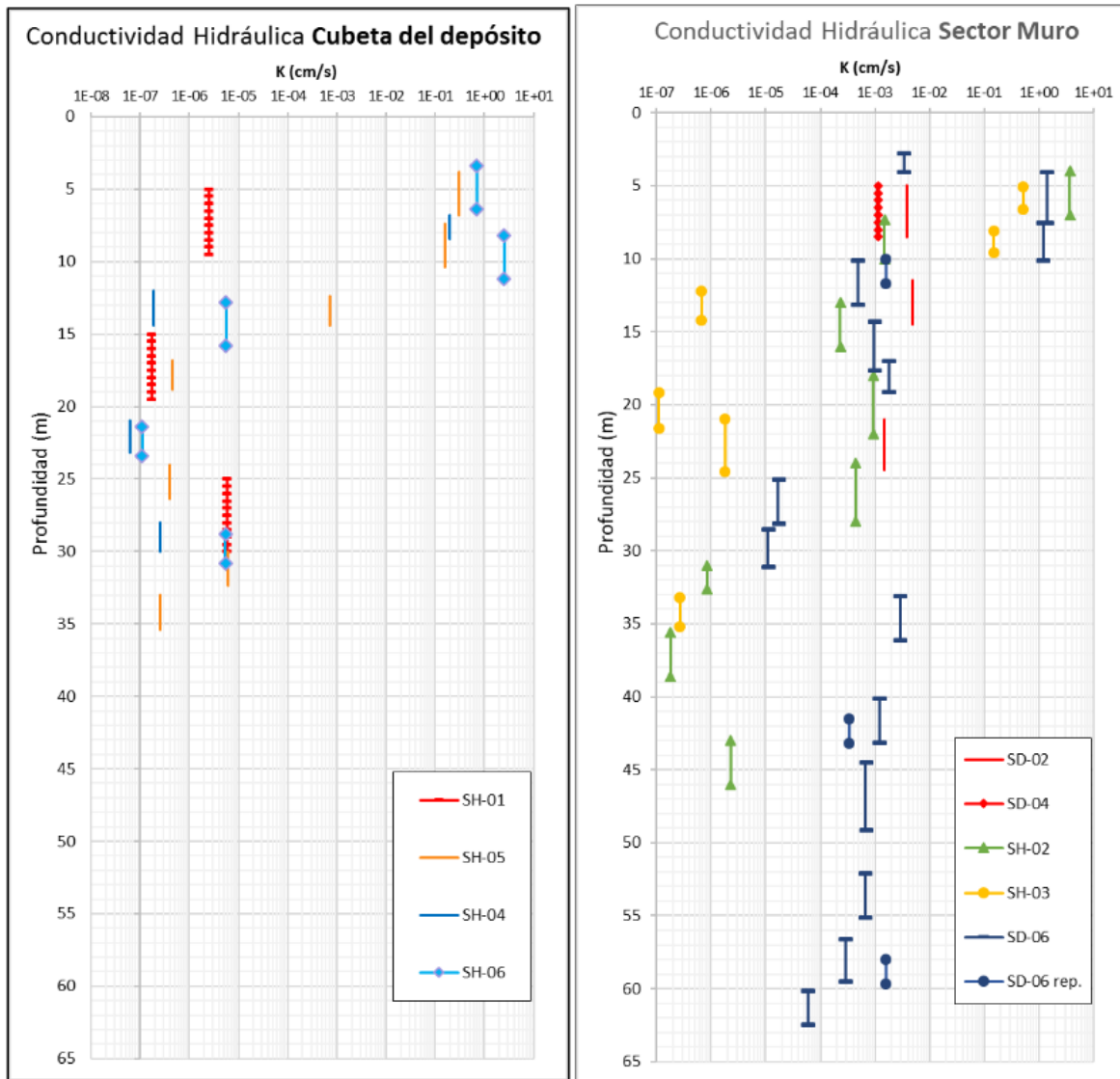


Fuente: Modelo Hidrogeológico Conceptual. Sector Depósito de Relaves. Proyecto Minero Arqueros. ICASS, 2019.

**b) Ensayos Lefranc y Lugeon**

A partir de los ensayos de Lefranc y Lugeon se obtuvieron valores de conductividad hidráulica (K en cm/s) para distintos tramos de sondajes. El resumen de los valores de permeabilidad en profundidad obtenidos a partir de la interpretación de estos ensayos se muestra en la siguiente Figura. La información detallada de la permeabilidad por tramos en cada uno de los sondajes se registró en el informe de terreno de ICASS (ICASS, 2019a).

**Figura N° 3.1.11.19. Conductividad Hidráulica en Profundidad de Ensayos Lugeon Realizados en Sector del Depósito de Relaves**

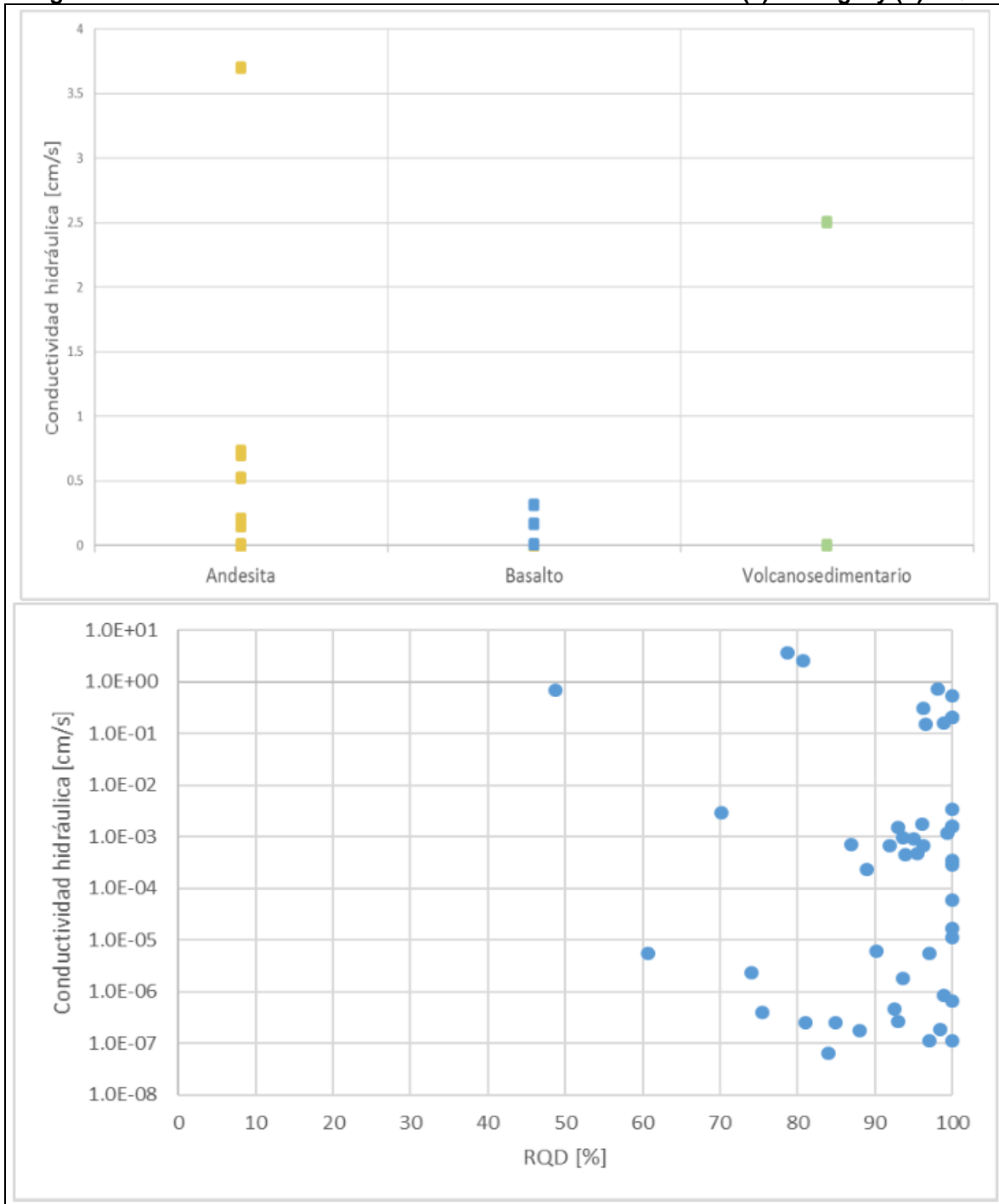


Notar que en color rojo se incluyen los sondajes construidos el 2016 (IDIEM, 2016a)  
 Fuente: Modelo Hidrogeológico Conceptual. Sector Depósito de Relaves. Proyecto Minero Arqueros. ICASS, 2019.

A partir de lo anterior, se observa que, en general, las permeabilidades más altas fueron obtenidas en los ensayos Lefranc a menos de 10 m de profundidad, alcanzando un máximo de 3,7 cm/s (sondaje SH-02). En profundidades superiores a los 10 m, en el sector del muro, se muestra una tendencia a disminuir la permeabilidad en profundidad, exceptuando el sondaje SD-06, cuyos valores se mantienen en un rango acotado entre  $10^{-3}$  y  $10^{-5}$  cm/s. Por otro lado, los sondajes ubicados en el resto de la cubeta muestran una tendencia generalizada de muy baja permeabilidad en profundidad (menor a  $10^{-5}$ ).

En cuanto a la relación entre la litología y la conductividad hidráulica (ver siguiente Figura), se observa que, en general, los valores tienden a ser bajos y que, en promedio, la permeabilidad de las rocas basálticas es inferior a la de las rocas andesíticas y que éstas, a su vez, son menos permeables que las unidades volcanosedimentarias. Por otro lado, con respecto al RQD y su relación con la conductividad hidráulica (ver siguiente Figura), no fue posible distinguir una correlación entre ambas dado que, en su mayoría, los valores de RQD de los sondajes perforados fueron muy elevados y las permeabilidades obtenidas están en un rango amplio independiente del RQD.

Figura Nº 3.1.11.20. Relación Entre Conductividad Hidráulica con: (a) Litología y (b) RQD



Fuente: Modelo Hidrogeológico Conceptual. Sector Depósito de Relaves. Proyecto Minero Arqueros. ICASS, 2019.



c) Prueba de bombeo

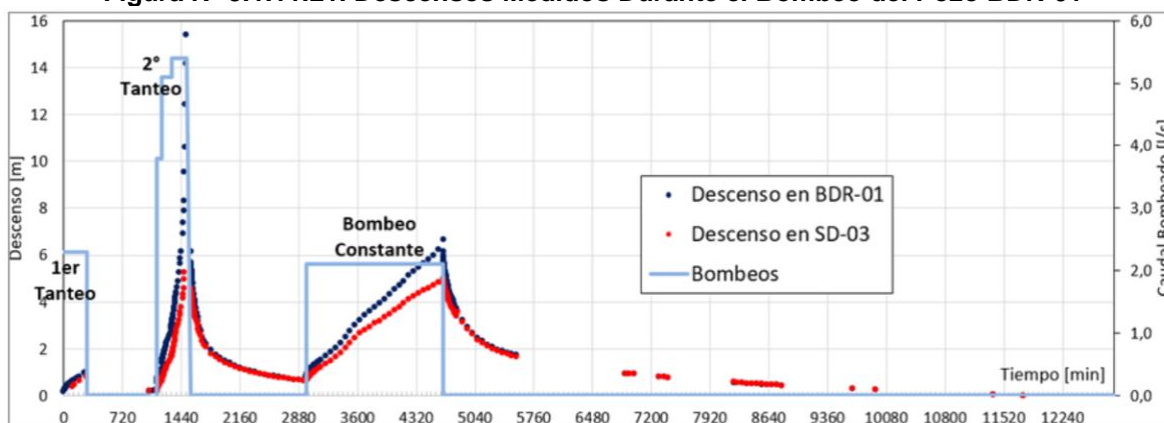
La prueba de bombeo en el pozo BDR-01 se desarrolló entre los días 29 de enero y 7 de febrero de 2019. Inicialmente, se realizaron un par de pruebas de tanteo, seguidas de una prueba a caudal constante. Los detalles del bombeo se resumen en el siguiente Cuadro y en la siguiente Figura se puede observar todo el registro de los descensos medidos durante el bombeo, incluyendo el tanteo y bombeo a caudal constante, con sus respectivas recuperaciones.

**Cuadro Nº 3.1.11.4. Resumen de Bombeos Realizados en Pozo BDR-01**

TIPO DE ENSAYO	CAUDAL BOMBEADO [L/S]	DURACIÓN [HRS]	DESCENSO MÁXIMO [MBPM]	RECUPERACIÓN
Tanteo I	~2,3	5	1.03	---
Tanteo II	~3,8	1	1.16	97% a las 23,5 hrs.
	~5,1	2	2.88	
	~5,4	3	15.38	
Bombeo a caudal constante	~2,1	28	6.03	100% a los 3,5 días

Fuente: Modelo Hidrogeológico Conceptual. Sector Depósito de Relaves. Proyecto Minero Arqueros. ICASS, 2019.

**Figura Nº 3.1.11.21. Descensos Medidos Durante el Bombeo del Pozo BDR-01**



Fuente: Modelo Hidrogeológico Conceptual. Sector Depósito de Relaves. Proyecto Minero Arqueros. ICASS, 2019.

El análisis de la prueba permitió obtener los parámetros hidráulicos que se resumen en el siguiente Cuadro. Se consideran como representativos aquellos obtenidos del piezómetro de observación SD-03, puesto que el pozo de bombeo puede estar influenciado por pérdidas de carga; de modo que, en promedio, la transmisividad es de 20 m<sup>2</sup>/d, la conductividad hidráulica de 1,2E-03 cm/s y el coeficiente de almacenamiento 3,5E-03. Estos valores son coherentes con un sistema en roca con poco fracturamiento, y además coinciden con los valores de permeabilidad obtenidos por los ensayos Lugeon.

**Cuadro Nº 3.1.11.5. Resumen de Bombeos Realizados en pozo BDR-01**

PUNTO DE OBSERVACIÓN	DISTANCIA A POZO DE BOMBEO [M]	TIPO DE ENSAYO	( $\Delta s$ ) 10	TRANSMISIVIDAD [M <sup>2</sup> /D]	CONDUCTIVIDAD HIDRÁULICA [CM/S]	COEFICIENTE DE ALMACENAMIENTO [-]
BDR-01	0.127	Bombeo	1,28	25,9	1,5E-03	N/A
		Recuperación	3,15	10,5	6,1E-04	N/A
SD-03	41.80	Bombeo	1,39	23,9	1.4E-03	4,1E-03
		Recuperación	2,05	16,2	9.4E-04	2,8E-03

Fuente: Modelo Hidrogeológico Conceptual. Sector Depósito de Relaves. Proyecto Minero Arqueros. ICASS, 2019.

#### d) Niveles y piezometría

En la campaña de terreno de febrero de 2019, se midieron los niveles estáticos de los sondajes habilitados el 2016, los piezómetros construidos el 2018-2019 y las vertientes catastradas hasta dicha fecha. A partir de dichas mediciones, se observa que los niveles estáticos registrados están cercanos al nivel del suelo con profundidades inferiores a los 15 m. En particular, el nivel piezométrico en el fondo de la quebrada está muy somero, encontrándose a unos pocos metros en los piezómetros construidos cercanos al eje (BDR-1, SD-03, SD-06, SH-05 y SH-01) o directamente aflorando en superficie (VE-A, VE-B, VE-C, VE-D y VE-E). Los niveles se profundizan, ligeramente, en el fondo de las quebradas hacia aguas arriba en la cuenca (SH-04 y SH-06) y, en mayor magnitud, en las laderas de las quebradas (SH-02 y SH-03).

La elevación del nivel piezométrico respecto del nivel del mar se calculó a partir de la profundidad del nivel estático medida en terreno y la cota del terreno (m.s.n.m.) obtenida del levantamiento topográfico del área (ver siguiente Cuadro). En base a esta información, se elaboró un mapa de superficie piezométrica con las elevaciones del nivel piezométrico medias en febrero del 2019 para el área del Depósito de Relaves (ver siguiente Figura). De éste se infiere que la superficie piezométrica es subparalela a la superficie topográfica y, por tanto, la dirección del flujo sigue las pendientes de la cuenca con un sentido general hacia el SE y toda el agua subterránea del depósito tiene su salida a través de la quebrada bajo la ubicación del muro del Depósito de Relaves proyectado

**Cuadro Nº 3.1.11.6. Niveles Estáticos y Piezométricos de la Campaña de Terreno de Febrero de 2019**

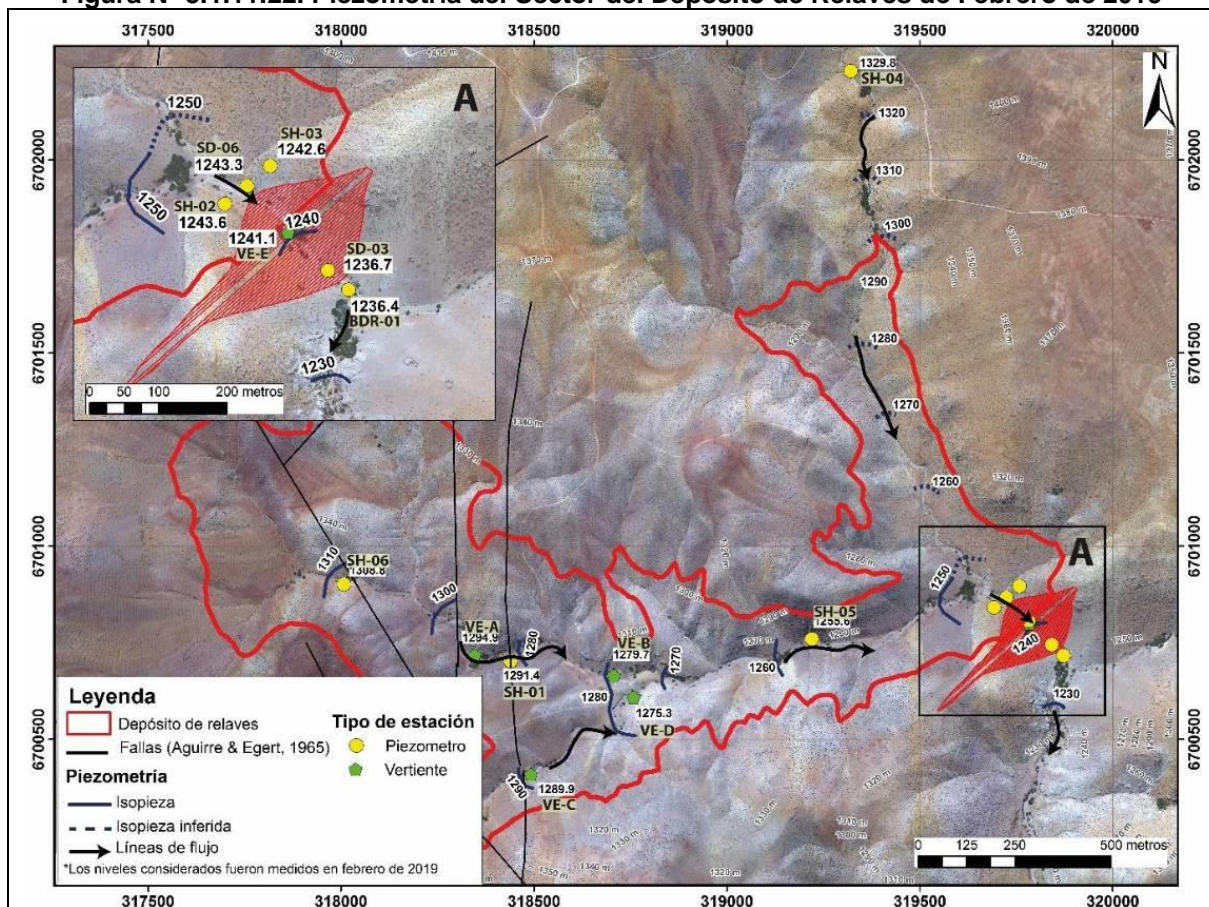
ESTACIÓN	TIPO	COORDENADA UTM WGS 84		COTA (m.s.n.m.)	PROFUNDIDAD NIVEL PIEZOMÉTRICO EN LA VERTICAL (MBNT)*	ELEVACIÓN NIVEL PIEZOMÉTRICO EN LA VERTICAL (m.s.n.m.)*
		NORTE (m)	ESTE (m)			
BDR-01*	Pozo	6.700.717	319.872	1238,8	2,4	1236,4
SH-01	Piezómetro	6.700.703	318.439	1295,3	3,9	1291,4
SH-02*	Piezómetro	6.700.842	319.692	1250,3	6,7	1243,6
SH-03*	Piezómetro	6.700.898	319.759	1253,7	11,1	1242,6
SH-04*	Piezómetro	6.702.231	319.321	1336,2	6,4	1329,8
SH-05*	Piezómetro	6.700.760	319.220	1260,4	4,8	1255,6

ESTACIÓN	TIPO	COORDENADA UTM WGS 84		COTA (m.s.n.m.)	PROFUNDIDAD NIVEL PIEZOMÉTRICO EN LA VERTICAL (MBNT)*	ELEVACIÓN NIVEL PIEZOMÉTRICO EN LA VERTICAL (m.s.n.m.)*
		NORTE (m)	ESTE (m)			
SH-06*	Piezómetro	6.700.902	318.007	1314,6	5,8	1308,8
SD-03	Piezómetro	6.700.745	319.842	1239,5	2,8	1236,7
SD-06	Piezómetro	6.700.868	319.724	1.247,2	3,8	1243,3
VE-A	Vertiente	6.700.718	318.346	1.294,9	---	1.294,9
VE-B	Vertiente	6.700.665	318.707	1.279,7	---	1.279,7
VE-C	Vertiente	6.700.409	318.492	1.289,9	---	1.289,9
VE-D	Vertiente	6.700.609	318.758	1.275,3	---	1.275,3
VE-E	Vertiente	6.700.800	319.784	1.241,1	---	1.241,1

\*MBNT: Metros bajo en nivel del terreno

Fuente: Modelo Hidrogeológico Conceptual. Sector Depósito de Relaves. Proyecto Minero Arqueros. ICASS, 2019.

**Figura N° 3.1.11.22. Piezometría del Sector del Depósito de Relaves de Febrero de 2019**



Fuente: Modelo Hidrogeológico Conceptual. Sector Depósito de Relaves. Proyecto Minero Arqueros. ICASS, 2019.

En el mapa de superficie piezométrica se ha supuesto que la zona saturada está acotada a unas pocas decenas de metros alrededor del eje de la quebrada, y que la recarga de lluvia al subsuelo, generada en las laderas, fluye lateralmente por la zona no saturada hasta el fondo del valle.

El gradiente hidráulico en el área del depósito varía ligeramente a lo largo del eje de la quebrada principal. En el sector oeste, entre las vertientes VE-A y VE-D, el gradiente es de 4 %; mientras que, en el centro y al este (sector muro) es de 3%.

### **E. Modelo Hidrogeológico Conceptual Sector Depósito de Relaves**

El futuro Depósito de Relaves del Proyecto Minero Arqueros se localiza en el sector denominado Llanos de Arqueros, a unos 40 km al nor-noreste de La Serena, en la IV Región de Coquimbo. Éste corresponde a los sectores de interfluvios o serranías de la subcuenca Elqui Medio y presenta alturas entre los 1.200 y 1.500 m.s.n.m. Los rasgos geomorfológicos más importantes en el área de estudio corresponden a las quebradas y sus laderas, presentando áreas sin vegetación y, en menor medida, praderas y matorrales.

En la cuenca se presentan principalmente rocas volcanosedimentarias cretácicas y rocas ígneas cretácico-terciarias. Las rocas estratificadas presentan una estructura principal de plegamiento que consiste en un anticlinal ancho. La Falla normal La Liga constituye un rasgo estructural de primer orden, con un rumbo N-S, manteo subvertical hacia el E y un desplazamiento de unos 100 m. Asociado a esta falla, localmente se generan una serie de fallas listricas normales en echelon que desplazan en la vertical la secuencia litológica, dividiéndola en distintos bloques estructurales. También ocurren una serie de diques que pueden estar asociados a los principales sistemas de orientación de fallas mayores (NS, NW y NE).

En la zona de estudio se han definido tres unidades hidrogeológicas:

- UH-1, correspondiente a sedimentos no consolidados ricos en arenas depositados en los fondos de las quebradas, de pocos metros de espesor y permeabilidades medias a altas, aunque en escasos lugares se observó un nivel saturado en ellos ;
- UH-2, formada por rocas volcano-sedimentarias e ígneas con algo de fracturas, aflora en toda el área y se presenta hasta 5-20 m de profundidad y excepcionalmente, probablemente asociado a estructuras mayores, hasta más profundidad, se caracteriza por permeabilidades bajas de entre  $10^{-3}$  a  $10^{-5}$  cm/s y hacia el centro de las quebradas se encuentra saturada.
- La UH-3, consistente en las mismas rocas volcano-sedimentarias e ígneas con menor grado de fracturamiento y/o cuyas fracturas se encuentran cerradas, y por lo tanto se considera el basamento hidrogeológico.

En general, las precipitaciones medias anuales en la Cuenca del Río Elqui presentan una gran variabilidad interanual y no permite la formación de cursos permanentes de agua. Los escurrimientos superficiales son sólo esporádicos y ocurren en respuesta a precipitaciones intensas y concentradas. Sumado a un relieve con altas pendientes que

favorece la escorrentía y un clima árido que favorece la evaporación, se ha estimado que solo aprox. un 4% de la precipitación se infiltra y conforma la recarga del agua subterránea. Para la cuenca hidrológica que define la ubicación del muro del Depósito de Relaves proyectado se obtiene una recarga media de aprox. 1,5 l/s.

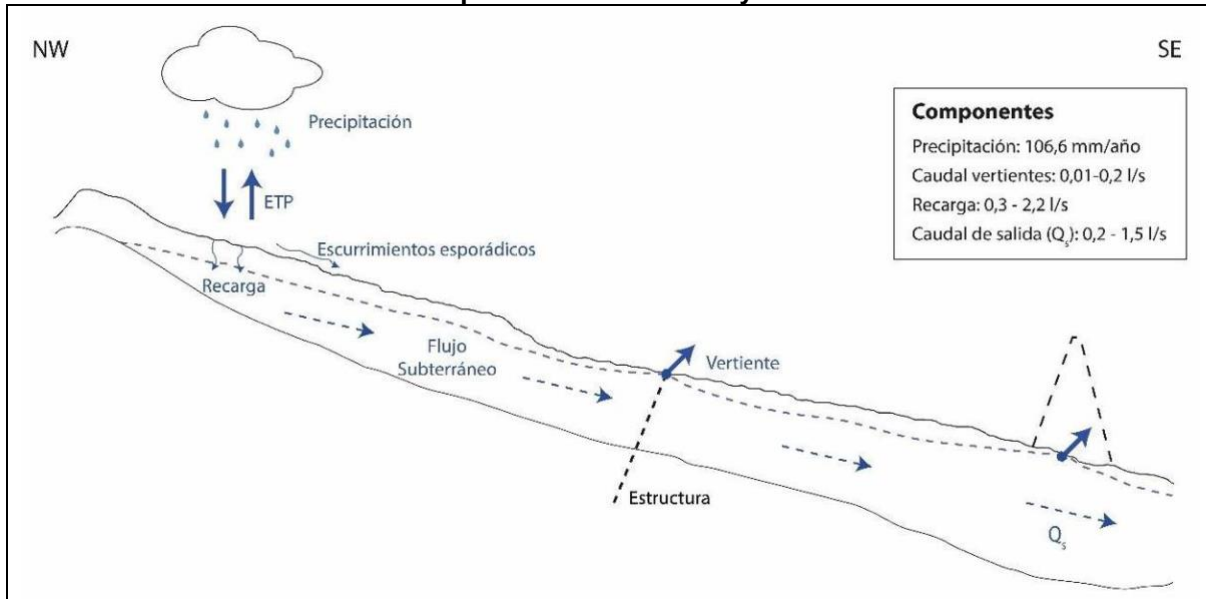
La precipitación cae e infiltra principalmente por las rocas volcano-sedimentarias e ígneas de la UH- 2, fluye verticalmente por las fracturas hasta el límite con el basamento hidrogeológico (UH-3) y sigue un flujo no saturado por las laderas hasta el fondo de las quebradas, en donde se satura. El flujo es a través de las fracturas interconectadas de (UH-2). Estas fracturas en profundidad se cierran formando el basamento hidrogeológico (UH-3). En general las fallas y los diques actuarían de barreras al flujo ortogonal a ellas.

Las aguas subterráneas que se forman en el centro de las quebradas son de escasa envergadura vertical (pocos metros) y lateral (pocas decenas de metros), y longitudinalmente sigue los patrones de las quebradas. La unidad en roca fracturada (UH-2) es de baja permeabilidad y escaso almacenamiento, y ocasionalmente alcanza los sedimentos no consolidados de la UH-1. En general en el fondo de la quebrada el agua se encuentra a pocos metros de profundidad y puntualmente aflora en superficie. Estas vertientes se ubican a lo largo de las quebradas principales y estarían controladas por la presencia de diques y eventualmente fallas. Los caudales aflorados son menores (0,01 a 0,2 l/s) y el agua se evapora y/o vuelve a infiltrar completamente unas pocas decenas de metros aguas abajo. El caudal de éstas es máximo después de los períodos de mayores precipitaciones y luego merma durante los años secos hasta potencialmente extinguirse.

El flujo subterráneo de las diversas quebradas afluentes confluye hacia la quebrada principal, saliendo toda el agua por el fondo de la quebrada en el sector del muro del Depósito de Relaves proyectado. En dicho sector se observa la presencia de una vertiente, y además se ha observado que en el centro de la quebrada la UH-2 se extiende en profundidad hasta aprox. 60 m.b.n.s., probablemente asociado a alguna estructura. Mediante la ecuación de flujo de Darcy se calculó que en este sector de la cuenca sale un flujo subterráneo de aprox. 1,5 l/s hacia aguas abajo. Esto es consistente con los resultados de la prueba de bombeo que se realizó en el sector.

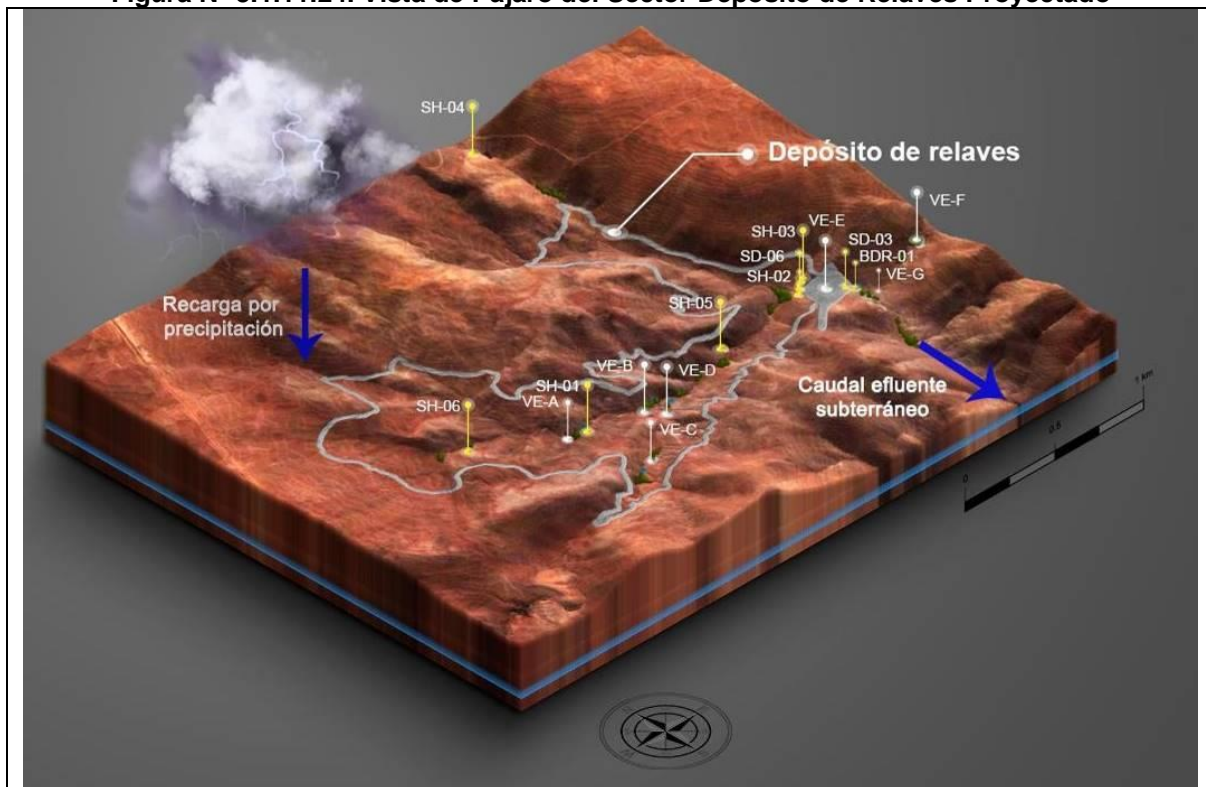
La siguiente Figura presenta un Esquema del funcionamiento conceptual de la cuenca hidrogeológica del Depósito de Relaves proyectado.

**Figura N° 3.1.11.23. Esquema del Funcionamiento Conceptual de la Cuenca Hidrogeológica del Depósito de Relaves Projectado**



Fuente: Modelo Hidrogeológico Conceptual. Sector Depósito de Relaves. Proyecto Minero Arqueros. ICASS, 2019.

**Figura N° 3.1.11.24. Vista de Pájaro del Sector Depósito de Relaves Projectado**



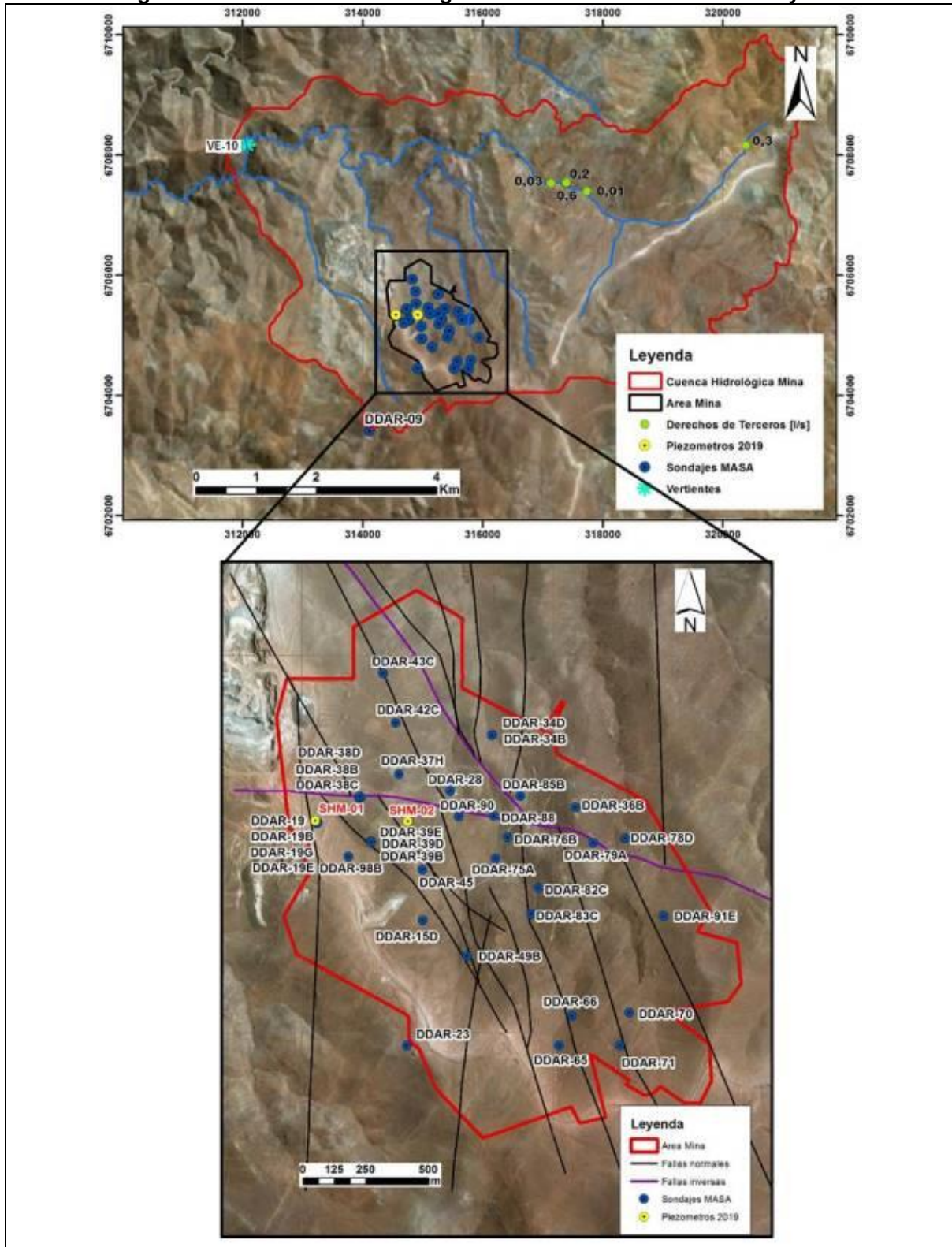
Fuente: Modelo Hidrogeológico Conceptual. Sector Depósito de Relaves. Proyecto Minero Arqueros. ICASS, 2019.

### **3.1.11.4.3 Marco Hidrogeológico Área Mina**

#### **A. Catastro de puntos de agua subterránea**

Durante las investigaciones de terreno (ICASS, 2019a), se realizó el catastro de puntos de agua en el área de estudio, el cual se complementó con los registros de APR y derechos de aprovechamiento de aguas subterráneas del MOP, consistente en el registro de i.) vertientes, ii.) pozos de agua con derechos de aprovechamiento de aguas, iii.) sondajes de exploración, y iv.) piezómetros construidos. Para ello, se realizó un recorrido superficial en el área de la futura mina y se identificaron los sondajes de exploración a los cuales fue posible medir el nivel de agua, además, se visitó las quebradas aguas abajo de ésta. En total se identificaron 45 puntos de agua, cuya ubicación se muestra en la siguiente Figura.

Figura N° 3.1.11.25. Puntos de Agua Subterránea en el Área del Proyecto



Fuente: Modelo Hidrogeológico Conceptual. Sector Mina. Proyecto Minero Arqueros. ICASS, 2019.



**Vertientes:** Se recorrieron las quebradas en las cuales se emplaza la mina, desde aguas arriba hasta aguas abajo del área mina. Se identificó una única vertiente (VE-10) a la salida de la zona de estudio, que consiste en un pequeño afloramiento de aproximadamente unos 0,4 l/s que forma un escurrimiento de no más de 300 m de longitud tras lo cual se evapora y/o infiltra nuevamente.

En el siguiente Cuadro se indican las coordenadas de ubicación de esta vertiente. Cabe señalar que esta vertiente se encuentra aproximadamente 3 km al noroeste del Sector Mina.

**Cuadro N° 3.1.11.7. Catastro de Vertientes en el Área del Proyecto**

ESTACIÓN	COORDENADA UTM WGS 84		COTA (m.s.n.m.)	CAUDAL PROMEDIO (l/s)
	NORTE (m)	ESTE (m)		
VE-10	6.708.165	312.079	981	0,4

Fuente: Modelo Hidrogeológico Conceptual. Sector Mina. Proyecto Minero Arqueros. ICASS, 2019.

**Captaciones con derechos de agua subterráneos:** En el extremo oriental de la zona de estudio se identificaron 5 derechos de aprovechamiento de aguas subterráneas pertenecientes a la “Comunidad Agrícola Olla de Caldera” y consisten en captaciones tipo norias de unos 5 m de profundidad que en su totalidad suman 1,1 l/s, como se indica en el siguiente Cuadro.

**Cuadro N° 3.1.11.8. Inventario de Pozo y Piezómetros Sector Depósito de Relaves**

ESTACIÓN	COORDENADA UTM WGS 84		COTA (m.s.n.m.)	NOMBRE PROPIETARIO	CAUDAL OTORGADO (l/s)
	NORTE (m)	ESTE (m)			
ND-0401-1243	6.707.535	317.140	1278	Comunidad Agrícola Olla de Caldera	0,03
ND-0401-1172	6.707.544	317.394	1286	Comunidad Agrícola Olla de Caldera	0,6
ND-0401-1171	6.707.531	317.399	1286	Comunidad Agrícola Olla de Caldera	0,2
ND-0401-1246	6.707.398	317.737	1290	Comunidad Agrícola Olla de Caldera	0,01
ND-0401-1160	6.708.164	320.389	1388	Comunidad Agrícola Olla de Caldera	0,3

Fuente: Modelo Hidrogeológico Conceptual. Sector Mina. Proyecto Minero Arqueros. ICASS, 2019.

**Piezómetros:** En las investigaciones del Proyecto Minero Arqueros se construyeron 2 piezómetros en el Área Mina en la campaña 2018-2019 (ICASS, 2019a). El siguiente Cuadro resume las principales características de dichos puntos.

**Cuadro N° 3.1.11.9. Piezómetros Construidos en Área Mina**

ESTACIÓ N	COORDENADA UTM WGS 84		COTA (m.s.n.m.)	DIP O INCLINACIÓ NN	AZIMUT	PROF. PERFOR ACION (m)	HABILITACI ÓN CON CRIBA (m)	N.E [MBNT] EN DIRECCION SONDAJE (FFB-2019)
	NORTE (m)	ESTE (m)						
SHM-01	6.705.345	314.554	1.352,70	-75	0	119,3	6,0 A 111,9	23,19
SHM-02	6.705.340	314.923	1.369,20	-70	240°	77,1	15,3 a 74,0	21,30

Fuente: Modelo Hidrogeológico Conceptual. Sector Mina. Proyecto Minero Arqueros. ICASS, 2019.

Sondajes de exploración geológica: Durante la campaña 2018-2019 (ICASS, 2019a) se realizó un catastro e inspección de los sondajes de exploración geológica existentes en el lugar. En aquellos que se encontraron abiertos se intentó medir el nivel del agua y la profundidad actual del sondaje. En la Figura precedente Puntos de Agua en el Área de Estudio. se presentan los puntos en los cuales fue posible identificar la presencia de agua. La profundidad de perforación en estos sondajes varía entre 120 y 470 m. El nivel piezométrico en estos puntos se encuentra a profundidades de entre 17 y 125 mbnt.

### **B. Unidades Hidrogeológicas**

Las unidades hidrogeológicas fueron definidas en base a su descripción litológica, así como los ensayos hidráulicos y RQD de las distintas unidades. En general los ensayos hidráulicos realizados en B4, B3 y B2 mostraron permeabilidades bastante bajas, coherente con una buena competencia de la roca dado los RQD obtenidos. Dado que el agua contenida en el macizo se encuentra en las fracturas, las cuales se encuentran asociadas a las fallas mayores, que en general atraviesan todas las unidades geológicas mencionadas, se consideró como una única unidad hidrogeológica al conjunto de B4, B3 y B2, que constituirá un acuífero fracturado de baja a muy baja permeabilidad ( $1E^{-04}$  a  $1E^{-07}$  cm/s), la cual se definió como UH-1, que tendría un espesor aproximado de 135 a 490m (según columna litológica tipo para sector mina).

Un macizo rocoso generalmente presenta una porosidad interconectada en el rango de menos de 0,1% a 3,0% del volumen total dependiendo de la frecuencia y apertura de las fracturas, por lo que puede almacenar entre 10 a 100 veces menos agua por unidad de volumen que un medio poroso. En general, la porosidad drenable y la permeabilidad son mayores mientras más fracturado esté el macizo rocoso, más interconectadas estén las fracturas y mayor sea la apertura de éstas. Por otro lado, la porosidad y permeabilidad disminuyen cuando las fracturas son rellenas, como generalmente ocurre durante el proceso de mineralización. Esta unidad (UH-1) corresponde a un medio muy poco permeable, donde el flujo de agua subterránea es muy lento y el volumen almacenado es limitado a la escasa presencia de fracturas abiertas.

Bajo la unidad hidrogeológica UH-1 se encontraría el basamento cuasi-impermeable, que corresponden a rocas frescas o poco fracturadas que se definió como UH-2, el cual lo constituye la unidad geológica B1. La UH-2 presenta un RQD bastante alto, en promedio de 83%, lo cual indica una roca bastante competente. No se cuenta con datos de permeabilidad medida en ensayos hidráulicos de esta unidad, pero dado la similitud de B1 con B3, tendría conductividades hidráulicas menores a  $1E^{-07}$  [cm/s]. Dado que esta unidad

se encuentra a mayor profundidad, con un mayor grado de confinamiento que UH-1, las estructuras que podrían encontrarse en UH-2 tenderían a encontrarse mayormente cerradas y/o rellenas, esto último favorecido por los procesos de mineralización asociados. Lo expuesto es coherente con estudios previos en el sector mina Arqueros (E-Mining, 2016) y la mina vecina Tugal (Claria y Rojas, 2007) donde se ha identificado a B1 (ocoitas inferiores) como el basamento hidrogeológico.

Los ensayos hidráulicos realizados en las fallas (FR01 y FN02) no mostraron un comportamiento/permeabilidad diferenciada al resto del macizo rocoso por lo que no es posible diferenciarlas como una unidad hidrogeológica. No obstante, dado que estos ensayos fueron locales, es posible que en otras zonas de fallas se presente un comportamiento hidrogeológico distinto, donde las fallas podrían actuar como conductoras (mayor permeabilidad) o como barreras (baja permeabilidad) según su relleno.

En la siguiente Figura se presenta la asociación de las unidades geológicas con las hidrogeológicas.

Figura N° 3.1.11.26. Unidades Hidrogeológicas Definidas para el Área Mina

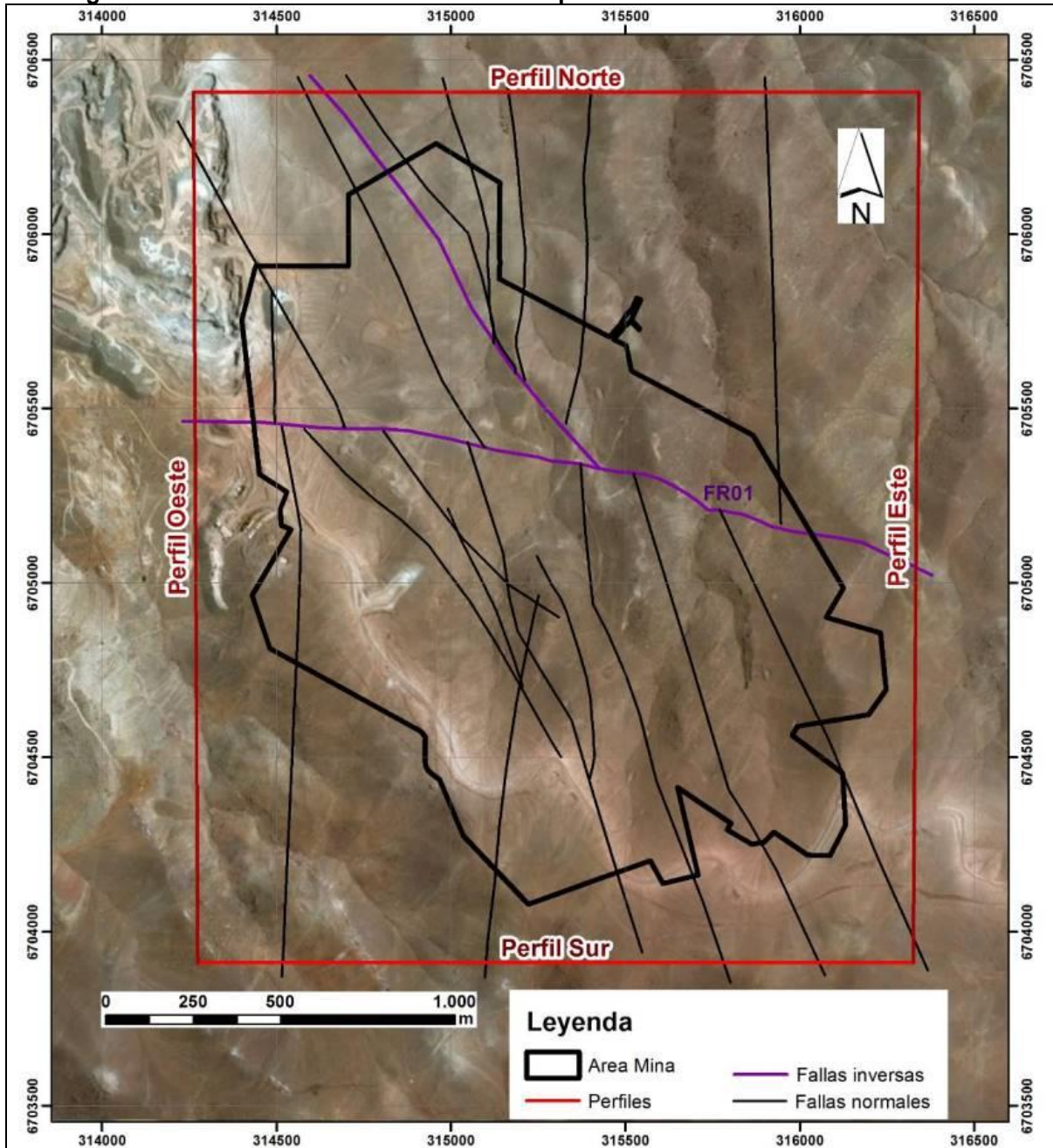
Depth (m)	Litho Unit	Column	Sub-unit	Thickness (m)	Lithology	Description	Unidad Hidrogeológica			
0	B4				volcanic conglomerate - sandstone / tuff		UH-1 Unidad Hidrogeológica de Baja Permeabilidad en Roca Fracturada  Espesor 135-490 m			
					basalt lava					
					volcanic conglomerate - sandstone / tuff					
50			B4 t	35 - >75	basalt lava					
100			B4 u	18 - 100	volcanic conglomerate - sandstone / tuff	various texture and clast, generally low magnetic susceptibility				
150			B4 v	0 - 19	basalt lava	commonly coarse olivine phenocryst				
			B4 w	0 - 26	volcanic conglomerate - sandstone	high magnetic susceptibility				
			B4 x	0 - 43	basaltic andesite lava	abundant plagioclase phenocryst (<3mm)				
200			B4 y1	14 - 50	basalt lava	aphyric (olivine<1mm)				
			B4 y2	0 - 31		olivine phenocryst >1mm				
			B4 y3	12 - 33		olivine<1mm, coarse grained matrix				
			B4 z	6 - 28	volcanic sandstone / mudstone / conglomerate	commonly hematite-rich				
300			B3		B3	23 - 47		oolite lava	plagioclase phenocryst ~10mm, partly strong chlorite-K-feldspar alteration	UH-2 Basamento Hidrogeológico  Espesor 65-100 m
350			B2		B2	27 - 41		calcareous sedimentary rocks	see detailed table	
400			B1		B1 a	>21 - >46		oolite lava	similar to B3, plagioclase phenocryst ~10mm	
	B1 b	42 - 50			basaltic andesite lava	similar to B1a, plagioclase phenocryst <5mm				
450	B0									

Fuente: Modelo Hidrogeológico Conceptual. Sector Mina. Proyecto Minero Arqueros. ICASS, 2019.

La geometría del acuífero se definió en base al modelo geológico del sector. Para esto se generaron 4 perfiles correspondientes a los bordes del modelo para observar cómo

actúan las distintas fallas en las unidades hidrogeológicas. La ubicación de los perfiles se presenta en la siguiente Figura.

**Figura Nº 3.1.11.27. Localización Perfiles Esquemáticos de la Geometría del Acuífero**



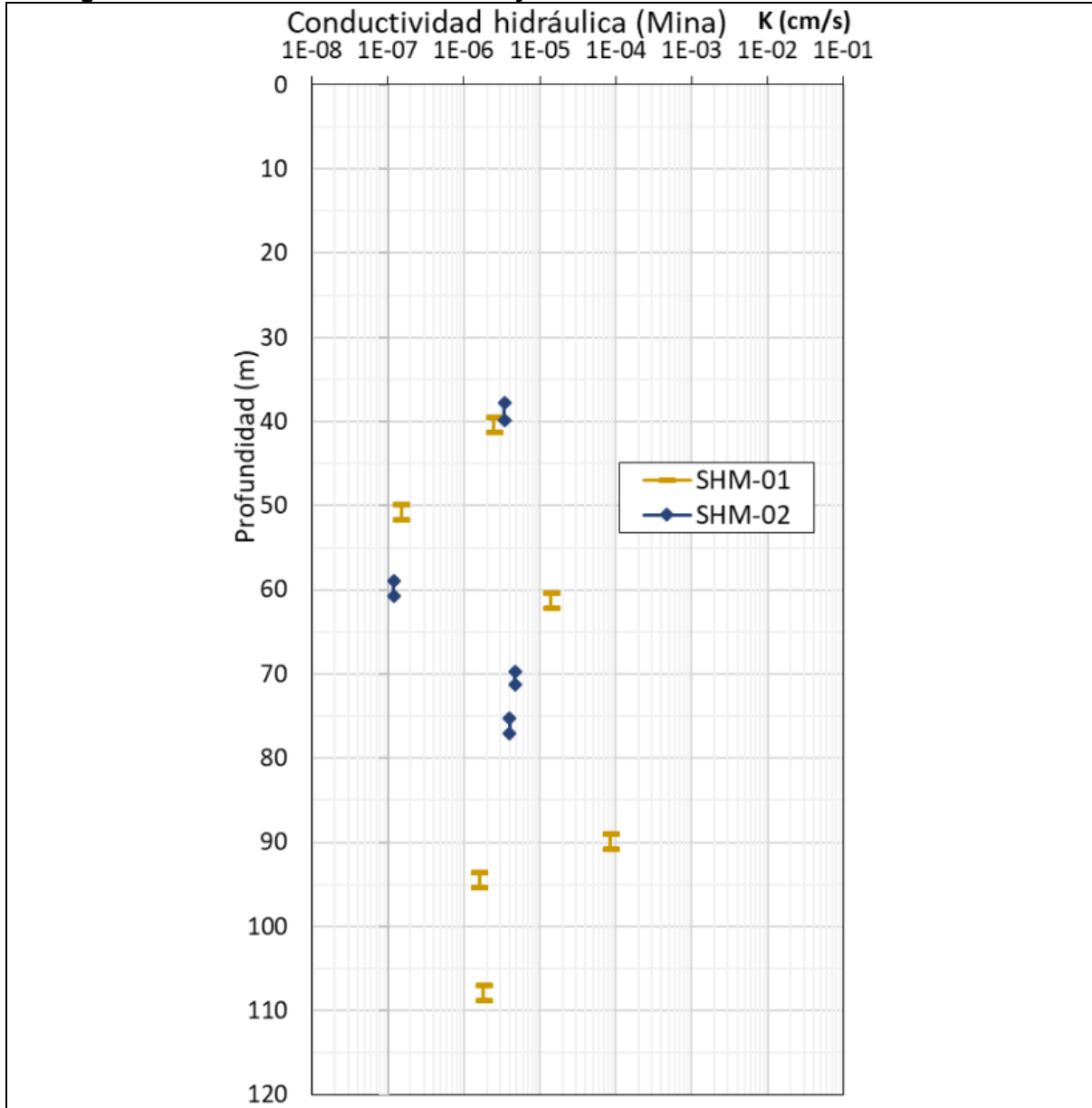
Fuente: Modelo Hidrogeológico Conceptual. Sector Mina. Proyecto Minero Arqueros. ICASS, 2019.

### C. Parámetros Hidráulicos

Durante la perforación de los dos piezómetros construidos en la campaña de terreno llevada a cabo por el titular bajo la supervisión técnica de ICASS (2019a), se realizaron

ensayos Lugeon para determinar la conductividad hidráulica. La siguiente Figura muestra los valores obtenidos en profundidad. De los datos obtenidos, no se observa una clara relación entre las conductividades obtenidas y la profundidad.

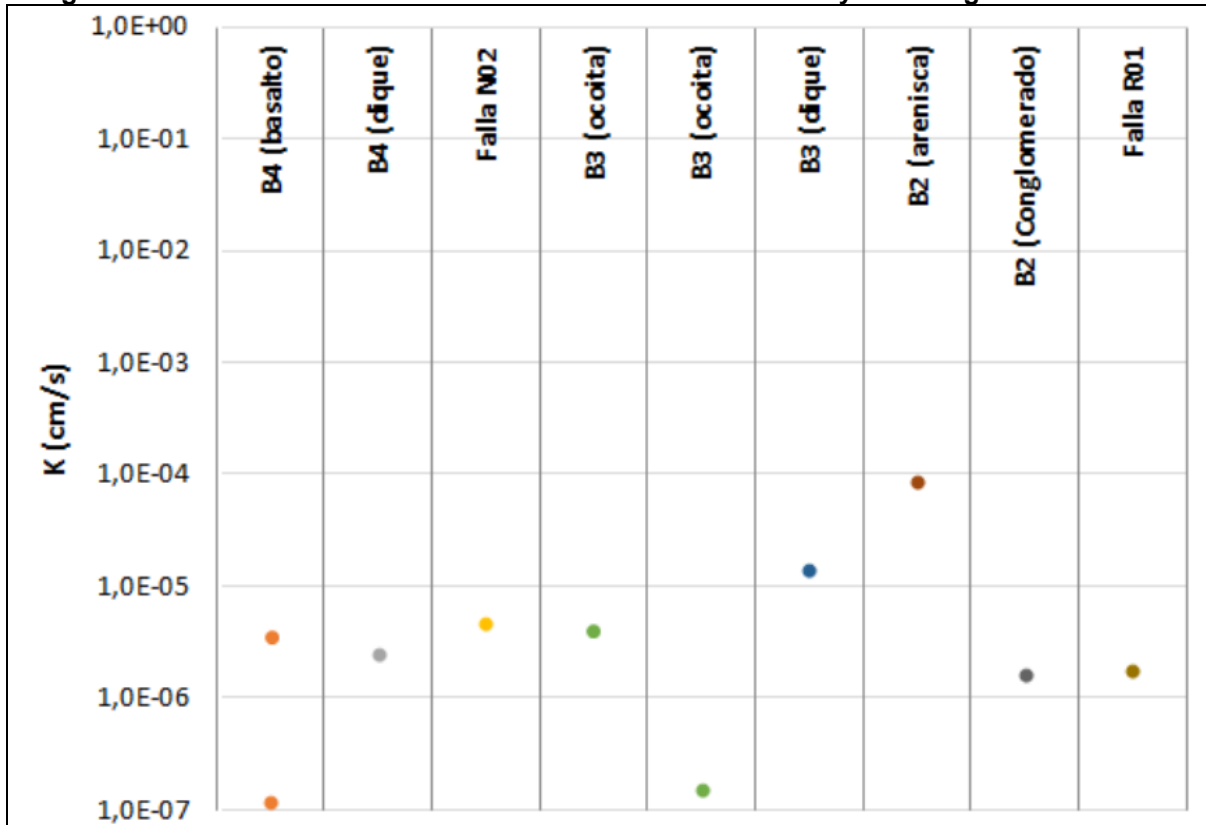
**Figura N° 3.1.11.28. Resultados de Ensayos de Conductividad Hidráulica en Área Mina**



Fuente: Modelo Hidrogeológico Conceptual. Sector Mina. Proyecto Minero Arqueros. ICASS, 2019.

El rango de conductividad obtenido se encuentra entre los 1,0E-07 a 1,0E-04 cm/s, denotando una baja conductividad hidráulica para las litologías ensayadas. La siguiente Figura muestra los valores de conductividad hidráulica según las litologías de los tramos de sondaje ensayados. Así, la de mayor conductividad corresponde a la arenisca de la Unidad B2 y la de menor a la ocoíta de la unidad B3 y el basalto de la unidad B4, el resto es relativamente homogéneo.

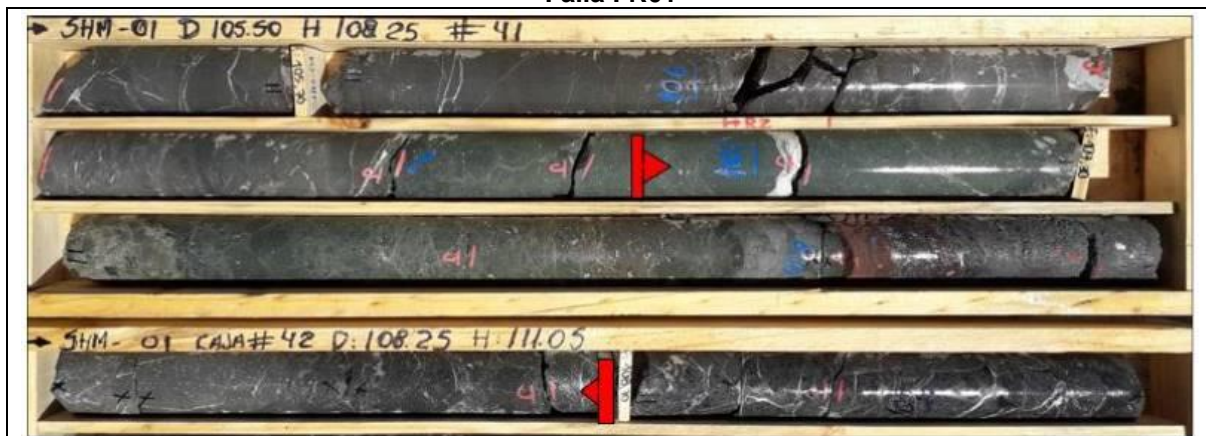
**Figura N° 3.1.11.29. Relación entre la Conductividad Hidráulica y la Litología en Área mina.**



Fuente: Modelo Hidrogeológico Conceptual. Sector Mina. Proyecto Minero Arqueros. ICASS, 2019.

Los dos ensayos realizados en zonas de fallas, no mostraron una conductividad muy diferenciadas del macizo, y como muestra la siguiente Figura, la zona de falla (FR01) de hecho se observó bastante consolidada.

**Figura N° 3.1.11.30. Fotografía Detalle del Sector en que se Realizó Ensayo Lugeon en la Falla FR01**



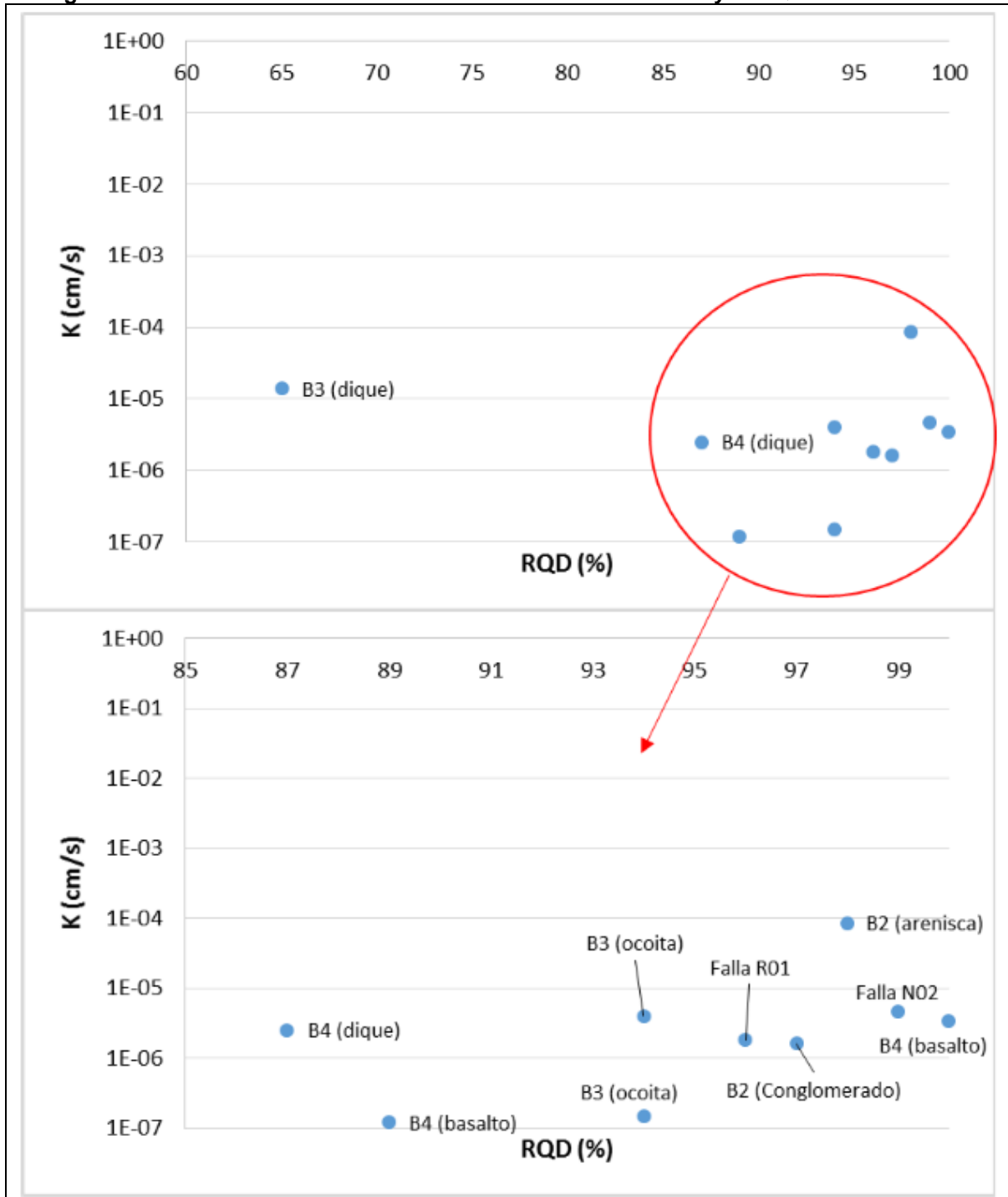
Fuente: Modelo Hidrogeológico Conceptual. Sector Mina. Proyecto Minero Arqueros. ICASS, 2019.

La siguiente Figura presenta la relación entre el RQD y conductividad de los distintos tramos/litologías ensayados. El macizo rocoso del sector de la futura mina es un medio sin porosidad primaria, cuya permeabilidad está controlada por el grado de fracturamiento (estructuras) y la apertura e interconectividad de éstas. En general se esperaría que a mayor RQD se tuviera una menor conductividad hidráulica, lo cual es coherente con las observaciones obtenidas. Dado que se describen RQD altos (bajo fracturamiento), los altos valores de RQD obtenidos en las perforaciones de los 2 piezómetros construidos son congruentes con los RQD reportados por E-Minning (2016) para todo el sector mina (ver siguiente Cuadro), indicando un macizo rocoso bastante competente para todo el área mina, esperándose una baja conductividad hidráulica generalizada. No obstante, E-Mining (2016) indica que existen zonas de influencia de fallas y una familia de diques fracturados que presentan RQD medios a bajos (ver siguiente Cuadro), por lo que se podría esperar que estas zonas presentaran conductividades hidráulicas un poco mayores, aunque para el caso de las fallas FN02 (normal) y FR01 (inversa) esto no se observó en las investigaciones de terreno.

La siguiente Figura muestra la Relación entre la Conductividad Hidráulica y el RQD en el Área Mina.



**Figura N° 3.1.11.31. Relación entre la Conductividad Hidráulica y el RQD en el Área Mina**



Fuente: Modelo Hidrogeológico Conceptual. Sector Mina. Proyecto Minero Arqueros. ICASS, 2019.

Por su parte, el siguiente Cuadro muestra el RQD de las distintas unidades.

**Cuadro Nº 3.1.11.10. RQD de las Distintas Unidades**

UNIDAD GEOTÉCNICA	RQD(%)		
	MÍN	MEDIA	MÁX
ANDESITA OCOITICA (B1, 83)	71	83	94
ARENISCA CALCÁREA (82)	73	84	95
CALIZA FOSILÍFERA (B2H)	73	84	94
VOLCANO-SEDIMENTARIA (B4)	54	69	83
DIQUE	SS	73	90
DIQUE FRACTURADO	35	47	58
ZONA INFLUENCIA DE FALLA	27	36	45

Fuente: E-Minining (2016)

#### D. Niveles de Agua y Piezometría

Para avanzar en la comprensión de las aguas subterráneas en el Área Mina, se llevó a cabo una campaña de medición de niveles de agua en las perforaciones existentes (septiembre – diciembre 2018), correspondientes a los sondajes de exploración geológicos ejecutadas por Minera Arqueros en los últimos años los cuales se encontraban abiertos al momento de la medición.

También se cuenta con la información de los dos piezómetros construidos en la presente campaña (ICASS, 2019), SHM-01 y SHM-02. La ubicación de todos los puntos con información de niveles se puede ver en la siguiente Figura. Los niveles estáticos fueron medidos en la dirección del sondaje, por lo que para traspasarlo a nivel piezométrico primero se llevó el nivel medido a la vertical según la inclinación de cada sondaje y posteriormente se le descontó la cota del collar. La profundidad al nivel piezométrico estático en la vertical se encuentra entre unos 20 a 120 m.b.n.t y por lo tanto la elevación de los niveles piezométricos es de unos 1250 a 1400 m.s.n.m.

En primer lugar se generó una piezometría distrital de la cuenca hidrológica del área mina (ver siguiente Figura). Para esto se consideraron datos de niveles previos de mina Tugal (Claría y Rojas, 2007), los cuales se muestran en el siguiente Cuadro, así como los medidos en el sector Mina Arqueros, niveles aproximados de los pozos (noria) de terceros con derechos, además del nivel de la vertiente muestreada a la salida de la cuenca. Se observa que en general los flujos van de este a oeste y en particular en el área de mina Arqueros la dirección de flujo principal es hacia el noroeste.

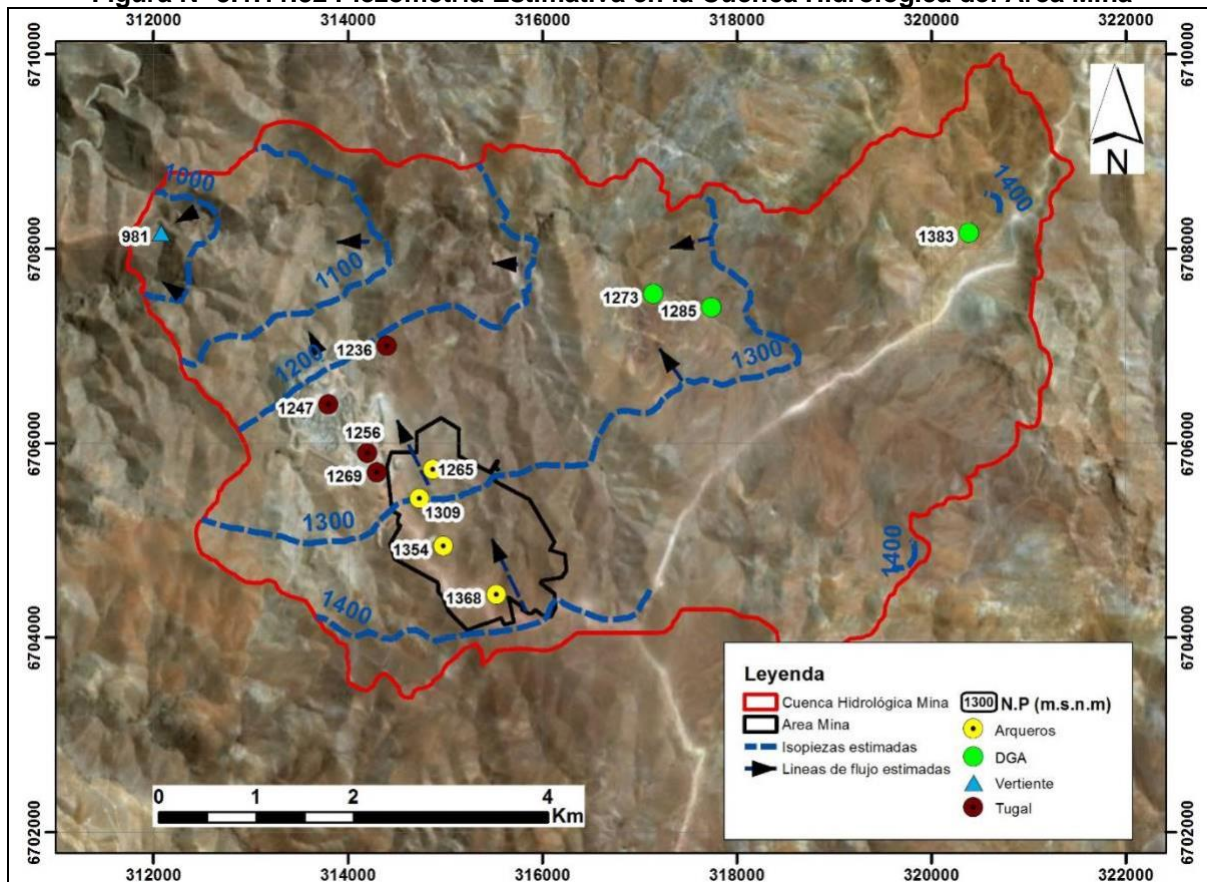
**Cuadro Nº 3.1.11.11. Niveles Medidos en Sondajes Mina Tugal, 2007**

ESTACIÓN	COORDENADA UTM WGS 84		COTA (m.s.n.m.)	N.E (MBNT)	N.P (m.s.n.m.)
	NORTE (m)	ESTE (m)			
TU-61	6.705.900	314.200	1292,7	36,26	1256,4
TU-74	6.705.700	314.300	1306,3	37,48	1268,8
TU-94	6.707.000	314.400	1252,3	16,46	1235,8
TU-133	6.706.400	313.800	1301,7	54,28	1247,4

\*MBNT: Metros bajo en nivel del terreno

Fuente: Modelo Hidrogeológico Conceptual. Sector Mina. Proyecto Minero Arqueros. ICASS, 2019.

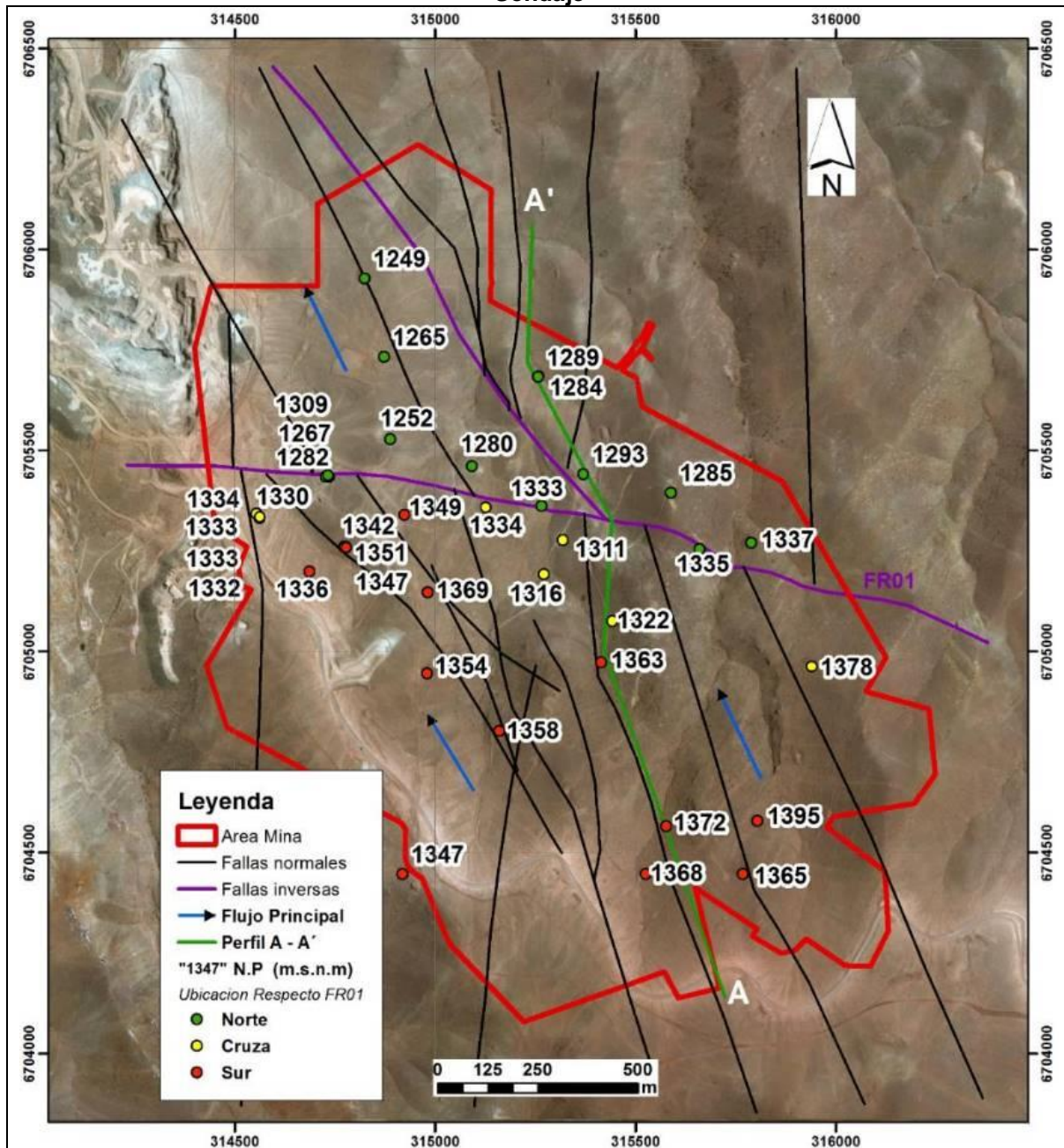
**Figura N° 3.1.11.32 Piezometría Estimativa en la Cuenca Hidrológica del Área Mina**



Fuente: Modelo Hidrogeológico Conceptual. Sector Mina. Proyecto Minero Arqueros. ICASS, 2019.

A partir de los datos medidos en sondajes de exploración y los dos piezómetros, se elaboró un mapa con elevaciones del nivel piezométrico para el área Mina (ver siguiente Figura). A partir de las elevaciones piezométricas, con los niveles más altos hacia el sureste y los más bajos hacia el noroeste, se infiere que en general las direcciones de flujo son hacia el noroeste y que por lo tanto siguen la superficie topográfica.

Figura N° 3.1.11.33. Ubicación del Perfil A-A' y los Niveles Piezométricos (m.s.n.m) de Cada Sondaje



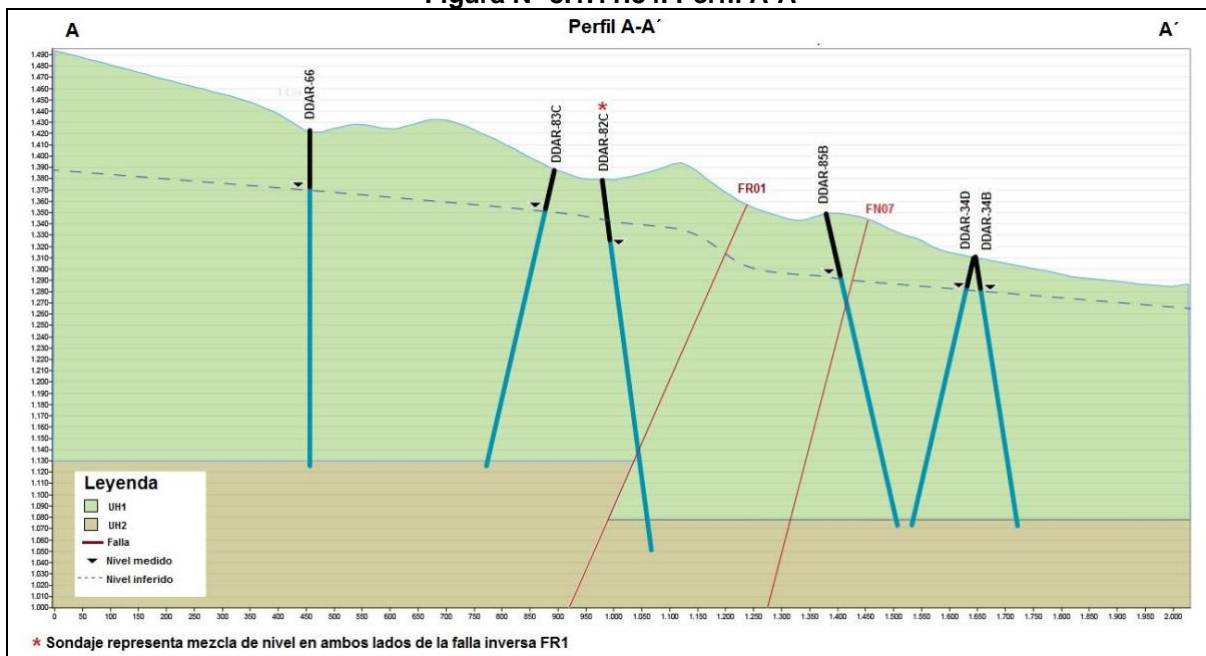
Fuente: Modelo Hidrológico Conceptual. Sector Mina. Proyecto Minero Arqueros. ICASS, 2019.

Además, se observa que en general los niveles al sur de la falla FR01 se encuentran más altos que al norte de esta. Para facilitar la visualización, en la Figura anterior se diferenciaron los niveles medidos en los sondajes que se encuentran al sur de FR01 (rojo), al norte (verde), y en amarillo los sondajes que se encuentran al sur de FR01 pero

que en profundidad atraviesan dicha falla, por lo que estos niveles corresponderían a una mezcla de niveles al sur y norte de la falla. En el perfil A-A' de sur a norte (ver siguiente Figura) se muestran los niveles medidos en los sondajes que atraviesan el perfil, además de la inclinación del sondaje y las estructuras que atraviesa. Así por ejemplo, el sondaje DDAR-83C está percibiendo solo niveles al sur de FR01, mientras que DDAR-82C atraviesa FR01, siendo su nivel piezométrico una media entre los niveles al sur y al norte de FR01.

En particular al sur de la falla inversa FR01 se observa un gradiente hidráulico relativamente bajo (23%), el cual aumenta considerablemente en la zona de la falla FR01, Para volver a ser relativamente bajo al norte de la falla. Este comportamiento denota un control estructural por parte de FR01 en la superficie hidráulica subterránea. Este abrupto aumento de gradiente se estaría generando por una falla FR01 de baja permeabilidad, indicando que FR01 estaría actuando a modo de barrera hidráulica.

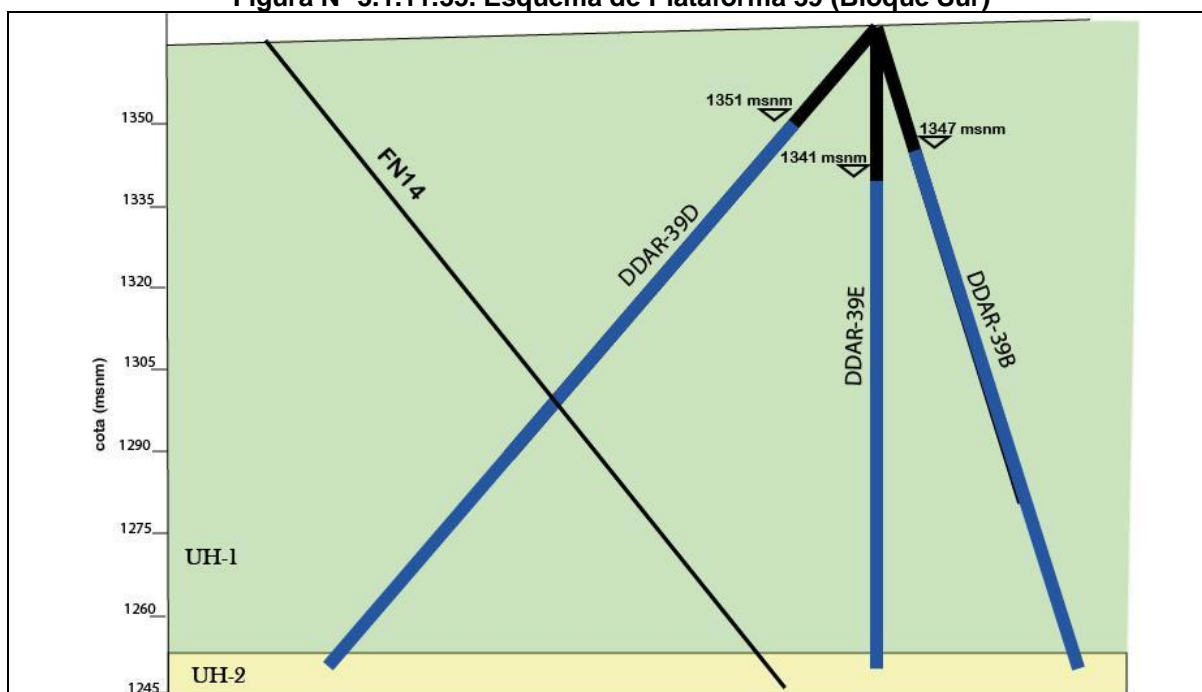
Figura N° 3.1.11.34. Perfil A-A'



Fuente: Modelo Hidrogeológico Conceptual. Sector Mina. Proyecto Minero Arqueros. ICASS, 2019.

A pesar de que el flujo subterráneo en general va en dirección noroeste, localmente se observan excepciones. Particularmente se observan diferencias de niveles importantes (hasta pocas decenas de metros) entre sondajes que son perforados desde la misma plataforma (ej: plataforma 38 y 39) en diferentes direcciones. Las diferencias no se pueden explicar por distancia entre puntos de medición. Sin embargo, algunos sondajes cruzan fallas y otros no (ver siguiente Figura), es decir las diferencias pueden atribuirse a la presencia de estructuras geológicas que compartimentan y condicionan los niveles.

Figura N° 3.1.11.35. Esquema de Plataforma 39 (Bloque Sur)



Fuente: Modelo Hidrogeológico Conceptual. Sector Mina. Proyecto Minero Arqueros. ICASS, 2019.

### E. Modelo Hidrogeológico Conceptual Sector Mina

Las futuras labores mineras subterráneas del Proyecto Minero Arqueros se localizan en el sector denominado Llanos de Arqueros, a unos 40 km al nor-noreste de La Serena, en la IV Región de Coquimbo. Éste corresponde a los sectores de interfluvios o serranías de la subcuenca Elqui Bajo y presenta alturas entre los 1.000 y 1.500 m.s.n.m. Los rasgos geomorfológicos más importantes en el área de estudio corresponden a las quebradas y sus laderas, presentando áreas sin vegetación y, en menor medida, praderas y matorrales.

En el área mina proyectada, se presentan principalmente rocas sedimentarias marinas y continentales cretácicas. Las rocas estratificadas presentan una estructura principal de plegamiento que consiste en un anticlinal ancho de escala regional. Dentro de la zona de estudio la Falla normal La Liga constituye un rasgo estructural de primer orden, con un rumbo N-S, manto subvertical hacia el E y un desplazamiento de unos 100 m. Asociado a esta falla, localmente se generan una serie de fallas listricas normales en echelon que desplazan en la vertical la secuencia litológica, dividiéndola en distintos bloques estructurales. A nivel local además se presenta una falla inversa de rumbo EW y manto al S, que divide el área Mina en dos bloques estructurales, donde el bloque sur se alzó unos 100 m dejando el manto mineralizado a menor profundidad. También ocurren una serie de diques que pueden estar asociados a los principales sistemas de orientación de fallas mayores (NS, NW y NE). Según el grado de fracturamiento de los diques se identificaron 2 familias, con RQD de 40 – 65% y entre 85 – 100%.

En el sector de la mina se han definido dos unidades hidrogeológicas:

- UH-1, formada por rocas volcano sedimentarias de las unidades litológicas B4, B3 y B2, cuya permeabilidad es de origen secundario producido por escasas fracturas asociadas a algunas estructuras, por lo que en general es de baja a muy baja permeabilidad ( $1E-04$  a  $1E-07$  cm/s) en función del grado de fracturamiento. La UH-1 aflora en toda el área de la futura mina y presenta espesores de entre 100 a 500 m y una porosidad drenable interconectada muy baja del orden de 0,1%.
- UH-2, que conforma el basamento hidrogeológico, y corresponde a rocas frescas o poco fracturadas de la unidad geológica B1. Se presenta en profundidad subyaciendo a la UH 1. Presenta un RQD bastante alto, en promedio de 83%, lo cual indica una roca bastante competente que tendría conductividades hidráulicas menores a  $1E-07$  [cm/s].

Conforme se indica en el Modelo Hidrogeológico Conceptual elaborado para el Sector Mina (ICASS, 2019), la pluviometría media en la zona es de 105 mm/año, presenta una gran variabilidad interanual y no permite la formación de cursos permanentes de agua. Los escurrimientos superficiales son sólo esporádicos y ocurren en respuesta a precipitaciones intensas y concentradas. Sumado a un relieve con altas pendientes que favorece la escorrentía y un clima árido que favorece la evaporación, se ha estimado que solo aprox. un 3% de la precipitación se infiltra y conforma la recarga del agua subterránea. Para toda la cuenca hidrogeológica de estudio, que incluye una zona extensa al norte y este de la mina propiamente tal, se obtiene una recarga media de aprox. 4,5 l/s (ver siguiente Figura Esquema Modelo Conceptual).

El agua que precipita sobre el área de la mina infiltra a través de las escasas fracturas abiertas de la UH-1 hasta alcanzar el nivel saturado del sector mina que se encuentra entre 20 a 100 m de profundidad, lo que sería entre 1.250 a 1.400 m.s.n.m. El flujo saturado del agua subterránea en general sigue la topografía y por lo tanto a grandes rasgos va en dirección NW, pero localmente fluye hacia y a lo largo del fondo de las quebradas. No se observan afloramientos de agua subterránea en el sector mina, salvo una pequeña vertiente (QVE-10  $\sim 0,4$  l/s) ubicada aprox. 3 km aguas abajo a la salida de la zona de estudio. Ésta genera un escurrimiento superficial a lo largo de unos 300 metros al cabo de lo cual vuelve a infiltrar y/o evaporarse.

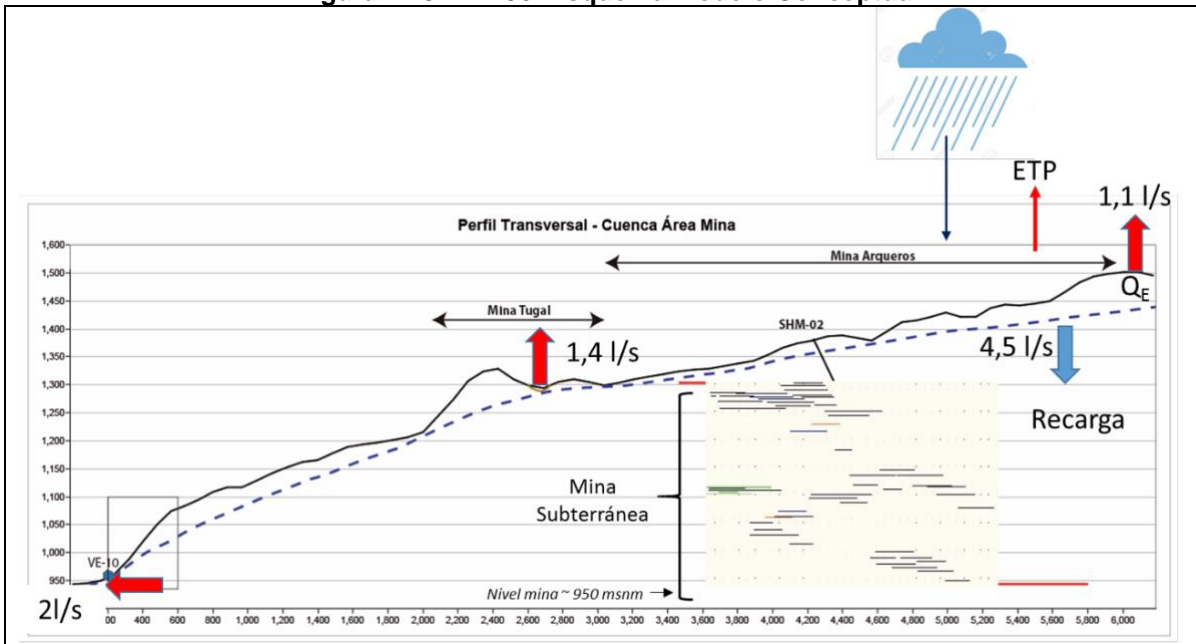
En el sector mina localmente se observan variaciones de nivel piezométrico significativos en pocos metros de distancia entre sondajes perforados a uno y otro lado de fallas normales lo cual indica una compartimentalización de los niveles de agua subterránea. Además se observa que la falla inversa FR01, que cruza el área mina de E a W, actúa de barrera poco permeable, por lo que al S de la falla los niveles piezométricos en general están decenas de metros más altos que al N de la misma.

La cuenca hidrogeológica de estudio está definida por la divisoria de aguas subterráneas y ésta coincide con la cuenca hidrológica superficial. La cuenca se cerró hacia el noroeste del sector mina donde todas las quebradas que drenan desde el sector mina confluyen, con lo cual se incluye una subcuenca que se extiende al este de la mina. Por lo tanto, además de la recarga por precipitación, no existen otras entradas de agua subterránea al sistema. Las descargas de este sistema están conformadas por extracciones en norias de

terceros con derechos de aprovechamiento de agua subterránea ( $Q_E = 1,1 \text{ l/s}$ ) ubicadas en el extremo este de la zona de estudio. Además hay un flujo subterráneo por la sección de salida de la cuenca de estudio ( $Q_S = 2,0 \text{ l/s}$ ). Finalmente, y dado que en la línea base de Mina Tugal se han reportado niveles piezométricos a pocas decenas de metros, se ha supuesto que el balance se cierra con las aguas del drenaje de mina Tugal ( $Q_T = 1,4 \text{ l/s}$ ).

La siguiente Figura presenta un esquema del Modelo Conceptual para el Sector Mina.

**Figura N° 3.1.11.36. Esquema Modelo Conceptual**



Fuente: Modelo Hidrogeológico Conceptual. Sector Mina. Proyecto Minero Arqueros. ICASS, 2019.

### 3.1.11.5. Conclusiones

Según el Mapa hidrogeológico de Chile (DGA), el proyecto se encuentra emplazado en su mayor parte sobre Rocas Sedimentarias y Mixto sedimentario Volcánicas, las que se caracterizan por presentar una permeabilidad muy baja a ausente (en roca), lo que implica una importancia hidrogeológica muy baja. Esto se explica porque, el subsuelo del área de emplazamiento del Proyecto, Arqueros se caracteriza por estar compuesto, como anteriormente se dijo, por rocas volcanosedimentarias cretácicas e intrusivas graníticas sin permeabilidad primaria y muy baja permeabilidad secundaria generada por fracturas. Sin embargo, una porción menor del Proyecto, específicamente el sector correspondiente a la bocatoma ubicada en el río Elqui, se encuentra sobre depósitos no consolidados (rellenos), el que presenta una permeabilidad primaria (en formación porosa), lo que se traduce en una importancia hidrogeológica alta a media.

En cuanto al Modelo Hidrogeológico presentado tanto para los sectores de emplazamiento Área Depósito de Relaves y Área Mina, podemos se puede concluir lo siguiente:



a) Área Depósito de Relaves

- Se definieron tres (3) unidades hidrogeológicas: UH-1, sedimentos no consolidados de baja permeabilidad; UH-2, roca fracturada de menor permeabilidad; y UH-3, roca menormente fracturada de muy baja permeabilidad, que se define como basamento hidrogeológico.
- En esta área existen flujos de aguas subterráneas con afloramientos ocasionales menores. Se estima que estas aguas se alimentan por precipitaciones que se infiltran, y de acuerdo con el Modelo y otras pruebas, se puede estimar que el caudal es de 1,5 l/s.

b) Área Mina

- Se definieron dos (2) unidades hidrogeológicas: UH-1, rocas volcánico sedimentarias de baja a muy baja permeabilidad; y UH-2, basamento hidrogeológico con fracturamiento menor, de casi nula permeabilidad.
- En este sector existen aguas subterráneas, las cuales se estima que son alimentadas por precipitaciones que se infiltran, y de acuerdo con el Modelo y otras pruebas se puede estimar un caudal de 2,0 l/s. En el área de influencia directa del sector Área Mina no se observan afloramientos de vertientes.

En ambos casos, tanto en el Área Mina como en el Área Depósito de Relaves los flujos de salida de las aguas subterráneas convergen al final de las quebradas, siguiendo la topografía de las respectivas cuencas y aflorando en pequeñas vertientes que vuelven a infiltrar o se evaporan.

### 3.1.11.6. Bibliografía

CLARIA Y ROJAS. (s.f.). Hidrogeología preliminar pertenencias Tugal. Cuenca del Río Elqui. IV Región.

DGA. (2007). Declaración Área de Restricción Sectores Hidrogeológicos de Aprovechamiento Común de Elqui Bajo, Santa Gracias y serena Norte. Informe Técnico N° 47 del 28/02/2007.

DGA. (2013). Revaluación de la Disponibilidad de Recursos Hídricos Subterráneos en los sectores Acuíferos del Valle del Río Elqui. Informe Técnico DARH N° 101 del 16/05/2013.

GEODATOS. (2018). Estudio geofísico de resistividad eléctrica mediante tomografía eléctrica (ERT), refracción sísmica y MASW. Proyecto sector Arqueros.

HOWELL, R. (2013). Airlift Testing In Exploration Coreholes.

ICASS. (2016). Estudio Hidrogeológico Área Depósito de Relaves, Proyecto Arqueros.

ICASS. (2018). Informes Sondajes. Proyecto Mina Arqueros.

ICASS 2019. Modelo Hidrogeológico Conceptual. Sector Mina. Proyecto Minero Arqueros.

ICASS 2019. Modelo Hidrogeológico Conceptual. Sector Depósito de Relaves. Proyecto Minero Arqueros.

ICASS. (2019a). Informe Campaña de Terreno. Proyecto Mina Arqueros.

IDIEM. (2016a). Estratigrafía de sondajes "Proyecto JRI Arqueros: Área depósito de relaves".

IDIEM. (2016b). Estratigrafía de calicatas "Proyecto JRI Arqueros: Sector depósito de relaves".

IDIEM. (2016c). Ensayo Lugeon "Proyecto JRI Arqueros: Área depósito de relaves".

MINISTERIO DE OBRAS PÚBLICAS, DIRECCIÓN GENERAL DE AGUAS, 1986. Mapa Hidrogeológico de Chile. Escala 1: 2.500.000.