

EXPLORACIÓN DE SALMUERAS DE LITIO MEDIANTE SONDEOS ELÉCTRICOS VERTICALES Y TÉCNICAS GEOQUÍMICAS EN UN SALAR DE CATAMARCA, ARGENTINA

Santiago Perdomo¹, Isidoro Schalamuk², Vanina López³, Miguel Azarevich³

- 1: Centro de Investigación y Transferencia del Noroeste de la provincia de Buenos Aires (CITNOBA-CONICET), Facultad de Cs. Astronómicas y Geofísicas, Universidad Nacional de La Plata. perdomo.geofisica@gmail.com
- 2: Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET). Instituto de Recursos Minerales. Universidad Nacional de La Plata. Av. 64 y 120 (CP 1900) La Plata.
- 3: Centro de Estudios Geológicos Andinos, CEGA-Universidad Nacional de Salta, CEGA-INSUGEO-CONICET, Av. Bolivia 5150, Salta.

Palabras Clave: Geofísica, salar, conductividad eléctrica, litio

ABSTRACT

Lithium production is being promoted by the rise of renewable energies and the energy transition to reduce the use of fossil fuels and promote clean energy generation. Lithium is a key raw material in the manufacture of rechargeable lithium-ion batteries used in many electronic products, including electric vehicles.

In South America, and in Argentina in particular, lithium is found in salt flats and salt lakes, many of which have not been studied. Although small ones have little individual potential, they could be exploited with other projects and add value to a region.

In this paper, the results of a geoelectrical and geochemical prospection in a mature salt flat in the province of Catamarca are presented. Forty vertical electrical sounding were measured using a Schlumberger array to determine the resistivity contrasts presented by the different formations. Groundwater electrical conductivity was determined in 10 samples, where lithium, potassium and manganese contents were also analyzed.

The geophysical survey allowed us to recognize two sectors with very low resistivity values (0.1 to 1 Ohm m), in the center of the saline body from the surface to 70 m. Layers with very low and low resistivity values are interbedded in the basin with medium to high resistivity values (10 to 100 Ohm m), indicating possible lithological and salinity variations in groundwater. In the very low resistivity layers, lithium and potassium present the highest concentration values in the brine (shallow aquifer). These results could be evidence of the location of a saline nucleus in the central sector of the basin. Results show the applicability of vertical electrical soundings the initial stages of lithium surveys. VES allow the identification and delineation of lithium brines. The combined used with other methods, such as geochemistry, is useful to reduce ambiguity in the interpretation of the data.

INTRODUCCIÓN

En la República Argentina hay más de 30 salares dentro del denominado “Triángulo del Litio” en distintas etapas de desarrollo (Fig. 1). Algunos son explotados y actualmente producen carbonato y cloruro de litio a partir de salmueras, como en Salar del Hombre Muerto Oeste (Salta-Catamarca), y Salar de Olaroz (Jujuy); otros alojan proyectos en etapas de factibilidad y construcción. También existen pequeños salares y lagunas salinas que no han sido estudiados en profundidad, y aunque poseen poco potencial individual podrían explotarse de manera conjunta con otros proyectos y agregar valor a una región.

Las salmueras suelen localizarse en diversos niveles porosos y a distintas profundidades, con una distribución variable en sentido vertical y lateral, de acuerdo con el registro sedimentario dentro de la cuenca y los ingresos de agua dulce desde las márgenes.

El área de estudio se ubica en la Laguna Los Aparejos, sudoeste de la provincia de Catamarca, localizado en ambiente de Puna, donde los procesos geológicos y climáticos han contribuido a la concentración de iones en solución (Li-K), así como de cloruros, sulfatos y carbonatos. Otros cuerpos salinos en la provincia de Catamarca se encuentran en diversos estadios de exploración minera, como San Francisco, Antofalla, Incahuasi, Carachi Pampa, 3Q. En particular el proyecto 3Q, se encuentra en etapa de factibilidad y está localizado próximo a la laguna Los Aparejos y registra salmueras con altas leyes de Li a profundidad de 1 m (King, 2016), la cercanía de los



Figura 1. Localización de la zona de prospección en el “Triángulo del Litio”. Modificado de Lopéz de Azarevich *et al.* (2021).

sitios resulta interesante para el desarrollo de la región. El depósito mineral prospectado en el área de estudio consiste en salmueras enriquecidas en Li que se acumularon en la cuenca salina. La prospección desarrollada en 2019 (Schalamuk *et al.*, 2019) permitió registrar valores máximos de Li y K de 376 mg/L y 8.001 mg/L en el acuífero somero, con promedios de 237,91 mg/L Li y 5.112,62 mg/L K. Debido a que estos valores justifican continuar con la exploración de salmueras se propuso realizar un nuevo muestreo de agua subterránea y proponer una prospección geoeléctrica para estudiar el subsuelo en profundidad, a pesar de que todavía no se dispone de datos de perforaciones que permitan tener información litológica en profundidad.

OBJETIVO

El presente trabajo muestra la metodología utilizada para la exploración de salmueras de Li y K que incluye una prospección geofísica con el método de sondeos eléctricos verticales (SEV-resistividad) y geoquímica. El objetivo del estudio geoeléctrico es identificar las características de los sedimentos del subsuelo en la zona de la laguna con fines hidrogeológicos. De acuerdo a su naturaleza, estos contrastes pueden indicar cambio de litología y/o en las condiciones hidroquímicas del agua almacenada en el medio. Con el estudio geoquímico se busca ampliar el conocimiento de los contenidos de Li y K en el acuífero somero de la cuenca salina e identificar la distribución de anomalías de dichos elementos considerando los resultados de las campañas de prospección 2019 (Schalamuk *et al.*, 2019) y del muestreo complementario (2021).

ÁREA DE ESTUDIO

El clima de la región corresponde a un clima de Puna Desértica, determinado por la existencia de las últimas barreras orográficas del este que impiden el paso de vientos húmedos provenientes del Atlántico, con marcada amplitud térmica diaria y estacional, con elevada heliofanía (85% de sol en los meses invernales), con escasas precipitaciones estivales (diciembre a febrero) que a veces no sobrepasan los 100 mm/año y heladas muy intensas, especialmente durante los meses de invierno (mayo a agosto). Los vientos son intensos, especialmente a partir de las primeras horas de la tarde.

Los datos meteorológicos disponibles corresponden a Antofagasta de la Sierra (Catamarca), distante aproximadamente 300 km de Yergo, donde se registran temperaturas medias anuales de 7°C (Paoli, 2003). Los datos presentados para esta latitud en la zona chilena (DGA, 2009), indican temperaturas medias anuales de 0-2°C, precipitaciones de 150-200 mm/año y evaporación de ~2.000 mm/año.

Desde el punto de vista hidrogeológico, la zona prospectada pertenece a la Cuenca del río Abaucán-Colorado-Salado (Paoli, 2003). Esta cuenca está delimitada al Norte por la Cordillera de San Buenaventura, al Este y Sudeste por las cumbres de Chaschuil, Narváez, Famatina y Velazco;

al Oeste con las de Fiambalá y Zapata y en el extremo Sur por las cuencas de Sanagasta y Chilecito.

La cuenca de Los Aparejos tiene una dimensión de 8 km x 4 km elongada en sentido E-O, se encuentra a una altura de 4.250 msnm. La topografía es abrupta en los sectores montañosos que aportan a la cuenca, con la máxima altura localizada en Cerro de Los Aparejos con 4.719 msnm, inmediatamente al S de la laguna. En el sector de aporte austral se encuentra una colada andesítica y un cuerpo volcánico basáltico, que aportan detritos volcánicos a la cuenca.

La zona de estudio para este trabajo se limita a la Sana gasta mayor parte de la depresión donde se aloja la laguna, y los sectores próximos en un área que posee una extensión de 5 km x 3 km aproximadamente (Fig. 2). Este sector está cubierto de detritos y sedimentos aluviales, y por sectores playa *lake* y cuerpos de agua con pastizales halófilos. La depresión salina presenta una superficie relativamente plana, con dos depocentros, de los cuales el localizado al SO es más pequeño y el oriental es Laguna Los Aparejos. En ésta se desarrolla una zona con costra salina de 3 km x 2 km en el sector SE, cuya composición es principalmente ClNa, Na₂SO₄ y de manera subordinada Na₂CO₃.

GEOLOGÍA Y GEOMORFOLOGÍA

Las rocas más antiguas aflorantes en la zona son vulcanitas del Mioceno superior de composición andesítica, compuestas por fenocristales de hasta 2 cm de longitud de anfíboles, biotitas y plagioclasas, inmersos en una matriz afanítica de color gris. Hacia el sur y fuera de la propiedad, los intrusivos subvolcánicos muestran alteración hidrotermal de colores amarillentos.

La superficie cubierta por estas unidades terciarias es inferior al 10% del área total estudiada. El resto de la superficie está cubierta por sedimentos no consolidados del Holoceno-Reciente. El Holoceno se compone de unidades clásticas, cuyos sedimentos se desplazan principalmente por acción del viento, y evaporíticas intercaladas con sedimentos arcillosos y arenosos. Las unidades litológicas son:

- Sedimentos sueltos de granulometría conglomerados, compuestos por fragmentos líticos de diverso tamaño, de composición principalmente basáltica y cuarzosa, en matriz arenosa gruesa a media. Las facies corresponden a conos aluviales y de detritos.
- Arcillas blancas y pardas, que se encuentran húmedas o secas, ocasionalmente intercaladas con lentes halíticos. Las facies corresponden a depósitos de playa fangosa, y constituyen parte del relleno dentro de la cuenca salina.
- Arcillas y arcillas arenosas negras, de olor fétido, que se encuentran por debajo de las arcillas blancas y pardas. En ocasiones se encuentran cristales de halita y mirabilita intersticiales. Las facies corresponden a depósitos de fangos orgánicos.
- Evaporitas: i) NaCl (halita), que se encuentra como costra salina delgada de hasta 10 cm de espesor, con morfología poligonada, rugosa o conformando una superficie lisa, que en

profundidad desarrolla niveles de decenas de cm compuestos por cristales de hasta 1,5 cm sin cementar. ii) SO_4Na_2 (mirabilita-thenardita), que se encuentra como costra salina delgada de escasos cm de espesor, asociada a pequeñas depresiones generadas por la irregularidad en la superficie salina, o como pequeños cristales sobre halita.

La geomorfología está caracterizada por una cuenca endorreica con un depocentro con costra salina, cuya inundación es esporádica, y conos aluviales y de detritos que bordean la cuenca, de los cuales se identifican 2 en el extremo norte, 1 en el oeste y sur. Dentro del salar se encuentran también zonas inundadas en los sectores de borde, en los extremos NE y SO de Laguna Los Aparejos.

DESCRIPCIÓN DEL DEPÓSITO MINERAL

La configuración de la cuenca Los Aparejos define dos subcuencas, una al sudoeste más pequeña, y otra al este de mayor tamaño; ambas con superficies que incluyen un cuerpo de agua superficial en el cual se desarrolla vegetación halófila y acumulación de materia orgánica de tipo algal.

La recarga de agua superficial a la cuenca se produce a través del agua que se infiltra en los conos o la que llega por cursos intermitentes al cuerpo salino desde el este y noreste, especialmente en la zona de márgenes de cuenca. Al producirse una recarga de agua dulce, se genera una mezcla de aguas y dilución de la salmuera especialmente en los sectores de borde. Debido a la mayor densidad de ésta, generalmente hay un marcado gradiente de densidad desde la recarga a lo largo de las márgenes hacia la salmuera dentro del salar que condiciona la circulación.

Se destaca que el cuerpo de salmuera en el salar se considera fósil respecto a las condiciones hidrológicas actuales (Hains, 2012), ya que el intercambio entre salmuera-agua dulce estará controlado y limitado por las pérdidas por evaporación desde la superficie en el núcleo y en los márgenes.

Las características químicas y mineralógicas reconocidas indican precipitación de evaporitas de dos variedades principales en la superficie del salar: cloruros (ClNa , halita) y sulfatos (sulfato de Na, mirabilita-thenardita).

Así mismo, en subsuperficie hasta 1 m de profundidad aproximadamente, se encuentran otros niveles de evaporitas, como halita cúbica con alta porosidad en la que circula salmuera y arcillas con crecimiento de cristales de halita intersticiales, acompañados en ocasiones por una salmuera que se presume de igual composición. Esto implica que la salmuera se acerca a los límites de solubilidad de ClNa , y los cubos de halita persisten asociados a su propia agua de cristalización. Los valores de conductividad obtenidos en 2019 indicaron la presencia de salmueras en ambos depocentros, tanto en condiciones superficiales como subsuperficiales (Schalamuk *et al.*, 2019). Las concentraciones de Li y K en la salmuera de niveles someros, obtenidas en 2019, permitieron confirmar la presencia de salmueras de Li-K, con valores promedio de 255 mg/L Li y 5.492 mg/L K.

METODOLOGÍA

El método de prospección geoelectrica estudia las variaciones de resistividad en el subsuelo.

El sondeo eléctrico vertical en la modalidad Schlumberger (SEV), es la determinación de la resistividad aparente en función de una separación creciente de electrodos de energización. El método empleado consiste en materializar en el terreno un dispositivo tetrapolar lineal y simétrico respecto de un origen. El trabajo de campo consiste en obtener valores de resistividad aparente a partir de hacer circular una corriente continua por el circuito de emisión y medir la diferencia de potencial que se genera entre los electrodos de recepción. Para la medición de la resistividad aparente se utiliza un resistivímetro digital, y electrodos de acero inoxidable y cobre.

El SEV supone que el subsuelo se comporta como una sucesión de capas horizontales y homogéneas, contemplando una variación de la resistividad con la profundidad (1D) debajo del punto sondeado. Cada valor calculado de la resistividad aparente se asigna a la distancia en metros y se grafica en escala bilogarítmica.

El dato de campo (curva de resistividades aparentes) debe ser invertido para obtener una distribución de resistividades verdaderas en profundidad que satisfaga matemáticamente la curva de respuesta observada dentro de una banda dada por el error experimental.

El procesamiento de las curvas se hizo utilizando el programa SEVs (Perdomo y Nigro, 2015) para medios estratificados horizontales, que consiste en la obtención de un modelo inicial según Zohdy (1989), reducción del número de parámetros del modelo, ajuste manual interactivo, y evaluación de los rangos de equivalencia del modelo e inversión con información a priori. En todos los casos la obtención de la respuesta del modelo se obtuvo convolucionalmente, utilizando para ello el operador lineal de Johansen (1975), que trabaja en un muestreo de la transformada de resistividad de 10 puntos por década logarítmica y tiene una longitud de 141 coeficientes al que se consideró suficiente para evaluar curvas de contrastes resistivos como las que se presentan en la zona.

La prospección geoquímica se llevó a cabo mediante la confección de pozos someros en el salar, la toma de parámetros físicos en la salmuera (pH, temperatura, conductividad, total de sólidos disueltos, salinidad) con una sonda HANNA HI 9835 y la toma muestras para su posterior análisis químico. Los envases fueron sellados y conservados para evitar la exposición a la luz solar directa, y trasladadas en al laboratorio en Jujuy para ser analizadas con el protocolo LMMT03, incluyendo duplicados para el control QA/QC.

RESULTADOS

Geoelectrica

Se midieron 40 SEV que fueron distribuidos de manera aproximadamente equidistante en función de las condiciones de accesibilidad a los sitios de interés y alineados en perfiles transversales a la costa del salar y sobre los conos aluviales más importantes (Fig. 2).

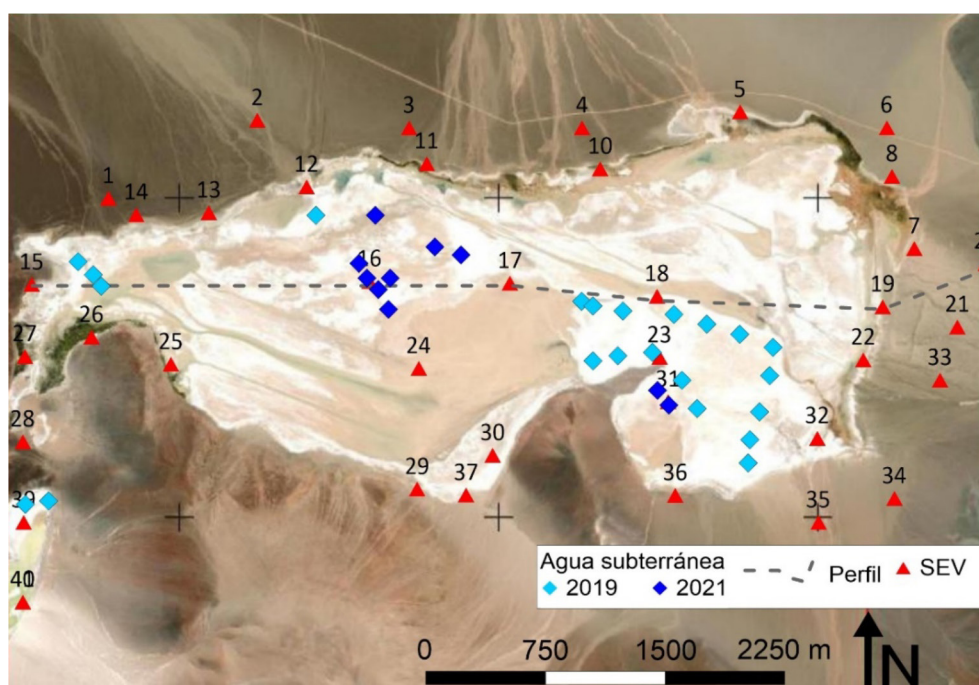


Figura 2. Ubicación de las muestras de agua subterránea y los SEV en el área de estudio. Con línea punteada se indica la posición de uno de los perfiles propuestos.

Se describe el modelo de resistividad verdadera propuesto para uno de los SEV registrados en la zona de interés. En los gráficos de la Figura 3 se observan la curva de campo, el modelo propuesto (trazos rectos) y la curva calculada

El sondeo SY 02 fue medido sobre un cono aluvial en el sector norte de la laguna y es representativo de los sondeos medidos en zonas topográficas más altas. En general las curvas de campo presentan valores muy altos de resistividad aparente en las distancias más cortas y disminuyen uno o hasta dos órdenes de magnitud a medida que aumenta la separación de los electrodos.

El modelo propuesto presenta una primera capa con un espesor aproximado de 1.5 m y valor de resistividad alta ($140 \Omega m$) que corresponde a la parte más superficial del subsuelo. Para

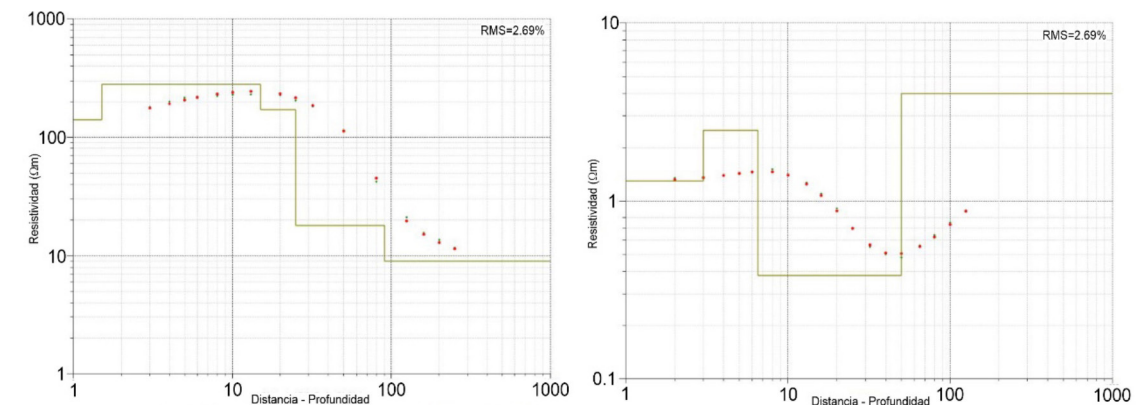


Figura 3. Curva de campo, curva de resistividad verdadera y curva de datos calculados. En la parte inferior se indica el error medio cuadrático (RMS) entre los datos empalmados y calculados.

las siguientes capas el valor de la resistividad aumenta levemente a valores de 280 y 170 Ωm y se desarrollan hasta los 25 m de profundidad.

Por debajo de esta secuencia de capas se observa una capa de resistividad intermedia (18 Ωm) que alcanza los 90 m de profundidad. La última electrocapa considerada presenta un marcado descenso de la resistividad hasta un valor de 9 Ωm . Desde el punto de vista teórico esta capa presenta espesor infinito.

El SEV SY 23 es representativo de las curvas que fueron medidas sobre el salar, con una profundidad de 0.5 m para el nivel freático. En general, se presenta con valores prácticamente constantes en la primera parte de la curva y luego se observa un aumento suave de la resistividad, sin embargo, en algunos casos se observan algunas variaciones como la presencia de mínimos absolutos.

En este caso el modelo propuesto consta de cuatro capas, la primera corresponde a la parte más superficial de la laguna, se desarrolla hasta los 3 m de profundidad, con valores bajos de resistividad (1.3 Ωm). Luego se observa una capa con un leve aumento de la resistividad (2.5 Ωm) hasta los 7 m de profundidad aproximadamente. La tercera capa muestra un marcado descenso de la resistividad hasta un valor muy bajo de 0.38 Ωm . Esta capa se encontraría hasta los 50 m profundidad. La última electrocapa presenta un leve aumento de la resistividad (4 Ωm).

A partir de analizar los modelos, se definieron rangos de resistividad que se representan en escala colorimétrica y se confeccionaron mapas de distribución para las diferentes electrocapas. A modo de ejemplo se muestra el resultado de lo obtenido para la primera capa (Fig. 4).

La distribución de resistividad de la capa más superficial muestra que los valores menores a 1 Ωm coinciden con la ubicación y geometría de la laguna. Se destaca un leve aumento de la resistividad la zona central que indicaría una división en la laguna conformando dos depocentros, el valor mínimo de la resistividad se indica con línea punteada en la Fig. 4.

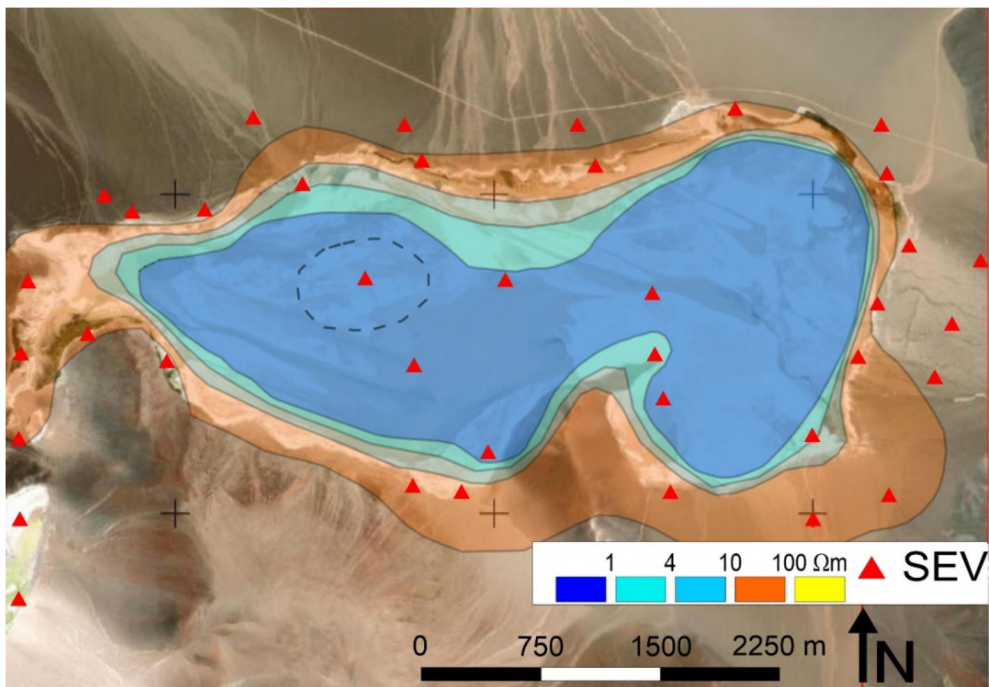


Figura 4. Mapa de distribución de resistividad para la capa más superficial de los modelos.

Con los modelos obtenidos se realizaron secciones transversales a la laguna, para evaluar la continuidad lateral de las capas, siguiendo los rangos de resistividad propuestos. En la Figura 5 se muestra un corte en sentido oeste – este de la laguna, donde se infiere la extensión lateral de las capas de mayor conductividad atribuida a la presencia de salmueras (16, 17 y 18). En profundidad se observa un leve aumento de la resistividad que podría atribuirse a un cambio litológico o a un aumento de compactación de los sedimentos de la cuenca. En el modelo propuesto para el SEV 17 se observa una capa de alta resistividad a partir de los 20 m de profundidad aproximadamente, esto podría estar indicando la presencia de un umbral que divide la cuenca en dos depocentros.

Geoquímica

En esta etapa se integran los resultados de una campaña anterior (2019) donde se recolectaron y analizaron 24 muestras. Para este trabajo se analizaron 10 muestras de agua subterránea recolectada en sondeos manuales que llegaban hasta el acuífero freático (Fig. 2). A modo de control se analizaron dos contramuestras 2019-2021.

Las salmueras analizadas son del acuífero somero, de profundidades entre 0 y 82 cm, son conductivas en un rango de 140 - 190 mS, registran salinidad >400 %NaCl, presentan total de sólidos disueltos inferior a 95 g/L y pH próximo a 7. Para las muestras analizadas en 2021 se observa que los valores de conductividad y la concentración de Li guardan una relación lineal, con un coeficiente de correlación (R^2) de 0,59 (Fig. 6).

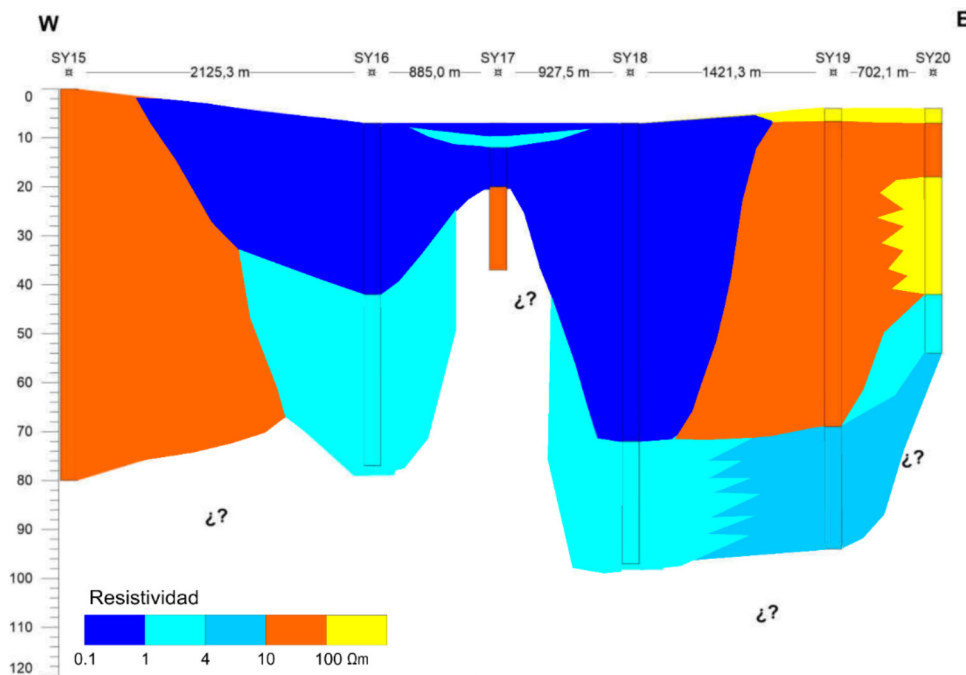


Figura 5. Sección transversal de resistividad. El eje vertical indica profundidad en metros.

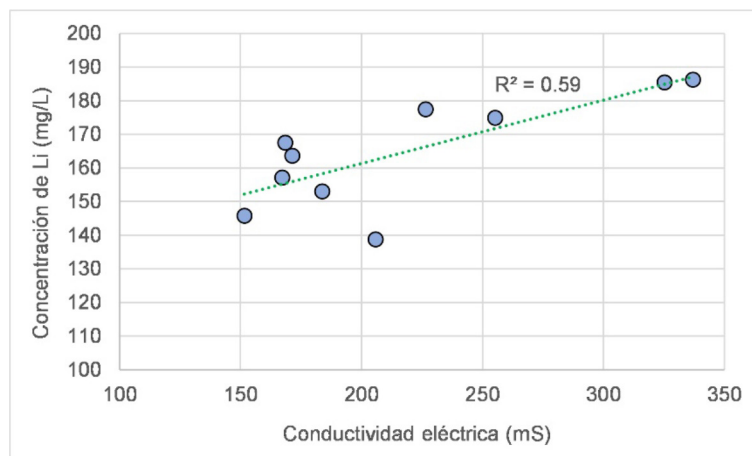


Figura 6. Correlación entre la concentración de Li (mg/L) y conductividad eléctrica (mS).

La distribución de valores de concentración Li en niveles subsuperficiales hasta niveles freáticos de 82 cm (Figura 6) permite identificar concentraciones de ambos elementos en las salmueras equiparables con las obtenidas en 2019 para el sector SE del cuerpo salino. En función de esta distribución, se reconoce cierta continuidad en sentido NO-SE, en el centro de cuenca, de leyes de interés prospectivo en el acuífero somero.

Las concentraciones de Li se encuentran entre 151 y 337 mg/L y K entre 2.881 y 7.160 mg/L,

con valores promedio de Li 219,21 mg/L y K 4.680 mg/L. De la totalidad de las muestras tomadas (10), el 50% registra valores de Li >194 mg/L y el 50% de las mismas contiene K > 4.679 mg/L.

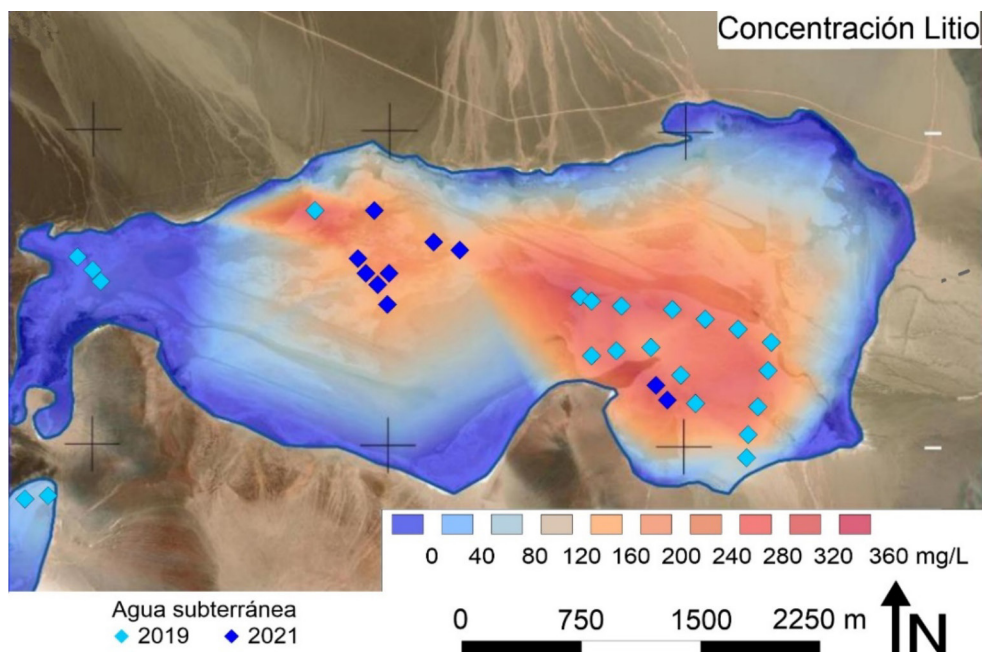


Figura 7. Mapa de concentración de litio.

MODELO GEOLÓGICO CONCEPTUAL

Desde el punto de vista evolutivo, la Laguna Los Aparejos es un salar medianamente maduro, con costra de cloruro de Na y sulfato de Na, con dos depocentros identificados norte y sudoeste. En el sector norte se encuentran los mayores potenciales de exploración por salmueras de Li.

Las leyes de Li y K en la salmuera del acuífero somero permiten identificar un sector de mayores concentraciones en el centro del cuerpo salino septentrional, con mayores anomalías de Li-K orientadas en sentido NO-SE. Esta distribución es coincidente con los registros geoelectrónicos de muy baja resistividad en superficie y hasta una profundidad de 65 metros. Estos resultados podrían ser evidencia de la localización de un núcleo salino en el sector central de la cuenca.

La distribución de capas y cuerpos de muy baja resistividad sugieren la presencia de interdigitaciones de sedimentos de diferente composición o alojantes de aguas dulces (alta resistividad) o salobres/salinas (resistividad baja o muy baja), que reflejan el registro sedimentológico de la cuenca. Se reconoce un umbral casi central que puede deberse a la presencia de rocas volcánicas en el interior de la cuenca, que separa dos cuerpos de muy baja resistividad interpretados como alojantes de acuíferos salinos.

No se conocen modelos evolutivos para esta cuenca, ni correlación de facies en profundidad por carecer de datos de perforaciones.

CONSIDERACIONES FINALES

Las tareas de prospección se desarrollaron en la Laguna Los Aparejos, Catamarca, donde la cuenca desarrolla niveles salinos. Los núcleos salinos se componen de halita y sulfato de Na subordinado. En los bordes de cuenca afloran vulcanitas terciarias y depósitos no consolidados del Holoceno-Reciente conformando aluvios y coluvios. Un total de 10 muestras fueron tomadas del primer acuífero hasta 1 m de profundidad, mostrando valores de conductividad de 140-190 mS. Las leyes de Li y K exhiben máximos de 337 mg/L y 7.160 mg/L respectivamente, con promedios de 220 mg/L y 4.680 mg/L.

Se observó una correlación entre los valores de conductividad eléctrica y la concentración de Li. Por otro lado, la prospección geofísica permitió vislumbrar dos sectores con valores muy bajos de resistividad en el sector central del cuerpo salino y hasta una profundidad de 70 m. Valores de resistividad muy bajos-bajos interdigitan en la cuenca con valores de resistividad mediana a alta. Estos sectores de baja y muy baja resistividad son los objetivos exploratorios más importantes de este trabajo, y podrían indicar variaciones litológicas y/o de salinidad de las aguas. Debido a la falta de información litológica la interpretación de los modelos geoeléctricos es cualitativa y se utiliza como referencia para proponer la ejecución de perforaciones.

Los resultados obtenidos, a partir de la metodología planteada confirman la presencia de salmueras ricas en litio en niveles someros, y salmueras de baja resistividad que podrían contener recursos de Li y K. A partir de estos resultados se propone la ejecución de perforaciones que contribuyan a mejorar el modelo conceptual del sitio. En primera instancia, sería interesante conocer la geometría de la cuenca a fin de verificar si se trata de dos depocentros, inferido a partir de los SEV y cuál sería su conexión hidráulica. También sería recomendable realizar perforaciones en el sector SE próximos a la laguna, donde se han observado electrocapas de baja resistividad por debajo de los 70 m de profundidad a fin de verificar una posible continuidad de las salmueras por debajo de los conos aluviales. Se recomienda también la construcción de pozos exploratorios para ampliar el conocimiento e identificar y cuantificar recursos de litio y potasio en la cuenca.

REFERENCIAS CITADAS

- | | |
|---|---|
| DGA, 2009. Levantamiento hidrogeológico para el desarrollo de nuevas fuentes de agua en áreas prioritarias de la zona norte de Chile, Regiones XV, I, II y III. Etapa 2 Informe Fi- | nal Parte IX Sistema Piloto II Región Salares El Laco y Aguas Calientes 2, Laguna Tuyajto y Pampas Puntas Negras, Las Tecas y Colorada. 477 pp. |
|---|---|

- Hains, D.H., 2012. CIM Best Practice Guidelines for Resource and Reserve Estimation for Lithium Brines. CIM Estimation Best Practice Committee, 10 pp.
- Johansen, H. K., 1975. An interactive computer-display-terminal system for interpretation of resistivity soundings. *Geoph. Prosp.*, 23, pp. 449-459.
- King, M., 2016. Technical Report on the Tres Quebradas Lithium Project, Catamarca Province, Argentina. 86 pp.
- López de Azarevich, V., Schalamuk, I.B. y Azarevich, M.B. 2021. Depósitos de litio y potasio en salmueras de salares de Sudamérica: caracterización, hidroquímica, depocentros y recursos. *Revista de la Sociedad Geológica de España*, 34(2): 28-52.
- Paoli, H.P., 2003. Aprovechamiento de los recursos hídricos y tecnología de riego en el Altiplano Argentino. INTA-Salta. 134 pp.
- Perdomo, S. y Nigro, J. 2015. SEVs (Versión 1.0). Dirección Nacional de Derechos de Autor. Expdte. 5306396.
- Schalamuk, I. A., López de Azarevich, V. L., M. B. Azarevich, 2019. Evaluación Geológica y Geoquímica por Li y K de La Concesión Minera Yergo, Laguna Los Aparejos, Catamarca. Portofino Informe inédito.
- Zohdy, A. R., 1989. A new method for the automatic interpretation of Schlumberger and Wenner sounding curves. *Geophysics*, v 54, N° 2, pag: 245-253.

