

# **Medida H-04: Investigación sobre Nuevas Fuentes de Agua en Cuencas de Salares La Isla, Aguilar, Gorbea y Las Parinas**

**Estimación geometría acuífero  
Salar de Las Parinas**



2 de abril de 2026



Versión 0



A21\_1115\_INF06\_GeometríaLasParinas\_v0

***Amphos 21 Consulting Chile Ltda.***

*Av. Nueva Tajamar, 481. WTC-Torre Norte- Of. 1901. Santiago (Chile)*

*+56 2 27991630*

*[www.amphos21.com](http://www.amphos21.com)*

| Preparado por                                        | Revisado por    | Validado por  |
|------------------------------------------------------|-----------------|---------------|
| Scarleth Veechi<br>Paz Gutiérrez<br>Caroline Fleming | Samuel Iglesias | Pilar Enguita |

# Índice

|          |                                                                   |           |
|----------|-------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>1</b> | <b>Introducción.....</b>                                          | <b>7</b>  |
| 1.1      | Objetivos.....                                                    | 7         |
| 1.2      | Área de estudio.....                                              | 8         |
| 1.3      | Información de base .....                                         | 9         |
| 1.3.1    | Geología de superficie .....                                      | 9         |
| 1.3.2    | Topografía.....                                                   | 9         |
| 1.3.3    | Geofísica.....                                                    | 10        |
| <b>2</b> | <b>Caracterización Geológica.....</b>                             | <b>12</b> |
| 2.1      | Geomorfología regional.....                                       | 12        |
| 2.2      | Geología regional y estructural .....                             | 13        |
| 2.2.1    | Geología estructural .....                                        | 15        |
| 2.3      | Geología local.....                                               | 16        |
| 2.3.1    | Basamento del arco volcánico.....                                 | 18        |
| 2.3.2    | Depósitos y rocas estratificadas.....                             | 18        |
| 2.3.3    | Depósitos no consolidados.....                                    | 20        |
| 2.3.4    | Estructuras.....                                                  | 24        |
| 2.4      | Geofísica.....                                                    | 25        |
| <b>3</b> | <b>Caracterización del sistema hidrogeológico .....</b>           | <b>31</b> |
| 3.1      | Unidades Hidrogeológicas .....                                    | 31        |
| 3.1.1    | Unidad Hidrogeológica 1 (UH-1): Depósitos salinos .....           | 31        |
| 3.1.2    | Unidad Hidrogeológica 2 (UH-2): Depósitos no consolidados .....   | 32        |
| 3.1.3    | Unidad Hidrogeológica 3 (UH-3): Rocas volcánicas fracturadas..... | 32        |

|          |                                                                 |           |
|----------|-----------------------------------------------------------------|-----------|
| 3.1.4    | Unidad Hidrogeológica 4 (UH-4): Roca volcánica competente ..... | 33        |
| 3.2      | Geometría 3D de las unidades hidrogeológicas .....              | 35        |
| <b>4</b> | <b>Síntesis.....</b>                                            | <b>39</b> |
| <b>5</b> | <b>Referencias .....</b>                                        | <b>41</b> |
|          | <b>Anexo A. Leapfrog Salar de Las Parinas .....</b>             | <b>43</b> |



## Índice de Tablas

|                                                     |    |
|-----------------------------------------------------|----|
| Tabla 3-1: Resumen de unidades hidrogeológicas..... | 33 |
|-----------------------------------------------------|----|

## Índice de Figuras

|                                                                                                                                                                              |    |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figura 1-1: Ubicación área de estudio. Fuente: Elaboración propia. ....                                                                                                      | 8  |
| Figura 1-2: Ubicación modelo de elevación digital (DEM). Fuente: Elaboración propia. ....                                                                                    | 10 |
| Figura 1-3: Ubicación perfiles geofísicos TEM. Fuente: Elaboración propia. ....                                                                                              | 11 |
| Figura 2-1: Perfil esquemático geomorfología del Norte de Chile. Fuente: Salares del Norte de Chile: Potenciales fuentes de litio (CEPAL, 2010). ....                        | 12 |
| Figura 2-2: Mapa geológico regional, escala 1:100.000. Fuente: Naranjo et al., 2013 (a, b) SERNAGEOMIN. ....                                                                 | 14 |
| Figura 2-3: Principales fallas y lineamientos a escala regional Chile-Argentina. Fuente: Extraído y modificado de Chernicoff et al., 2002. ....                              | 16 |
| Figura 2-4: Mapa geológico de la cuenca Salar de Las Parinas, basado en la carta geológica Áreas Salar de Aguilar y Portezuelo de León Muerto de Naranjo et al., 2013a. .... | 17 |
| Figura 2-5: Perfil geológico C-C'''. Fuente: Modificado Hoja Salar de La Isla, SERNAGEOMIN, 1992 (Naranjo et al., 1992). ....                                                | 23 |
| Figura 2-6: Sistemas de fallas locales de orientación NS y NNO en el salar de Las Parinas. Fuente: Información extraída de Naranjo et al, 2013a. ....                        | 24 |
| Figura 2-7: Perfil LP-01 TEM. Fuente: Modificado de Subterránea, 2023. ....                                                                                                  | 27 |
| Figura 2-8: Perfil LP-02 TEM. Fuente: Modificado de Subterránea, 2023. ....                                                                                                  | 28 |
| Figura 2-9: Perfil LP-03 TEM. Fuente: Modificado de Subterránea, 2023. ....                                                                                                  | 29 |
| Figura 2-10: Perfil LP-04 TEM. Fuente: Modificado de Subterránea, 2023. ....                                                                                                 | 30 |
| Figura 3-1: Mapa hidrogeológico de la cuenca Salar de Las Parinas. Fuente: Elaboración propia. ....                                                                          | 34 |
| Figura 3-2: Vista Modelo 3D Leapfrog asociados a cada unidad hidrogeológica. Fuente: Elaboración propia. ....                                                                | 37 |
| Figura 3-3: Sección transversal orientación W – E. Fuente: Elaboración propia. ....                                                                                          | 38 |

## 1 Introducción

Codelco División Salvador (DSAL) adjudicó a Amphos 21, en septiembre de 2022, el proyecto “*Medida 04: Investigación sobre Nuevas Fuentes de Agua en Cuencas de Salares La Isla, Aguilar, Gorbea y Las Parinas*”, que se enmarca en los diferentes compromisos establecidos en el Avenimiento con el Consejo de Defensa del Estado en el proceso Rol D-7-2020 del Primer Tribunal Ambiental de Antofagasta y que, como objetivo principal, pretende generar información básica de carácter hidrogeológico en las cuencas de los salares indicados.

Como parte de las primeras actividades del servicio anteriormente mencionado, Amphos 21 realizó el levantamiento de las condiciones actuales de accesos a los salares, teniendo como base de operación el campamento La Ola de DSAL (Región de Atacama) y la ciudad de Taltal (Región de Antofagasta).

Las primeras actividades de terreno consistieron en la ejecución de una campaña de geofísica y el análisis de la geología de las cuencas La Isla, Aguilar, Gorbea y Las Parinas, a partir de la revisión de antecedentes y de lo observado en terreno. En base a las actividades anteriores, se realizó una estimación de la geometría del acuífero de la cuenca Salar de Las Parinas, mediante el software de modelamiento geológico 3D Leapfrog Works. La interpretación de dicho modelo se desarrolla en el presente informe.

Cabe destacar que, según el Departamento de Administración de Recursos Hídricos (DARH) de la Dirección General de Aguas (DGA), el salar en estudio se emplaza en la cuenca “Cuencas Endorreicas entre Frontera y Vertiente del Pacífico” (código 0300) y en la subcuenca “Salar de Las Parinas” (código 030001) (DGA, 2015). No obstante, para efectos del presente estudio, la “subcuenca Salar de Las Parinas” se denomina como “cuenca”, dado que corresponde a una unidad hidrológica de carácter endorreico y constituye el objeto principal de análisis en su caracterización.

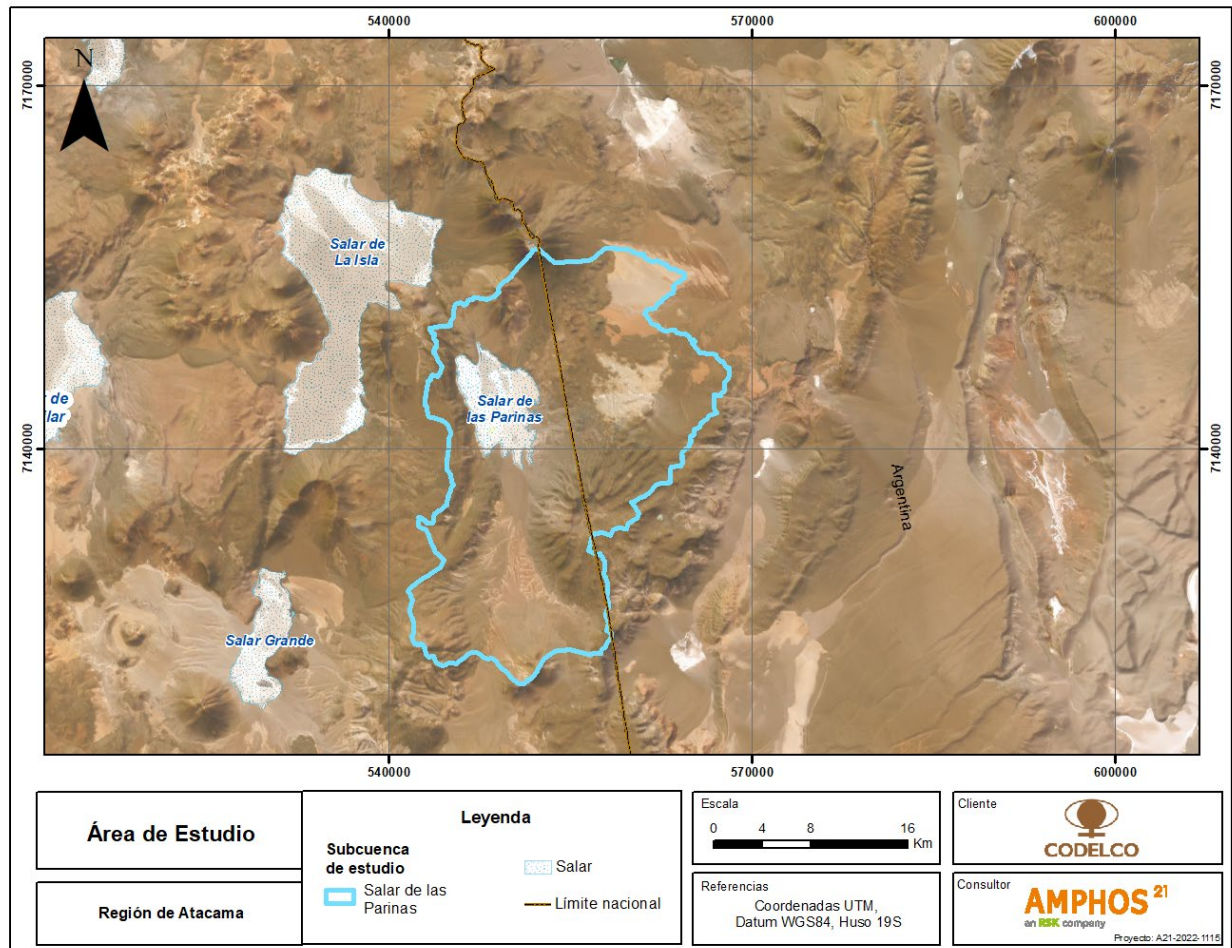
### 1.1 Objetivos

El objetivo general del proyecto (Medida H-04) consiste en la realización de un estudio que permita generar información básica para lograr un entendimiento hidrogeológico de los sistemas de las cuencas de los salares La Isla, Aguilar, Gorbea y Las Parinas (Codelco, 2021).

El objetivo específico de este reporte es presentar los resultados preliminares de la estimación de la geometría del acuífero del Salar de Las Parinas, y la información utilizada para la interpretación de dicho modelo.

## 1.2 Área de estudio

La cuenca Salar de Las Parinas se ubica en el extremo sureste de la Alta Cordillera de la Región de Atacama, específicamente sobre el límite de la Región de Antofagasta y Argentina, a alturas geográficas variables cuyo depocentro del salar se ubica entre los 3.960 y 4.144 m s.n.m., aproximadamente. La Figura 1-1 muestra la distribución espacial de la cuenca en análisis.



**Figura 1-1:** Ubicación área de estudio. Fuente: Elaboración propia.

### 1.3 Información de base

A continuación, se detalla la información disponible utilizada para la estimación de la geometría del Salar de Las Parinas, la cual proviene de antecedentes bibliográficos y campañas de terreno desarrolladas previamente.

#### 1.3.1 Geología de superficie

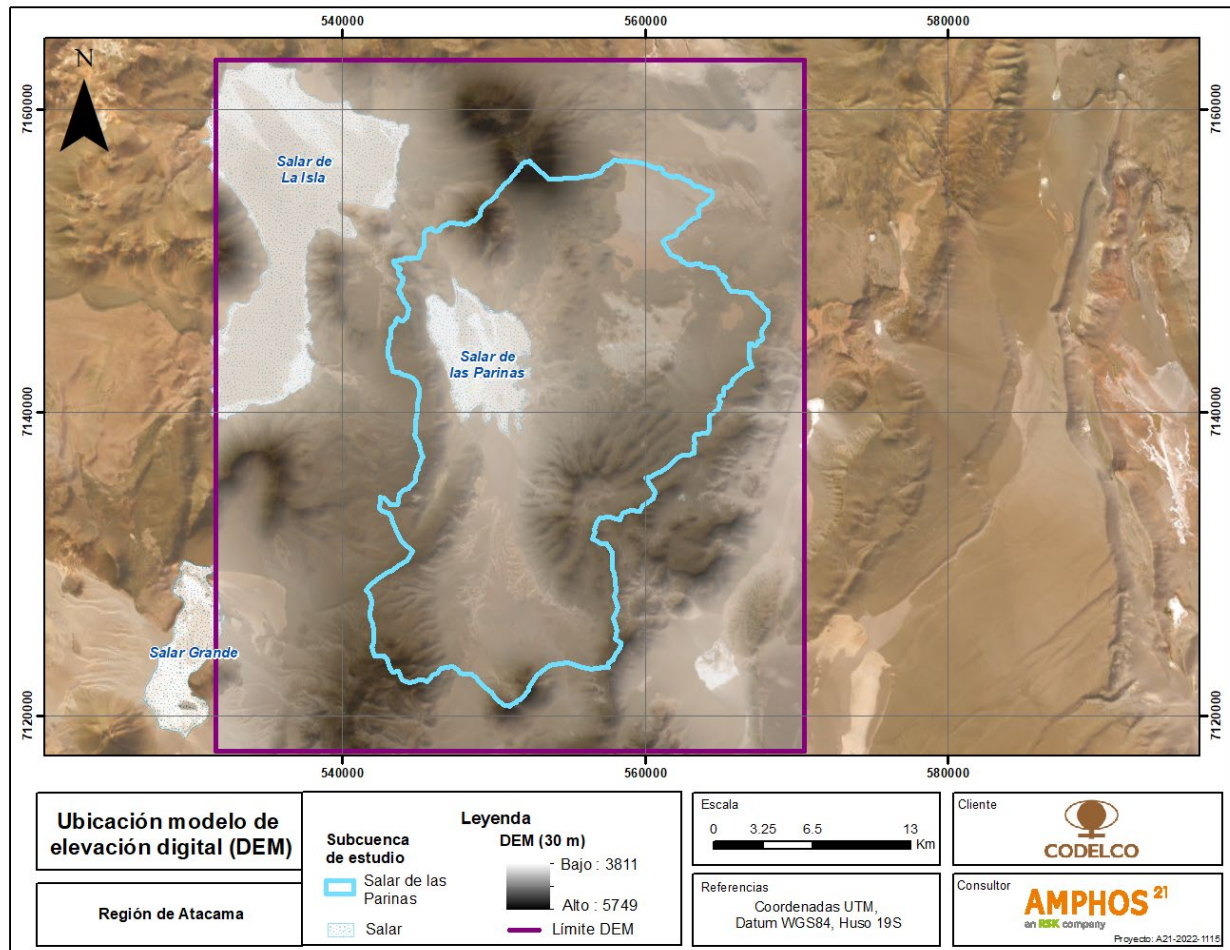
La caracterización geológica de superficie en la cuenca de estudio considera la siguiente carta geológica:

- Geología de las Áreas Salar de Aguilar y Portezuelo de León Muerto. Región de Atacama. Servicio Nacional de Geología y Minería (SERNAGEOMIN). Carta Geológica de Chile N°151 – 152, escala 1:100.000 (Naranjo et al., 2013).

#### 1.3.2 Topografía

La topografía usada para modelar la cuenca en estudio corresponde a un DEM construido según el modelo SRTM (Shuttle Radar Topography Mission) de la NASA, y presenta una resolución de 30 m (píxel de 30 x 30 m). Dicho modelo de elevación fue descargado de forma gratuita a través del portal USGS.

El resultado del modelo de elevación presenta alturas desde los 3.811 m s.n.m. en el sector del salar hasta los 5.749 m s.n.m. en las zonas más altas del cordón montañoso, en el límite de la cuenca. La extensión del DEM se ilustra en la Figura 1-2.

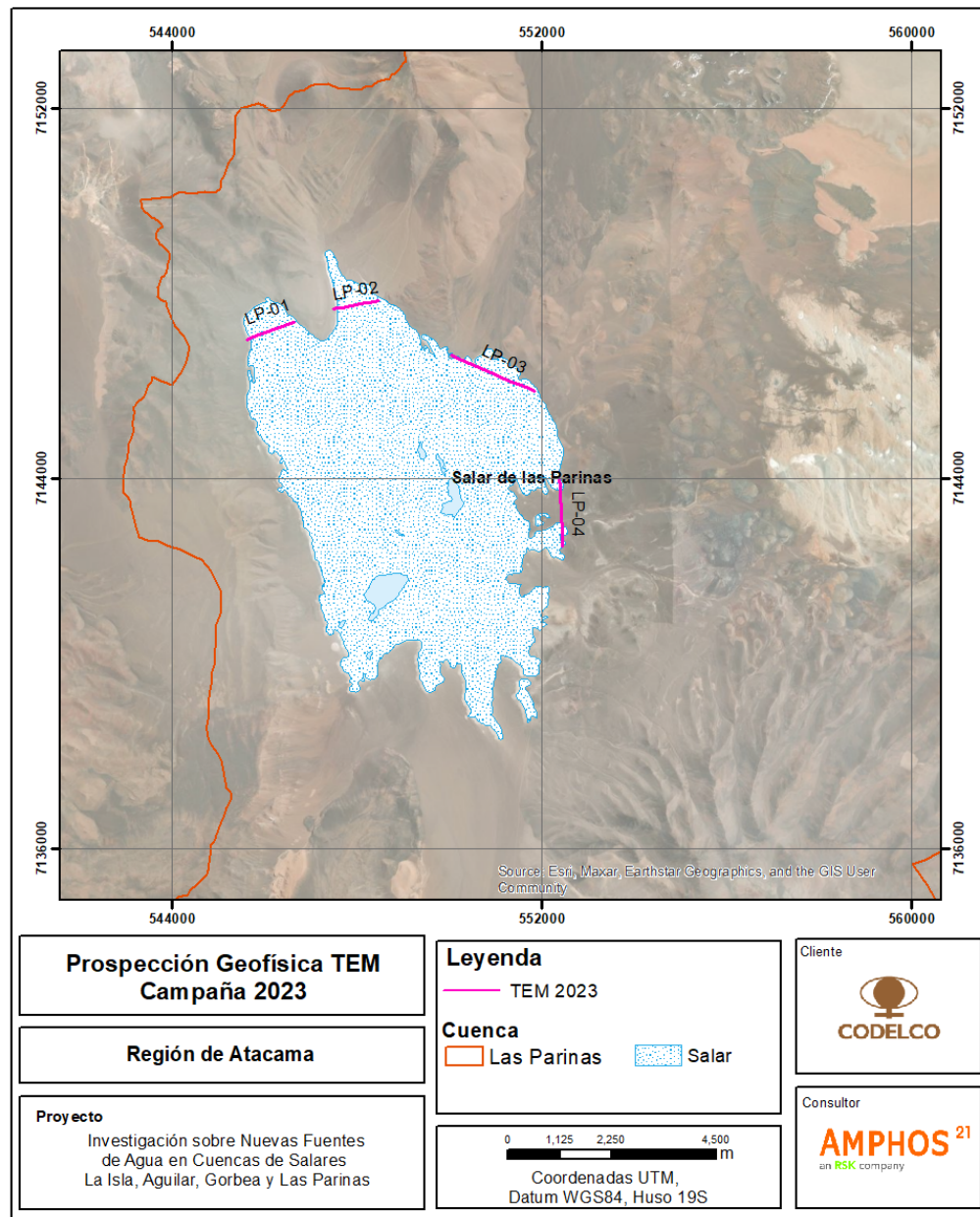


**Figura 1-2:** Ubicación modelo de elevación digital (DEM). Fuente: Elaboración propia.

### 1.3.3 Geofísica

La información geofísica disponible corresponde a una campaña de prospección realizada en el año 2023 por Subterránea Consultores, en el marco del presente servicio, mediante la aplicación del método transiente electromagnético (TEM). En dicha campaña se ejecutaron cuatro perfiles TEM emplazados en el margen del salar (Figura 1-3), cuya longitud total es de 5,7 km.





**Figura 1-3:** Ubicación perfiles geofísicos TEM. Fuente: Elaboración propia.

Adicionalmente, a modo de complementar la interpretación de los perfiles geofísicos, se ha considerado la información de dos campañas TEM, ejecutadas por Geodatos en los años 2002 y 2007, en los cuales se realizaron tres perfiles en total, distribuidos a una distancia relevante del límite del salar y, por tanto, no lo interceptan. Si bien estos perfiles no cuentan con las coordenadas geográficas para ser incorporados en el modelo 3D de Leapfrog, la revisión de su interpretación permitió orientar la definición de unidades geoelectricas.

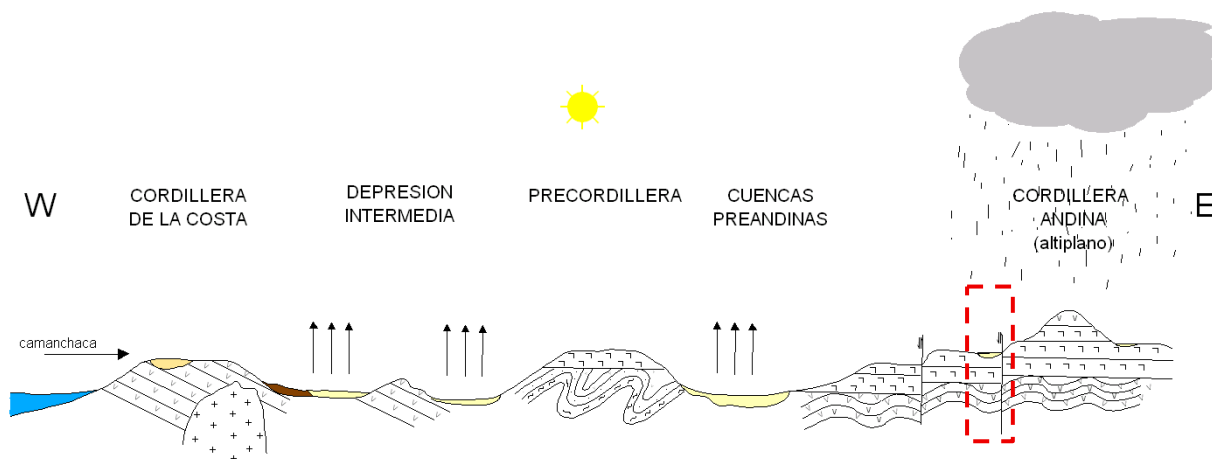
## 2 Caracterización Geológica

### 2.1 Geomorfología regional

El borde continental chileno se encuentra adyacente a la zona de subducción en donde la placa de Nazca se hunde por debajo de la placa Sudamericana, generando una intensa actividad tectónica desde hace millones de años y que hoy se refleja por la presencia de valles y cordilleras con orientaciones N-S paralelos a la zona de subducción.

Es posible reconocer cinco unidades morfológicas de oeste a este; Cordillera de la Costa, Depresión intermedia, Precordillera/Cordillera de Domeyko, Depresión Andina y Altiplano-Puna o Cordillera Andina (Figura 2-1).

Los salares en estudio se encuentran ubicados en el límite occidental del Altiplano, también llamado Cordillera Occidental, representado mediante un rectángulo rojo en la Figura 2-1. En ésta se desarrolla el volcanismo del arco magmático actual, el cual comenzó en el Mioceno. Esta zona se caracteriza por edificios volcánicos de gran envergadura, los cuales crean las condiciones para que existan las cuencas endorreicas, en donde la circulación del agua se ve restringida hacia bajos topográficos. Además, debido a la presencia de cadenas montañosas orientadas N-S se genera una ausencia de cauces fluviales, por ende, las precipitaciones quedan confinadas en dichos bajos, y salen del sistema hidrogeológico por evaporación o infiltración, favoreciendo la presencia de salares.



**Figura 2-1:** Perfil esquemático geomorfología del Norte de Chile. Fuente: Salares del Norte de Chile: Potenciales fuentes de litio (CEPAL, 2010).



## 2.2 Geología regional y estructural

El sector occidental de la cadena volcánica del Cenozoico superior, en el cual está presente el área de interés, corresponde a una franja variable entre 45 y 75 km de ancho, donde se distinguen más de 100 centros volcánicos que incluyen desde grandes calderas hasta pequeños conos piroclásticos y domos de composiciones andesítica, dacítica y andesítica-basáltica.

El basamento de la región tiene escasa distribución superficial, aflorando en el sector este del Salar de Las Parinas, siendo muy restringidos para conocer detalles de su edad de base. Corresponde a rocas de origen volcánico y plutónico del paleozoico superior y sin reconocimiento de unidades pertenecientes al mesozoico sobre este o bajo las unidades cenozoicas.

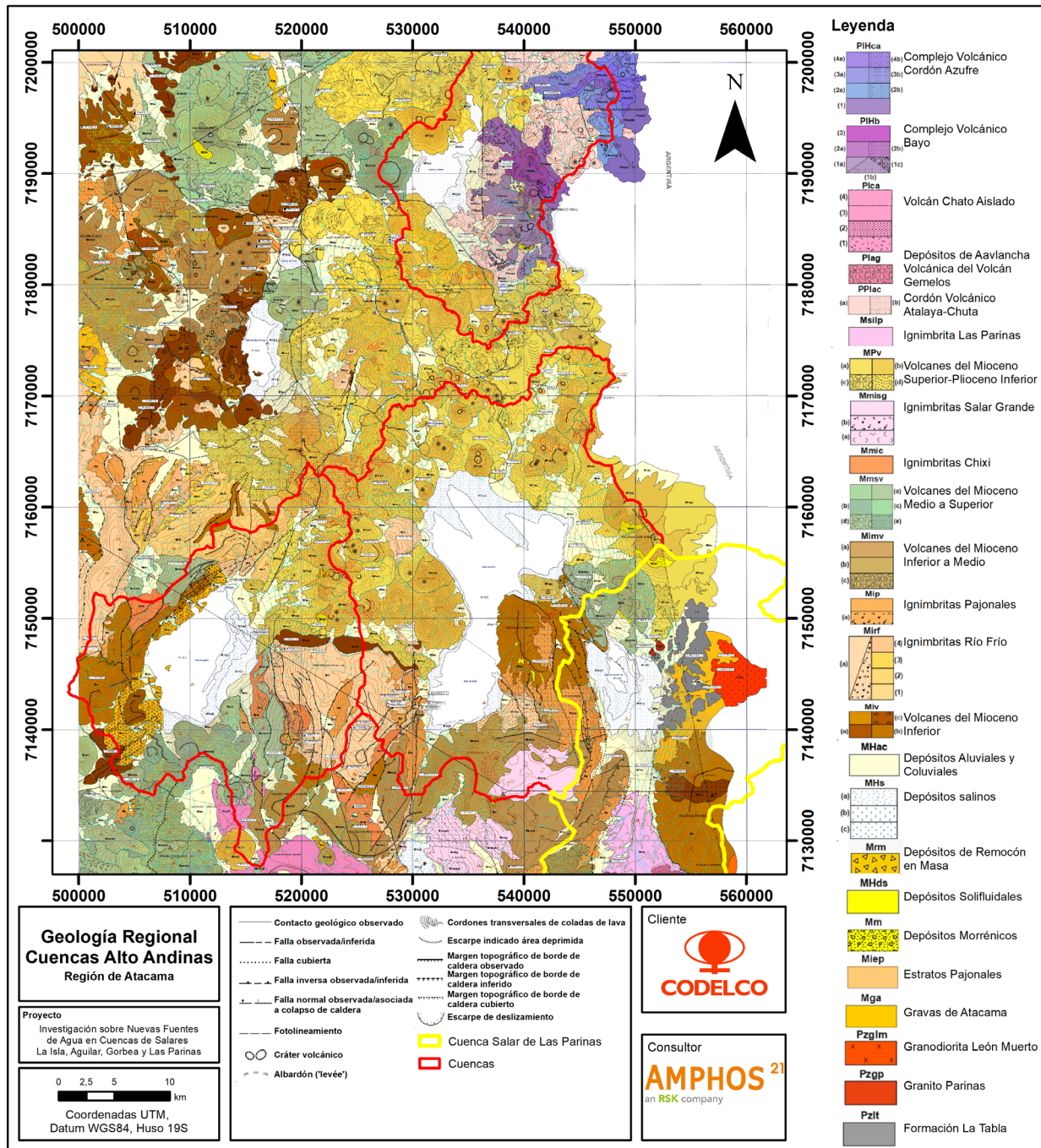
Las edades de estos centros volcánicos están comprendidas entre el Mioceno-Holoceno y, según la definición de Naranjo y Cornejo (1992) y Naranjo et al. (2013 a, b), en base a los grados de erosión en conjunto con la litología, petrografía, geoquímica y radiometría, fueron divididos en diferentes complejos volcánicos.

Las ignimbritas de la zona en estudio tienen composiciones andesíticas, dacíticas y riolíticas con texturas vitroclásticas y eutaxíticas. Sus afloramientos están estrechamente relacionados a sus fuentes de emisión, algunas con extensiones mucho mayores a los límites del área de estudio, y en gran parte cubiertas por unidades volcánicas más jóvenes o que sufrieron procesos erosivos. Abarcan desde el Mioceno inferior al Pleistoceno.

Durante el Cenozoico Superior, se formaron depósitos sedimentarios no consolidados a partir de la denudación de las unidades de rocas formadas desde el Mioceno inferior. Dentro de estas formaciones no consolidadas se encuentran las Gravas de Atacama, la cual se encuentra por toda la extensión del arco Volcánico Cenozoico Superior.

La geología regional se basa en los trabajos realizados por Naranjo et al. (2013) en las cartas geológicas de las Áreas Salar de Pajonal y Cerro Morro, y de las Áreas Salar de Aguilar y Portezuelo de León Muerto (Figura 2-2).

Cabe mencionar que, en el informe Reporte Geología (Amphos 21, 2024a), en el marco del estudio “Medida H-04: Investigación sobre Nuevas Fuentes de Agua en Cuencas de Salares La Isla, Aguilar, Gorbea y Las Parinas” se entrega el detalle de las unidades geológicas a nivel regional.

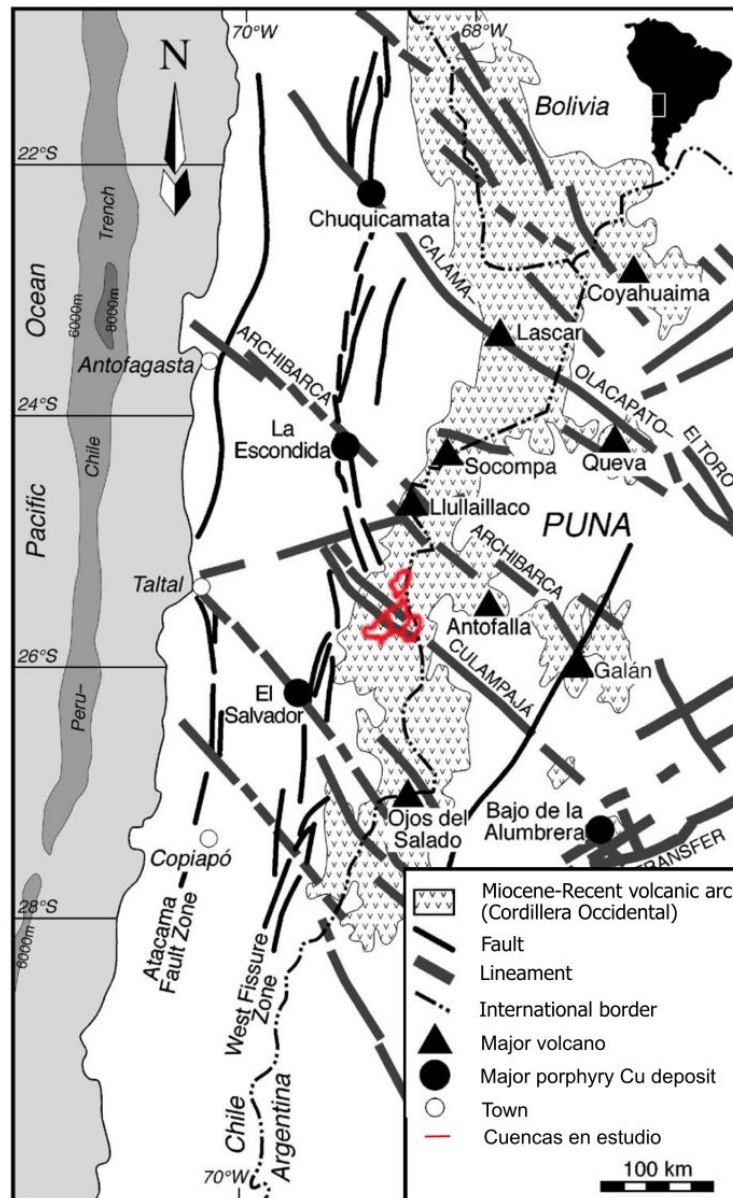


**Figura 2-2:** Mapa geológico regional, escala 1:100.000. Fuente: Naranjo et al., 2013 (a, b) SERNAGEOMIN.

### 2.2.1 Geología estructural

El Altiplano-Puna es una región que se caracteriza por múltiples sistemas de fallas de orientación NS y NNO (Figura 2-3), profundos y de carácter translitosféricos que los relacionan directamente con el alzamiento del *plateau* altiplánico. Estos sistemas favorecieron la reactivación periódica acompañada de eventos tectónicos-magmáticos. De acuerdo con estos sistemas regionales se pueden identificar diferentes dominios morfoestructurales, destacando en el área de interés dos dominios.

- El dominio occidental, que comprende la Cordillera de Domeyko y está caracterizado por la presencia de gravas y conglomerados de piedemonte, producto de la erosión de los depósitos paleozoicos alzados. Este dominio se forma a partir de la inversión de un orógeno de elongación N-S sometido a un acortamiento E-O, controlado por fallas extensionales del mesozoico invertidas de rumbo NNE-SSO.
- El dominio oriental, que se caracteriza por estar cubierto, e incluye, el arco volcánico cenozoico, el cual se generó a partir de cámaras magmáticas y conductos formados en espacios estructurales conjugados en relación con las estructuras inversas compresivas.

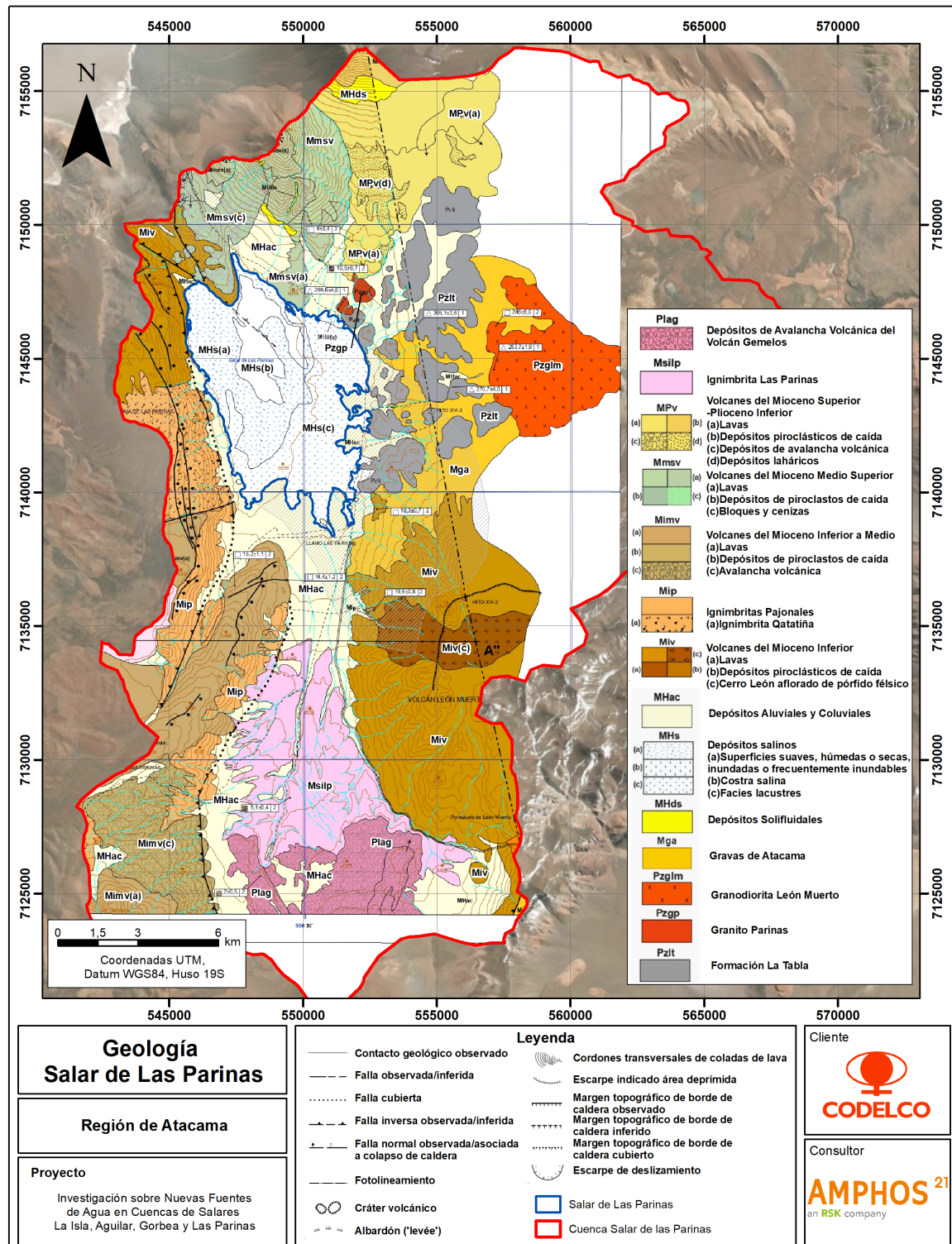


**Figura 2-3:** Principales fallas y lineamientos a escala regional Chile-Argentina. Fuente: Extraído y modificado de Chernicoff et al., 2002.

## 2.3 Geología local

La cuenca Salar de Las Parinas se encuentra comprendida entre las coordenadas 7.120.566 m – 7.156.446 m Norte y 542.951 m – 568.187 m Este. Presenta una altitud media aproximada de 4.780 m s.n.m. y ocupa una superficie aproximada de 614 km<sup>2</sup>. La geología superficial de esta cuenca se presenta en la Figura 2-4.





**Figura 2-4:** Mapa geológico de la cuenca Salar de Las Parinas, basado en la carta geológica Áreas Salar de Aguilar y Portezuelo de León Muerto de Naranjo et al., 2013a.

A continuación, se presenta la definición de las unidades geológicas presentes en la cuenca:

### **2.3.1 Basamento del arco volcánico**

#### **Pzlt, Formación La Tabla (Paleozoico superior)**

Tobas soldadas, pórfidos riolíticos y lavas macizas riodacíticas, de colores morado, gris verdoso y anaranjado. Las lavas son porfídicas con cuarzo, feldespato potásico, plagioclasa y biotita. Tobas líticas con cristales en forma de fiammes y texturas axiolíticas.

Se distribuyen al este del salar donde subyacen a las Gravas de Atacama (Mga) y son intruidos por el Plutón Parinas (Pzgp) y León Muerto (Pzglm). Están cubiertos por depósitos aluviales y coluviales (MHac).

#### **Pzgp, Granito Parinas (Pérmico)**

Definido por Naranjo y Cornejo (1992) como Plutón Parinas. Se trata de un pórfido monzogranítico rosáceo, de textura porfídica gruesa y micrográfica, con fenocristales de feldespato potásico y plagioclasa y relictos de biotita y circón.

Aflora al este del salar y presenta un contacto gradual con los pórfidos riodacíticos y volcanitas de la Formación La Tabla (Pzlt). Se encuentra cubierto por los Volcanes del Mioceno superior-Plioceno inferior (Mpv), y depósitos aluviales y coluviales (MHac).

#### **Pzglm, Granodiorita León Muerto (Pérmico superior)**

Definido por Naranjo y Cornejo (1992) como Plutón León Muerto, corresponde a una granodiorita leucocrática equigranular de grano grueso de biotita y anfíbol, plagioclasa y cuarzo, con escaso feldespato potásico. Incluye facies tonalíticas porfídicas grisáceas de grano más fino. Aflora el este del salar donde intruye a la Formación La Tabla (Pzlt) y es cubierta por las Gravas de Atacama (Mga).

### **2.3.2 Depósitos y rocas estratificadas**

#### **Miv, Volcanes de Mioceno inferior**

Conjunto de estratovolcanes, secuencias de lavas y piroclastos estratificados, moderada a intensamente erosionados. Depósitos de pórfidos félsicos de grano medio, pardos verdosos.

Se distribuyen al SE y NO del salar, subyacen a las Gravas de Atacama (Mga) y discordantemente a los Volcanes del Mioceno medio a superior (Mmsv) y depósitos aluviales y coluviales (MHac).

#### **Mip, Ignimbritas Pajonales (Mioceno inferior a medio)**

Tobas dacíticas de cenizas y cristales comúnmente rosáceas, moderada a débilmente soldadas, con plagioclasa, biotita, anfíbol, piroxeno y flujos ricos en pómez y líticos. Incluye la Ignimbrita Qatatiña en el este del salar, que corresponde a un nivel basal empobrecido en finos y rico en líticos polimícticos tamaño bloque y bombas juveniles.

Afloran al ESE del salar, sobreyacen a las Ignimbritas Río Frío (Mirf) y Volcanes del Mioceno Inferior (Miv), infrayacen con lavas y estructuras de los Volcanes del Mioceno inferior a medio (Mimv) e Ignimbritas Salar Grande (Mmisg) y discordantemente a depósitos aluviales y coluviales (MHac).

#### **Mimv, Volcanes del Mioceno inferior a medio**

Estratovolcanes medianamente erosionados, lavas porfídicas y brechas con morfologías superficiales parcialmente preservadas. Lavas andesíticas de piroxeno y daciandesitas de hornblenda.

Se extienden por el sector SO del salar, están cubriendo a las Ignimbritas Pajonales (Mip) y subyacen a las Gravas de Atacama (Mga) y los depósitos aluviales y coluviales (MHac).

#### **Mmsv, Volcanes del Mioceno medio a superior**

Estratovolcanes compuestos, que presentan un grado de erosión débil a mediano, representan edificios volcánicos con calderas de avalancha y estructura de domos. Localmente, las lavas de esta unidad sobreyacen a depósitos ignimbríticos de las unidades Río Frío (Mirf) y Pajonales (Mip).

#### **MPv, Volcanes del Mioceno superior-Plioceno inferior**

Estratovolcanes y conos de escoria de dimensiones pequeñas, bien preservados, compuestos de lavas voluminosas medianamente porfídicas, andesíticas y dacíticas, ocasionalmente andesitas basálticas. Depósitos laháricos dendríticos. Depósitos piroclásticos de bloques y cenizas andesíticos.

Distribuidas hacia el norte del salar, sobreyacen de forma discordante a los Volcanes del Mioceno inferior (Miv) y puntualmente a las Ignimbritas Río Frío (Mirf) y cubren a la Formación La Tabla



(Pzlt) y la Granodiorita León Muerto (Pzglm), además subyacen a los depósitos aluviales y coluviales (MHac).

### **Msilp, Ignimbrita Las Parinas (Mioceno Superior)**

Depósito ignimbrítico de toba de cenizas rosáceas a pardo claro, ricas en líticos y pómez, hacia su extensión norte presenta color blanquecino y un empobrecimiento de pómez y líticos, enriqueciéndose en matriz y cristales.

Distribuidas al sur del salar, cubren las lavas de los Volcanes de Mioceno inferior (Miv), las Ignimbritas Pajonales (Mip) y a los Volcanes del Mioceno inferior a medio (Mimv) e infrayacen los depósitos aluviales y coluviales (MHac).

### **Plag, Depósitos de Avalancha Volcánica del Volcán Gemelos (Pleistoceno inferior)**

Estos depósitos se conforman de bloques y bombas de andesitas y dacitas, frescas y oxidados. Se distribuyen en el sector sur de la cuenca en estudio y se emplazan sobre depósitos de la Ignimbrita Las Parinas (Msilp).

## **2.3.3 Depósitos no consolidados**

### **MHds, Depósitos Solifluidales (Pleistoceno-Holoceno)**

Depósitos asociados a procesos de solifluxión que forman cordones sinuosos y lóbulos métricos que se han desarrollado principalmente sobre depósitos piroclásticos de caída y aluviales-coluviales.

Se distribuyen localmente hacia el norte del salar en las cercanías del Volcán Parinas y hacia el este en el Volcán Colorado.

### **Mga, Gravas de Atacama (Oligoceno - Mioceno)**

Depósitos de gravas y bolones, con matriz de arena, mal seleccionados, desde redondeados hasta angulosos, generalmente no consolidados, aunque ocasionalmente cementados por carbonatos y sulfatos, con clastos principalmente del basamento.

Se distribuyen al este del salar, sobreyaciendo al basamento paleozoico y subyaciendo a los Volcanes del Mioceno inferior (Miv). Además, las gravas de atacama se encuentran parcialmente cubiertas por depósitos aluviales y coluviales (MHac).

**MHac, Depósitos Aluviales y Coluviales (Pleistoceno-Holoceno)**

Corresponden a bloques, gravas, arenas y limos, no consolidados. Generalmente no tienen estratificación, a excepción de los sedimentos finos.

Los depósitos aluviales son polimícticos y de mala selección, y corresponden a materiales que han descendido por quebradas generando abanicos aluviales al extenderse en zonas abiertas no encajonadas, y se reconocen principalmente en los bordes del salar. Los depósitos coluviales corresponden a materiales producidos por procesos gravitacionales, distribuyéndose en escarpes, quebradas y cerros, se caracterizan por ser de carácter monomícticos y angulosos.

La unidad MHac se distribuye ampliamente en la cuenca y sobreyace a la mayoría de las unidades.

**MHs, Depósitos salinos (Pleistoceno-Holoceno)**

Depósitos evaporíticos finos y sedimentos finos, ubicados en la parte central de la cuenca, los cuales se distribuyen en dirección NO-SE.

De acuerdo con lo propuesto por Stoertz y Ericksen (1974) y en conjunto con el estudio de imágenes satelitales, Naranjo et al. (2013) reconoce tres facies texturales superficiales de los depósitos salinos:

(a) Superficies suaves, húmedas o secas, inundadas o frecuentemente inundables compuestas por halita y otros minerales provenientes de las costras salinas adyacentes en períodos de inundación, los que luego son depositados y forman una superficie suave. Las áreas frecuentemente inundables se producen en general, por elevación del nivel freático y muestra un predominio de cloruros (halita) sobre precipitados de sulfatos.

(b) Costra salina, compuesta principalmente de halita, generalmente presenta una superficie rugosa con abundantes cavidades, facilitando la circulación de fluidos o la ocurrencia de lagunas de salmuera.

(c) Facies lacustres, compuestas por intercalación de sedimentos acumulados en el fondo de antiguas lagunas de salmuera y costas de las actuales.

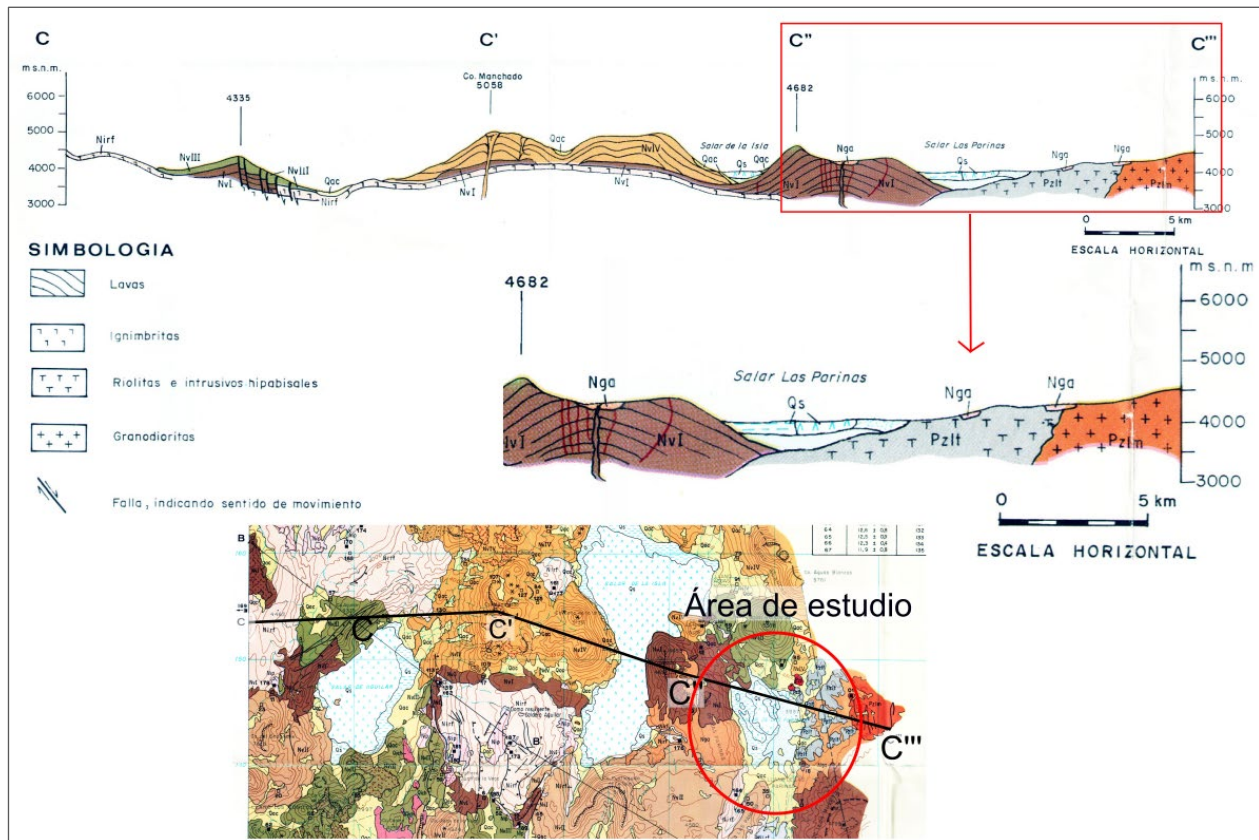
Particularmente, en el borde oriental del salar de Las Parinas se reconocen depósitos de yeso de hasta 30 m de espesor y bancos salinos, intercalados en Gravas de Atacama que representan paleoniveles de una cuenca salina ancestral (Naranjo et al., 2013).

Cádiz (2019) realiza una comparación entre el modelo de zonación química propuesto por Hardie y Eugster (1970) y observaciones de terreno en el salar de Las Parinas, evaluando su aplicabilidad en sistemas evaporíticos. En particular, el modelo establece que la evaporación progresiva del agua genera una concentración gradual de sus componentes disueltos, lo que resulta en la precipitación de una secuencia de minerales, siguiendo un orden creciente de sus solubilidades. De esta forma se desarrolla una zonación característica, un horizonte externo de carbonatos que varía a sulfatos y cloruros hacia el centro del salar. En este caso, se identificaron horizontes con predominio de cloruros en el sector norte del salar y zonas de menor concentración en zonas periféricas, al sur del salar.

En la Figura 2-5 se presenta un perfil geológico obtenido a partir la Hoja Salar de la Isla, elaborada por SERNAGEOMIN en 1992 (Naranjo et al., 1992). El perfil representa una sección (C – C'') de orientación ONO – ESE, cuya traza abarca el sector norte de la cuenca, interceptando el extremo septentrional del Salar de Las Parinas (Qs)<sup>1</sup>. Además, en la Figura 2-5 se delimita mediante un círculo rojo el área correspondiente al salar en estudio, el cual se emplaza sobre el basamento constituido de granodioritas e ignimbritas.

---

<sup>1</sup> Las unidades geológicas identificadas en el perfil geológico C-C'' como Qs, Nga y Nvl (Naranjo et al., 1992) corresponden, respectivamente, a las unidades geológicas MHs, Mga y Miv definidas por Naranjo et al. (2013a).

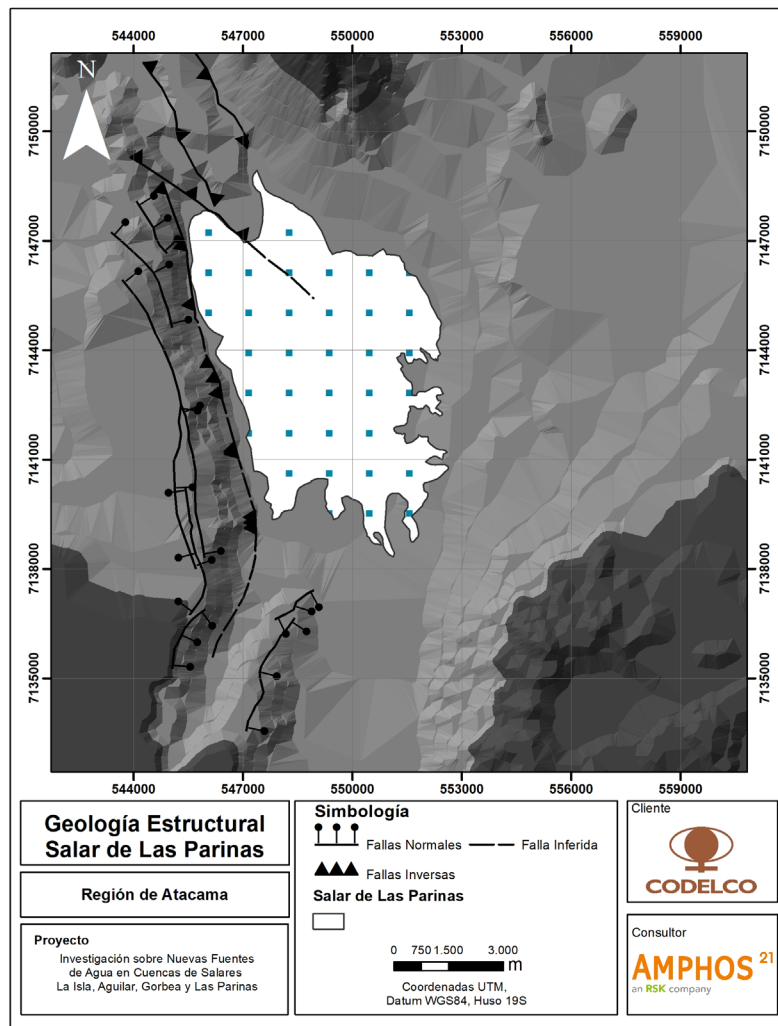


**Figura 2-5:** Perfil geológico C-C'''. Fuente: Modificado Hoja Salar de La Isla, SERNAGEOMIN, 1992 (Naranjo et al., 1992).

### 2.3.4 Estructuras

En la Figura 2-6 se identifica un sistema de fallas localizado en el sector norte del salar de Las Parinas. Este sistema está conformado por una falla inversa de orientación NO-SE, la cual se infiere que intercepta de manera acotada el extremo septentrional del salar, además de un conjunto de fallas inversas de orientación NNO.

Adicionalmente, se reconoce un sistema de fallas normales de orientación N-S que afectan el flanco occidental del salar, asociadas a la parte alta de los escarpes, particularmente en el sector correspondiente a las ignimbritas.



**Figura 2-6:** Sistemas de fallas locales de orientación NS y NNO en el salar de Las Parinas. Fuente: Información extraída de Naranjo et al, 2013a.

## 2.4 Geofísica

El levantamiento de perfiles TEM permite caracterizar la resistividad de las unidades litológicas, la cual se ve influenciada por el grado de fracturación, el nivel de alteración y tipo de fluido que contienen las rocas y/o sedimentos. Estos factores han sido considerados durante la interpretación de los resultados geofísicos.

Dada la naturaleza del método y su resolución, la interpretación se ha enfocado principalmente en las zonas más someras (menores a 200 m de profundidad), dado que la capacidad de resolución disminuye a mayores profundidades.

En este contexto, y a partir de la interpretación de los cuatro perfiles TEM, presentados entre la Figura 2-7 y la Figura 2-10, se han identificado cinco unidades geoeléctricas (UG). A continuación, se describe cada una:

- Unidad geoeléctrica 1 (UG-1): Esta unidad presenta resistividades menores a 1 Ohm-m, y se identifica en los primeros metros de los perfiles LP-01 (Figura 2-7) y LP-02 (Figura 2-8), con espesores menores a 5 m. Asimismo, en el perfil LP-02 se identifica un nivel profundo asociado a la UG-1, el cual se extiende lateralmente a lo largo de 800 m.

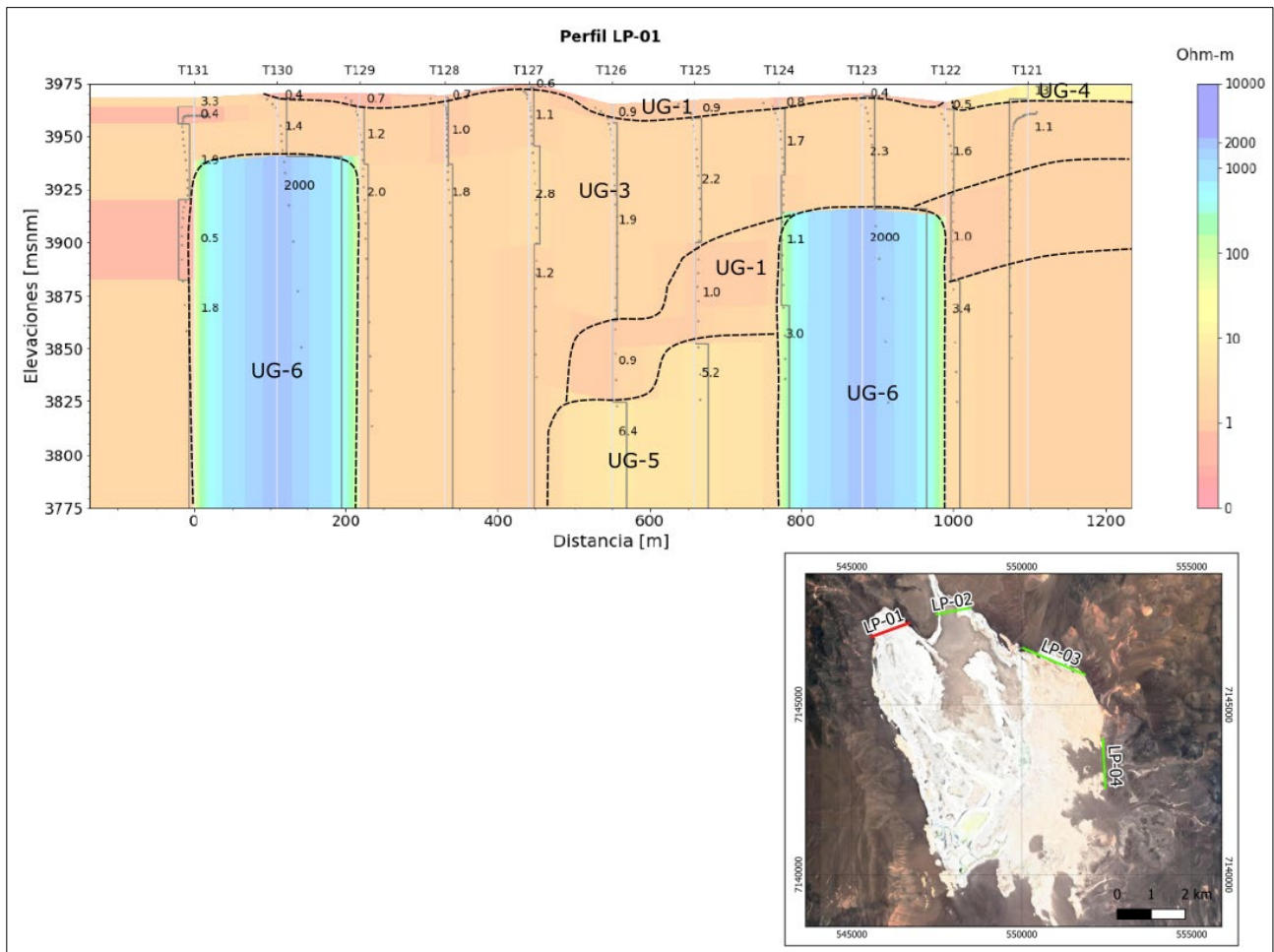
De acuerdo con los perfiles TEM analizados por Amphos 21 y calibrados con sondajes en salares de las cuencas Alto – Andinas y cuenca Salar de Atacama (Amphos 21, 2018), se ha observado que dichos valores de resistividad suelen indicar sectores con salmuera presente en la costra de halita superior o sedimentos finos saturados en salmuera (limos y/o arcillas). Los últimos, también pueden ser encontrados bajo una capa de evaporitas (Figura 2-8) y sobre el basamento rocoso, separado por un nivel de roca fracturada que actúa como zona de transición o *buffer*.

- Unidad geoeléctrica 2 (UG-2): Esta unidad se dispone predominantemente de forma subparalela a la superficie y presenta resistividades mayores a 40 Ohm-m, alcanzando valores máximos de hasta 560 Ohm-m, tal como se observa en el perfil LP-04 (Figura 2-10). En dicho perfil, la UG-2 presenta un espesor aproximado de 30 m en el sector oeste, el cual aumenta gradualmente hacia el este, donde alcanza espesores del orden de los 70 m. Esta unidad geoeléctrica se interpreta como un depósito seco constituido por gravas, arenas y limos.
- Unidad geoeléctrica 3 (UG-3): Esta unidad se reconoce en los perfiles emplazados sobre el margen del salar, y tiene una relación de interdigitación con la UG-1, evidenciada por la variabilidad en su disposición vertical. En los perfiles LP-01 y LP-02 se dispone subyaciendo a la UG-1, mientras que en el perfil LP-03 se encuentra por sobre dicha

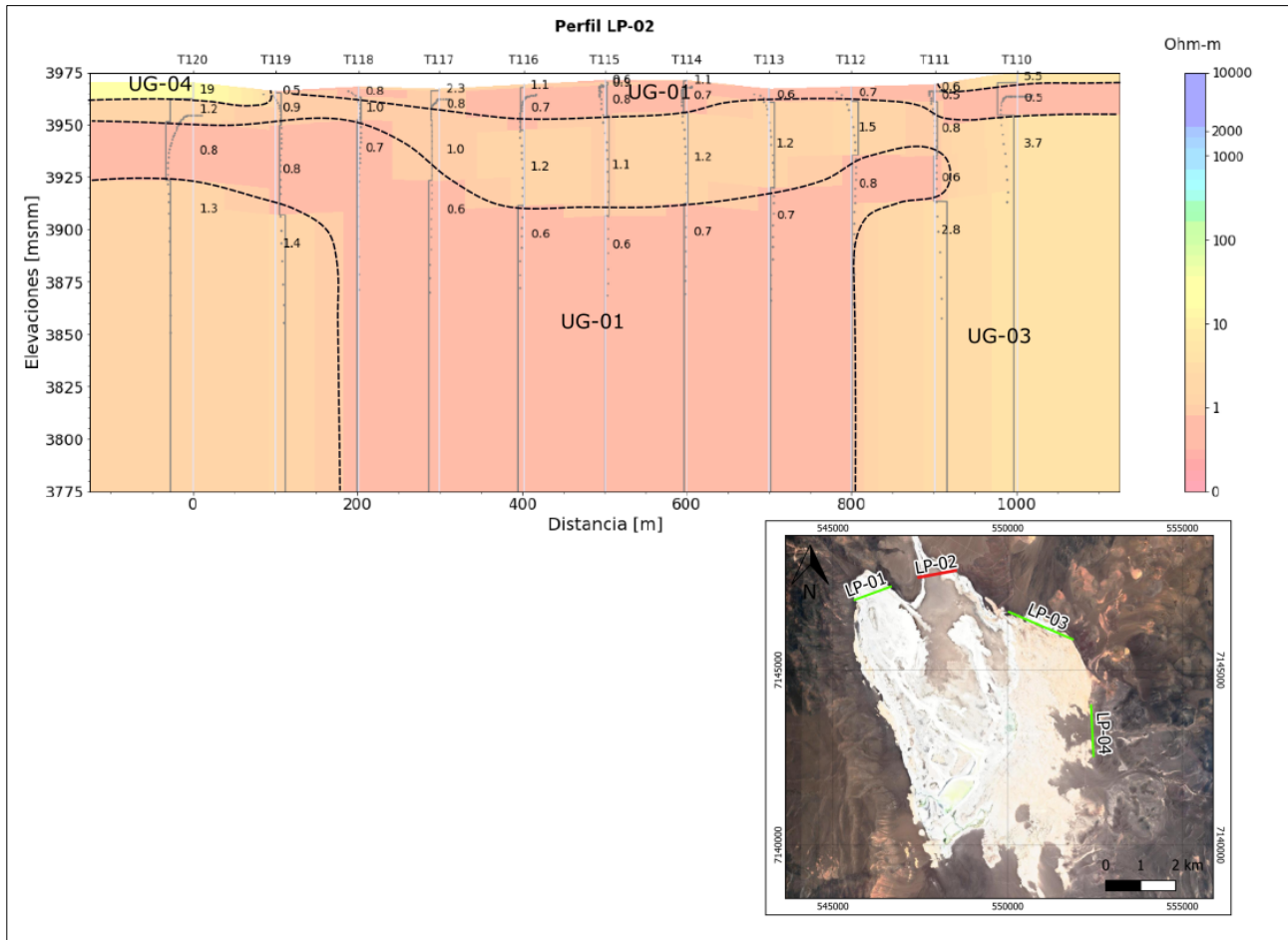


unidad. Se caracteriza por presentar resistividades entre 1 – 5 Ohm-m y se interpreta como una unidad conformada por gravas y arenas saturado en salmuera.

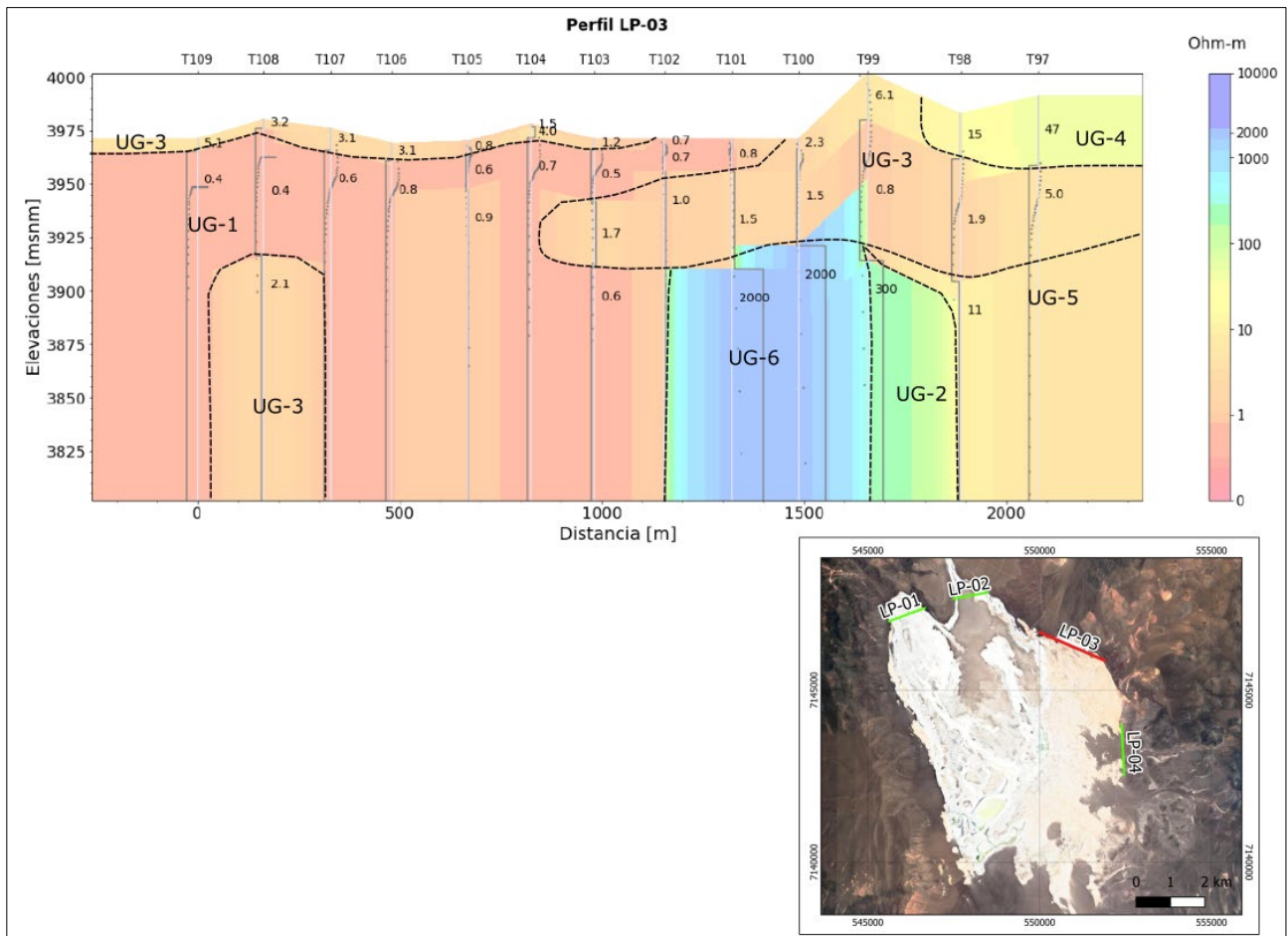
- Unidad geoelectrica 4 (UG-4): Su mayor desarrollo se encuentra subyaciendo a la UG-2, como se observa en el perfil LP-04 (Figura 2-10) y presenta resistividades entre 15 – 40 Ohm-m y un espesor variable entre 3 y 70 metros aproximadamente, el cual aumenta gradualmente hacia el este del perfil. Además, se identifica en los primeros metros del perfil LP-03 (Figura 2-9), donde alcanza un espesor de 30 m. Lo anterior, se interpreta como un depósito aluvial y coluvial saturado en agua dulce a salobre.
- Unidad geoelectrica 5 (UG-5): Esta unidad se ha interpretado en los perfiles LP-04 (Figura 2-10), LP-03 (Figura 2-9) y LP-01 (Figura 2-7) con resistividades entre 3 – 15 Ohm-m. Además, la UG-5 se ha observado en el salar de La Isla, a partir de perfiles SmarTEM y sondeos (Amphos 21, 2025). La UG-5 presenta un espesor menor a 100 m, y se interpreta como roca volcánica fracturada o porosa saturada en salmuera.
- Unidad geoelectrica 6 (UG-6): Esta unidad presenta resistividades en torno a 2.000 Ohm-m y se reconoce como alzamientos geológicos localizados en los perfiles LP-01 (Figura 2-7) y LP-03 (Figura 2-9). En contraste, en el perfil LP-04 (Figura 2-10), la UG-4 se extiende en gran parte de la base. Se interpreta como rocas volcánicas impermeables (basamento).



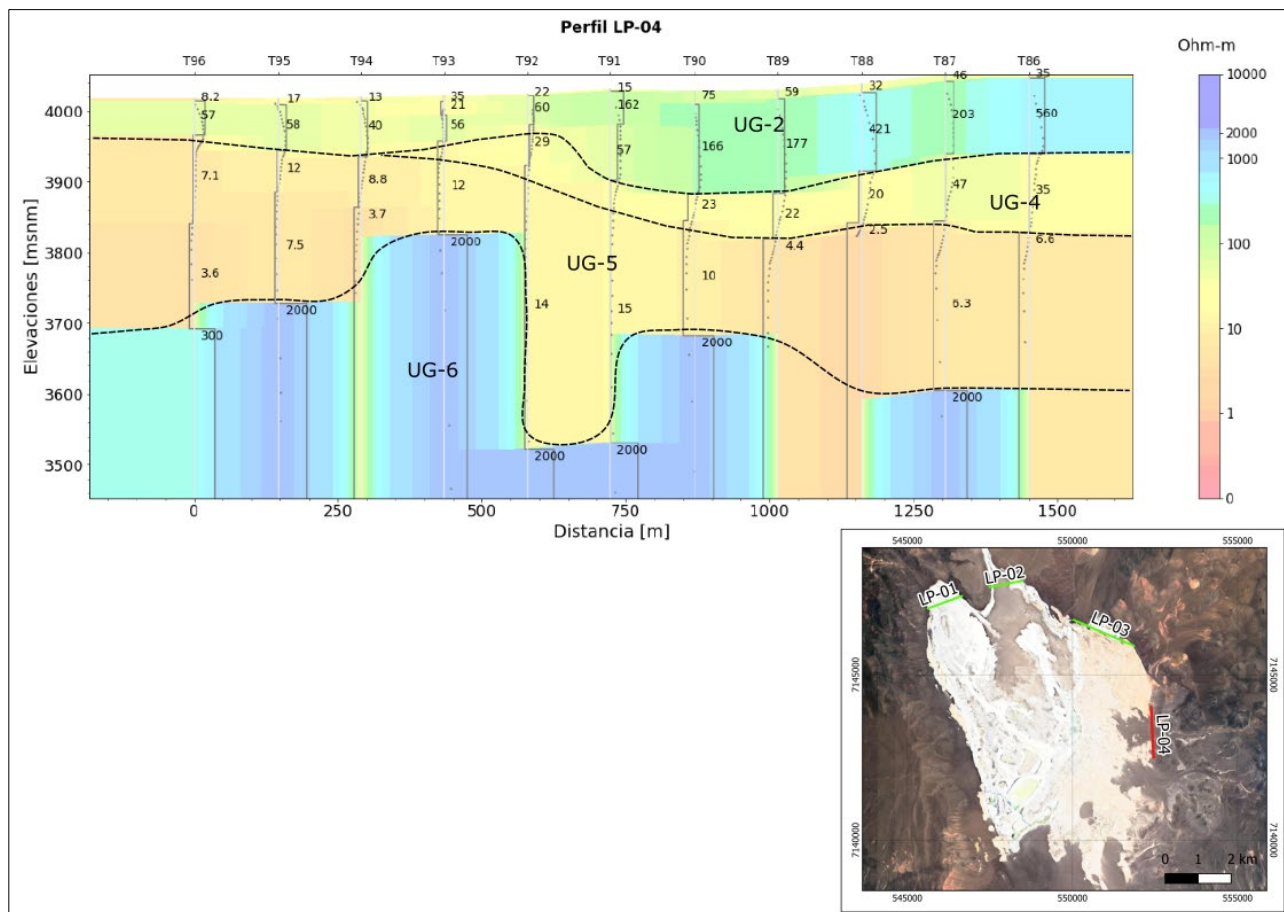
**Figura 2-7:** Perfil LP-01 TEM. Fuente: Modificado de Subterránea, 2023.



**Figura 2-8:** Perfil LP-02 TEM. Fuente: Modificado de Subterránea, 2023.



**Figura 2-9:** Perfil LP-03 TEM. Fuente: Modificado de Subterránea, 2023.



**Figura 2-10:** Perfil LP-04 TEM. Fuente: Modificado de Subterránea, 2023.

### 3 Caracterización del sistema hidrogeológico

#### 3.1 Unidades Hidrogeológicas

La definición y caracterización de las unidades hidrogeológicas<sup>2</sup> (UHs) se ha realizado considerando los siguientes elementos:

- Geología superficial reportada en la carta geológica Áreas Salar de Aguilar y Portezuelo de León Muerto (Naranjo et al., 2013).
- Interpretación de los perfiles geofísicos disponibles (método TEM).

De acuerdo con lo anterior, se evidencia que la información disponible en profundidad se concentra principalmente en el margen del salar. Por lo tanto, esta ha sido complementada con referencias bibliográficas, así como también antecedentes de terceros obtenidos de salares ubicados en el entorno.

A partir de la información disponible, se han inferido cuatro unidades hidrogeológicas en el área de estudio, cuya distribución y características varían en función de la litología predominante esperada.

##### 3.1.1 Unidad Hidrogeológica 1 (UH-1)

La Unidad Hidrogeológica 1 (UH-1) se correlaciona con las capas más superficiales de la unidad de depósitos salinos del Pleistoceno-Holoceno (MHs) presentada en la carta geológica, incluyendo a las evaporitas del núcleo del salar y marginales, los cuales se reconocen en la zona topográfica más baja de la cuenca, sobreyaciendo al resto de las unidades hidrogeológicas.

A partir de los perfiles TEM, es posible asociar esta unidad a resistividades menores a 1 Ohm-m, identificadas en los primeros metros de los perfiles TEM LP-01 y LP-02 y con espesores variables de 18 m aproximadamente. Estos valores se interpretan como sedimentos finos saturados en salmuera asociados a la unidad MHs y que son consistentes con la UG-1.

---

<sup>2</sup> Estas unidades hidrogeológicas podrán ser actualizadas una vez se realicen los sondeos hidrogeológicos considerados dentro de los compromisos establecidos.



Estudios previos realizados en el salar de Atacama, en el cual se ejecutaron tres pruebas de bombeo en un pozo perforado en la unidad de aluviales y depósitos salinos, permitieron estimar un rango de conductividad hidráulica entre 6 y 100 m/d para la UH-1.

### **3.1.2 Unidad Hidrogeológica 2 (UH-2)**

La Unidad Hidrogeológica 2 (UH-2) se correlaciona con los depósitos aluviales y coluviales (MHac) correspondientes a bloques, gravas, arenas y limos, reconocidos en la carta geológica, los cuales afloran en los márgenes del Salar, y rellenan preferentemente las quebradas, desarrollando abanicos aluviales al alcanzar las planicies.

Esta unidad se encuentra en superficie, excepto el área emplazada por el salar. De acuerdo con la información de los perfiles TEM, la UH-2 se correlaciona en superficie con la UG-2 con resistividades mayores a 40 Ohm-m, indicando zonas donde el depósito aluvial se encuentra seco. A su vez, en profundidad se asocia a dos unidades geoeléctricas: la UG-3 con valores de resistividad entre 1 y 5 Ohm-m, que representa zonas de sedimento fino saturado en salmuera, y la UG-4 con resistividades entre 15 y 40 Ohm-m que se interpreta como zonas donde predomina la grava y arena, en condición saturada en agua dulce a salobre.

Teniendo en consideración los materiales que constituyen a la UH-2, a partir de información bibliográfica se estima una conductividad hidráulica entre 0,1 a 100 m/d (Custodio y Llamas, 1996), cuyos valores podrían acotarse en función de los próximos estudios que se ejecutarán en el sector.

### **3.1.3 Unidad Hidrogeológica 3 (UH-3)**

La Unidad Hidrogeológica 3 (UH-3) corresponde a secuencias de rocas volcánicas porosas y/o fracturadas, las cuales se encuentran representadas por los depósitos y rocas estratificadas del Mioceno – Plioceno, ubicadas adyacentes a la cuenca (Miv, Mip, Mimv, MPv, y Msilp), los cuales se encuentran caracterizadas en la geología local.

Esta unidad se encuentra subyaciendo a la unidad de depósitos no consolidados (UH-2), y ha sido correlacionada con la UG-5, la cual se asocia a resistividades entre 3 y 15 Ohm-m, señalando que la UH-3 presenta zonas saturadas en agua salobre y salmuera. Estas condiciones pueden estar controladas por permeabilidad primaria de la matriz de roca o por permeabilidad secundaria asociada al fracturamiento.

Se presume de su existencia debido a las condiciones geológicas de una cuenca endorreica, donde el flujo de agua converge hacia el centro de la cuenca. De esta forma, las unidades geológicas que conforman el basamento del arco volcánico desarrollan una capa más meteorizada en los primeros metros. Además, y de forma complementaria, en el salar de La Isla se ha registrado una zona de transición hacia el basamento, constituida de una secuencia de rocas volcánicas con resistividades en un rango similar a lo observado en la UH-3, que podría correlacionarse con lo existente en el salar de Las Parinas.

En base a referencias bibliográficas, en particular Freeze and Cherry (1979) y pruebas de bombeo realizadas en la cuenca Salar de Gorbea, se propone un rango de conductividad hidráulica entre 0,01 a 2 m/d, dicha variabilidad se asocia a sectores de alta presencia de fracturas, en los que se podrían generar valores de permeabilidad elevados.

#### 3.1.4 Unidad Hidrogeológica 4 (UH-4)

La Unidad Hidrogeológica 4 (UH-4) corresponde al basamento de la cuenca, y se encuentra subyaciendo al resto de las unidades hidrogeológicas mencionadas. En superficie, cubre una gran parte de la cuenca y se asocia con las rocas volcánicas e intrusivas, identificadas en la carta geológica como Pzlt, Pzgp y Pzglm.

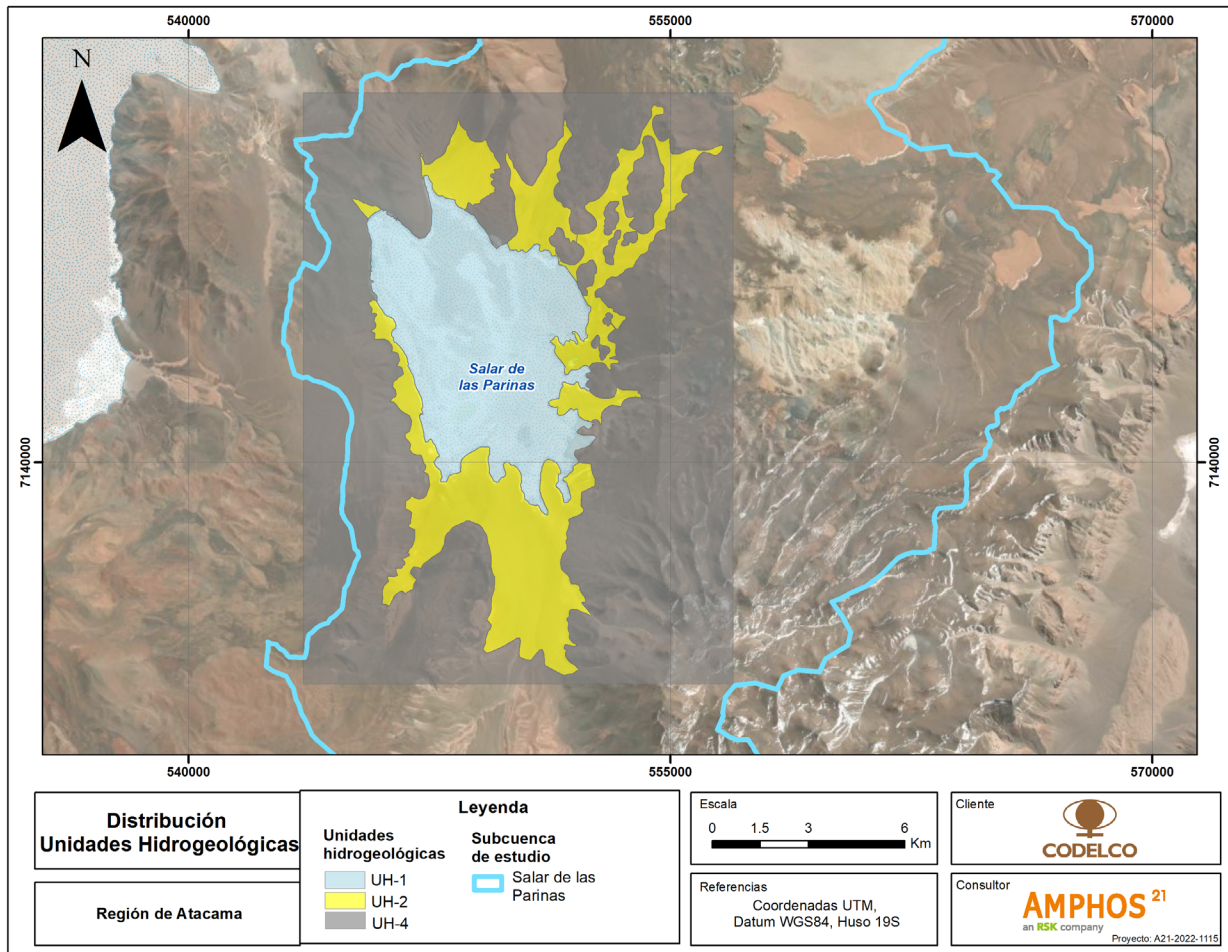
Esta unidad se ha identificado en los perfiles TEM donde se asocia a valores de resistividad cercanos a 2.000 Ohm-m. En términos hidrogeológicos, corresponde a una unidad sin recursos de agua subterránea.

En la Tabla 3-1 se muestra un resumen de las unidades hidrogeológicas y los parámetros hidráulicos de la cuenca Salar de Las Parinas.

**Tabla 3-1:** Resumen de unidades hidrogeológicas.

| Unidad Hidrogeológica | Litología principal                                                                  | Conductividad hidráulica (m/d) |
|-----------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------|
| UH-1                  | Depósitos evaporíticos (costra salina) y relleno sedimentario con presencia de sales | 6 – 100                        |
| UH-2                  | Depósitos aluviales y coluviales                                                     | 0,1 – 100                      |
| UH-3                  | Secuencia de rocas volcánicas fracturadas                                            | 0,01 – 2                       |
| UH-4                  | Secuencia de rocas volcánicas impermeables                                           | -                              |

La Figura 3-1 ilustra el mapa hidrogeológico de la cuenca Salar de Las Parinas.



**Figura 3-1:** Mapa hidrogeológico de la cuenca Salar de Las Parinas. Fuente: Elaboración propia.

### 3.2 Geometría 3D de las unidades hidrogeológicas

La geometría y distribución de las UHs en superficie se ha construido en base a la geología superficial de la cuenca Salar de Las Parinas, obtenida a partir de la carta geológica Salar de Aguilar y Portezuelo de León Muerto, escala 1:100.000 (Naranjo et al., 2013). En profundidad, se utilizó la información de cuatro perfiles geofísicos TEM (Subterránea, 2023) ubicados en el margen norte y este del salar, cuya interpretación fue interpolada hacia el centro del salar.

En base a lo anterior, se desarrolló un modelo 3D mediante el software Leapfrog Works, el cual se adjunta en el Anexo A, y cuyas unidades hidrogeológicas se exhiben en la Figura 3-2. Dicha geometría representa una interpretación del sistema hidrogeológico del Salar de Las Parinas, por lo que el modelo 3D desarrollado se constituye de unidades hidrogeológicas inferidas, cuya geometría tendría un alto grado de incertidumbre en el interior del salar.

En la Figura 3-3 se muestra una sección transversal al salar de Las Parinas de orientación oeste – este obtenido a partir del modelo 3D. Al respecto, se observa que en la base del modelo se dispone el basamento (UH-4) alcanzando una profundidad estimada de 350 m b.n.t. (equivalente a una cota de 3.650 m s.n.m.) en la zona central de la cuenca. Esta estimación se basa en la interpretación de los perfiles TEM LP-04, LP-03 y LP-01, cuya información fue interpolada desde los márgenes del salar hacia su interior. Cabe señalar que, esta unidad se eleva progresivamente hacia los bordes del salar hasta aflorar en los sectores montañosos donde constituye complejos volcánicos y formaciones intrusivas del Paleozoico.

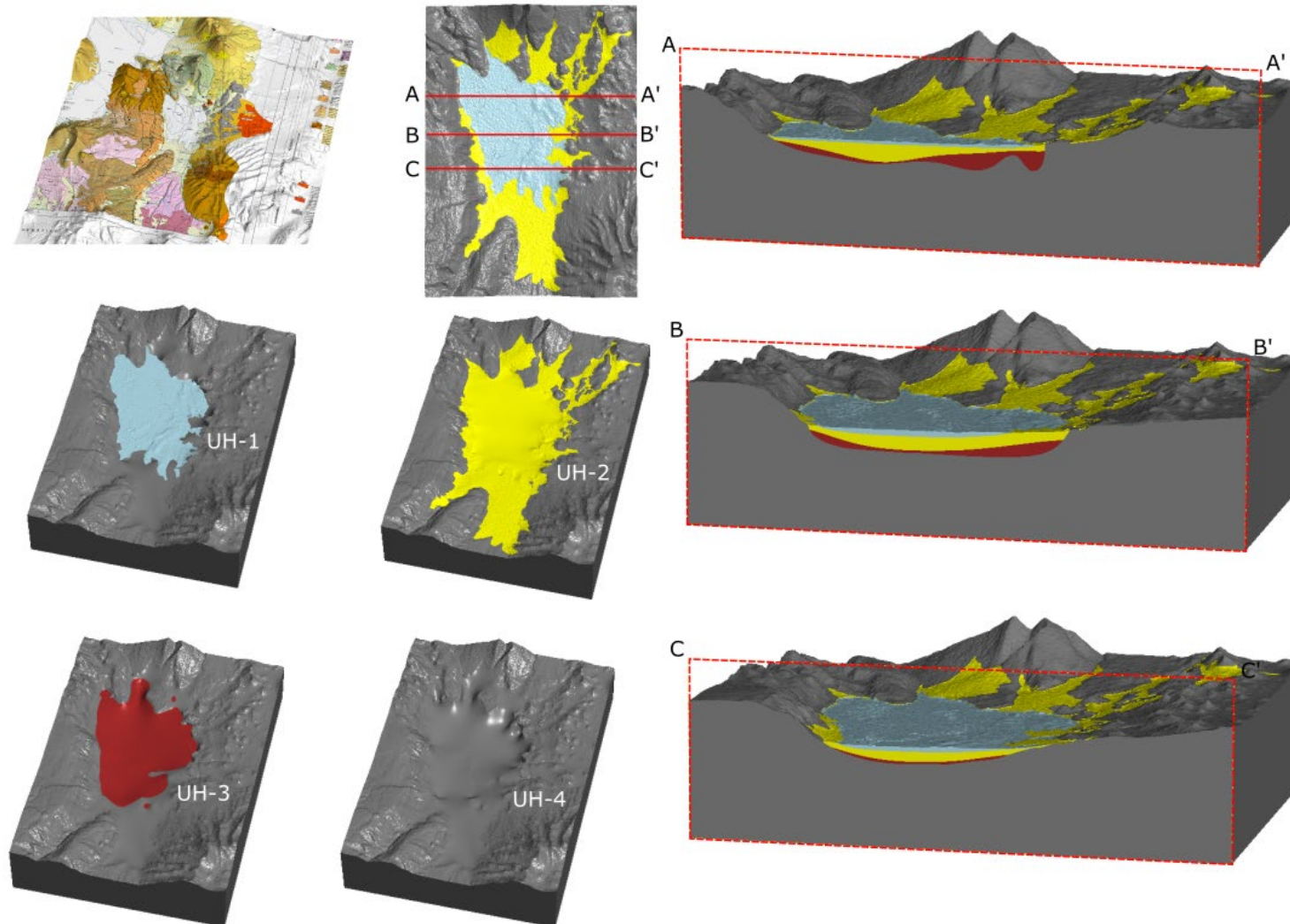
Sobreyaciendo a la UH-4, se encuentra la unidad de rocas fracturadas (UH-3), con espesores variables y que puede alcanzar una potencia de 160 m en la zona central del salar. Cabe destacar que esta unidad no se identifica en superficie, sin embargo, se interpreta a partir de los perfiles TEM LP-03 y LP-04, donde se asocia a la UG-5 con resistividades entre 3 y 15 Ohm-m. Además, dicha unidad se ha reconocido en estudios realizados en salares adyacentes.

En el nivel estratigráfico superior se identificaron depósitos no consolidados (UH-2), el cual fue construido a partir del depósito MHac presentado en la carta geológica, cuya superficie rellena principalmente quebradas. El espesor de esta unidad fue asignado de acuerdo con lo expuesto en todos los perfiles TEM. En general, en superficie, la UH-2 se relaciona con capas de alta resistividad (mayores a 40 Ohm-m, UG-2), señalando un depósito no consolidado seco, observado en la totalidad de los perfiles. Por su parte, en profundidad, la UH-2 se relaciona con capas de baja resistividad (entre 1 y 5 Ohm-m) que se asocian a las unidades UG-1 y UG-3 (perfiles LP-03 y LP-02), dando cuenta de la presencia de sedimentos finos saturados en salmuera. Así mismo, se identifican sedimentos con resistividades entre 15 a 40 Ohm-m asociados a la UG-4 (depósito aluvial y coluvial saturado en agua dulce a salobre).

Por encima de la UH-2, se identificó la unidad de depósitos salinos (UH-1), cuyos límites en superficie fueron establecidos según la unidad MHs definida en la carta geológica. De acuerdo con lo observado en el perfil LP-02, esta unidad presenta un espesor de 18 m aproximadamente en el margen noroeste del salar. Por su parte, y con la finalidad de conocer el espesor de la UH-1 hacia el interior del salar, se estimó la profundidad de esta unidad en base a un criterio conservador. De esta forma, se modeló un espesor menor a 50 m, dado que el cordón montañoso ubicado al margen del salar presenta pendientes suaves, lo que generaría un espesor reducido del relleno sedimentario, ya que la cuenca se colmataría más rápido. El espesor establecido será robustecido una vez se cuente con nueva información hidrogeológica en terreno, en particular, perforaciones ubicadas en el interior del salar, que permitan reconocer esta unidad en profundidad.

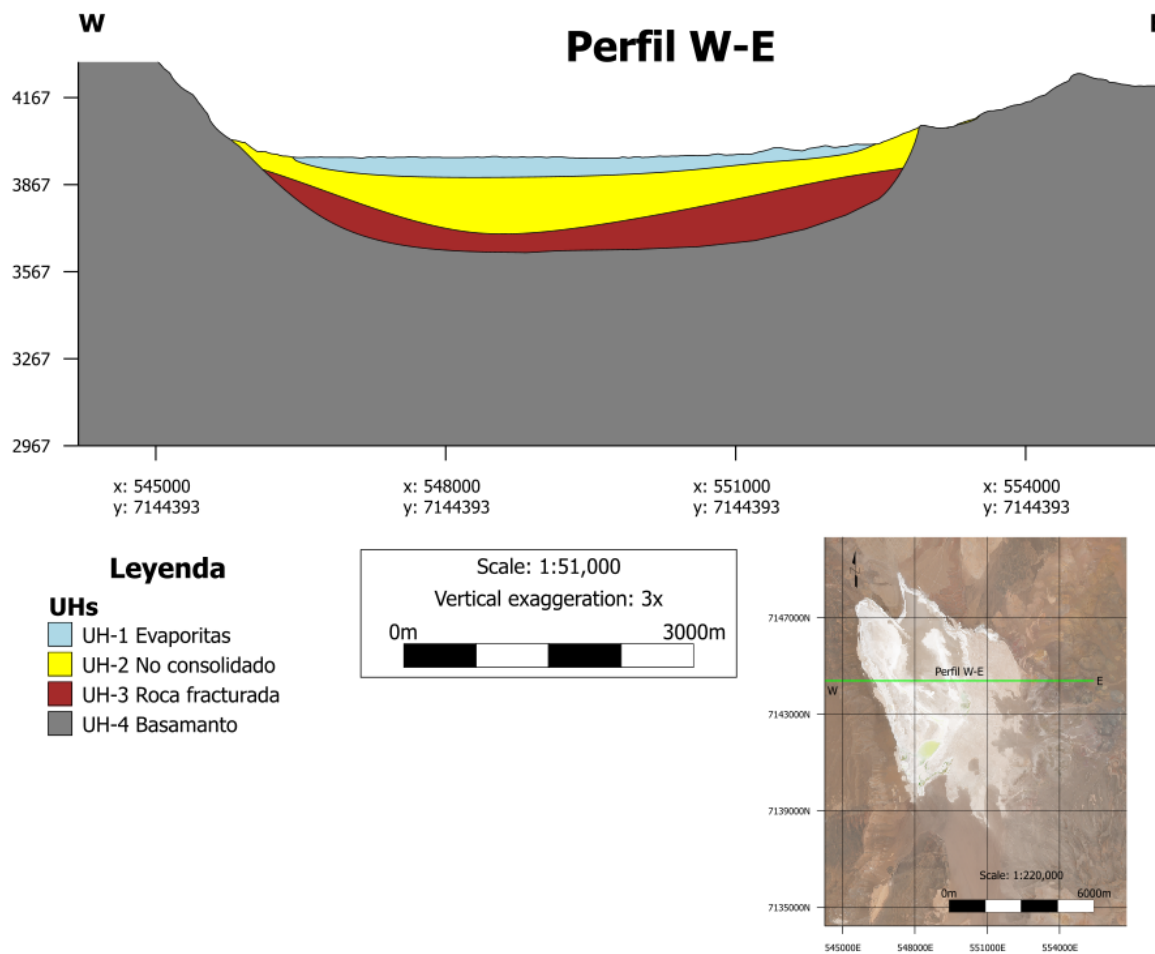
En consecuencia, la geometría estimada debe ser considerada de carácter preliminar, basada en información que fue interpolada considerando el principio de continuidad lateral de las unidades hidrogeológicas. No obstante, estas unidades podrán ser corroboradas, a través, por ejemplo, de la calibración de la geofísica mediante de prospecciones al interior del salar y de generación de más información en terreno.





**Figura 3-2:** Vista Modelo 3D Leapfrog asociados a cada unidad hidrogeológica. Fuente: Elaboración propia.





**Figura 3-3:** Sección transversal orientación W – E. Fuente: Elaboración propia.

## 4 Síntesis

La cuenca Salar de Las Parinas corresponde a un sistema hidrológico de carácter endorreico con una superficie total de 614 km<sup>2</sup> y una altitud aproximada entre 3.811 m s.n.m. y 5.749 m s.n.m. En el depocentro de la cuenca se emplaza el Salar de Las Parinas, formado por un relleno sedimentario acumulado desde el Pleistoceno a la actualidad, el cual se encuentra rodeado del complejo volcánico Cenozoico.

En base al análisis de la geología superficial de la cuenca Salar de Las Parinas y de la interpretación de perfiles de resistividad geofísica TEM, se han estimado cuatro unidades hidrogeológicas que conforman la geometría de la cuenca:

- La unidad hidrogeológica 1 (UH-1), corresponde a los depósitos salinos del Pleistoceno-Holoceno (MHs), incluyendo las evaporitas del núcleo y marginales. Se estima una potencia máxima aproximada de 50 m en el núcleo del salar, la cual se ve reducida hacia el margen del salar. Se estima una conductividad hidráulica entre 6 y 100 m/d.
- La unidad hidrogeológica 2 (UH-2), corresponde a los depósitos aluviales y coluviales (MHac), que aflora principalmente en los márgenes del salar de Las Parinas. Esta unidad presenta resistividades mayores a 40 Ohm-m en zonas donde el depósito aluvial se encuentra seco. Por su parte, en zonas donde el depósito aluvial se encuentra saturado, se identifican valores de resistividad entre 1 y 5 Ohm-m (sedimento fino saturado con salmuera) y valores entre 15 y 40 Ohm-m (grava y arena saturado en agua dulce a salobre). Se estima una conductividad hidráulica entre 0,1 y 100 m/d.
- La unidad hidrogeológica 3 (UH-3), corresponde a una secuencia de rocas volcánicas porosas y/o fracturadas, que representa una zona de transición al basamento, y no ha sido identificado en superficie. En los perfiles TEM se ha identificado con valores de resistividad entre 3 y 15 Ohm-m. Esta unidad presenta valores de conductividad hidráulica entre 0,01 y 2 m/d.
- La unidad hidrogeológica 4 (UH-4), corresponde al basamento impermeable que subyace a las unidades hidrogeológicas anteriores. No obstante, hacia los límites del salar, esta unidad se eleva progresivamente conformando complejos volcánicos y formaciones intrusivas en superficie. Presenta valores de resistividad en torno a 2.000 Ohm-m.

La geometría de la cuenca fue representada mediante un modelo 3D desarrollado en Leapfrog Works. No obstante, dicha representación presenta un grado de incertidumbre en el sector interior del salar de Las Parinas, debido a que la información disponible en profundidad se concentra principalmente en los márgenes del salar. En consecuencia, para la construcción del modelo fue necesario interpolar la información desde los bordes hacia el centro de la cuenca, considerando como referencia los antecedentes observados en salares previamente estudiados por Amphos 21.

Cabe señalar que, la geometría propuesta será posteriormente contrastada y actualizada una vez se ejecuten los sondeos hidrogeológicos contemplados en los compromisos establecidos del proyecto.

## 5 Referencias

- Amphos 21. (2016). Diagnóstico de Disponibilidad Hídrica en Cuencas Alto - Andinas de la Región de Atacama, Fase 3, Cuencas 10, 30, 31 y 32.
- Amphos 21. (2018). Estudio de modelos hidrogeológicos conceptuales integrados, para los salares de Atacama, Maricunga y Pedernales. Etapa III. Informe Final.
- Amphos 21. (2024a). Reporte Geología. Medida H-04: Investigación sobre Nuevas Fuentes de Agua en Cuencas de Salares La Isla, Aguilar, Gorbea y Las Parinas.
- Amphos 21. (2024b). Reporte Campaña Geofísica. Medida H-04: Investigación sobre Nuevas Fuentes de Agua en Cuencas de Salares La Isla, Aguilar, Gorbea y Las Parinas.
- CEPAL. (2010). Salares del Norte de Chile: Potenciales fuentes de litio. Santiago.
- Cádiz, N. (2019). Hidrogeología y estimación del potencial del litio en el Salar de Las Parinas, Región de Atacama. Memoria para optar al título de geólogo, Universidad de Chile.
- Chernicoff, Carlos & Richards, Jeremy & Zappettini, Eduardo. (2002). Crustal lineament control on magmatism and mineralization in northwestern Argentina: Geological, geophysical, and remote sensing evidence. Ore Geology Reviews - ORE GEOL REV. 21. 127-155. 10.1016/S0169-1368(02)00087-2.
- Codelco. (2021). Avenimiento y Transacción Consejo Defensa del Estado. Rol D-7-2020.
- Custodio, E. & Llamas M. (1996). Hidrología Subterránea. Tomo I. Segunda edición.
- Dirección General de Aguas. (2015). Anexo cartográfico del nuevo inventario de cuencas hidrográficas (DARH), formato shapefile. Ministerio de Obras Públicas, Chile.
- Freeze, R., & Cherry, J. (1979). Groundwater. Englewood Cliffs, NJ, Prentice-Hall, 604 p.
- Hardie, L.A.; Eugster, H.P. (1970). The Evolution of Closed-Basin Brines, Mineralogical Society of America, 253 – 273.
- Naranjo, José & Puig, A. (1984). Hojas Taltal y Chañaral, Cartas geológicas de Chile; 1:250.000. Servicio Nacional de Geología y Minería.
- Naranjo, J.A.; Cornejo, P. (1992). Hoja Salar de la Isla. Servicio Nacional de Geología y Minería, Carta Geológica de Chile, No. 72, escala 1:250.000.

- Naranjo S. J.A; Villa, V; Venegas, C. (2013a). Geología de las áreas Salar de Aguilar y Portezuelo de León Muerto, región de Atacama, Escala 1:100.000.
- Naranjo S. J.A; Villa, V; Venegas, C. (2013b). Geología de las áreas Salar de Pajonales y Cerro Moño, regiones de Antofagasta y Atacama, Escala 1:100.000.
- Stoertz, G., Ericksen, E. (1974). Geology Northern of Salars Chile. Geological Survey Professional Paper, Issue 811.
- Subterránea Consultores. (2023). Estudio Geofísico mediante Transiente Electromagnético en los salares de Aguilar, Gorbea, Las Parinas y La Isla, Región de Atacama.

## Anexo A. Leapfrog Salar de Las Parinas