

Características hidrogeológicas de los salares en la Puna Argentina

Rodolfo García, Eduardo Kruse, Ricardo Etcheverry, Mario Tessone y Pilar Moreira

Resumen

Se definen los factores hidrogeológicos de mayor influencia para la minería del litio en los salares de la Puna. Ello abarca a la extracción del mineral a partir de una salmuera y la demanda de agua dulce. Estos proyectos requieren estudios hidrogeológicos detallados que cuantifiquen las reservas del mineral en el agua subterránea de alta salinidad (salmueras) y las condiciones hidrodinámicas e hidroquímicas del agua dulce para uso industrial y humano. La explotación de salmueras se asocia a una dinámica subterránea que produce variaciones en las concentraciones de litio, modificaciones de la densidad del fluido y la profundización de los niveles piezométricos. La explotación de agua dulce debe contemplar la demanda requerida en cuanto a calidad y cantidad. Para la evaluación son necesarios datos básicos (parámetros hidráulicos) y componentes del balance hidrológico (precipitaciones, evaporación, escurrimiento fluvial e infiltración). Los mecanismos de recarga a los acuíferos son fundamentales ya que se relacionan a las escasas lluvias o a la infiltración a través de los cursos fluviales. Especial atención merecen los efectos ambientales que podría generar la explotación por su posible afectación a los cuerpos de agua que son la fuente de vida de la flora y fauna en la región.

Palabras clave: agua subterránea, salmuera, agua dulce, salares de la Puna

Abstract

The hydrogeological factors that most influence lithium mining in the Puna salt-flats are defined. This includes the extraction of the mineral from the brine and the freshwater demand. These projects require detailed hydrogeological studies that quantify the mineral reserves in high-salinity groundwater (brine) and the hydrodynamic and hydrochemical conditions of freshwater for industrial and human use. Brine exploitation is associated with groundwater dynamics that produce variations in lithium concentrations, fluid density modifications and deepening of piezometric levels. The exploitation of freshwater requires the necessary demand in terms of quality and quantity. Basic data (hydraulic parameters) and components of the water balance (precipitation, evaporation, river runoff and infiltration) are essential for evaluation. The recharge mechanisms to the aquifers are fundamental since these are associated with the scarce rainfall or with the infiltration through the river courses. Special attention should be given to the environmental effects that could be generated by the exploitation due to its possible effect on the water bodies that are the source of flora and fauna of the region.

Keywords: groundwater, brine, freshwater, Puna salt-flats

1. Introducción

La demanda mundial de litio se ha incrementado desde mediados del siglo XX y se prevé que siga aumentando, ya que es un elemento crítico y tecnológicamente importante. Su uso es generalizado, especialmente para las baterías de los automóviles híbridos y los dispositivos electrónicos.

Las principales fuentes de litio se vinculan a pegmatitas, salmueras continentales y arcillas alteradas hidrotermalmente (Etcheverry et al, 2020). Las salmueras continentales proporcionan aproximadamente tres cuartas partes de la producción mundial de Li debido a su costo de producción relativamente bajo. En Argentina, a partir de salmueras existentes en acuíferos de los salares de la Puna se origina la mayor producción de este elemento.

La explotación de Litio, y también de Potasio, dos elementos que se encuentran presentes en muchos salares de la Puna Argentina, se realiza a diferencia de otros minerales (metales o no metales) a partir de la extracción de un fluido (salmuera) que contiene estos elementos. Ello significa que para la explotación son necesarias perforaciones que alcancen a los acuíferos que almacenan agua subterránea de elevada salinidad y densidad.

Por otra parte, el proceso para la obtención del Litio requiere el uso de agua dulce, la cual dadas las particulares condiciones hidrológicas que se presentan en el ambiente de la Puna Argentina, es una tarea difícil ya que está fuertemente condicionada por los aspectos climáticos reinantes y por los mecanismos de la recarga actual que condicionan la cantidad; pero también debido a la calidad del recurso hídrico subterráneo, puesto que en la mayoría de los casos el agua presenta excesos en el contenido de arsénico, boro, sílice, etc., que condicionan el uso (García et al, 2011; García, 2016).

El conocimiento del comportamiento del recurso hídrico subterráneo y su interacción con los otros componentes del medio físico resultan fundamentales para garantizar el manejo y un desarrollo sostenible de cualquier emprendimiento para la explotación de Litio en salmueras.

En este trabajo se resalta la significación que adquiere el estudio del agua subterránea en estos ambientes complejos, lo cual incluye a dos cuestiones aplicadas de la hidrogeología, por un lado, la explotación del mineral a partir de una salmuera y por el otro, al requerimiento de agua dulce que demanda la industria.

2. Los salares como fuente de Litio

El área que se extiende a través del suroeste de Bolivia y el norte de Argentina y Chile (los Andes Centrales de América del Sur) muestra una geografía caracterizada por numerosas cuencas endorreicas desarrolladas en un ambiente de altura media de unos 4000 m s.n.m. Estos ámbitos conocidos como la Puna Argentina, el Altiplano o el Desierto de Atacama presentan salares, lagos y lagunas y actividad volcánica reciente y actual.

Los sistemas de salmueras ricas en Li en la Puna Argentina comparten características comunes que dan lugar a evidencias sobre su origen y que también sirven como indicadores para su exploración.

Estas características muestran que su desarrollo se asocia, principalmente, a: climas áridos (con bajas precipitaciones y muy alta tasa de evaporación); cuencas endorreicas en las cuales la escasa agua superficial y el agua subterránea tienen como nivel de base a una laguna, salina o salar; regiones con actividad volcánica terciaria y/o cuaternaria asociada a sistemas de fallas que pueden haber actuado como vehículo de transporte de sustancias minerales con componentes de Litio y, finalmente, un tiempo geológico suficientemente prolongado con condiciones óptimas para que se produzca la concentración de distintos tipos de sales.

De acuerdo con Munk et al, (2016) en estudios detallados de salmueras ricas en Li a nivel internacional, indican concentraciones variables de 10 a 7000 mg/L de litio.

Los salares, ubicados en zonas de aridez extrema (escasas precipitaciones, vientos intensos, alto índice de evapotranspiración, fuerte insolación, etc.), se desarrollaron en zonas con presencia de vulcanismo póstumo y actual, con presencia de fuentes de aguas termales.

De acuerdo con Seggiaro et al, (2015) el desarrollo durante el Pleistoceno se correspondió con lagos

de agua dulce en condiciones climáticas distintas a las actuales. Se salinizaron y desecaron durante el Holoceno, formando depósitos lacustres evaporíticos.

El vulcanismo activo durante esta evolución aportó distintos iones al sistema a través de soluciones emanadas de fuentes de origen volcánico, tanto de la meteorización de las rocas volcánicas como de los fluidos provenientes de sistemas hidrotermales. En la actualidad, se manifiestan como cuerpos compuestos por volúmenes de sales diversas que se intercalan con depósitos pelíticos o arcillosos (Seggiaro et al, 2015). Por lo tanto, los salares son alimentados por aguas subterráneas, cuyas sales precipitan al evaporarse la salmuera (Aranda Álvarez, 2018).

Según Alonso (2017), las aguas mineralizadas, de origen volcánico, confluyen en cuencas cerradas desde donde solo pueden salir del ciclo por el proceso de evaporación. El residuo salino genera las evaporitas, siendo el cloruro de sodio, la sal más abundante. En el interior húmedo se mantiene líquida la salmuera que contiene el resto de los elementos químicos entre los cuales el Litio y el Potasio son los que, actualmente, tienen mayor interés económico.

3. Características generales de los salares

La región se caracteriza desde el punto de vista climático por escasas precipitaciones líquidas y sólidas (menos de 150 mm/año), marcada amplitud térmica (20 °C o más) y elevados valores de evapotranspiración (2.000 a 2.500 mm/año) (García et al, 2016).

La mayoría de los salares de la Puna Argentina se comportan actualmente como una cuenca hidrológica endorreica. Sin embargo, existen evidencias que indican que en el pasado geológico estas depresiones pudieron estar conectadas superficialmente con otras depresiones y aún con otros salares cercanos, y que en esos tiempos el clima era mucho más húmedo que el actual (García et al, 2011; García et al, 2013; García et al, 2016).

La particularidad del ambiente determina que la mayoría de los ríos sean de régimen intermitente siendo su nivel de base una laguna o un salar.

Las diferencias existentes entre los salares en cuanto a su extensión, espesor del relleno sedimentario, concentración de sales, mineralización y facies sedimentarias presentes son indicadores que su evolución se produjo en forma independiente uno del otro (García et al, 2011, García Maurizio, 2013; García et al, 2016).

De esta manera, existen salares con facies sedimentarias casi exclusivamente químicas (halita, carbonatos, boratos) y otros donde dominan las facies terrígenas (gravas,

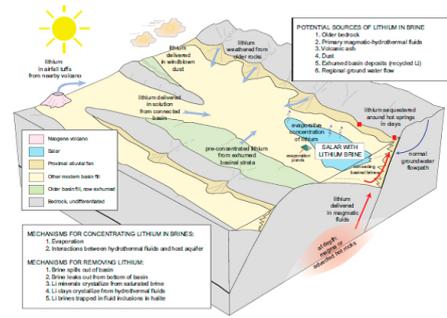


Fig.1: Esquema de las salmueras (simplificado de Munk et al, 2016).

Las salmueras alojadas en salares muestran un aumento típico en la concentración desde sus márgenes hasta la parte central (Houston, et al, 2011). Los gradientes de concentración más altos ocurren cuando la evaporación es más intensa, alcanzando frecuentemente una meseta en la parte central.

5. Salares en la Puna

Para el ambiente de la Puna Argentina, en general es posible diferenciar entre salares húmedos y secos (García et al, 2016, 2018; García Maurizzio, 2013).

Los primeros están localizados al oriente y se sitúan entre las isohietas de 50 a 100 mm/año, pudiéndose mencionar, entre otros: Olaroz (Jujuy), Cauchari (Jujuy y Salta), Pozuelos, Centenario, Ratones, Diablillos (Salta) y Hombre Muerto (Salta y Catamarca).

Los salares secos, ubicados al occidente, se localizan en un ambiente con valores de precipitaciones menor a 50 mm/año, entre ellos se pueden citar al Salar de Jama (Jujuy), Rincón, Pocitos, Tolillar, Arizaro, Incahuasi, Lullaillaco y Río Grande (Salta) y Antofalla (Salta y Catamarca).

Los depósitos de los salares propiamente dichos pueden diferenciarse entre aquellos en donde predominan la facies evaporíticas (Hombre Muerto Occidental, Rincón, Antofalla, Lullaillaco, Arizaro, etc.) y en los que las facies clásticas son dominantes (Hombre Muerto, Oriental, Pozuelos, Cauchari, Ratones, Diablillos, Pocitos, etc.).

En los primeros la facie predominante en halita con algunas intercalaciones de arcillas y pequeñas lentes de arenas. En los segundos, las facies dominantes son arenas y arcillas con pequeños niveles de halita y carbonatos. Los aniones más comunes en las salmueras y depósitos son los cloruros, carbonatos, sulfatos y boratos, mientras que los cationes más abundantes son sodio, potasio y calcio. Otros cationes que se encuentran presentes son litio y magnesio (García et al, 2011, 2016 y 2018).

En estas cuencas, los otros depósitos característicos son los abanicos aluviales y de pie de monte que suelen cubrir amplios sectores y están restringidos a zonas deprimidas y a las laderas de los cordones montañosos. Estos depósitos se extienden hasta las inmediaciones de los bordes de los salares, perdiendo espesor e interdigitándose con los depósitos propios de los cuerpos salinos y, donde la mayoría de las veces, se desarrolla una zona de interfaz de agua dulce / agua salobre / agua salada.

6. Agua subterránea de alta salinidad (salmueras)

Si bien la demanda de Litio está experimentando un continuo crecimiento, el incremento de la oferta del

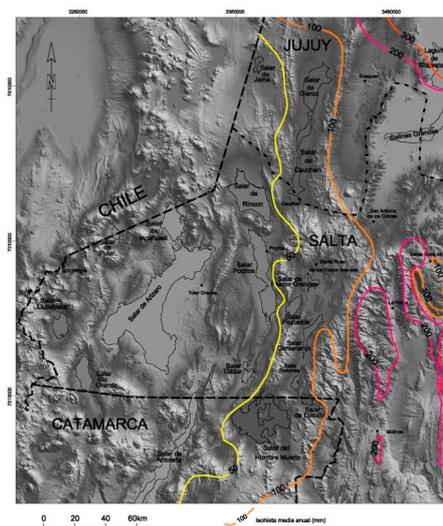


Fig. 3: Isoyetas media anual en la Puna Argentina (García et al, 2016).

mineral a partir de salmueras con las condiciones tecnológicas actuales, constituye en muchos lugares un desafío. Por otra parte, aún existen fuertes incógnitas en la mayoría de los proyectos, respecto a la evaluación de los recursos disponibles y las reservas a explotar puesto que aspectos fundamentales como la variación de la recarga y los parámetros hidráulicos no son conocidos con la rigurosidad técnica y científica necesaria.

A diferencia de lo que ocurre con un yacimiento minero tradicional, en el caso de las salmueras se trata de un recurso sujeto a la dinámica impuesta por el flujo subterráneo y la influencia del ciclo hidrológico. Para definir las reservas extraíbles es necesario conocer la incidencia de distintos factores, tales como las variaciones en la transmisividad y coeficiente de almacenamiento del acuífero, la influencia de la heterogeneidad litológica, las variaciones laterales y en profundidad de las concentraciones de Litio, cambios en la densidad de la salmuera, etc.

Todos estos factores deberían ser analizados convenientemente durante la etapa de exploración y continuar luego con un monitoreo completo de las variables en el tiempo y en el espacio. Por otra parte, en este tipo de ambiente también debe evaluarse la respuesta frente a la explotación de la interfase de agua dulce / agua salada ya que, normalmente, existe una zona de equilibrio metaestable que se puede modificar rápidamente, produciendo procesos de mezclas, modificaciones hidrodinámicas e hidroquímicas. A diferencia de lo que ocurre en ambientes costeros, la extracción de salmueras desde un salar, puede producir el ingreso de agua más dulce desde los bordes.

Este fenómeno ha sido observado en algunos lugares de la Puna Argentina como los salares del Hombre Muerto, Rincón y Olaroz, donde en los bordes de los cuerpos salinos y en las típicas bajadas y abanicos aluviales que se comportan como reservorios con agua dulce, se origina una zona de mezcla de agua dulce y agua salada (García et al, 2018). El ingreso de agua dulce puede producir una dilución en la salmuera y así disminuir las concentraciones en la extracción.

En base a una exploración detallada se deberá planificar un plan que debe incluir el número y ubicación de pozos, así como los caudales a extraer para alcanzar el volumen de salmuera necesario para el proyecto.

Debe tenerse en cuenta que se extrae un fluido que contiene en su composición, entre otros elementos, Litio y Potasio. La explotación se realiza a partir de una perforación que alcanza el acuífero que almacena la salmuera con valores de conductividad eléctrica de hasta 250.000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ y densidades de 1,21 g/cm^3 , con concentraciones medias de Litio de 650 mg/l .

Uno de los aspectos más sensibles en la evaluación de los reservorios de salmueras está relacionado directamente a la estimación de los parámetros hidráulicos, ya que en muchos salares de la Puna Argentina es uno de los mayores condicionantes para evaluar las reservas.

El otro aspecto que resulta de cierta incertidumbre en la estimación de las reservas son las variaciones de las concentraciones de la salmuera en sentido horizontal y en profundidad. Para ello se requiere determinaciones de laboratorio en testigos, muestreos selectivos con packer y/o low flow y, durante la etapa de bombeo de los pozos diseñados para pruebas hidráulicas.

El último paso de la etapa de exploración se resuelve a partir de la formulación del modelo hidrogeológico conceptual y con la modelación numérica correspondiente. Si el reservorio tiene concentraciones de interés en el contenido de Litio y/o Potasio y, por otra parte, posee reservas económicamente explotables, es posible que avance a la etapa de explotación.

La modelación numérica como herramienta de predicción tendrá mayor o menor validez en función de los datos de ingreso y las condiciones de borde utilizadas en el modelo. La incertidumbre que genera la estimación de los parámetros hidráulicos y variaciones en las concentraciones en el reservorio que no fueron convenientemente evaluados puede dar lugar a la falta de consistencia y respuestas del acuífero frente a la explotación que no se corresponde con las predicciones.

Para ello se requiere de trabajos detallados en la exploración y monitoreo hidrogeológico que permitan evaluar los recursos disponibles, las reservas a explotar y su seguimiento durante la etapa de explotación.

7. Agua subterránea de baja salinidad (agua dulce)

La potencialidad de los reservorios de agua subterránea en el ambiente de la Puna Argentina está directamente vinculada con el área de la cuenca drenada por los escasos cursos fluviales existentes (García y Moya Ruiz, 2003; Mota Ruiz, et al. 2008; García et al, 2011).

Se reconoce que los principales reservorios de agua subterránea se desarrollan en sedimentos modernos, actuales y subactuales con facies aptas para el almacenamiento y circulación. A su vez, también es reconocida la presencia de agua subterránea con calidad y cantidad suficiente para el consumo humano e industrial en de rocas aflorantes (metamorfitas y areniscas, principalmente Paleozoicas, altamente fracturadas), vinculada a una porosidad secundaria originada en los ciclos de tectonismo y meteorización que ha sufrido la región durante su evolución e historia geológica (García et al, 2011).

Cuando se inicia un proyecto de exploración de litio en la Puna, es también necesario evaluar la disponibilidad de agua dulce que requiere el proceso productivo y otras necesidades derivadas de la actividad.

La explotación sostenible de los acuíferos en esta región depende de la comprensión del funcionamiento del acuífero, especialmente de los procesos de recarga y las características químicas. La ausencia de conocimientos sobre la magnitud y la frecuencia de la recarga de las aguas subterráneas hace que los recursos hídricos subterráneos sean vulnerables a una extracción excesiva, lo que podría conducir al agotamiento de los recursos de agua dulce.

La presencia de agua subterránea dulce (para los distintos usos) en muchos sectores, está condicionada por los aspectos climáticos reinantes y por la escasa recarga actual que terminan definiendo la disponibilidad, pero también debido a la calidad del recurso hídrico subterráneo, puesto que en la gran mayoría de los casos el agua presenta excesos en el contenido de Arsénico, Boro y otros elementos que condicionan su uso para consumo humano.

Si bien las características físicas y químicas del agua para el proceso productivo no requiere una calidad comparable a la del consumo humano, se debe señalar que la presencia de elementos y compuestos como Boro, Arsénico, Magnesio y Sílice, interfieren en el proceso de obtención de carbonato de Litio, razón por la cual se deben localizar fuentes de agua que presenten bajos contenidos en estos elementos; situación que realmente conforma todo un desafío puesto que en la Puna, las rocas y sedimentos de origen volcánico, son ricos en estos elementos y compuestos.

A pesar de las condiciones de aridez en la Puna, los acuíferos a escala regional permiten sostener la demanda de agua dulce. Sin embargo, el aumento de las presiones antrópicas (bombeo) puede provocar progresivamente la disminución a largo plazo de los niveles de las aguas subterráneas.

La cuantificación de recarga actual y tasa de renovación en los acuíferos de la Puna Argentina resulta estratégica para asegurar la disponibilidad a largo plazo de los recursos de aguas subterráneas, los cuales se deberían ajustar con tasas de explotación acordes a dicha disponibilidad.

8. Consideraciones finales

Las características geológicas y climáticas de la Puna contribuyen a que represente un sitio propicio para la formación de salares.

Los proyectos mineros que se desarrollan en la Puna relacionados con la factibilidad de explotación de salmueras enriquecidas en litio y potasio en los salares requieren de estudios hidrogeológicos de detalle que permitan evaluar el comportamiento y las reservas del mineral en el agua de alta salinidad (salmueras), así como el agua de baja salinidad (agua dulce) para uso industrial y consumo humano.

La explotación de salmueras como actividad minera puede generar la variación de concentraciones, dilución de concentraciones, modificaciones de la densidad, etc., y la profundización de los niveles

piezométricos del acuífero sometido a explotación.

La explotación de agua dulce resulta uno de los condicionantes para el desarrollo de un proyecto minero en relación con el Litio, debiendo contemplar de la demanda requerida en cuanto a calidad y cantidad. Conceptualmente, debe considerarse que el agua dulce es un recurso escaso en la Puna.

Con frecuencia, la realización de los estudios hidrogeológicos requiere tiempos prolongados para obtener aquellos los datos básicos que suelen no existir, tales como parámetros hidráulicos y componentes del balance hidrológico (precipitaciones, evaporación, escurrimiento fluvial e infiltración).

Los organismos de control frente a la explotación de agua dulce deben conocer los volúmenes de agua industrial que demandará el proyecto y plantear el concepto de balance hidrológico, es decir la estimación de ingresos que se producen al sistema acuífero y los egresos que ocurren como consecuencia de la explotación.

La estimación del balance hidrológico en los salares es complejo dada la falta del conocimiento de los parámetros que deben aplicarse.

Los mecanismos de recarga a los acuíferos de estos ambientes están relacionado a las escasas lluvias que ocurren en la región o a la infiltración eficaz de los cursos fluviales.

Los estudios tendientes a definir la cantidad y calidad del agua dulce para uso industrial deberían comenzarse en forma simultánea a la exploración y explotación de la salmuera. Estos estudios y análisis se deben continuar a través de monitoreos durante toda la vida del proyecto productivo.

Ello también se debe asociar a los problemas ambientales que pueden generar la explotación y su afectación a los cuerpos de agua y lagunas naturales que son la fuente de vida de la flora y fauna local, que incluso en distintos casos están declaradas como reservas naturales.

Referencias

- [1] R. Alonso "Depósitos de litio en salares de Argentina". En: Baran, E. J., (Ed.). Litio: un recurso natural estratégico desde los depósitos minerales a las aplicaciones tecnológicas (pp. 49 – 68). Ciudad Autónoma de Buenos Aires, Argentina. Academia Nacional de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales. ISBN 978-987-4111-19-7. 2017
- [2] M. Aranda Álvarez. "Una minería del agua: Análisis espacio temporal de la región del Salar de Olaroz: Implicancias ambientales, estrategias de sustentabilidad y crecimiento económico local ante la minería del litio". Tesis de grado. Universidad Nacional de La Plata. Facultad de Humanidades y Ciencias de la Educación. En Memoria Académica. 2018.
- [3] R. Etcheverry, Tessone, M., Moreira, P, Kruse, E. "Caracterización geológica de las fuentes actuales y potenciales de obtención de Litio en la República Argentina. Panorama acerca del Mercado del Litio". Revista Iberoamericana de Tecnología en Educación y Educación en Tecnología. 2020. (en prensa).
- [4] R. García, Rocha Fasola, M. V Y F.A. Moya Ruiz. "Aplicación de los Sondeos Eléctricos Verticales (SEV) a la Exploración en Ambientes de Salares del Altiplano Argentino". El Agua Subterránea: Recurso sin Fronteras: Interacción Agua Superficiales y Agua Subterráneas. Hidrogeología de Salares. Editorial de la Universidad Nacional de Salta. Salta. República Argentina. ISBN. 978-987-633-536-2. Editores. XIV Congreso Latinoamericano de Hidrogeología (ALHSUD), X Congreso Argentino de Hidrogeología y VIII Seminario Hispanolatinoamericano Sobre Temas Actuales de la Hidrología Subterránea. Salta, 2018. República Argentina.
- [5] R. García. El agua subterránea en el Altiplano Argentino: Recurso estratégico para el desarrollo de la región". 3rd International Workshop on Lithium. Industrial Minerals and Energy. 01 a 04 Noviembre. 2016. San Salvador de Jujuy. Argentina
- [6] R. García, V. Rocha Fasola y F. Moya Ruiz. "El Agua Subterránea en la Puna Salteña. Argentina". Recurso Estratégico para el Desarrollo de la Región. Relatorio. Asociación Argentina de Geólogos Economistas. XI Congreso Argentino de Geología Económica. Salta, Argentina. Salta, 2016.
- [7] R. García Maurizio. "Geología de los Recursos Hídricos Subterráneos". Asociación Internacional de Hidrogeólogos. Grupo Argentino. Universidad Nacional de Salta. ISBN 978-987-27407-2-6. 441 páginas. 2013
- [8] R. García, V. Rocha Fasola, F. A. Moya Ruiz y E. Tálamo. "Exploración y Explotación de Salmueras Enriquecidas en Litio y Potasio en Salares de la Puna Argentina". VIII Congreso Argentino de Hidrogeología y VI Seminario Hispano Latinoamericano Sobre Temas Actuales de la Hidrología Subterránea. La Plata, República Argentina. 2013
- [9] R. García, V. Rocha Fasola, F. A. Moya Ruiz y E. Tálamo. "El Ambiente Hidrogeológico de la Puna Salteña". VII Congreso Argentino de Hidrogeología y V Seminario Hispano Latinoamericano Sobre Temas Actuales de la Hidrología Subterránea. Salta, República Argentina. 2011.
- [10] R. García y F. A. Moya Ruiz. Las posibilidades de explotación de Agua Mineral en la Puna Salteña. Provincia de Salta. República Argentina. Consultora Hidrogeológica. Informe Interno. Inédito. 2003.
- [11] J. Houston, J et al. "The Evaluation of Brine Prospects and the Requirement for Modifications to Filing Standards"- Economic Geology, V. 106, pp 1225-1239. May 30. 2011.
- [12] F. Moya Ruiz; García, R.; Rocha, V.; Ferretti, J.; Massei, G y R. González. "Sistema Acuífero Río Trapiche: Un Modelo de Reservorio de Agua Subterránea en Cuencas Endorreicas de la Puna Argentina". IX Congreso Latinoamericano de Hidrología Subterránea, Quito, Ecuador. 2008.
- [13] L. A. Munk, Hyneck S., Bradley D., Boutt D., Labay K, Jochens H., "Lithium brines: a global perspective". Econom. Geology Rew., v. 18, 339-365. 2016.
- [14] R. Seggiaro, Becchio, R., Bercheñi, V. y Ramallo, L. "Hoja Geológica 2366-III Susques". Boletín 414: provincias de Jujuy y Salta. Instituto de Geología y Recursos Minerales, Servicio Geológico Minero Argentino, Boletín N°414. Buenos Aires. 103 p. 2015.
- [15] E. Tálamo; Rodríguez, M.; Bea, S.; Vives, L.; Mira, A.; R. F., García; F. A. Moya Ruiz, F. Y V. Rocha Fasola. "Modelo Hidrogeológico Conceptual del Salar de Pipanaco, Provincias de Catamarca y La Rioja". En Hidrogeología Regional - IX Congreso Hidrogeológico Argentino. VII Seminario Hispano-Latinoamericano Sobre Temas Actuales de Hidrología Subterránea. San Fernando del Valle de Catamarca. Argentina. 1º Edición. Catamarca: Editorial Científica Universitaria – Secretaría de Ciencia y Tecnología –Universidad Nacional de Catamarca. 8 pg. ISBN 978-987-661-224-1. 2016

