

Análisis técnico-ambiental de la producción de carbonato de litio en el NOA

Andrea Nieves¹, Samuel Franco Domínguez¹ y Enrique Tarifa²

Resumen

El litio es un metal estratégico de importancia creciente para algunas industrias y empresas. Argentina se encuentra en el cuarto puesto mundial de producción de carbonato de litio, con expectativa de crecimiento. La administración de este recurso de manera eficiente, teniendo en cuenta las tecnologías existentes, es de gran importancia. Como toda actividad minera el estudio de impacto ambiental es de gran interés, y éste en especial abre un debate intenso por su impacto en el agua de la zona explotada. En este trabajo, se caracteriza el litio y se analizan las reservas existentes y las técnicas disponibles para su explotación. También se analiza el impacto ambiental y la situación en el NOA.

Palabras clave: Litio, carbonato de litio, magnesio, tecnología de extracción, agua.

Introducción

El litio, de carácter único gracias a sus propiedades físicas y químicas, ha desarrollado un mercado diversificado que creció en forma significativa en los últimos años. El 82% de las reservas descubiertas de litio del mundo se encuentran en la zona denominada el triángulo de litio, comprendida por Bolivia, Chile y Argentina; por lo tanto, el litio es un recurso mineral principalmente latinoamericano, y por ello, la discusión sobre el mismo tiene muchos sesgos regionales y principalmente andinos. En este contexto, la evolución del sector minero en la explotación de litio ha instalado un fuerte debate sobre su potencial estratégico para el futuro energético y económico; pero también ha instalado la preocupación por el impacto ambiental y social. En este sentido, los elementos de mayor preocupación son el agua, la tierra, la condición de

1. Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Jujuy. Ítalo Palanca Nº 10 - 4600 San Salvador de Jujuy. andracelez@hotmail.com, sfdominguez@yahoo.com.ar.

2. Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Jujuy, CONICET. Ítalo Palanca Nº10 – 4600 San Salvador de Jujuy – eetarifa@fi.unju.edu.ar.

salud de la mano de obra y de las comunidades cercanas más afectadas, incluyendo en algunos casos comunidades indígenas asentadas en zonas alejadas de las urbes, con ecosistemas que por naturaleza son muy sensibles a los cambios climáticos.

Desde hace unos años, Argentina produce carbonato de litio, llegando a ser el cuarto productor mundial de este compuesto. Tanto la extracción del litio como la producción del carbonato son llevadas a cabo por empresas instaladas en el NOA, en especial en Jujuy y Salta. Si bien en Jujuy, los niveles de producción son todavía a escala de planta piloto, existen estudios que alertan sobre los posibles impactos ambientales. Es así que ante la comunidad, como toda actividad minera, a los posibles beneficios económicos se contraponen los posibles efectos ambientales. Más aún cuando la producción afecta un recurso escaso y vital como es el agua. Es por este motivo que es de gran importancia estudiar las tecnologías que se están empleando en el NOA para estimar el impacto que la explotación tendrá en la región.

En este trabajo, se caracteriza el litio y se analizan las reservas existentes y las técnicas disponibles para su explotación. También se analiza el impacto ambiental y la situación en el NOA, en

especial la situación de la provincia de Jujuy.

Características del litio

El litio es un metal alcalino con número atómico 3 y peso atómico de 6,94. Tiene el símbolo representativo Li, etimológicamente su nombre proviene del griego "lithos" que significa "piedra" [1].

El volumen de los recursos mundiales de litio difiere mucho en el tiempo y de fuente a fuente, se estima que los recursos ascienden a 36,72 Mt Li, sin considerar el litio contenido en el agua del mar. A nivel de países, Bolivia alberga la mayor parte de los recursos con un 24,2% en el Salar de Uyuni, seguido por Chile con un 21,9%, considerando los salares de Atacama y Maricunga. Otros países importantes son Argentina (19,3%) y China (14,0%). Considerando los tipos de depósitos, un 82% de los recursos se encuentra en las salmueras, un 15% en minerales de rocas tanto pegmatíticas como sedimentarias (hectorita) y un 3% en otras fuentes como las salmueras geotermales o en campos petrolíferos [2].

Los mayores depósitos del mundo de litio se encuentran en el triángulo geográfico que abarca partes de Bolivia, Chile y Argentina. En esa región se encuentra aproximadamente el 85% del litio en salmueras total del mundo y el 50% de la producción mundial [3]. Algunos de los puntos más importantes cuando se evalúan un proyecto de explotación de litio en salmuera incluye:

- Concentración de litio: Es mejor una alta concentración de litio.

- Superficie del salar: La extensión de un salar determina la cantidad de salmuera disponible.

- Índice de evaporación: El índice de evaporación depende de la radiación solar, la humedad, los vientos y temperaturas. Si las condiciones climáticas no son apropiadas el ciclo de evaporación puede tomar varios años afectando seriamente la rentabilidad de la producción.

- Subproductos: Los boros y potasios pueden ser recuperados de las salmueras y refinados con el fin de aumentar la rentabilidad de la producción.

- Concentraciones de magnesio y sulfato: Un importante atributo de los depósitos de salmuera es la relación de magnesio-litio, la cual tiene un fuerte impacto en la explotación de minera-

les de litio debido a la similitud de propiedades iónicas que presentan dichos metales. El magnesio impide la formación de cloruro de litio, que es la primera etapa antes de la formación del producto final deseado: carbonato de litio. Además, una mayor concentración de magnesio significa un aumento de la cantidad de soda ash (carbonato de sodio) para que reaccione durante el tratamiento químico de la salmuera, lo que significaría un alto costo de materias primas. Por lo tanto, una baja relación de Mg/Li en la salmuera significa que es más fácil y, por lo tanto, más económico la extracción de litio. Por otra parte, los sulfatos de litio son altamente solubles, en consecuencia una alta concentración de sulfato conduciría a bajas recuperaciones de litio.

- Ubicación de la planta: Los salares donde se extraen las salmueras están ubicadas en zonas alejadas de los centros industriales, y esto incrementará la inversión inicial y los costes de transporte desde y hacia la planta.

- Diseño de piletas: Es importante el diseño y mantenimiento de las piletas adecuadas para la economía de un proyecto. El aspecto más importante en la construcción de las piletas es que sean a prueba de fugas. Otra característica deseable es que las distintas sales de las salmueras cristalicen por separado; esto es: que en cada pileta que compone el tren de concentración cristalice solo un tipo de sal [1, 2].

Producción de litio

Según la USGS (United States Geological Survey), los países con mayor producción de litio son once; de los cuales, Chile es el líder a nivel de comercialización del mineral, aunque desde el 2005 Australia ha aumentado su participación desde 20% a 38% en 2012. Argentina se encuentra en el cuarto lugar con el 9% del mercado [2,5].

La producción de litio está dominada por cuatro compañías: 1) Talison Lithium (Tianqi Group) en Australia, es el mayor productor de litio, tiene una capacidad de producción de 110 000 tn LCE; 2) SQM (Sociedad Química y Minera de Chile) en Antofagasta (Chile); 3) Rockwood Lithium en Atacama (Chile); 4) FMC en Argentina, actualmente cuenta con un 9,9% de la pro-

ducción mundial [1].

Tecnologías de extracción de litio

Existen varios métodos de extracción de litio partiendo desde la salmuera, dependiendo de la cantidad de otros elementos presentes en el depósito explotado. Actualmente, el método de extracción más competitivo es la evaporación solar ya que no requiere plantas complejas y además utiliza la energía del sol. Los únicos costos de producción a partir de las salmueras se deben al uso de reactivos químicos, energía y combustibles durante el proceso de purificación y precipitación; por estas características, los procesos basados en la evaporación solar actualmente tienen el menor costo productivo. Sin embargo, existen otras tecnologías que tienen ventajas frente al proceso analizado, siendo el punto más destacable la mayor velocidad de producción. Por ejemplo, la ósmosis inversa, la extracción química y la extracción por solvente reducen el tiempo de extracción de litio de meses a horas, y además tienen el beneficio de no depender del clima; no obstante, requerirán plantas más complejas y tendrán un mayor consumo de energía eléctrica. Aunque la mayoría de las nuevas tecnologías no han sido probadas a mayor escala, tienen un gran potencial para convertirse en operaciones reales y competitivas, tanto en capacidad productiva como en costo de producción [2].

Proceso de evaporación solar

Uno de los métodos convencionales de extracción de litio es la evaporación de salmueras a partir de salares. Sin embargo, el tiempo de procesamiento se extiende entre 6 a 24 meses. En la provincia de Jujuy actualmente se encuentran ubicadas dos empresas que se encargan de la explotación de litio: Sales de Jujuy y EXAR; las plantas se localizan en los salares de Olaroz y de Cauchari, respectivamente. Las condiciones ambientales de estos salares son muy similares a las condiciones de los otros salares que actualmente se encuentran en producción en la Puna: se encuentran ubicados a 3.900 msnm, poseen un mínimo de precipitación y la tasa de evaporación de agua se estima en 2.600 mm por año, todo lo cual favorece al proceso de evaporación

solar para concentrar la salmuera. Otra particularidad de los salares de Jujuy es que presentan una baja relación de Mg/Li y una alta relación de SO₄/Mg con lo que se puede contar con una pre-etapa de remoción de magnesio previa a las pozas de evaporación solar.

Pre-etapa de remoción de magnesio

La salmuera proveniente del salar es bombeada desde sus pozas o trincheras hasta la planta de remoción de magnesio. En la planta, el primer paso es apagar la cal viva (76-87% CaO). Luego, la pulpa de cal apagada se mezcla con la salmuera para precipitar el magnesio como hidróxido de magnesio. Para la eliminación de magnesio tiene un periodo de evaporación de 160 a 180 días. El calcio precipitará con los iones sulfatos presentes en la salmuera formando yeso (CaSO₄·2H₂O). El 70% del sulfato presente en la salmuera de alimentación se remueve de la salmuera durante este período. Este procedimiento reduce significativamente el consumo de CaCl₂, un reactivo costoso para precipitar los sulfatos. El producto resultante, que contiene hidróxido de magnesio y sulfato de calcio, es decantado en una pileta clarificadora. Periódicamente, el lodo es extraído de las piletas y enviado a un embalse confinado para el secado de las sales contenidas.

Evaporación

Después de la remoción del magnesio, la salmuera se bombea al sistema de evaporación solar. En este sistema, las piletas operan en forma secuencial con el fin de reducir al mínimo las pérdidas de elementos valiosos por entrapamiento. Generalmente la primera sal que precipita es la halita (NaCl) o la halita y el sulfato de calcio hidratado, si hubiera sulfatos presentes. El sulfato de sodio decahidratado (Sal de Glauber, Na₂SO₄·10H₂O) es la fase estable a bajas temperaturas; a temperaturas mayores es muy probable que la fase estable sea la glaserita (Na₂SO₄·3K₂SO₄) y la misma cristalice. La sal cosechada se almacena o se utiliza para reforzar las paredes de los estanques. La precipitación continúa en otra pileta con la silvinita (KCl-NaCl) y luego la silvita (KCl). Esta última es un producto de uso industrial (fertilizante); por este motivo,

hacia el término de la precipitación de la silvinita, se transfiere la salmuera a otra pileta y se recupera la sal precipitada de KCl + silvinita para así obtener KCl por flotación diferencial. En las siguientes piletas, la evaporación de la salmuera continua y cristaliza primero la carnalita, que es un cloruro doble de potasio y magnesio ($\text{KCl} \cdot \text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$), y luego la bishoffita ($\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$), cloruro de magnesio hidratado. Cuando la evaporación está suficientemente avanzada, la salmuera se satura en boro y se transfiere a la planta de ácido bórico, donde éste será recuperado. Cuando la salmuera logra una concentración de 0,7-1,2% de litio, se la transfiere a la planta de carbonato de litio.

Planta de ácido bórico

La precipitación del ácido bórico se lleva a cabo en esta planta controlando el pH por la adición de ácido sulfúrico, se necesita un pH alto (9-11). El ácido bórico precipita como tetra-borato [$\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$ y CaB_4O_7] en esta etapa se lava en contracorriente, se filtra y por último se seca.

Planta de cloruro de potasio

Las sales cosechadas de las piletas de silvinita y carnalita se pueden tratar en una planta de flotación donde la silvinita (KCl) flota y la halita (NaCl) constituye la cola del proceso. Como insumos de esta planta se usan agentes de flotación y agua industrial para lavar el producto. La halita (NaCl, sal) es apilada en un montículo de gran impacto visual.

Planta de carbonato de litio

Las cantidades restantes de calcio, magnesio, boro y otros elementos se eliminan de la salmuera concentrada en la planta de carbonato de litio. El proceso convencional consiste en la eliminación de boro por extracción con disolvente seguido de la eliminación de las trazas de magnesio y calcio mediante la adición de carbonato de sodio. Esto es seguido por la precipitación de carbonato de litio con soda ash a una temperatura elevada, posteriormente se realiza el lavado para lograr un producto de calidad técnica. La escasa solubilidad del carbonato de litio es una ventaja para el proceso ya que permite mantenerlo en solución hasta su precipitación en la

salmuera final. Sin embargo, también debido a la baja solubilidad del citado compuesto, la salmuera residual de la precipitación aún contiene cantidades recuperables de litio, y por lo tanto se recicla a las piletas de evaporación. Esto conlleva los siguientes beneficios:

- Aumenta el rendimiento del proceso en su conjunto, ya que se minimizan las pérdidas de elementos valiosos.

- Constituye un beneficio ambiental, puesto que no se generan residuos líquidos industriales.

- Utiliza en forma eficiente el principal insumo del proceso (salmuera).

A fin de cumplir con las especificaciones reales del mercado de carbonato de litio, se debe proceder a la eliminación del boro residual, lo cual se logra mediante un intercambio iónico con una resina selectiva. Después de la eliminación del boro, las soluciones se tratan con una mezcla de cal y carbonato de sodio (soda ash) para eliminar el magnesio residual y el calcio de la salmuera libre de boro. La salmuera se filtra para eliminar los sólidos formados: el hidróxido de magnesio y el carbonato de calcio. Posteriormente, el carbonato de litio se precipita utilizando una solución de carbonato de sodio a elevada temperatura. El carbonato de litio se filtra y se lava con agua purificada. Por último, el producto es secado, clasificado y embolsado [6, 7].

Impacto ambiental

La minería del litio forma parte del modelo de extracción de recursos naturales. Aunque se diferencia de la minería metalífera a gran escala por no involucrar voladuras de montañas ni uso masivo de explosivos y cianuro, sí comparte el aspecto más cuestionado en los últimos años: uso monumental de agua en una región de extrema sequía. [8]

En diciembre del año 2010, la Coordinadora de Organizaciones Aborígenes de Jujuy (COAJ) solicitó a los expertos en biología Jorge Gonnet y en geología Aníbal Manzur una inspección técnica en una zona de las salinas donde semanas atrás se había realizado una prospección minera. "Consideraciones ambientales en relación con la construcción de pozos de prospección minera y/o hidrogeológica en la Salinas Grandes", se llama el informe que concluye: "Las perfora-

ciones realizadas están generando impactos y/o riesgos sobre los niveles salinos superficiales y acuíferos” [9].

Las primeras perforaciones ya presentan surgimiento de aguas de baja salinidad provenientes de acuíferos profundos, lo cual según informes científicos provocará consecuencias notables sobre el sistema salino, limitará la posibilidad de extracción de sales superficiales, y favorecerá la difusión de sales superficiales hacia acuíferos profundos de baja salinidad [10]. El doctor Fernando Díaz, geólogo forense y ambiental independiente, destaca que la extracción de la salmuera para obtener litio genera una disminución del nivel de base del agua subterránea de la cuenca, lo que produce un descenso del agua dulce fuera de los bordes de la salina, cuya consecuencia más inmediata es la desaparición de las vegas y lagunas que allí se forman, que constituyen recursos hídricos esenciales de la región. Y advierte: “Estas explotaciones afectan el ecosistema, la fauna, las migraciones de aves, los camélidos, y también la población humana que, si bien no es numéricamente alta, posee características étnicas particulares, y toda explotación que no preserve las comunidades es un etnocidio” [11]. A su vez en el 2010 se llevó a cabo la Reunión de Expertos sobre el Desarrollo Sostenible del Litio en América Latina, por la Comisión Económica de las Naciones Unidas para América Latina y el Caribe (CEPAL). En este encuentro, se concluyó que “La extracción de litio a través de la evaporación de salmueras en salares puede tener impactos significativos en el delicado equilibrio de los suministros de agua. Estudios exhaustivos de impacto medioambiental y de monitoreo son esenciales para impedir, minimizar y mitigar cualquier impacto negativo en la flora y fauna así como en los ecosistemas de los salares y las áreas adjuntas” [12].

Al realizar el estudio del proceso de litio se conoce que por cada tonelada de Li_2CO_3 extraídos a 4000 metros de altura, se usan 2 millones de litros de agua, se evaporan 10 millones de litros de agua de la salmuera, pudiendo afectar el acuífero. Además se deben llevar 1,8 tn de soda solway, dejando un residuo de 900 kg de NaCl en el salar [13].

Situación de Jujuy Empresas instaladas

En la provincia de Jujuy existen dos empresas que iniciaron la explotación de los salares jujeños. A continuación en la se brinda información de cada una de ellas.

Tabla 1. Características de las empresas instaladas en Jujuy

Mínera	Exar	Sales de Jujuy
Inicio de producción (año)	2015	2014
Compañía:	Lithium Americas Corp.	Orocobre Ltd.
Inversores principales	Magna International Inc. /	Toyota Tsoshu / Japón 25%
Origen %propiedad:	Canadá 13% (componentes de vehículos), Mitsubishi Corp / Japón 4% (Productos de litio, baterías y vehículos).	en Olaroz (Productos de litio, componentes de vehículos y vehículos)
País origen	Canadá	Australia
Míneral	Litio y Potasio	Litio, potasio, boro
Productos	Carbonato de litio	Carbonato de litio
Ubicación	Olaroz- Cauchari	Olaroz
Capacidad de LCE	20 000 tn	17 500 tn
Recursos de Li	2 226 000 tn	1 210 000 tn
Inversión	US\$269 mil millones	US\$207-229 mil millones
Costo de producción	1 332 US\$/tn	1 230- 1512 US\$/tn

Polo tecnológico de litio

La provincia de Jujuy es la primera provincia que designó al litio como metal estratégico; y en este marco, la secretaria de Ciencia Tecnología e Innovación Productiva de Jujuy comenzó a desarrollar acciones destinadas a la creación de un polo tecnológico de Litio. Para ello, desde 2010 invierte en la formación y capacitación de recursos humanos con el fin de formar un equipo multidisciplinario en áreas científico-tecnológicas referentes a la cadena de valor del litio, además de conformar una red de profesionales de investigación y desarrollo tecnológico a nivel internacional. También realiza la organización de seminarios y charlas con participación de los distintos investigadores y profesionales de minería y la cadena de valor agregado al carbonato de litio.

Conclusiones

Argentina y en especial el NOA apuestan a la explotación del litio como un factor importante de desarrollo económico. Sin embargo, esta explotación también trae aparejado un impacto ambiental. Para que los beneficios superen a los inconvenientes, es necesario emplear una tecnología adecuada en la explotación, y también es necesario que el producto final no sea el carbonato de litio, de poco valor agregado, sino que debe ser un producto del alto valor agregado como pueden ser las baterías que impulsarán los



futuros autos eléctricos. Para ello es necesario, incorporar nueva tecnología y nuevas inversiones; pero si eso no se logra, Argentina perderá una gran oportunidad de desarrollo, y terminará entregando sus reservas de litio exportando un producto de bajo valor agregado y quedándose con el impacto ambiental de la producción.

Económicas y Ambientales. Informe para el Centro de Derechos Humanos y Ambiente (CEDHA). Córdoba, Argentina (2012)

Referencias

Moreno, L.: Lithium Industry, A Estrategic Energy Metal, Significant Increase in Demand Ahead. Euro Pacific, Canada. (2013)

Compilación de Informes sobre Mercado internacional del litio y El potencial de litio en salares del norte de Chile. Subsecretaria de Minería. Santiago, Chile. Diciembre (2013)

Garrettand, D.: Handbook of Lithium and Natural Calcium Chloride. Elsevier Ltd. (2004)

Rivera Palacio, L. E.: Del Triángulo del litio y el desarrollo sustentable. Observatorio latinoamericano de Geopolítica.

Vikstrom, H.; Davidsson, S.; Hook, M.: Lithium availability and future production outlooks. Global Energy Systems. Department of Earth Sciences. Uppsala University, Villavegen 1, SE-752 36. Suecia (2013)

Houston, J. Gunn, M.: Technical report on the salar de Olaroz lithium-potash Project. NI 43-101 report prepared for OROCOBRE ltd. Level 1, 349 Coronation Drive, Milton. Queensland 4064, Australia. 13May (2011)

ARA Worley Parsons: Preliminary Assessment and Economic Evaluation of the Cauchari-Olaroz lithium Project, Jujuy province, Argentine. NI 43-101 Technical Report. Lithium Americas. Canada, Toronto. (2011)

www.pagina12.com.ar/diario/sociedad/3-169555-2011-06-06.html, (2014)

www.pagina12.com.ar/diario/sociedad/3-169555-2011-06-06.html, (2014)

http://pueblosoriginarios-serpaj-ar.blogspot.com/2011_07_01_archive.html, (2014)

<http://revistaexactamente.wordpress.com/2011/10/25/extraccion-de-litio-en-el-norte-argentino/>, (2014)

<http://www.eclac.org/drni/noticias/noticias/3/41583/AgendaLitio.pdf>, (2014)

Aguilar, F. y Zeller, L.: LITIO. El Nuevo Horizonte Minero Dimensiones Sociales,