



INFORME CONSOLIDADO

IMPACTOS DE LA MINERÍA DE LITIO EN EL SISTEMA LACUSTRE LAGUNA SANTA ROSA, SALAR DE MARICUNGA

“Respeto, Transparencia y Colaboración”



Septiembre 2024

RESUMEN EJECUTIVO

La Comunidad Colla El Bolo ha tomado la responsabilidad de velar por los impactos que se podrían generar sobre los sistemas lacustres Laguna Santa Rosa, ubicado al sur del salar, y Laguna Central. Existen dos proyectos de minería de litio que hoy cuentan con una Resolución de Calificación Ambiental favorable para explotar salmueras enriquecidas en litio a partir del sector norte o núcleo del Salar de Maricunga.

La comunidad ha encargado estudios que permitan avanzar la construcción de un modelo hidrogeológico del sistema lacustre Laguna Santa Rosa. Se destaca una prospección geofísica TEM que ha dado origen a este informe, y que tiene como objetivo levantar información de la sub-superficie para dar sustento a un modelo hidrogeológico conceptual del sector sur del salar, a partir de la integración de los datos existentes y los resultados de la prospección.

Un modelo hidrogeológico conceptual es una herramienta que nos permitirá representar la configuración geológica, hidrológica e hidrogeológica para conocer el funcionamiento hídrico de un sector determinado. Un modelo hidrogeológico representativo del sur del salar permitirá: identificar los mecanismos de recarga y descarga desde el sistema lacustre; verificar la continuidad de las unidades hidrogeológicas del sur, con el centro y norte del salar; conocer posibles recargas desde el Salar de Maricunga hacia las quebradas ubicadas al este, y específicamente de la quebrada Paipote que aguas abajo da sustento a las actividades de la Comunidad Colla de Copiapó; entre otras.

Los hallazgos más importantes son:

- i. En los Estudios de Impacto Ambiental (EIA) se define un núcleo arcilloso que tendría continuidad en todo el salar. Se define que esta unidad arcillosa impermeable separaría el acuífero inferior con salmuera, del acuífero superior evaporítico que sostiene los sistemas lacustres. Establecen que la capa de arcilla daría protección a los sistemas lacustres y flora y fauna asociada. En este estudio se postula que estas supuesta capa de arcilla más bien corresponde a una unidad compuesta por una intercalación de arenas, gravas, arcillas y/o paleo-evaporitas, saturadas en salmuera. De esta manera, los sistemas lacustres ubicados en superficie, tales como los sistemas Laguna Santa Rosa y Laguna Central están vulnerables a los efectos de la extracción de salmuera a partir de acuíferos profundos, ya que no habría tal barrera impermeable.

- ii. La integración de los resultados hidroquímicos, isotópicos y geofísicos dan fuerza a la hipótesis de que en el sector sistema lacustre Laguna Santa Rosa existe una unidad hidrogeológica de 200 m de espesor, de resistividad homogénea muy baja, que podría corresponder a un gran acuífero saturado en salmuera.
- iii. Podrían existir volúmenes importantes de agua que descargan desde el sistema lacustre Laguna Santa Rosa hacia acuíferos y vertientes de la subcuenca quebrada Paipote. De existir conexión, cualquier afectación al sistema lacustre Laguna Santa Rosa podría a su vez tener una afectación sobre la recarga de la quebrada Paipote y de vertientes a las cuales la comunidad cuenta con derechos de agua.
- iv. A partir de los balances hídricos (recarga/descarga) presentados en los EIA se establece que el agua superficial que escurre superficialmente desde el sistema lacustre Laguna Santa Rosa hacia el sistema Laguna Central descarga en su totalidad por evaporación. Se estima que no existen datos o mediciones suficientes como para asegurar que no habrían rebalses significativos que recargan el núcleo (norte) del salar, además de recargas producto de flujos subsuperficiales y subterráneas.

1. COMUNIDAD COLLA

El Pueblo Colla forma parte de la cultura andina y ocupa territorios del norte de Chile. Tiene una historia ancestral vinculada a la trashumancia, la agricultura y el pastoreo, con un modo de vida ligado al respeto y conocimiento profundo del entorno natural, lo cual está caracterizado por volcanes, salares y lagunas altoandinas. A lo largo de la historia, ha enfrentado pérdida de tierras, marginalización y discriminación, donde la presencia de la minería genera tensiones y conflictos socioambientales.

El territorio Colla se ve hoy intervenido y amenazado por la rápida irrupción de proyectos mineros de litio y oro. La Comunidad Colla El Bolo abarca sectores de la quebrada de Paipote y del Salar de Maricunga. Han tomado la responsabilidad de velar por el resguardo del Salar de Maricunga y del sistema lacustre Laguna Santa Rosa, ubicado en el extremo sur del salar y formando parte del Parque Nacional Nevado Tres Cruces. Han luchado por el reconocimiento de sus derechos como Pueblo Originario, para preservar su cultura, tradiciones y territorio, y han participado en la promoción de medidas de protección del patrimonio, respeto de su identidad cultural, y conservación del entorno natural.



Figura 1 - Salar de Maricunga y fotografías Laguna Santa Rosa. En verde, áreas protegidas.

2. PROBLEMÁTICA

El proceso de extracción de la minería de litio en salares altoandinos se inicia con el bombeo/extracción de grandes volúmenes de salmuera (agua muy salada) que podemos encontrar en la costra salina superficial y/o en acuíferos ubicados en profundidad.

Debido a la escasez de datos, existe alta incertidumbre con respecto a los impactos de la extracción de salmuera en el norte del Salar de Maricunga sobre los sistemas lacustres ubicados al centro y sur.

Se desconoce lo siguiente:

- i. La geología de la subsuperficie y la dinámica hidrogeológica del sector central y sur del Salar de Maricunga.
- ii. La dinámica hídrica superficial y subsuperficial del sistema lacustre Laguna Santa Rosa, y su función hídrica y biótica que da sustento al ecosistema Salar de Maricunga, un área protegida.
- iii. La geometría del acuífero de salmuera que se ha identificado al norte del Salar de Maricunga y su distribución en el salar, específicamente verificar su continuidad hacia el sur.

- iv. La geometría del “núcleo arcilloso” o capa de arcilla que se ha definido en el norte y su distribución en el salar, específicamente validar los datos que dan sustento a dicha unidad y verificar su continuidad hacia el sur, ya que de esta depende la no afectación de los sistemas lacustres en superficie.

En un estudio realizado por la Comunidad Colla El Bolo se hizo una revisión de los modelos hidrogeológicos presentados en los Estudios de Impacto Ambiental (EIA), donde se concluye que:

- i. La cantidad y calidad de antecedentes disponibles para el Salar de Maricunga son insuficientes e inexistentes para el sector del sistema lacustre Santa Rosa.
- ii. Existen inconsistencias y omisiones de los antecedentes que se presentaron para dar sustento a los modelos hidrogeológicos presentados por las empresas.
- iii. Los modelos hidrogeológicos no consideran el centro y sur del Salar de Maricunga, por lo tanto con la información existente no hay forma de predecir los potenciales impactos.
- iv. Se desconoce el funcionamiento hidrogeológico y microbiológico del Salar de Maricunga y del sistema lacustre Laguna Santa Rosa en particular.

En base a este diagnóstico, la Comunidad Colla El Bolo solicitó a la consultora HGA elaborar un modelo hidrogeológico del sistema lacustre Laguna Santa Rosa del Salar de Maricunga para reducir el grado de incertidumbre sobre su funcionamiento, y poder evaluar los impactos de la minería de litio en el salar y cuerpos lacustres.

Dados los altos costos asociados a la construcción de un modelo hidrogeológico representativo, producto del levantamiento de datos que se requiere, se diseñó un proyecto para avanzar por etapas a medida que la comunidad pueda conseguir financiamiento para la ejecución de cada una de ellas.

En este documento se presenta un modelo hidrogeológico basado en la integración de antecedentes y estudios disponibles para el sur del salar, incorporando los resultados de la prospección geofísica que aporta con datos de la subsuperficie.

3. OBJETIVOS

3.1 Objetivo principal

El objetivo de este informe es presentar los resultados de una campaña de prospección geofísica integrado con antecedentes geológicos e hidrogeológicos disponibles del

Salar de Maricunga, para avanzar en la construcción de un modelo hidrogeológico conceptual del sur del Salar de Maricunga, sector sistema lacustre Laguna Santa Rosa.

Un modelo hidrogeológico representativo del sur del salar permitiría complementar los antecedentes generados en el norte, y así aportar a la construcción de un Modelo Hidrogeológico Integrado del Salar de Maricunga, que permitiría responder las inquietudes de la Comunidad Colla con respecto a los impactos de la minería de litio en el ecosistema Salar de Maricunga.

3.2 Objetivos secundarios

i. Responder las siguientes cinco preguntas claves que surgen de la Comunidad Colla El Bolo:

1. ¿Existe suficiente información y datos para construir un modelo hidrogeológico representativo del Salar de Maricunga?
2. ¿Existe continuidad hacia el sur de las unidades hidrogeológicas que se han definido al norte del Salar de Maricunga?
3. ¿Existe una conexión superficial entre el sistema lacustre Laguna Santa Rosa y el núcleo del salar?
4. ¿Puede el bombeo de salmuera en el norte del Salar de Maricunga (núcleo) generar impactos significativos al sistema lacustre Laguna Santa Rosa?
5. ¿Existen recargas de agua subterránea desde el sistema lacustre Laguna Santa Rosa hacia la quebrada Paipote?

ii. Revisar antecedentes y modelos hidrogeológicos disponibles para el Salar de Maricunga y sistema lacustre Laguna Santa Rosa, y verificar su calidad y coherencia.

iii. Definir unidades hidrogeológicas, identificar potenciales acuíferos, y conocer los mecanismos de recarga y descarga en el sector sur del salar.

iv. Verificar posibles recargas de agua subterránea desde el sector sur de la cuenca Salar de Maricunga y las vertientes ubicadas en la cabecera de la quebrada Paipote, que aguas abajo sostienen actividades de la comunidad.



4. UBICACIÓN

El Salar de Maricunga se ubica al este de la cabecera de la quebrada de Paipote. Se ubica en la comuna de Copiapó, III Región de Atacama, a 150 km de la ciudad de Copiapó. Se caracteriza por la Laguna Santa Rosa ubicada en el límite sur del borde sur del Salar de Maricunga, y es parte del Parque Nacional Nevado Tres Cruces, que actualmente administra la Corporación Nacional Forestal (CONAF).

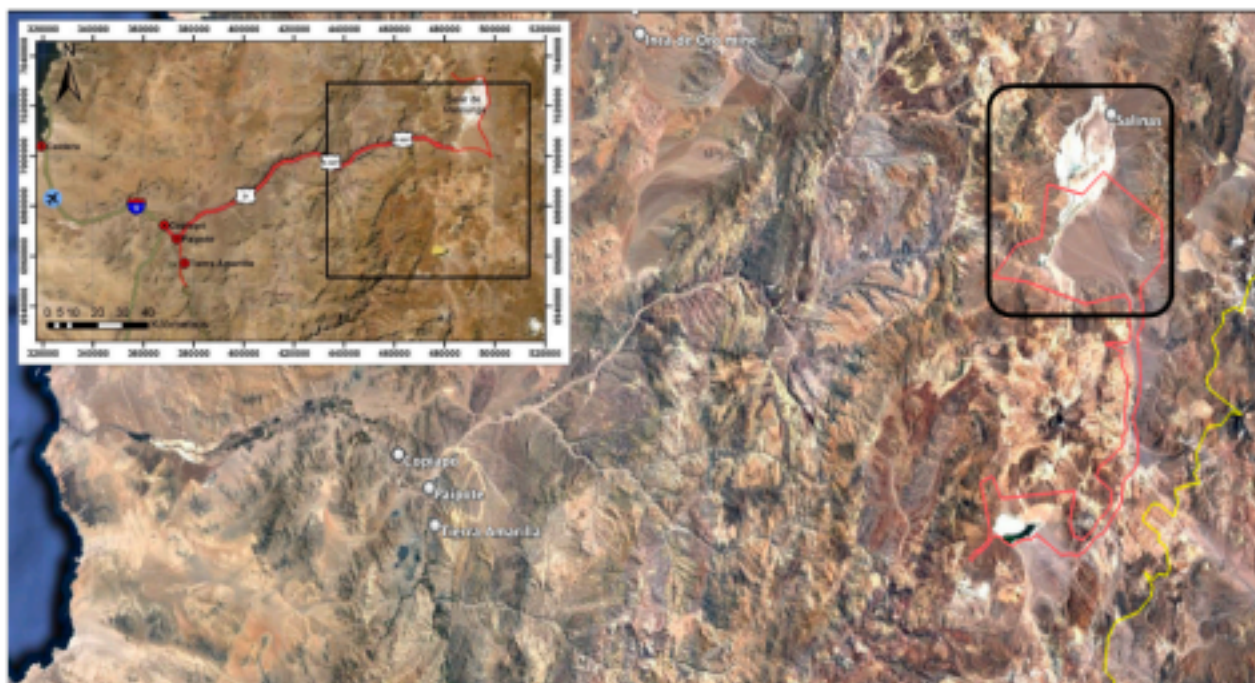


Figura 2. Ubicación y ruta de acceso desde el aeropuerto (esq. sup. izq.) al Salar de Maricunga. A la derecha de la imagen en rojo se delimita el Parque Nacional Nevado Tres Cruces

5. MINERÍA DE LITIO EN SALAR DE MARICUNGA

Existen dos proyectos de extracción de litio que desde el 2020 cuentan con su Resolución de Calificación Ambiental (RCA): Proyecto Salar Blanco (PSB) y Proyecto Producción Sales de Maricunga (SDM). Los campos de pozos de extracción de estos proyectos se ubican en el núcleo del salar ubicado al norte, sector que concentra la mayor parte de la información disponible.

La empresa minera estatal CODELCO logró un acuerdo con Lithium Power International (LPI), anterior propietario de PSB, para adquirir el 100% de sus acciones emitidas. La operación de US\$224 millones le permitirá desarrollar un proyecto de litio que tiene el potencial de producir 20.000t anuales de carbonato de litio y 58.000t anuales de cloruro de potasio durante 20 años. El Proyecto SDM se trata de una iniciativa de la compañía SIMCO, que integran el Grupo Errázuriz (55%) y la taiwanesa Simbalik Group (45%).

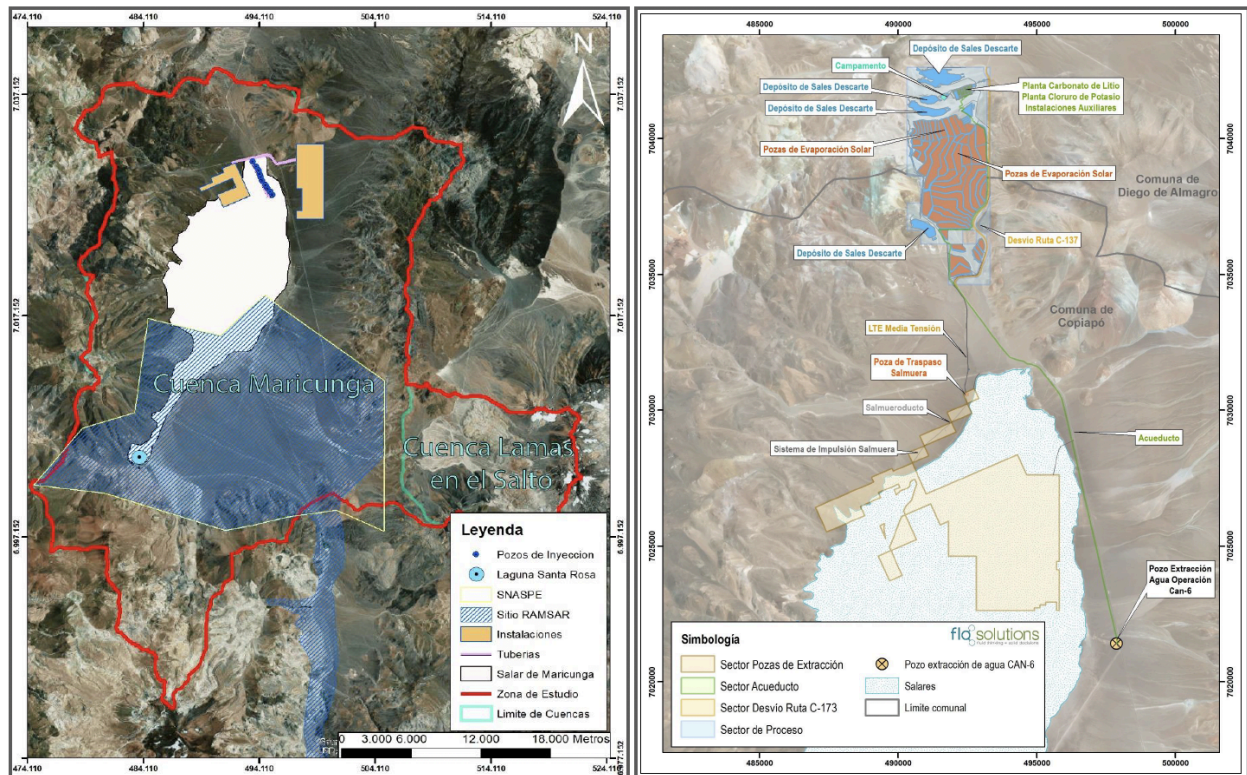


Figura 3. Proyectos minería de litio. A la izq, Proyecto Producción Sales de Maricunga. A la der, Proyecto Salar Blanco.

6. ESTUDIOS ANTERIORES

La Comunidad Colla El Bolo ha realizado tres proyectos orientados a construir un Modelo Hidrogeológico Conceptual del sistema lacustre Laguna Santa Rosa y para dar respuesta a las cinco grandes preguntas. Los informes de los estudios realizados se pueden encontrar en el anexo, y son los que se presentan a continuación:

6.1 Asesoría Hidrogeológica para Procedimientos Legales

HGA realizó una asesoría para levantar antecedentes técnicos a ser presentados en el proceso administrativo llevado por el abogado Sr. Mauricio Daza, cuyo objetivo era invalidar la Resolución de Calificación Ambiental otorgada al Proyecto Blanco.

Se indica la no realización de una consulta indígena e insuficientes antecedentes para dar garantías de resguardo a la Laguna Santa Rosa dado que no se presenta un modelo hidrogeológico integrado. A partir del diagnóstico de los antecedentes presentados por el Proyecto Blanco en el Estudio de Impacto Ambiental se indica que:

- i. Los modelos hidrogeológicos que se presentan para el Salar de Maricunga en ningún caso consideran el sector sur del salar, de manera que se desconoce el efecto que podría tener el bombeo de salmuera sobre el sistema lacustre Laguna Santa Rosa.
- ii. Los modelos hidrogeológicos presentados definen una supuesta unidad hidrogeológica impermeable (núcleo arcilloso) que separa al acuífero superior que sostiene a las lagunas del acuífero en profundidad que sería explotado para la obtención de salmuera. Por ende, concluye que el bombeo del acuífero inferior no afectaría al acuífero superior.
- iii. En las caracterizaciones de los sondajes se identifican intercalaciones arenosas e incluso gravosas en la unidad definida como núcleo arcilloso, así como potentes tramos de arcilla que no fueron ensayadas (muestras, pruebas hidráulicas, otros).
- iv. En base a las litologías revisadas la unidad núcleo arcilloso más que impermeabilizar, podría retardar localmente los efectos de la conexión
- v. Los EIA no presentan antecedentes para comprender la relación entre los descensos piezométricos con las raíces y la captura de agua de la vegetación circundante.

La resolución reclamada sistematiza los argumentos contenidos de las reclamaciones

presentadas en contra de la RCA otorgada al Proyecto Salar Blanco donde se destacan las siguientes:

- i. Podía existir un impacto significativo sobre los recursos hídricos.
- ii. Podía existir un impacto significativo sobre flora, fauna y biodiversidad.
- iii. No se consideran las posibles afectaciones sobre el Parque Nacional Nevado Tres Cruces o el Sitio Ramsar Complejo Lacustre Laguna Negro Francisco y Laguna Santa Rosa.
- iv. No se consideran suficientes medidas asociadas a impactos sobre el valor paisajístico y turístico.

6.2 Tesis de Titulación para aportar con información de Línea Base

En el año 2021 HGA levantó y dirigió la ejecución de tres tesis de grado dirigidas a generar información para el sector de la Laguna Santa Rosa. Se completaron campañas de terreno dirigidas a tomar muestras de agua para análisis hidroquímicas con miembros de la Comunidad Colla El Bolo.

- i. Observación remota de parámetros ambientales en la superficie del Salar de Maricunga, Región de Atacama, Chile - Licán Guzmán - U. Andrés Bello

Observar por medio de sensor remoto como han variado ciertos componentes ambientales (vegetación, agua, temperatura superficial y humedad del suelo) en la superficie del Salar de Maricunga a lo largo de los últimos 30 años en las estaciones de verano e invierno, y si en definitiva estos están siendo condicionados por el calentamiento global.

Existe una tendencia al aumento en la temperatura superficial del salar, y de las cantidades de agua para ambas estaciones. Las variaciones de superficies de agua sugieren algunos periodos de sequía durante el verano.

- ii. Propuesta de Plan de Monitoreo de la Laguna Santa Rosa para la Comunidad Indígena Colla, Salar de Maricunga, Región de Atacama, Chile - Bárbara Cornejo - U. Central

El estudio se centró en diseñar un Plan de Monitoreo Hídrico en el sector de la Laguna Santa Rosa orientado a complementar los planes de monitoreo propuestos por los Proyectos Sales de Maricunga y Salar Blanco, y así dar mayor cobertura al salar.

- iii. Sistema hidrogeológico Salar de Maricunga - Quebrada Paipote: Un aporte a la Línea base de la Comunidad Colla El Bolo, Región de Atacama - Alejandro Bordeu - U. De Chile

Este trabajo constituye un análisis del sistema hidrogeológico que afecta a la comunidad, desde la perspectiva de un estudio hidrogeoquímico e isotópico de las aguas del territorio ancestral.

7. CUENCA SALAR DE MARICUNGA

7.1 Cuenca

La Cuenca del Salar de Maricunga es una cuenca endorreica, es decir, las aguas superficiales no recargan superficialmente a las cuencas vecinas. El agua se transporta y estanca en los sectores de menor altitud. Dadas las altas tasas de evaporación e infiltración, se comienza a formar con cuerpos de agua salina. En este estudio no se descartan recargas de agua subterránea que se transportan a través de rocas fracturadas desde la cuenca del Salar de Maricunga hacia las quebradas ubicadas al oeste.



Figura 5. En azul, cuenca Salar de Maricunga (Dirección General de Agua).

7.2 Hidrografía

Los rasgos hidrográficos de la región están determinados por sus condiciones climáticas y morfológicas, donde los cursos de agua permanente son escasos. Los principales aportes de aguas superficiales al salar corresponden a arroyos ubicados a <4.000 m.s.n.m, los que se infiltran aguas abajo y recargan los acuíferos. Al extremo suroeste del salar existe una pequeña laguna llamada Laguna Santa Rosa, cuyas aguas superficiales descargan hacia el norte del salar a través del Canal Santa Rosa, cuya caudal se incrementa con los aportes subterráneos, para luego descargar hacia el sistema lacustre Central.

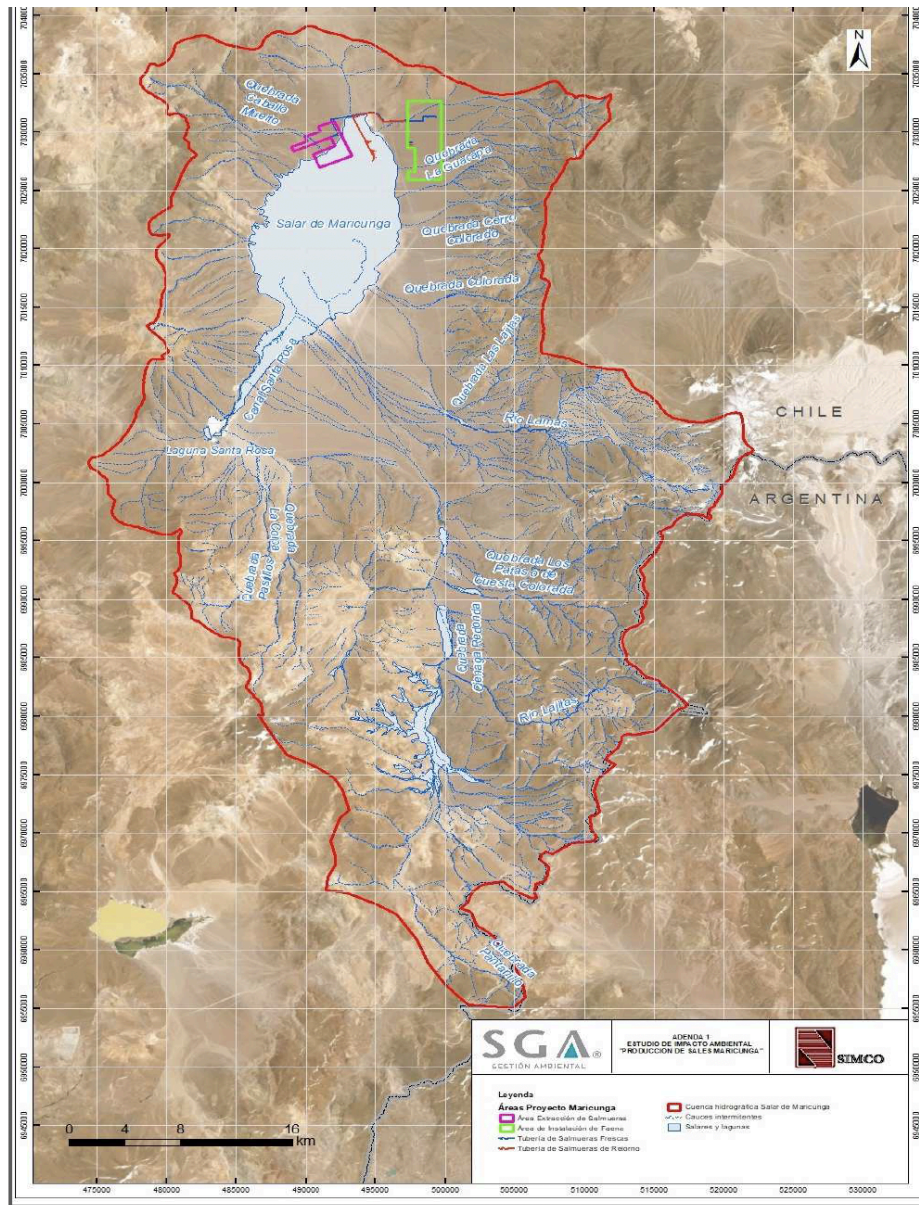


Figura 6. En celeste, Red Hidrográfica. En rojo, cuenca Salar de Maricunga (DGA)

7.2 Salares

Los salares son cuerpos salinos ubicados en sectores bajos de cuencas cerradas en superficie (endorreicas), caracterizados por una costra evaporítica superficial bajo la cual hay intercalaciones de diferentes unidades geológicas con diferentes capacidades acuíferas. Algunas de estas unidades corresponden a acuíferos que almacenan salmuera enriquecida en litio. Los acuíferos son capas geológicas compuestas por unidades rocosas, sedimentos, evaporitas, y otras, que son capaces de almacenar y transmitir agua y/o salmuera.

La mayoría de los salares presentan sistemas lacustres ubicados en los bordes de los salares, los que varían en tamaño y ubicación, y son fuente de vida para la biodiversidad local.

¿Cuál es el origen del litio que forma parte de la salmuera? Se encuentra en las rocas volcánicas circundantes, las cuales pueden presentar concentraciones anómalas de litio, producto de la actividad geotérmica reciente y actual.

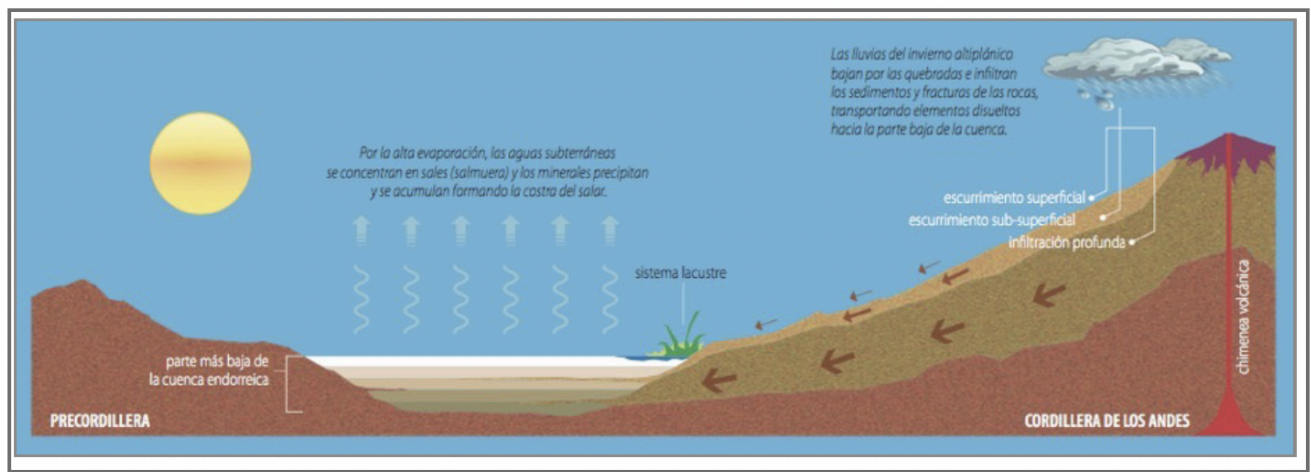


Figura 7. Cuenca Salar de Maricunga (Dirección General de Agua)

El agua de lluvia o nieve entra en contacto con estas rocas, y actúa como agente de transporte para que el litio (entre otros), en solución o diluidas en el agua, puedan alcanzar las partes más bajas de la cuenca y luego precipitar o permanecer en solución en el agua.

Las aguas que ingresan al fondo de la cuenca, ya sea de manera superficial o subterránea, se van enriqueciendo en litio a medida que la fracción de agua se va evaporando.

7.3 Salar de Maricunga

El Salar de Maricunga se ubica en la III Región de Atacama de Chile. Se encuentra a una altitud de 3.760 m.s.n.m. y tiene una superficie aproximada de 150 km², lo que corresponde a un 5% del Salar de Atacama (3.000 km²), es decir, 20 veces más pequeño en superficie. CODELCO asegura en notas de prensa, que es el segundo salar con mayor potencial económico después del Salar de Atacama.

Se caracteriza por una costra evaporítica de halita y yeso en superficie, con pequeñas lagunas ubicadas en los bordes norte y sur, y un canal central. Está limitada al norte, sur y oeste por volcanes antiguos con elevaciones que varían entre los 4.400 y 6.000 m.s.n.m., y al este con la Cordillera Claudio Gay.



Figura 7. En azul, Salar de Maricunga (DGA)

8. SISTEMA LACUSTRE LAGUNA SANTA ROSA

El sistema lacustre Laguna Santa Rosa se ubica al sur del Salar de Maricunga y es parte de la Reserva Nacional Parque Nevado Tres Cruces. Por su hábitat y riqueza biológica fue incluida según los acuerdos de la Convención RAMSAR en la lista de los Humedales de Importancia Internacional. El Pueblo Colla, chilenos y extranjeros amantes de la naturaleza están atentos a los impactos a este ecosistema frente a posibles extracciones de salmuera.

8.1 Cuerpos de agua

Se define el sistema lacustre Laguna Santa Rosa que se compone por un complejo sistema de cuerpos de agua interconectados superficial y sub-superficialmente. El cuerpo de agua de mayor tamaño corresponde a la Laguna Santa Rosa.

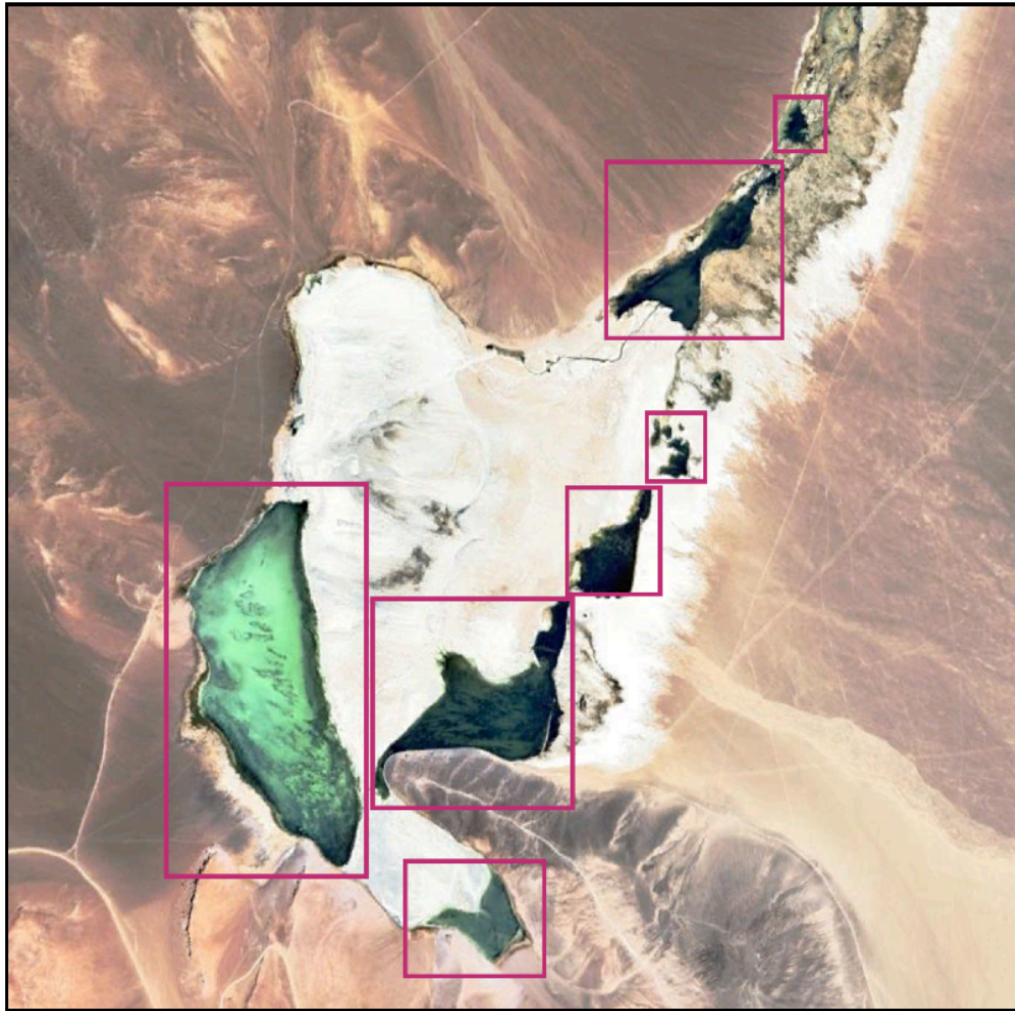


Figura 8. Sistema lacustre Laguna Santa Rosa, sur Salar de Maricunga (Google Earth).

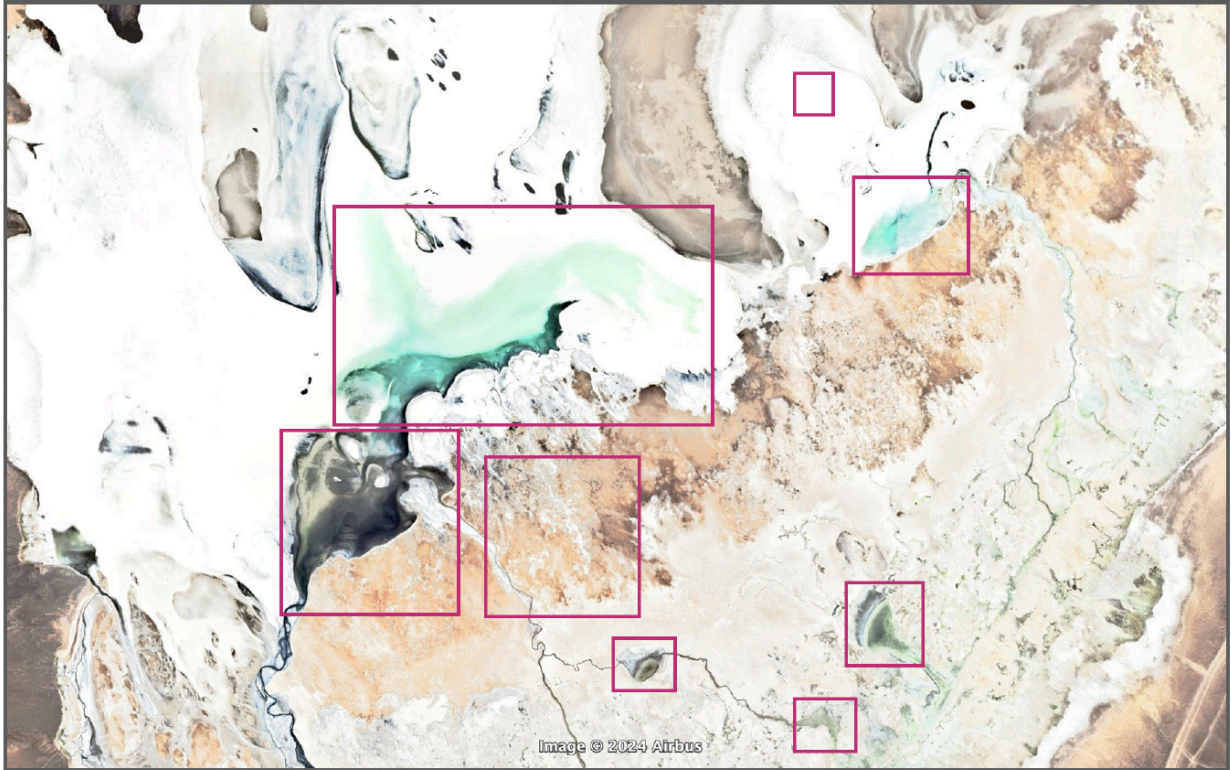


Figura 9. Sistema lacustre Laguna Central, centro Salar de Maricunga (Google Earth)

8.2 Direcciones de flujo

Parte de las aguas que recargan el sistema lacustre Laguna Santa Rosa afloran y escurren superficialmente en dirección al norte a través del canal Santa Rosa de caudal variable, el cual a su vez recarga un complejo sistema lacustre Central, ubicado al norte del salar donde se forman lagunas someras de salmueras concentradas.

El Canal Santa Rosa recibe aportes laterales de agua a partir de flujos subsuperficiales que provienen de Ciénaga Redonda y el río Lamas.

8.3 Mecanismos de recarga/descarga

La recarga corresponde al volumen de agua que ingresa a la cuenca, ya sea a través de ríos, esteros, vertientes, manantiales, u otras formas de agua superficial. Es importante hacer notar que una cuenca cerrada en superficie no descarta que puedan existir flujos de agua subterránea entre cuencas.

La descarga corresponde al volumen de agua que sale de la cuenca por evaporación a

partir de cursos o cuerpos de agua superficial, evaporación de la subsuperficie, evapotranspiración a partir de la cobertura vegetal, a través de cursos de agua superficial (no es el caso), y otros.

Se postula que la principal recarga del Salar de Maricunga y del sistema lacustre Laguna Santa Rosa proviene de acuíferos sedimentarios de la subcuenca Ciénaga Redonda, principalmente al este del salar, y en menor medida al oeste y norte (EIA, Proyectos Lito). La principal descarga sería por evaporación a partir de cuerpos de agua superficial en el sistema lacustre Laguna Central.

El caudal del canal Santa Rosa desemboca al sistema lacustre Laguna Central, generando variaciones en el área de este cuerpo de agua y también en las características hidroquímicas. Los caudales que se presentan en la siguiente tabla muestran gran variabilidad para las mediciones, aún cuando 3 de las 4 mediciones se realizaron en la misma fecha para diferentes años.

Tabla 1. Mediciones de caudal (EIA Proyecto Blanco)

| Q (L/s) | Punto de aforo | Fecha | Fuente |
|---------|----------------|-------|---------------|
| 347 | MAS-116 | 04-17 | Flo Solutions |
| 263 | MAS-116 | 01-18 | Flo Solutions |
| 426 | MAS-116 | 04-18 | Flo Solutions |
| 563 | AFORO 1 SGA | 05-19 | SGA |

Los resultados de un estudio de imágenes satelitales muestra que existen variaciones estacionales de la temperatura superficial del salar entre estaciones, lo que a su vez influye en variación es de los espejos de agua de las lagunas, las que sugieren algunos periodos de sequía durante el verano (Guzmán, 2021).

Entre los años (2001-2013) existe un aumento en las superficies de los espejos hacia finales de verano, lo cual sugiere aportes asociados a precipitaciones que podrían estar asociados al invierno altiplánico o al derretimiento de glaciares localizados en los sectores más altos de la cuenca (Guzmán, 2021).

Existe alta incertidumbre con respecto a las formas de recarga del sistema lacustre Laguna Santa Rosa en el borde sur, y se desconocen las formas de conexión con los acuíferos del norte del salar. A pesar de la escasez de datos en los EIA Proyecto SDM, se postula que:

- i. La mayor parte del volumen de agua que recarga el sistema lacustre Central

- descarga por evaporación o evapotranspiración de manera que no habrían mayores recargas por rebalse hacia el núcleo.
- ii. En épocas de alta precipitación o deshielo, podría aumentar la recarga desde el sistema lacustre Central, hacía los acuíferos del norte del salar.
 - iii. El Canal Santa Rosa se recarga principalmente por vertientes difusas y vegas a lo largo de su curso, y minimizan los aportes desde el sistema lacustre Laguna Santa Rosa.

Los datos de evaporación y evapotranspiración son muy escasos, existiendo sólo una estación que presenta registros de evaporación de bandeja para agua dulce en la cuenca del Salar, la cual cuenta con registros disponibles hasta el año 2017 (EIA Proyecto Blanco).

8.3 Hidroquímica e isótopos

Los análisis hidroquímicos de las aguas del sistema lacustre Laguna Santa Rosa permiten conocer las concentraciones de los elementos que componen las muestras de agua o salmuera.

Los resultados de los análisis hidroquímicos aportan al entendimiento de los mecanismos de recarga y descarga, la forma en que se relaciona la biota del salar, entre otras que aportan al entendimiento del funcionamiento del ecosistema y en particular de la dinámica hidrogeoquímica.

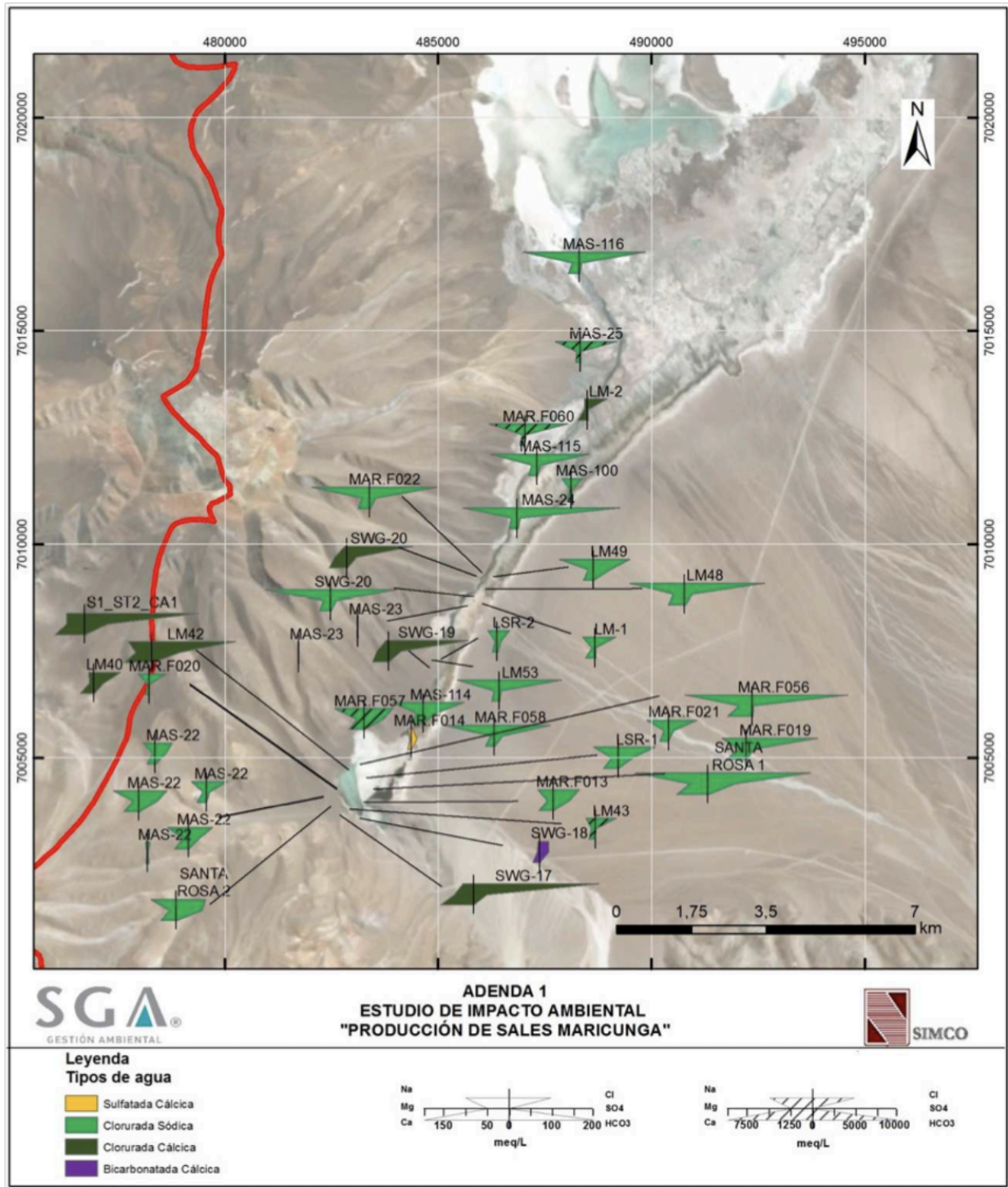


Figura 10. Diagramas de Stiff que muestran dos composiciones para las aguas que recargan el sur del Salar de Maricunga (EIA SDM)

En el EIA SDM, los resultados de los análisis químicos para muestras que fueron tomadas en el sistema lacustre Santa Rosa, se identifican dos tipos de aguas: sulfatadas y cálcicas. Se indica que en el sector de la Laguna Santa Rosa, las conductividades tienen valores que varían entre los 540 y 103.800 $\mu\text{S}/\text{cm}$, por lo que se

estaría en presencia de aguas dulces y salmueras.

La variabilidad química para un sector reducido refleja la gran complejidad hidrológica del sistema lacustre Laguna Santa Rosa.

En períodos de mayor recarga, ya sea por deshielos o eventos de precipitación, los espejos de agua de las lagunas tienen mayor extensión. Las aguas serían de tipo salobre, y en periodos de menor recarga y mayor evaporación, estas tendrían características de salmuera.

Las concentraciones de litio en todas las muestras que se han analizado en el sistema lacustre Laguna Santa Rosa son muy bajas (<40 ppm), indicando que estas no han estado sometidas anteriormente a procesos de evaporación ni han transitado a través de evaporitas o paleo-evaporitas.

Se presentan análisis químicos que fueron encontrados en una publicación de Tassara (1997) y del EIA Proyecto Blanco, donde se observan concentraciones mayores en las muestras más antiguas, lo que podría estar asociado a un componente estacional, dado que estas fueron tomadas en época estival.

Tabla 2. Análisis hidroquímicos (Tassara, 1997)

| Sector | Fecha | pH | CE | Ca | Mg | Na | K | Cl | HCO3 | SO4-2 | B | Li |
|--------------|---------|------|---------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| | | | (uS/cm) | (mg/l) | (mg/l) | (mg/l) | (mg/l) | (mg/l) | (mg/l) | (mg/l) | (mg/l) | (mg/l) |
| Santa Rosa 1 | 31/1/19 | 8 | 25681 | 1452 | 505 | 3766 | 238 | 8573 | 131 | 3069 | 36,7 | 40 |
| Santa Rosa 2 | 31/1/19 | 7,66 | 10565 | 751 | 199 | 1357 | 68 | 2439 | 75,8 | 2875 | 23 | 14 |

Tabla 3. Análisis hidroquímicos (EIA Proyecto Blanco)

| ID muestras | T° | pH | Cl | Br | SO4 | B | Na | K | Li | Ca | Mg |
|-------------|------|------|------|-------|------|------|------|------|------|-----|------|
| MAR-10 | 6,6 | 8,62 | 2170 | 1,12 | 1780 | 8,67 | 1240 | 74,3 | 9,09 | 622 | 170 |
| MAR-11 | 6,2 | 7,83 | 124 | 0,162 | 643 | 2,59 | 141 | 14,4 | 1,16 | 154 | 30,9 |
| MAR-22 | 10,5 | 8,50 | 2370 | 0,959 | 624 | 5,78 | 1120 | 645 | 8,05 | 409 | 126 |
| MAR-23 | 4,5 | 8,28 | 5640 | 3,07 | 778 | 22,3 | 2990 | 174 | 23,2 | 545 | 226 |

En la publicación de Bordeu (2021) se realizaron análisis hidroquímicos e isotópicos de muestras tomadas en el sector sur de la cuenca del Salar de Maricunga (CSDM) y en la quebrada Paipote (CQP), donde se observa que la mayor parte de los elementos

químicos analizados no muestran diferencias entre las cuencas. Los resultados indican que la mayoría de las muestras analizadas se correlacionan entre sí.

El análisis de isótopos estables de agua indica que las aguas de la CQP han estado sometidas a mayor evaporación que las de la CSDM, sin considerar las de la Laguna Santa Rosa que muestran mayor evaporación y concentración de componentes químicos que todas las demás muestras analizadas.



9. PROSPECCIÓN TEM

9.1 Antecedentes

La Comunidad Colla El Bolo encargó a HGA la realización de una prospección geofísica en el sector de la Laguna Santa Rosa para aportar con nuevos antecedentes al modelo hidrogeológico del sistema lacustre Laguna Santa Rosa.

La metodología TEM mide la resistividad que es una magnitud inversa a la conductividad eléctrica. Un valor alto de resistividad indica que el material es mal conductor mientras que uno bajo indica que es un buen conductor.

Se realizó un levantamiento geofísico mediante Transiente Electromagnético (TEM) en el sector del sistema lacustre Laguna Santa Rosa, el que fue desarrollado por Subterránea Consultores a solicitud de HGA.

Se presentan los resultados de campañas de medición de prospecciones geofísicas ejecutadas mediante los métodos de prospección denominado Transiente Electromagnético (TEM), cuyo fin es detectar anomalías de resistividad y relacionarlas con características hidrogeológicas del sector estudiado.

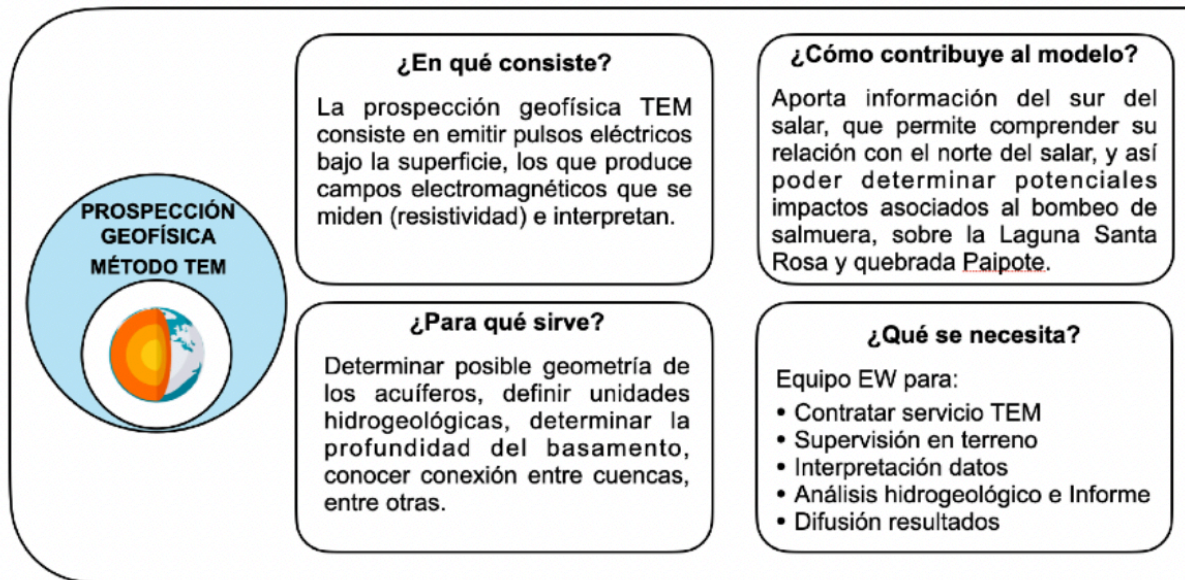


Figura 4. Esquema etapas de campaña Prospección Geofísica TEM

Se mide la resistividad en profundidad a partir de la cual se definen unidades geoelectricas que pueden ser correlacionadas con unidades geológicas, acuíferos de agua o salmuera, intercalaciones de capas arcillosas, emplazamiento de cuerpos mineralizados, entre otros.

Las aguas con altas concentraciones de minerales, como las salmueras, se caracterizan por ser muy conductoras, es decir muy baja resistividad.

A partir de este levantamiento geofísico se generan modelos de distribución espacial de zonas de resistividad relativamente homogéneas. Del análisis de antecedentes hidrogeológicos disponibles y valores de resistividad, se relacionan características hidrogeológicas del sector estudiado. Los trabajos de terreno se ejecutaron entre el 9 y el 12 de noviembre del año 2023.

Los resultados de la prospección están condicionados por las condiciones locales de cada sector de medición, pudiendo afectar el acceso, el alcance y precisión del método geofísico aplicado y la extensión de sus antenas, en conjunto con las técnicas y estrategias utilizadas en el trabajo de campo.

9.2 Metodología

Se ejecutó una campaña de terreno para realizar un levantamiento de prospección geofísica Transiente Electromagnético (TEM). Para la interpretación de los datos geofísicos se utilizaron antecedentes disponibles para las unidades geológicas e hidrogeológicas reconocidas en la zona de estudio a partir de datos disponibles y las observaciones de terreno.

La definición de las líneas o perfiles a ejecutar, la prioridad en la secuencia de adquisición de los datos, la profundidad y alcances de la prospección y el método de caracterización geofísica fueron definidos por Subterránea Consultores de acuerdo al requerimiento realizado por HGA en el marco de los objetivos del presente estudio.

Los perfiles de resistividad eléctrica que se presentan en este informe se construyeron a partir de los modelos 1D de capa simple de los datos adquiridos mediante las estaciones TEM. Finalmente, las posiciones de las estaciones geofísicas se registraron mediante navegador GPS.

La prospección geofísica estuvo compuesto por las siguientes etapas:

- * Compilación y análisis de antecedentes
- * Levantamiento de los datos de resistividad mediante TEM
- * Procesamiento e interpretación de los antecedentes geofísicos * Análisis de los resultados
- * Presentación informe final

9.3 Objetivos

Los objetivos de la prospección geofísica es generar mediciones de resistividad para:

- i. Describir la obtención y control de calidad de los resultados de las determinaciones de resistividad.
- ii. Presentar los resultados obtenidos mediante la inversión de los datos geofísicos y los perfiles geoeléctricos resultantes de cada método.
- iii. Proponer sitios de exploración directa realizada sobre la base de los antecedentes disponibles y a las observaciones de terreno.
- iv. Proponer una interpretación hidrogeológica de acuerdo con la información

disponible a la fecha y las prospecciones geofísicas desarrolladas.

9.4 Perfiles geoelectricos

Se muestran los resultados de perfiles geoelectricos los cuales fueron obtenidos del proceso de inversión y modelación geofísica.

Para cada sección o perfil geoelectrico se presenta una delimitación de unidades geoelectricas denominadas Unidad A, Unidad B, Unidad C, Unidad D y Unidad E.

Unidad A: Unidad superficial con resistividades variables entre 20-66 Ohm-m y valores puntuales que no superan 281 Ohm-m. Sin contar con mayores antecedentes de pozos, se puede interpretar como niveles de suelo, sedimentos aluviales o roca con contenido de humedad variables. Esta capa comprende los primeros 25 a 50 m de profundidad.

Unidad B: Unidad que se observa hacia el sur de la Laguna Santa Rosa en los perfiles 1, 2 y 3 que subyace o engrana con la unidad A. Presenta valores variables entre 54-1457 Ohm-m. Sin contar con mayores antecedentes de pozos, se puede interpretar como niveles de sedimentos aluviales o roca con contenido de humedad variable.

Unidad C: Unidad que subyace a las unidades anteriores y presenta valores de receptividad variables entre 3-51 Ohm-m. Sin contar con mayores antecedentes de pozos, se puede interpretar como niveles de sedimentos aluviales y/o evaporitas posiblemente saturados, y eventualmente más salinos para aquellos sectores con resistividad menor

Unidad D: Unidad que presenta una disminución sustantiva de los valores de resistividad. Subyace a la unidad C y se caracteriza por valores menores a 4 Ohm-m. Sin contar con mayores antecedentes de pozos, se interpretan niveles de sedimentos aluviales y/o evaporitas saturados con agua muy salada.

Unidad E: Unidad donde se reconoce una disminución sustantiva de la resistividad, con valores menores que los reconocidos en la unidad D, siendo estos menores a 1,7 Ohm-m. Esta unidad no se reconoce con claridad en el Perfil 3. Sin contar con mayores antecedentes de pozos, se puede interpretar como evaporitas y/o niveles de sedimentos aluviales posiblemente saturados con agua de mayor salinidad que la detectada en la unidad D.

- Perfil 1

Bajo la cota 3.725, en la Unidad E de baja resistividad, se observa puntualmente un aumento en la resistividad entre las estaciones T14 y T18, esto podría indicar un alzamiento del basamento en el borde Suroeste de la Laguna, pero sobre ese posible basamento se observan datos de muy baja resistividad, que representan sedimentos saturados con agua de mayor salinidad.

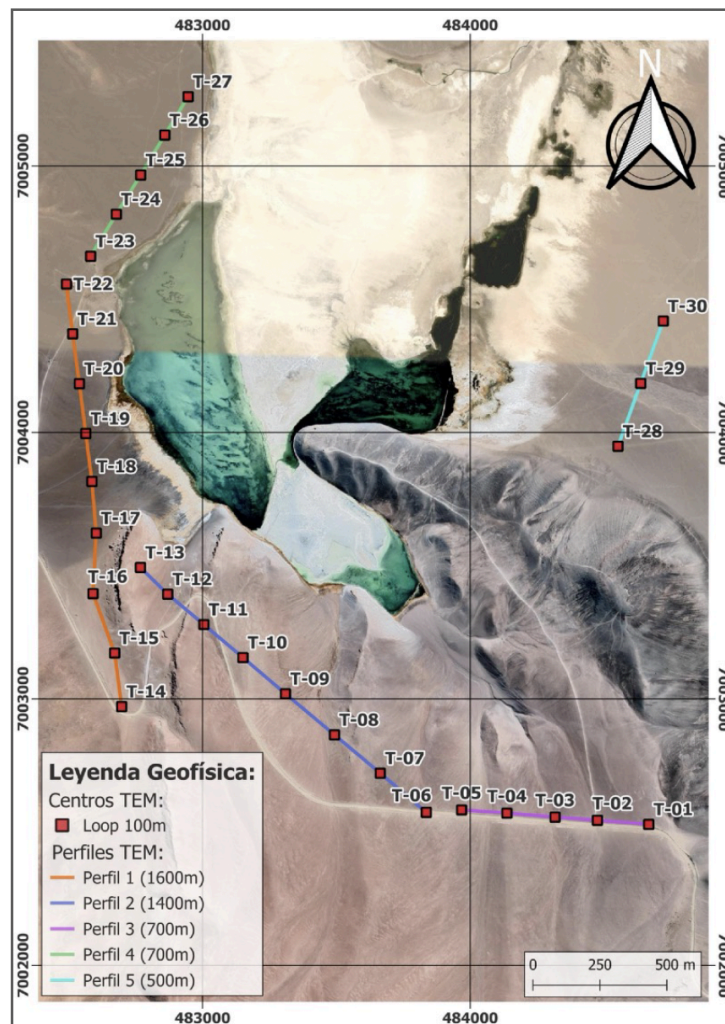


Figura 11. Ubicación perfiles TEM sector Laguna Santa Rosa

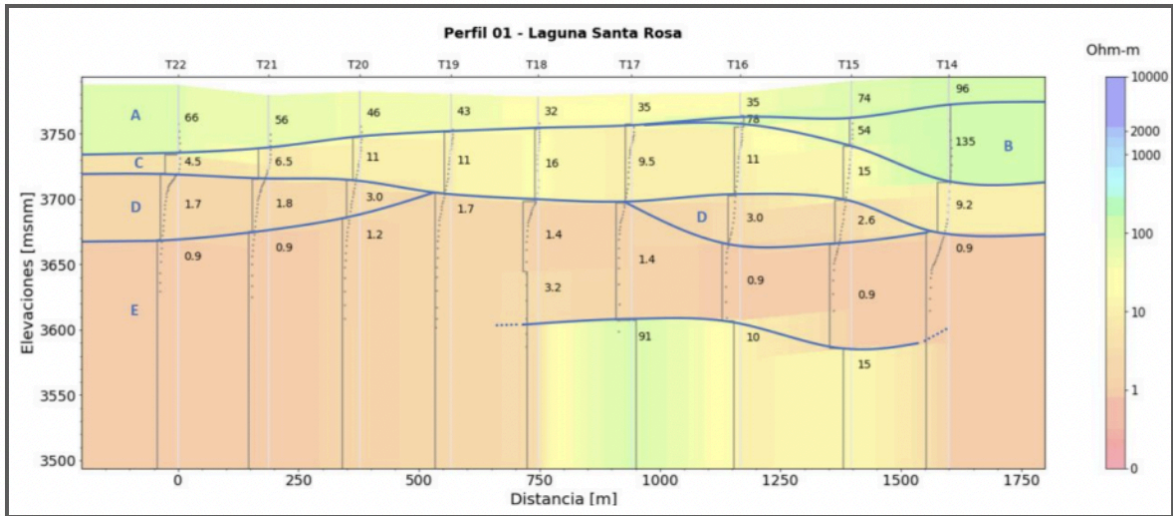


Figura 12. Perfil TEM 01 - Sector Laguna Santa Rosa

• Perfil 2

De orientación NO-SE ubicado al sur de laguna Santa Rosa, muestra también la Unidad E con una resistividad muy baja bajo la cota 3.735 msnm. Esto podría estar confirmando una continuidad de lo que han denominado un “acuífero inferior” hacia el borde SW de Maricunga.

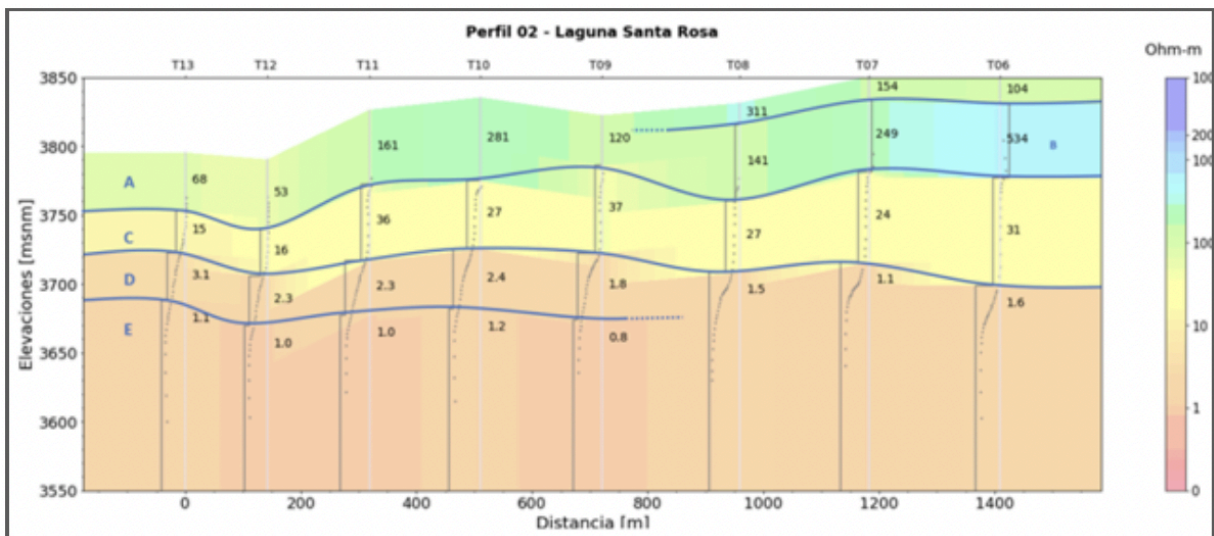


Figura 13. Perfil TEM 02 - Sector Laguna Santa Rosa

• Perfil 3

Ubicado al sur de Laguna Santa Rosa, confirma también la zona de baja resistividad a los 3.700 msnm, insinuando una suave pendiente al SSE, esto puede ser difícil de soportar por la precisión baja de los datos de profundidad. Al igual que los perfiles 1 y 2, la Unidad E tiene una clara expresión hacia el sur, más allá del límite sur de Laguna

Santa Rosa.

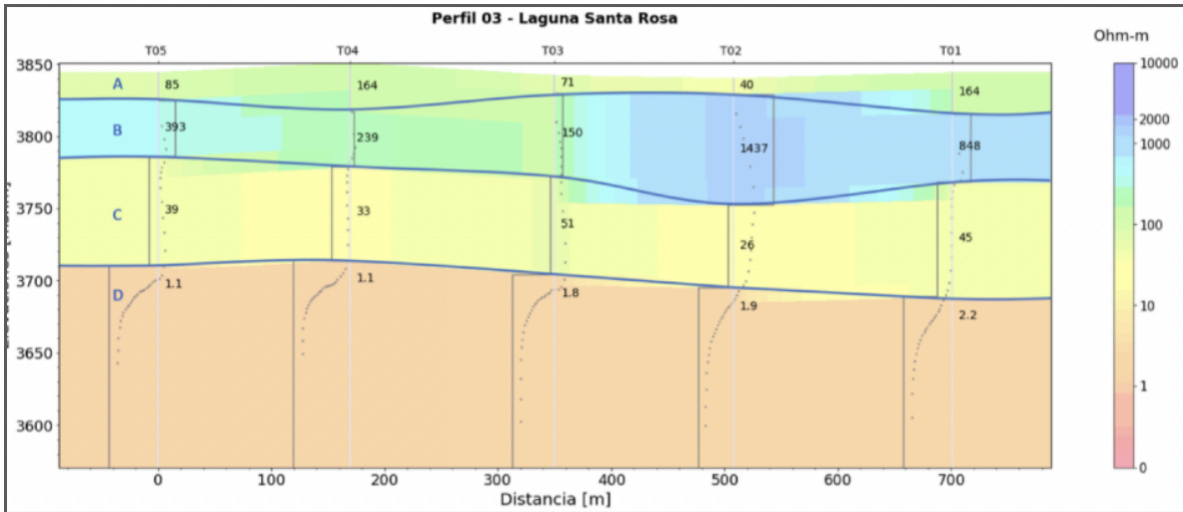


Figura 14. Perfil TEM 03 - Sector Laguna Santa Rosa

• Perfil 4

Ubicado al Noroeste de Laguna Santa Rosa, nuevamente nos muestra una zona de baja resistividad bajo la cota 3.725. La Unidad E subterráneo parece extenderse hacia el Oeste de la expresión superficial de Maricunga.

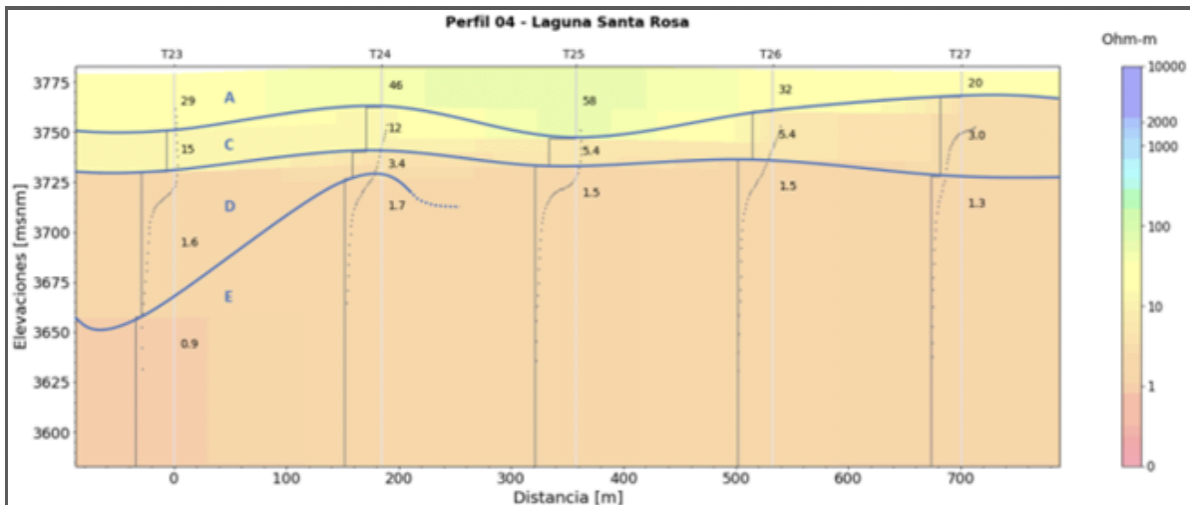


Figura 15. Perfil TEM 04 - Sector Laguna Santa Rosa

- Perfil 5

Sector Este de Laguna Santa Rosa, se confirma esa zona conductiva bajo la cota 3.725 msnm.

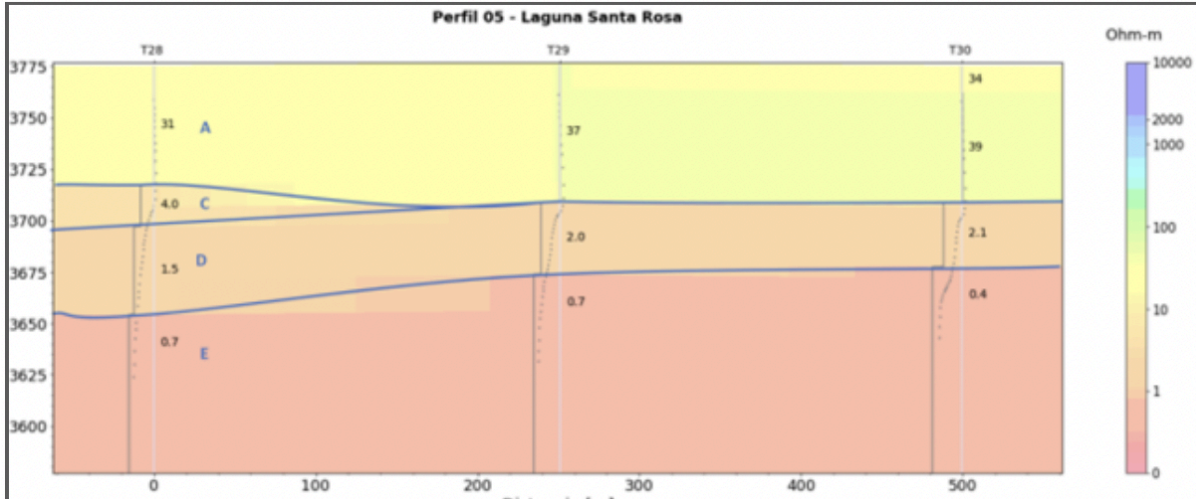


Figura 16. Perfil TEM 05 - Sector Laguna Santa Rosa

9.5 Prospección TEM DGA (2016)

Se revisó un perfil TEM de resistividad (inverso a conductividad eléctrica) realizado por la Dirección General de Aguas (2016) que recorre todo el borde este del Salar de Maricunga.

Se identifica una unidad de baja a muy baja resistividad a lo largo de todo el perfil que recorre el borde este del Salar de Maricunga. En el norte del salar se ha correlacionado con una unidad arcillosa que sobreyace a una unidad sedimentaria saturada en salmuera.

No se puede asegurar que las unidades hidrogeológicas del sur del Salar de Maricunga correspondan a las mismas unidades hidrogeológicas, ya que diferentes litologías podrían tener respuestas resistivas similares.

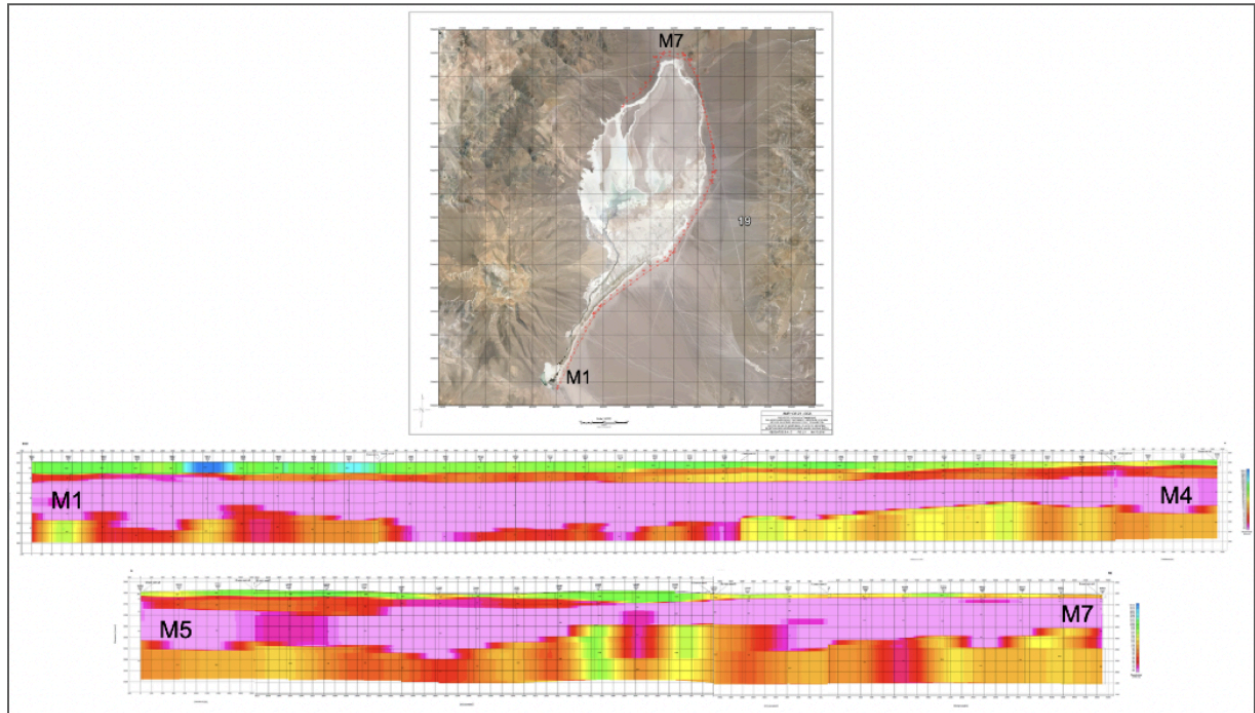


Figura 17. Ubicación y Perfil TEM Borde Este Salar de Maricunga (DGA, 2016)

10. MODELO HIDROGEOLÓGICO CONCEPTUAL

Un modelo hidrogeológico es una representación conceptual y matemática del funcionamiento hídrico de un sector determinado. Se utiliza para comprender y predecir el movimiento del agua subterránea y las propiedades hidráulicas de los acuíferos a través de los cuales se transporta. A menor cantidad de información, menor será la capacidad predictiva del modelo.

Los modelos hidrogeológicos son herramientas determinantes para la gestión de la operación y los recursos hídricos, de la evaluación y monitoreo de posibles impactos sobre componentes ambientales sensibles, el diseño de sistemas de captación de agua, la predicción de la calidad del agua subterránea, la planificación de proyectos de desarrollo que involucran la extracción o inyección de agua subterránea, entre otras.

Los modelos hidrogeológicos requieren contar al menos con información de:

- Topografía
- Geología superficie/subsuperficie
- Propiedades hidráulicas de unidades geológicas (ej. permeabilidad)

- Geometría de acuíferos
- Cuantificación de recargas y descargas superficiales y subterráneas de agua
- Monitoreos hídricos y ambientales (precipitaciones, nivel freático, hidroquímica, área espejo de agua, otras)
- Entre otros

La minería de litio es una minería hidrogeológica dado que el yacimiento de litio se encuentra en la salmuera que es agua muy salada, y que se transporta a través de acuíferos ubicados en el salar.

Los yacimientos de litio son yacimientos vivos dado que los salares son dinámicos y son ecosistemas únicos, frágiles y dinámicos que varían su configuración fisicoquímica de año a año, y durante el año.

10.1 Sector norte Salar de Maricunga (núcleo)

Se han revisado los modelos hidrogeológicos presentados en los EIA de los proyectos Salar Blanco y Producción de Sales Maricunga. Los modelos no integran el sector centro o sur del Salar de Maricunga, dado que no existen ni se han generado datos que permitan bien representar el funcionamiento hidrogeológico de estos sectores, de manera de comprender cómo funciona el salar como un todo.

A la comunidad le preocupa que no se haya realizado un Modelo Hidrogeológico Integrado de toda la cuenca del Salar de Maricunga, entendiéndose que para tener control de la hidrogeología del salar, se debe entender que es un sistema hídrico único interconectado. Es probable que la extracción en el norte del salar pudiera tener efectos sobre el sur dada la fragilidad del sistema. Aún falta comprender y cuantificar los potenciales impactos. Ambos modelos presentan un esquema similar donde se identifican las siguientes unidades hidrogeológicas que de techo a base son:

- UH-1: Costra evaporítica cuya permeabilidad está asociada a disolución o fracturas. Sostiene a los sistemas lacustres.
- UH-2A: Depósito sedimentario superior permeable
- UH-2B: Depósito sedimentario inferior permeable (salmuera)
- UH-3: Unidad arcillosa de muy baja a nula permeabilidad
- UH-4: Depósito de sedimentos volcánicos de baja permeabilidad

- UH-5: Basamento impermeable

La unidad superior UH-1 corresponde a la costra del salar sobre la cual se desarrollan los sistemas lacustres Laguna Santa Rosa y Sistema Central.

Sobre la unidad UH-2B se define la Unidad Arcillosa UH-3 que actuaría como barrera impermeable a semi-impermeable que desconecta la unidad UH-2B a ser bombeada de la unidad UH-1 que da sustento a los cuerpos de agua, y flora y fauna asociada.

En el Modelo Hidrogeológico del Proyecto Blanco se indica que:

“La presencia del núcleo arcilloso en superficie desde el borde sur del Salar hasta el área de lagunas hace que el sistema de aguas superficiales esté desconectado de los acuíferos ubicados debajo de esta capa de arcilla. Sólo exista una conexión indirecta a través de la descarga de aguas subterráneas en el borde de éste”.

En la Figura 18, Figura 19 y Figura 20 se presentan perfiles hidrogeológicos del sector norte del Salar de Maricunga (EIA SDM y PB).

En la Figura 21 se presenta un esquema que muestra el funcionamiento del sistema lacustre y canal Santa Rosa, donde se indican aportes de agua desde el este. Que se transportan en sedimentos que componen el abanico aluvial de la Quebrada Ciénaga Redonda.

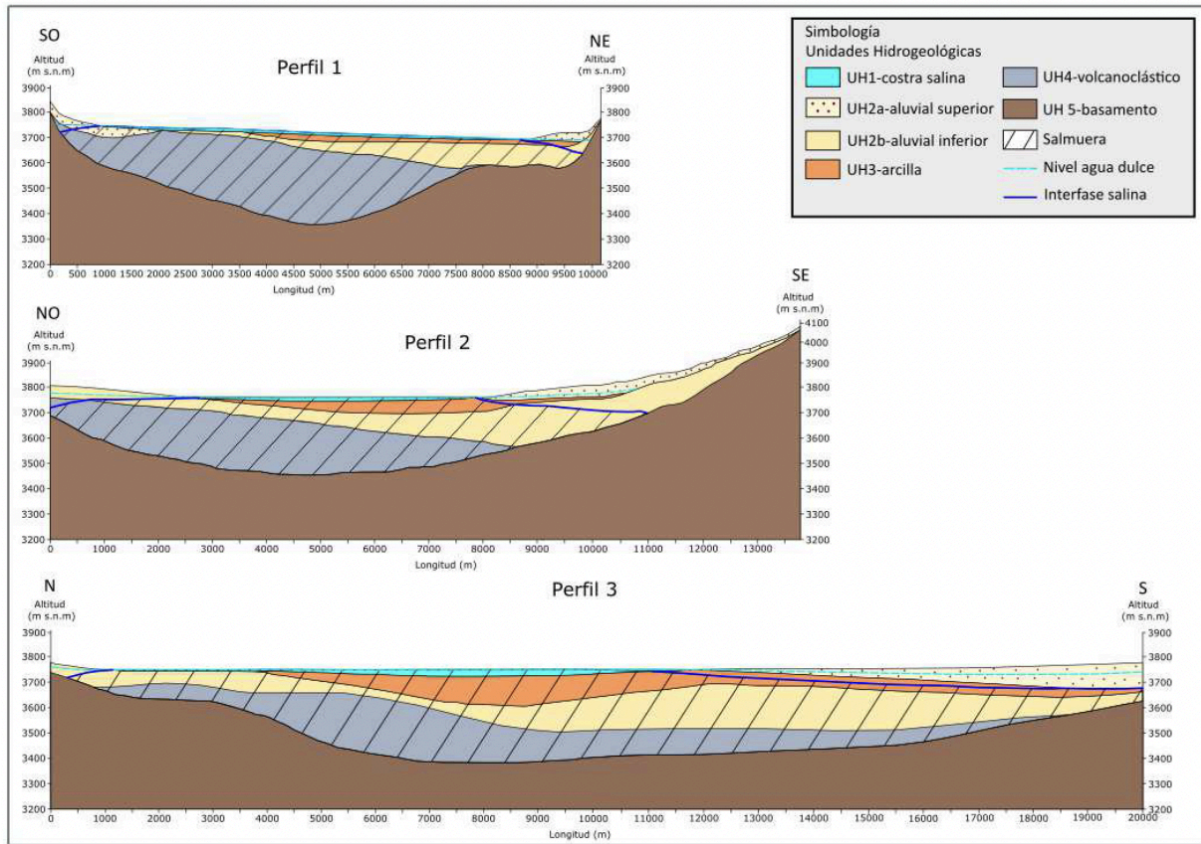


Figura 18. Perfiles hidrogeológicos (EIA SDM)

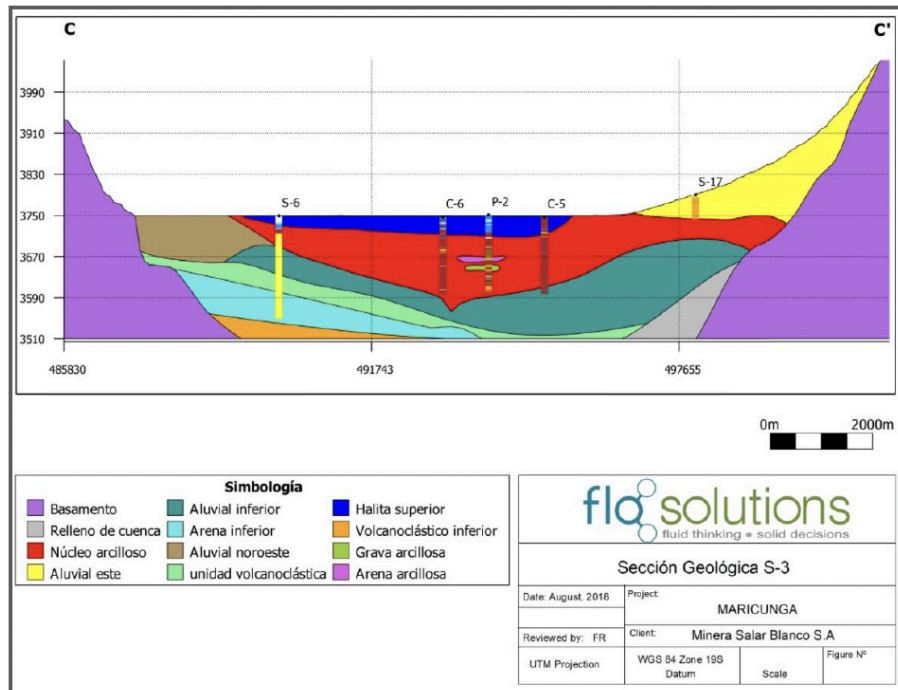


Figura 19. Perfiles hidrogeológicos (EIA PSB)

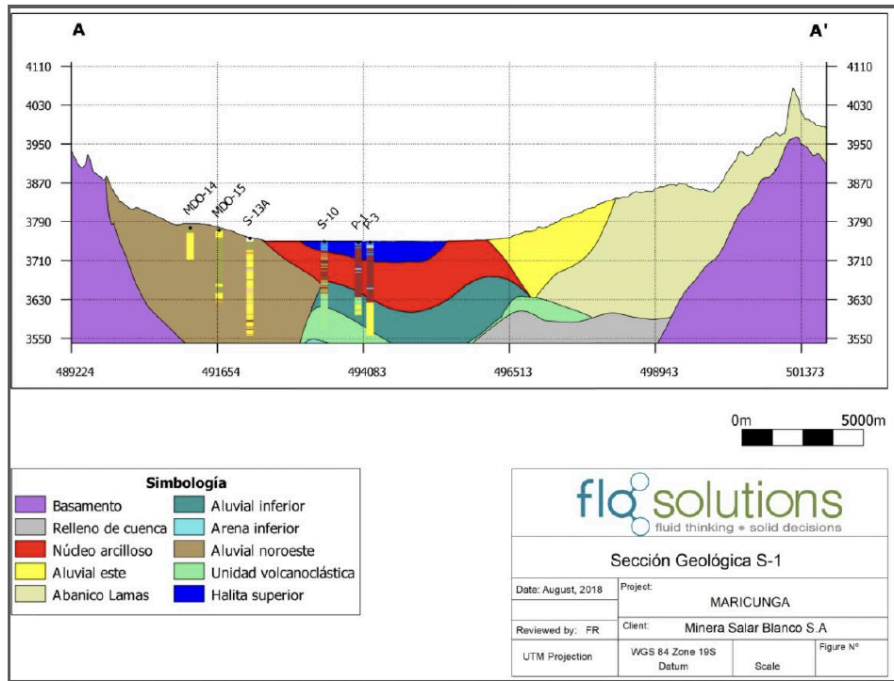


Figura 20. Perfiles hidrogeológicos (EIA PSB)

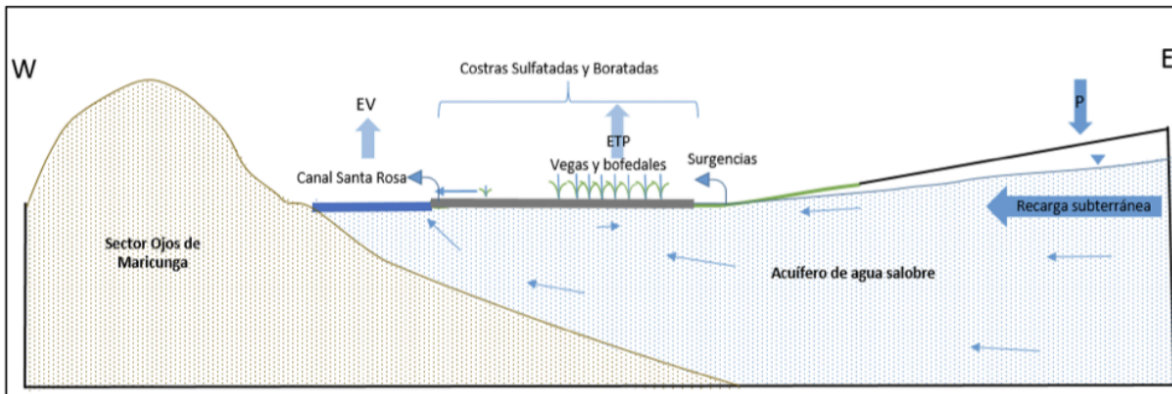


Figura 21. Esquema funcionamiento Canal Santa Rosa (EIA PSDM)

10.2 Sector sistema lacustre Laguna Santa Rosa (Sur)

Bordeu (2021) propone un modelo conceptual para el sector sur del salar donde se ubica el sistema lacustre Laguna Santa Rosa, donde se presenta una hipótesis que postula que habrían descargas de agua subterránea hacia la quebrada Paipote a través

de rocas volcánicas fracturadas (Figura 23).

Los transportes de agua serían a través de zonas de fractura asociados a fallas locales que permiten que se transmitan grandes volúmenes de agua.

Esta agua subterránea puede aflorar en vertientes ubicadas en las cabeceras de la quebrada Paipote y recargar los cursos de agua superficial que aguas abajo dan sustento a la comunidad.

La comunidad posee derechos de aprovechamiento de agua de vertientes que recargan a la quebrada en las cabeceras, las que son utilizadas para fines agrícolas y actividades culturales y ancestrales.

El origen del agua de estas vertientes aún se desconoce, y los estudios revisados no descartan una posible conexión subterránea entre la cuenca del Salar de Maricunga (CSDM) y la cuenca de la quebrada Paipote (CQP).

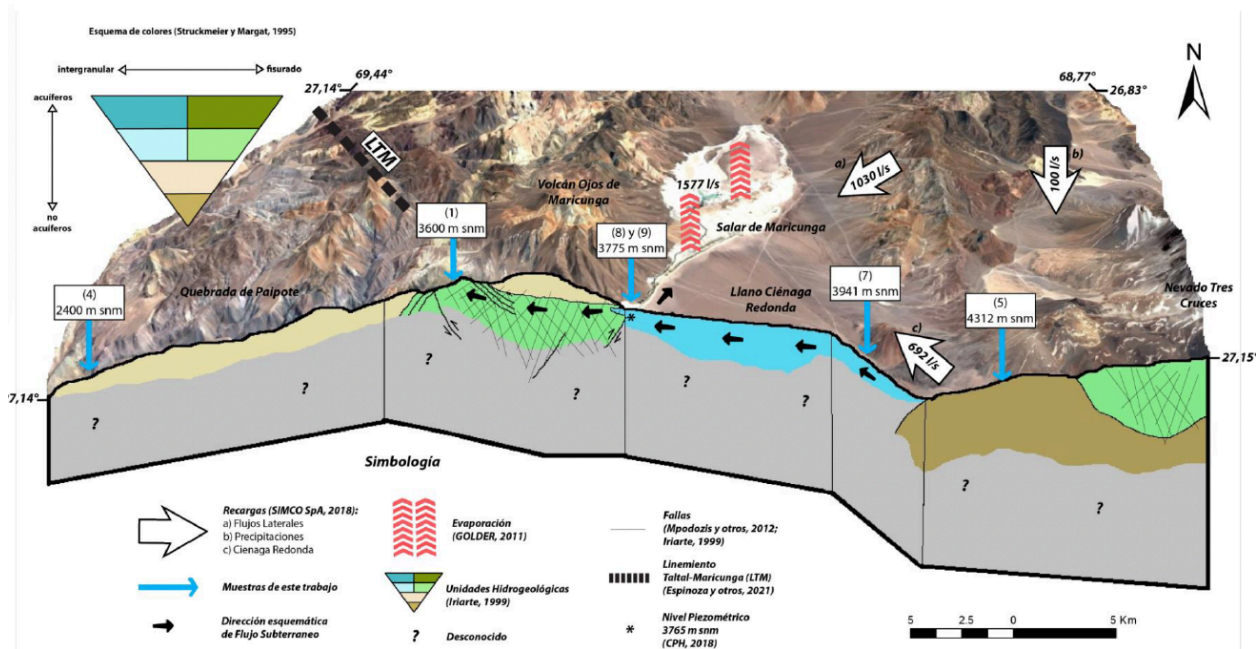


Figura 22. Esquema funcionamiento Canal Santa Rosa (EIA PSDM)



Figura 23. Imagen satelital sector sur Esquema Salar de Maricunga (Google Earth Pro)

11. CONCLUSIÓN Y RECOMENDACIÓN

La Comunidad Colla El Bolo ha solicitado diversos estudios para levantar antecedentes y contar con información que permita comprender el funcionamiento hidrogeológico del sur del salar para así poder evaluar los potenciales impactos de las operaciones mineras del norte.

En los EIA se detectaron inconsistencias y omisiones en los antecedentes presentados para dar soporte al modelo hidrogeológico, y se ve que solo consideran la porción norte del Salar de Maricunga de manera que no es posible predecir los potenciales impactos para la microbiología del Salar de Maricunga y para el sistema lacustre Laguna Santa Rosa.

La prospección geofísica mediante método TEM permitió medir la respuesta eléctrica (resistividad) de la subsuperficie en el sector Laguna Santa Rosa. Los resultados de los perfiles geoelectricos levantados son muy similares en sus respuestas, a excepción del Perfil 5 que muestra valores muy bajos e inferiores a 1 Ohm/m. Se reporta una gran unidad homogénea de unos 200 m de espesor, que es continua hacia el norte del salar. En los EIA se interpreta que esta corresponde a una unidad principalmente arcillosa que actúa como barrera impermeable que protege al acuífero superior, lo cual sostiene los sistemas lacustres, del bombeo de salmuera en acuíferos más profundos.

Teniendo los resultados de este estudio y después de la revisión de resultados de sondeos presentados en los EIA, donde se observan intercalaciones de arenas y gravas, se plantea que la unidad de baja resistividad que se ha definido en el norte como un núcleo arcilloso más bien correspondería a una intercalación de arenas, gravas, arcillas y paleo-evaporitas saturadas en agua dulce, agua salada y salmuera. Los sectores donde predomina la arcilla, más que impermeabilizar, podría retardar los efectos de la conexión.

No se descarta que podrían haber descargas y/o conexión entre el sistema lacustre Laguna Santa Rosa y las cabeceras de la quebrada Paipote, dado que:

- i. En la tesis de Bordeu (2021) se identifica el Lineamiento Taltal-Maricunga (Espinoza et al, 2021) que pertenece a un sistema de fallas definido por Mpodozis (1999), indicando que las rocas asociadas a este sistema podrían estar altamente fracturadas.
- ii. Los perfiles TEM ubicados hacia la cabecera de la quebrada Paipote muestran zonas de resistividad muy baja (muy alta conductividad) que no corresponden a unidades de basamento o impermeables.
- iii. El agua se podría transportar a través de conjuntos de fracturas identificadas en los afloramientos rocosos que separan el sector sur del salar con la cabecera de la quebrada.
- iv. Las aguas que recargan de forma subterránea a la quebrada Paipote afloran agua abajo en forma de vertientes, vegas y manantiales. La signatura isotópica de muestras de agua de la cuenca del Salar de Maricunga y la quebrada Paipote son muy similares, al igual que la composición química y la conductividad.

Se postula que existirían importantes volúmenes de agua que provienen desde el sistema lacustre Laguna Santa Rosa, y que descargan por rebalse hacia el núcleo del salar al norte, a través del canal Santa Rosa. Sin embargo, en los EIA se postula que prácticamente toda el agua que se transporta superficialmente hacia el norte descargaría por evaporación y evapotranspiración a partir del sistema Laguna Central, antes de rebalsar. Esta última hipótesis propuesta en los EIA carece de sustento, dado que no se presentan valores de monitoreos para estimar los volúmenes de recarga, evaporación y evapotranspiración.

De haber conexión entre los sistemas lacustres Santa Rosa y Central con el sector del núcleo del Salar, habría que verificar los posibles efectos adversos de una operación de

litio basado en el bombeo de salmuera a partir de un acuífero que es parte de un sistema hidrogeológico interconectado, y no desconectado como se postula en dichos estudios.

Existen muestras de agua del sistema lacustre Laguna Santa Rosa que presentan valores bajos de conductividad indicando que existirían recargas de aguas dulce que ingresan a la cuenca de forma subterránea. Estas no han estado sometidas a evaporación, ni han tenido un tiempo de transporte suficiente como para incorporar elementos, ni han entrado en contacto con paleo-evaporitas.

Las aguas son sulfatadas y cálcicas en un sector tan reducido, lo que evidencia la complejidad del sistema y lo poco que se conoce de su funcionamiento, donde se infiere que habrían al menos dos fuentes de recarga para el salar.

Un salar es un ecosistema interconectado que se debe comprender en su totalidad, y cuyo funcionamiento hídrico está estrechamente relacionado a factores meteorológicos que varían intra e inter-estacionalmente, de manera que urge implementar algunas recomendaciones frente a las futuras extracciones:

- i. Contar con un Modelo Hidrogeológico Integrado riguroso y representativo de la totalidad del Salar de Maricunga, dado que no es posible controlar la operación de una mina de litio en un salar con garantías de mínimo impacto.
- ii. Implementar un Sistema de Monitoreo Hídrico superficial y subterráneo en los sistemas lacustres Laguna Santa Rosa y Laguna Central para recoger datos que permitan dar sustento a un modelo más representativo.
- iii. Solicitar a CODELCO los resultados de la campaña de exploración que realizaron en el sur de la cuenca del Salar de Maricunga para contar con la litología y pruebas de bombeo que permitirían calibrar la geofísica realizada.

Se sugieren los siguientes estudios para completar el modelo hidrogeológico:

- i. Prospección geofísica complementaria para cabecera quebrada Paipote.
- ii. Diseñar e implementar un sistema de monitoreo hídrico.
- iii. Campaña de mapeo estructural orientado a verificar acuíferos en roca fracturada.
- iv. Campaña de muestreo/análisis de agua de la quebrada Paipote, desde cabecera a la comunidad.
- v. Dos sondajes de exploración en sector sistema lacustre Laguna Santa Rosa.
- vi. Campaña de mediciones de evaporación y evapotranspiración.

REFERENCIAS

- ANTU G., LICÁN (2021). "OBSERVACIÓN REMOTA DE PARÁMETROS AMBIENTALES EN LA SUPERFICIE DEL SALAR DE MARICUNGA, REGIÓN DE ATACAMA, CHILE. U. ANDRÉS BELLO FACULTAD DE INGENIERÍA CARRERA DE GEOLOGÍA.
- BORDEU O., ALEJANDRO (2021). "SISTEMA HIDROGEOLÓGICO SALAR DE MARICUNGA-QUEBRADA DE PAIPOTE: UN APORTE A LA LÍNEA BASE DE LA COMUNIDAD COLLA EL BOLO, REGIÓN DE ATACAMA". U. DE CHILE, FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICAS, DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA
- CORNEJO M., BÁRBARA (2021). "PROPUESTA DE PLAN DE MONITOREO DE LA LAGUNA SANTA ROSA PARA LA COMUNIDAD INDÍGENA COLLA, SALAR DE MARICUNGA, REGIÓN DE ATACAMA, CHILE". U. CENTRAL DE CHILE FACULTAD DE INGENIERÍA ESCUELA DE MINERÍA Y GEOLOGÍA
- DIRECCIÓN GENERAL DE AGUAS (2016). "DIAGNÓSTICO DE DISPONIBILIDAD HÍDRICA EN CUENCAS ALTO-ANDINAS DE LA REGIÓN DE ATACAMA, FASE 3". AMPHOS 21.
- EIA PROYECTO BLANCO (2018). MODELO HIDROGEOLÓGICO & LÍNEA BASE HIDROGEOLÓGICA & ANEXOS.
- EIA PRODUCCIÓN DE SALES MARICUNGA (2018). MODELO HIDROGEOLÓGICO & LÍNEA BASE HIDROGEOLÓGICA & ANEXOS.
- TASSARA, A. (1997). "MAPA GEOLÓGICO DEL SALAR DE MARICUNGA, REGIÓN DE ATACAMA, ESCALA 1:50.000. IR-97-10. SERNAGEOMIN.