

Proyecto: Instalación de una planta de carbonato de sodio en el noroeste argentino, para la producción de carbonato de litio

Vanina L. López de Azarevich, Isidoro B. Schalamuk y Miguel Azarevich

Resumen

El noroeste de Argentina aloja salares con salmueras de Li que han sido explorados para la industria de baterías de Li, dos de los cuales están en producción (Fenix en salar del Hombre Muerto, Catamarca, y Olaroz en salar de Olaroz, Jujuy). La producción de carbonato de Li necesita de diversos recursos que podrán condicionar el precio del producto comercial: CaO y Na₂CO₃. En función que la región contiene diversas canteras de carbonatos en rocas neoproterozoicas y mesozoicas, adecuadas para la producción de CaO, se analiza el potencial de instalación de una industria de Na₂CO₃ por proceso SOLVAY. Este proceso involucra NaCl (en solución) que puede ser obtenido del beneficio de salmueras ricas en NaCl en los salares, Ca₂CO₃ que puede ser transportado desde las provincias de Salta y Jujuy, y amoníaco que se produce en El Galpón (Salta). De acuerdo con las facilidades (tierra, energía, conectividad) para plantas industriales en Pocitos y Cauchari, y considerando los recursos disponibles, existe potencial para la instalación de una planta SOLVAY para producción de Na₂CO₃ en la Puna, en cercanías a los salares de Pocitos - Rincón - Olaroz-Cauchari. El cálculo de reservas y la evaluación económica deberán desarrollarse a futuro para implementar los estudios de pre- y factibilidad.

Palabras clave: Carbonato de sodio; Facilidades; Industria del carbonato de Li; Planta Solvay; Puna.

Abstract

The northwest of Argentina allocates salars with Li-bearing brines that have been explored for the Li-batteries industry, two of which are in production (Fenix in Hombre Muerto salar, Catamarca, and Olaroz in Olaroz salar, Jujuy). The Li carbonate production needs of several resources that would condition the price of the commercial product: CaO and Na₂CO₃. As the region contains several carbonate quarries in Neoproterozoic and Mesozoic rocks, adequate to CaO production, the potential of installation of a Na₂CO₃ industry by SOLVAY process is analyzed. This process involves NaCl (solution) that can be benefit from NaCl-brines in salars, Ca₂CO₃ that can be transported from Salta or Jujuy provinces, and ammoniac that is been produced in El Galpón (Salta). According to facilities (land, energy, connectivity) for industrial plants in Pocitos and Cauchari, and considering the resources availability, there is potential for the installation of a SOLVAY plant for production of Na₂CO₃ in the Puna, in the vicinity of Pocitos - Rincón - Olaroz-Cauchari salars. Reserves calculation and economic evaluation might be conducted in future for perform pre- and feasibility studies.

Keywords: Sodium carbonate; Facilities; Li-carbonate industry; Solvay plant; Puna.

1. Introducción

Los depósitos de Li en salmueras son acumulaciones de aguas subterráneas salinas que se encuentran enriquecidas en Li en el orden de > 350 ppm Li, acompañado por otros iones en solución como K, Mg, Na, Ca. Pueden ser salmueras continentales, geotérmicas o de campos petrolíferos, dominando ampliamente las primeras. El Li obtenido a partir de ellas es más rentable que su extracción a partir de rocas, y abastece el 66% del Li total en el mercado a partir de los yacimientos de Chile, Argentina, China y región del Tíbet [1].

Las salmueras de Li continentales son de edad Cenozoico, se encuentran alojadas en cuencas sedimentarias en climas áridos, y pueden presentar asociaciones con diversas facies evaporíticas (carbonatos, sulfatos, boratos, cloruros). En Sudamérica se hallan algunas de las más extensas y productivas cuencas que alojan salmueras de Li, dentro de regiones morfoestructurales definidas como Altiplano (Perú, Chile y Bolivia) y Puna (Argentina). Las principales cuencas son: Uyuni (Bolivia), Atacama (Chile), Hombre Muerto, Olaroz-Cauchari, Pastos Grandes y Antofalla, entre muchas otras (Argentina). *Figura 1*

La exploración y explotación de salmueras de Li ha aumentado en función de la imperante demanda para la industria de las baterías, orientada a la generación de baterías capaces de almacenar/acumular las energías limpias (solar, eólica). La proyección de la demanda de carbonato de Li equivalente - LCE para 2025 es de 400.000 Mt [2], conformando aproximadamente el 70% de la demanda mundial de Li. A su vez, este incremento en la demanda influye directamente en el precio del producto, que aumentó exponencialmente desde 2009 alcanzando 10.440 USD/t en 2017. Según datos a Septiembre 2020, el precio del LC grado batería ($\geq 99.5\%$ LC) es de ~ 6.500 USD/t, influenciado directamente por el aumento de las reservas y de la oferta en el mercado.

A Junio del 2019, los cálculos de reservas y recursos de Li solamente para los proyectos en salmueras del NOA en operación (Fenix en Salar de Hombre Muerto y Olaroz en Salar de Olaroz) y avanzados son: Reservas Probadas + Probables: 8.3 Mt LCE; Recursos Medidos + Indicados: 63.8 Mt LCE; Recursos Inferidos: 29 Mt LCE. A su vez la proyección de desarrollo y explotación de salmueras para el 2022 es de 38% para la provincia de Salta, 32% para Jujuy y 30% para Catamarca [3].

El beneficio de Li a partir de un recurso líquido (salmuera) conlleva una concentración por evaporación, y tratamientos químicos y procesos industriales específicos para la producción de los bienes comercializables LiCO_3 (LC), LiCl e LiHO, expresados generalmente como carbonato de Li equivalente (LCE). Para producir LC a partir de salmueras son necesarios otros productos del salar o del mercado: salmueras ricas en Ca y Na, CaO y Na_2CO_3 , que permiten extraer las sales indeseadas ($\text{Ca}_2\text{SO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, KCl, $\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$, MgCO_3 , Mg(OH)_2) del producto final.

El suministro de CaCO_3 (CC) en el NOA es factible, ya que la región cuenta con diversos afloramientos de rocas calcáreas principalmente en la Cordillera Oriental, y plantas de producción de CaO y Ca(OH)_2 , como las situadas en las localidades de Volcán (Jujuy), Jaire (Jujuy), La Merced (Salta). Considerando que la caliza debe cumplir con las normas de calidad equivalentes a las de producción de cal, y siendo relación de LC/CaO de $\sim 1/3$, es decir por 1 t de LC producido son necesarias 3 t de CaO, es necesario evaluar en primera instancia la calidad (% CC) y actualizar los cálculos de reservas de los recursos calcáreos.

Con respecto al Na_2CO_3 (CS), Argentina cuenta con escasas concentraciones minerales (trona o nacholita) que podrían aportar este recurso (por ejemplo Laguna Santa María, Salta), que no garantizan reservas suficientes. A su vez, el país cuenta con una sola planta de CS por método Solvay (ALPAT), localizada en San Antonio Oeste, provincia de Río Negro, que abastece parcialmente a industrias en Argentina, y suele exportar parte a Brasil, Chile y Paraguay. Su producción es de 160.000 t/año, con una capacidad instalada de 225.000 t/año, que se encuentra por debajo del promedio de consumo argentino para las industrias del vidrio, cerámica y jabones (300.000 t/año). El CS que se utiliza en la industria del CLE en Argentina es de ~ 180.000 t/año, y se importa desde Chile a través de Antofagasta -Paso de Jama. La relación de LCE/CaO es de $\sim 1/2$ a $1/4$, es decir por 1 t de LCE producido son necesarias 4 t de CS si el proceso implica método de concentración de salmueras por evaporación y 2 t de CS si el proceso implica utilización de nuevas tecnologías.

El consumo anual de CS se calcula en ~ 600.000 ton, sumando 464 Mtn de CS para producir los

92,8 Mt de LCE, que constituyen los recursos totales al momento. Para el caso del CaCO_3 , es posible deducir la necesidad de un recurso de ~280 Mtn para el tratamiento de la totalidad de los recursos.

Así mismo, la diversa composición de la salmuera (leyes y composición hidroquímica), y la de las aguas que ingresan a cada cuenca salina, son evaluadas en procesos piloto para analizar la posible utilización de éstas últimas en parte del proceso productivo de LC, como el usado por la Sociedad Chilena del Litio (SCL) en el salar de Atacama (Figura 2a). A su vez, es determinante la necesidad de minerales y materiales industriales para completar el proceso: CC, Na_2SO_4 , CS, de los cuales los 2 primeros se encuentran con reservas en el NOA y el último debe ser obtenido por proceso SOLVAY.

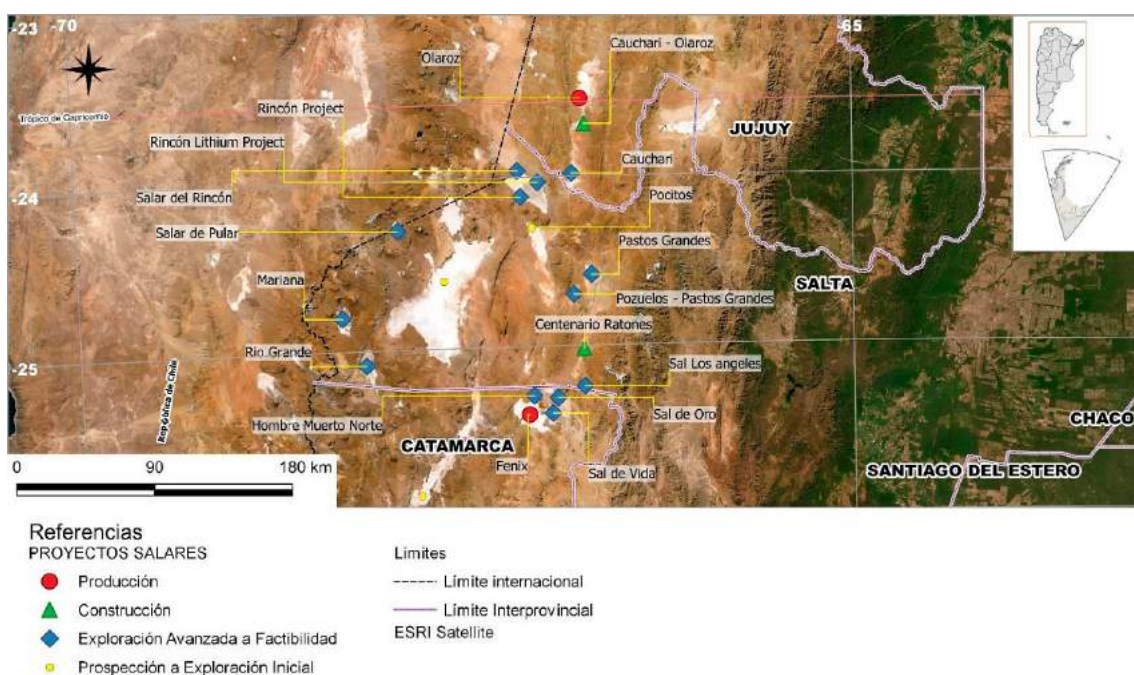


Figura 1. a. Salares en exploración por salmueras de Li en el NOA y Altiplano.

El CS se utiliza en las instancias finales del proceso de obtención de LC en tres etapas [4]: 1) La salmuera concentrada final con ~ 6% Li, 2% Mg y 0,7% B, es almacenada y transportada a la planta química para eliminar el Mg como MgCO_3 y como Mg(OH)_2 ; 2) La salmuera concentrada se diluye hasta ~0,6 % Li con el licor madre proveniente de la etapa de precipitación del carbonato de litio con CS; 3) El producto final se obtiene por adición de CS en caliente (86°C) a la salmuera, que es una solución de salmuera libre de Mg (1 ppm Mg), precipitando LC (Figura 2a).

La necesidad de CS para la producción prevista en el NOA genera la necesidad de instalar una planta industrial SOLVAY para el abastecimiento de este componente, para lo cual son necesarios 3 factores: recursos de CC para producir cal apagada (Ca(OH)_2), recursos de CNa (salmuera) y lugar físico para la instalación. Este trabajo tiene como propósito analizar: i) El proceso SOLVAY y la presencia de los componentes químicos y minerales industriales en el NOA, que sean de utilidad para la industria productiva del Li; ii) La potencialidad de sectores de la Puna para radicar industrias con capacidad de abastecer la industria de la materia prima necesaria.

2. Proceso SOLVAY

El proceso de producción de CS se desarrolló a partir del método LeBlank patentado en 1791 y a partir del método SOLVAY patentado en 1861, desarrollado a escala industrial por Ernest Solvay [5]. Las materias primas son CC, ClNa (en solución), NH_3 y combustibles (energía para el proceso). El método SOLVAY implica los siguientes pasos (Figura 2b):

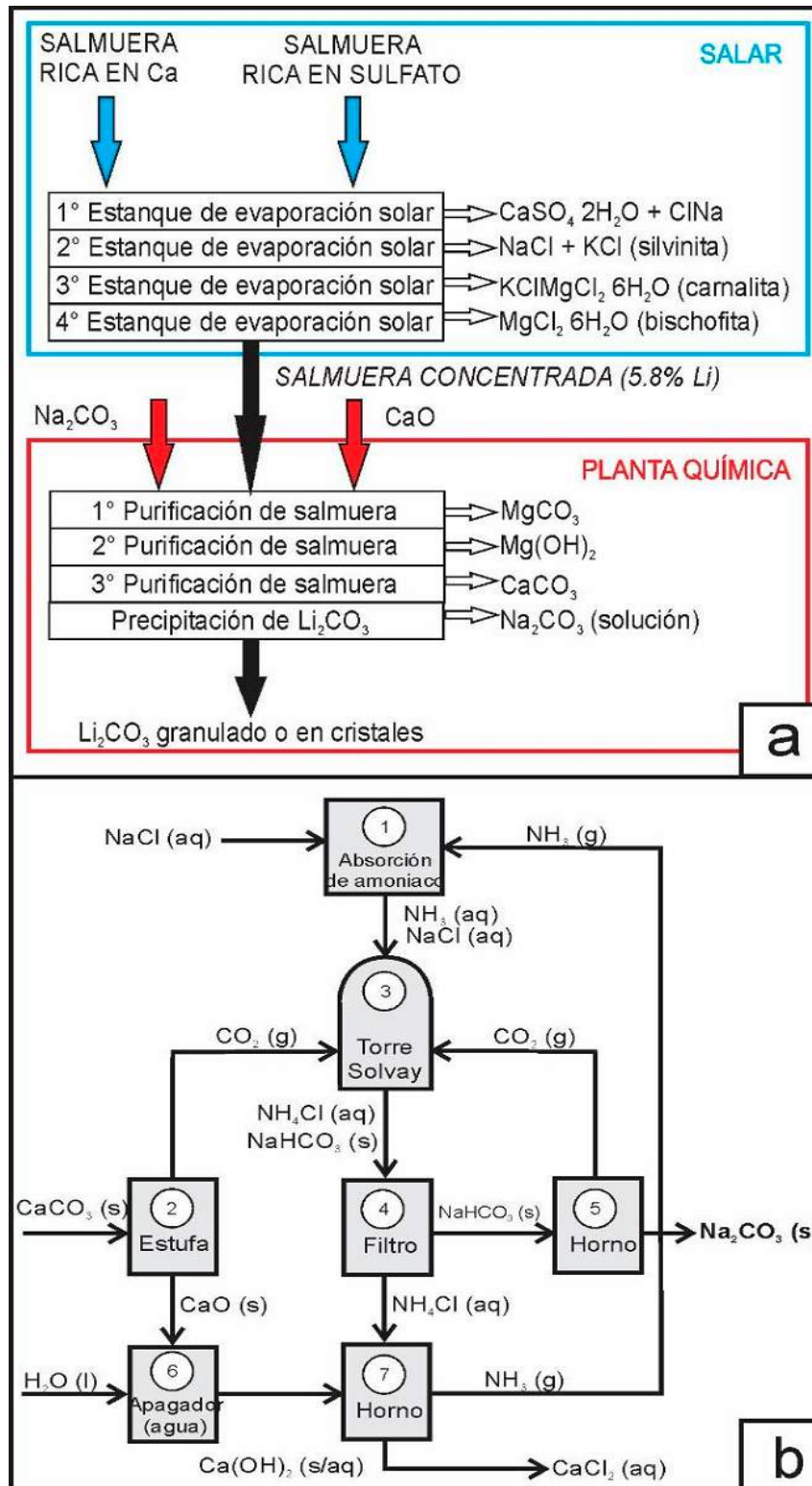


Figura 2. a. Obtención de LC a partir de salmueras en Salar de Atacama (Chile). Modificado de [5]. **b.** Proceso SOLVAY.

1. Preparación de solución saturada de ClNa:

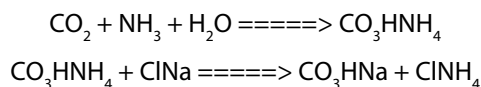
La solución de ClNa (salmuera) se hace pasar por una serie de cilindros de absorción para su purificación y eliminación de sales de Ca, Mg y Fe, utilizando amoníaco (NH₃). Posteriormente, en otra torre la solución recibe en contracorriente una mezcla de gases (CO₂ y NH₃) que provienen de la torre de carbonatación.

2. Preparación de solución de ClNa amoniacal:

Este paso se realiza también en una torre de absorción y por el principio de contracorriente. La introducción de NH₃ en la salmuera produce: i) Disminución de la solubilidad de ClNa, ii) Aumento del volumen de la salmuera, iii) Dilución de ésta por vapores llevados con el amoníaco (CO₂), iv) Generación de calor. La pérdida de NH₃ por disminución de la solubilidad gas-líquido con el aumento de temperatura, puede evitarse utilizando una columna de enfriamiento de la solución amoniacal hasta ~60°C.

3. Carbonatación:

Este paso incluye la reacción, en dos torres absorbedoras en serie. En la primera torre (de carbonatación), la salmuera saturada de amoníaco (de ~25°C) reacciona con el CO₂ que proviene de la calcinación del CC, para producir bicarbonato de amonio y, finalmente, bicarbonato sódico y cloruro de amonio. La torre puede tener una altura de 22 m [6] y constar de una sección inferior que actúa como enfriadora y una superior que incluye platos de burbujeo. Los gases derivados (CO₂ y NH₃) son recuperados y utilizados en el Paso 1. En la segunda torre (de fabricación), la solución generada reacciona nuevamente con una corriente de CO₂ proveniente del calcinador, produciendo bicarbonato de Na (insoluble). El proceso también puede realizarse en una sola torre de carbonatación + absorción de NH₃.

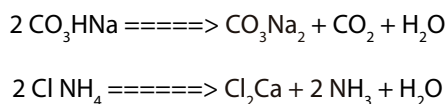


4. Separación del bicarbonato de Na:

La solución derivada del paso anterior contiene bicarbonato de Na y otros componentes inservibles como CO₂ y NH₃ disueltos, bicarbonato de amonio, cloruro de amonio y ClNa (que no reaccionó). El bicarbonato de Na se separa por filtrado rotatorio al vacío, donde también se liberan los gases que vuelven al circuito productivo (Paso 1).

5. Calcinación del bicarbonato de Na y recuperación del amoníaco:

La calcinación se produce en un horno rotatorio (secadores rotativos) de acero que evita la aglomeración del material (bicarbonato de Na húmedo) y permite la salida de los gases. El proceso puede mejorarse introduciendo parte de CS del calcinador, que ayuda a que el material no se aglomere. Un condensador es usado para recuperar el NH₃ (hasta un 95% de recuperación) y el CO₂ se recupera separadamente para su uso en la torre de carbonatación (Paso 3).



3. Recursos minerales del NOA

3.1. Carbonatos de Ca

Los yacimientos de rocas carbonáticas en el NOA comprenden aquellos de origen endógeno (carbonatitas, hidrotermales, metasomáticos de contacto) y exógeno (sedimentarios de precipitación química carbonática marina o lacustre, travertinos), de los cuales todos ellos

tienen representación en el noroeste argentino (NOA). Estos yacimientos están compuestos mayormente por calcita (CaCO_3 -CC), acompañada por otras variedades de carbonatos como aragonita (Ca), dolomita (Ca-Mg), ankerita (Fe-Ca), siderita (Fe), magnesita (Mg), y otras fases minerales, principalmente silicatos (cuarzo o calcedonia, arcillas, entre otros).

En el NOA, en las provincias de Salta y Jujuy, existen rocas calcáreas de distribución y espesores importantes, de edades Neoproterozoico-Cámbrico inferior (Formaciones Las Tienditas, Volcán y Tumbaya) y Cretácico-Eoceno (Formación Yacoraite). Estas unidades son de origen sedimentario marino, y han sido depositadas en cuencas extendidas en sentido submeridiano (*Figura 3*). Sus espesores varían de acuerdo con la geometría de la cuenca y la configuración estructural sobreimpuesta, alcanzando máximos de 300 m y 220 m, respectivamente. Ambos tipos son explotados hasta la actualidad en diferentes canteras [7], en ocasiones previa selección de los bancos de explotación en función de los contenidos de Si y Mg, respectivamente.

Las calizas más antiguas, considerando 72 análisis geoquímicos, registran máximos valores de SiO_2 de 6.03% en la Fm Las Tienditas, mientras que el MgO es de 20.5% en las calizas dolomíticas de Fm Tumbaya. Los parámetros estadísticos calculados para el contenido de CC indican una media de 89.56%, una mediana de 93.53% y una moda de 95.2%, con un máximo de 98%. En las calizas de la Fm Yacoraite se registran contenidos de CC superiores al 85% (sobre 23 análisis geoquímicos), como los explotados en las canteras Adriana, Maimará, Eliseo, y contenidos de MgCO_3 en el orden de 10.7% en la zona de Puesto Viejo, en la provincia de Jujuy [8]. Los valores de CaO reportados por la Planta de cemento El Bordo (Cnía. Minetti, Puesto Viejo, Jujuy), fue de 45.99% [7].

Otra fuente de CC en el NOA, de las cuales no se han evaluado sus recursos son:

- 1.** Carbonatitas del Distrito Rangel, las cuales son reducidas en extensión, encontrándose en un área de ~2 km x 6 km. Los cuerpos de interés son las carbonatitas primarias, conformadas principalmente por calcita, dolomita, ankerita y óxidos de Fe. Las carbonatitas sövíticas contienen CaO ~48%, y las de tipo rauhaugítico presentan relación CaO:MgO:(MnO+FeO*) de 70:21:9 [9]. Las carbonatitas secundarias están enriquecidas en Th, Y y ETR, por lo cual no serían aptas para la industria del CS y LC.
- 2.** Travertinos terciarios y cuaternarios, que se reconocen en la Puna a lo largo del eje andino, desde la provincia de Jujuy hasta Catamarca. Espesores de hasta 10 m han sido registrados en Cantera Pucará, Jujuy [10]. Si bien estos yacimientos han sido explotados históricamente desde el punto de vista ornamental, podrían presentar interés exploratorio para la industria del CS y LC.

Considerando que la composición química de las calizas de edades Neoproterozoico-Cámbrico y Cretácico-Eoceno, aflorantes principalmente en la Cordillera Oriental de Salta y Jujuy, son aptas, y existen plantas instaladas para la producción de CaO y $\text{Ca}(\text{OH})_2$, el NOA cuenta con recursos minerales e industriales para garantizar la producción de $\text{Ca}(\text{OH})_2$ para el proceso SOLVAY.

3.2. Cloruro de Na

El ClNa necesario para el proceso SOLVAY puede ser obtenido a partir de sal de roca (como mineral, halita) o de las salmueras en los salares de la Puna. A su vez, en el NOA existen diversas canteras productoras de sal que utilizan métodos de cosecha o precipitación en piletas (por ejemplo Salinas Grandes, *Figura 3*). Estos dos últimos garantizan una mejor calidad en cuanto a pureza del ClNa.

El recurso de ClNa necesario para el proceso SOLVAY, sea provisto por salmueras o como recurso sólido, debe contener un mínimo de impurezas, especialmente en los elementos de propiedades básicas como Mg y Ca. Si bien la eliminación de ambos puede realizarse consumiendo amoníaco, una materia prima más pura es más rentable que la utilización de mayores proporciones de dicho producto en planta.

La utilización de salmueras con bajos contenidos de iones indeseables, que pueden ser

concentradas por evaporación incrementando el grado de saturación en ClNa, es factible en la Puna Argentina. Este recurso líquido se encuentra contenido en acuíferos dentro de las cuencas salinas, a diferentes niveles bajo la superficie de la costra salina. La geoquímica de los acuíferos confinados o semiconfinados es prácticamente invariable por carecer de una recarga específica, por lo cual representan un recurso uniforme en el tiempo para la producción industrial. También se podrá obtener NaCl en solución, eventualmente, de los residuos de evaporación del proceso de obtención de concentrados ricos en Li (2° estanque de evaporación, *Figura 2a*), lo cual permitirá asimismo reducir el pasivo ambiental.

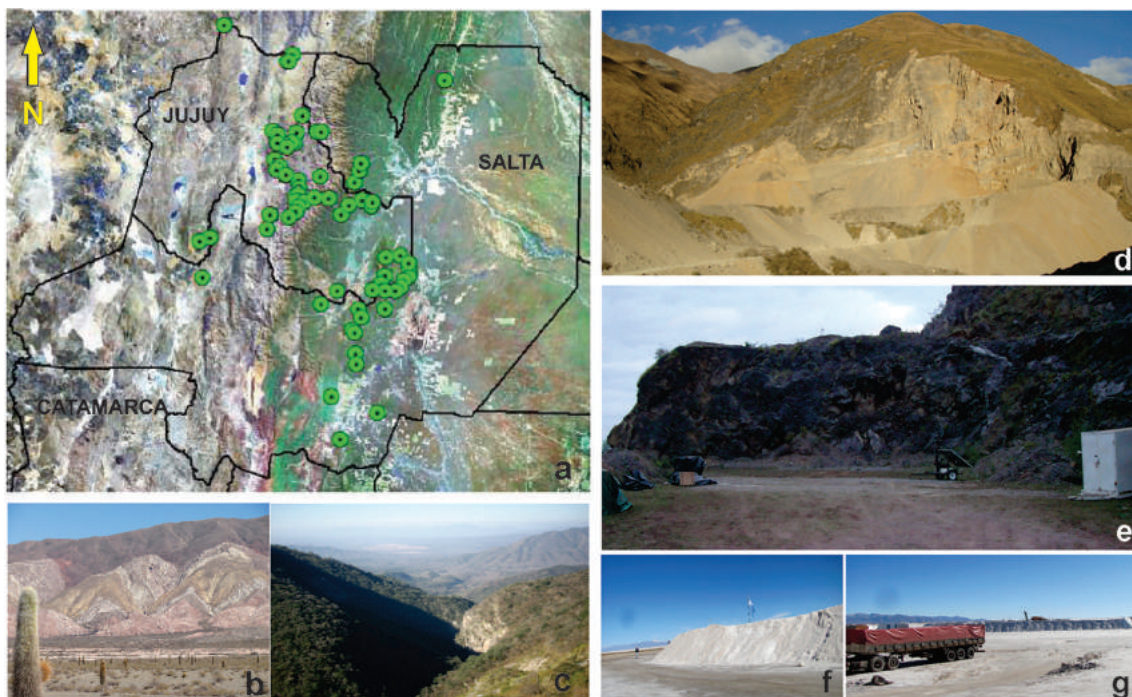


Figura 3. *a.* Afloramientos de rocas calcáreas neoproterozoicas y cretácicas en el NOA. *b.* Afloramientos de carbonatos cretácicos. *c-e.* Afloramientos de carbonatos neoproterozoicos: *c.* El Coro, *d.* Cantera Los Tilianes (Volcán), *e.* Cantera Jaire. *f.g.* Cosecha de ClNa en Salinas Grades.

3.3. Amoníaco

El proceso de obtención de amoníaco (NH_3) data de principios del siglo XX (proceso de Haber-Bosch) y consta en obtener nitrógeno del aire y producir amoníaco, que al oxidarse forma nitritos y nitratos que pueden utilizarse para producir ácido nítrico (HNO_3) y fertilizantes (nitrato de amonio). La reacción química se acelera con un catalizador de Fe^{3+} y óxidos de Al y K. En Argentina, el amoníaco podría ser comercializado desde los complejos industriales Zárate-Campana (Bunge Argentina S.A.), Bahía Blanca (Profértil S.A.), Río Tercero (Fábrica Militar), también de la plata localizada en El Galpón (Austin Powders Argentina), vinculadas principalmente a la industria de los fertilizantes y explosivos. Considerando la logística de la zona de influencia de los proyectos mineros de salmueras de Li, el abastecimiento de amoníaco sería más redituable desde El Galpón.

4. Energía

Los informes de la Asociación de Productores Europeos de soda Solvay, sugieren plantas de cogeneración, dada la producción de vapor en el proceso, consecuentemente se considera que no será elevada la demanda de energía eléctrica en el proyecto, ya que una buena parte se autogenera. Los cálculos muy preliminares indican que la cantidad de gas necesaria para satisfacer la demanda total de energía sería del orden de los 500.000 $\text{m}^3/\text{día}$. La región de la

Puna cuenta con varios gasoductos con capacidad de abastecimiento para la planta (Figura 4).

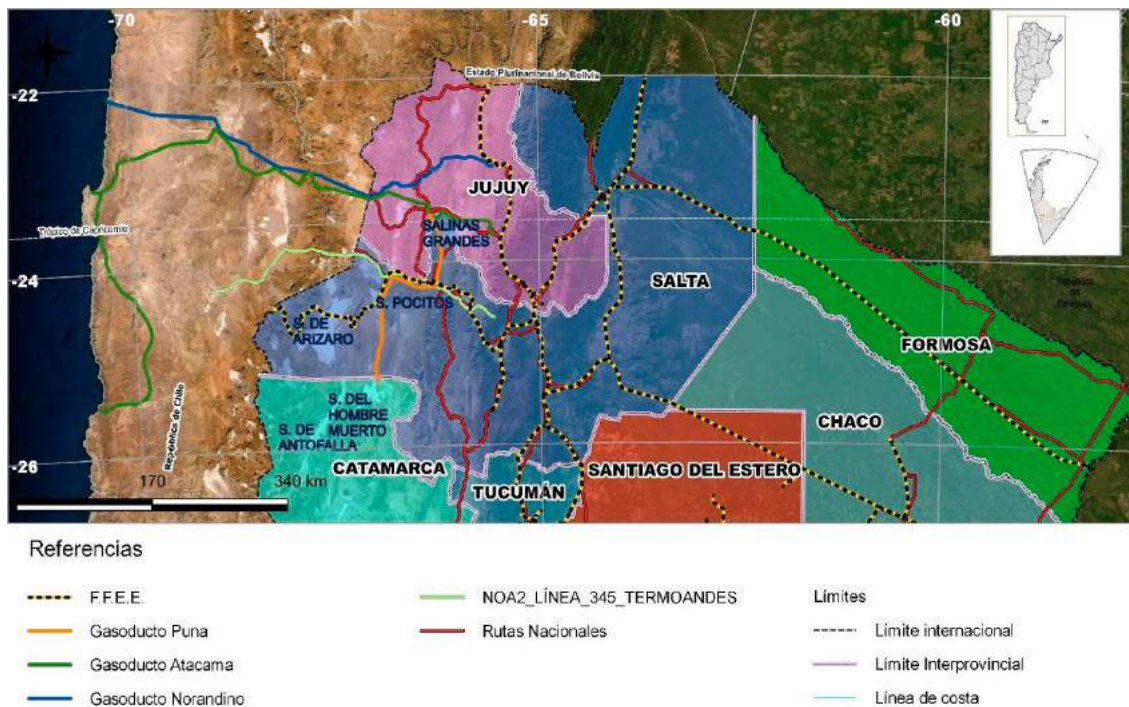


Figura 4. Infraestructura y red ferroviaria del Belgrano Cargas para el NOA.

5. Potencialidad de instalación de la Planta SOLVAY

El análisis de pre-factibilidad de infraestructura y logística para la instalación de una planta SOLVAY en el NOA resulta en el aprovechamiento de las facilidades en el Parque Industrial de Pocitos (Salta), localizado a 280 km de Salta capital y a 165 km del Paso Internacional de Jama, o del Parque Industrial de Cauchari (Salta), ubicado 60 km al oeste de San Antonio de los Cobres, sobre la RN 51, a ~45 km al norte de Pocitos, ~20 km de salar de Rincón y a 56 km del Paso Internacional de Sico.

Los beneficios de la localización en Pocitos son los siguientes:

- :: Disponibilidad de terrenos estudiados, consolidados y acondicionados.
- :: Disponibilidad de energía: el Gasoducto de la Puna se encuentra en funcionamiento con distribución hasta Salar de Hombre Muerto (Proyecto Fenix, en producción). Además, la provincia de Salta analiza la ampliación de esta red para Puna Oriental y Occidental.
- :: Conectividad e infraestructura de transporte ferroviaria con los pasos internacionales, puertos y principales mercados local y regional: BC Ramal C-14 (Paso Socompa), BC Ramal C-15 combinando con BC C-18 (Puerto Barranqueras), RP 27 - RN 52 (Paso Jama), RN 16 – RN 9/34 – RN 51 – RP 27 (El Galpón-Salta-Pocitos). *Figura 4*
- :: Disponibilidad de servicios de asistencia médica, de emergencias, de seguridad
- :: Disponibilidad de agua, potencialidad de captación y tratamiento de aguas.
- :: Generación de nuevos puestos de trabajo durante la construcción y funcionamiento.

El Parque Industrial de Cauchari también cuenta con un paso del BC Ramal C14 y el paso del Gasoducto de la Puna. Además se encuentra a 2 km de la apertura de la línea de 330 kv con su estación transformadora proyectada para NEOEN Solar, proyectándose además una red eléctrica en MT en BT y red de agua potable.

El análisis de pre-factibilidad de materias primas para la instalación de la planta SOLVAY deberá incluir estudios geológico-mineros de:

:: Disponibilidad y composición química de salmueras (ClNa). Los salares más cercanos son Salar de Pocitos y Salar de Rincón. La salmuera podrá bombearse y transportarse a través de un salmueroducto hasta la planta.

:: Volumen y calidad de los recursos de calizas en Puna y Cordillera Oriental.

:: Conectividad con las plantas abastecedoras de amoniaco, en el ámbito de la provincia de Salta.

Conclusiones

En el marco general de la exploración de Li en Argentina, todas las provincias del NOA poseen proyectos mineros de salmueras de Li, encontrándose en etapa de producción dos proyectos, Fenix (S. de Hombre Muerto, Catamarca) y Olaroz (S. de Olaroz, Jujuy), al menos 4 en construcción (S. de Centenario-Ratones, Pastos Grandes, Cauchari, Rincón), 16 en etapa de factibilidad a exploración avanzada, y más de 20 en exploración general (datos del Ministerio de Energía y Minería, Presidencia de la Nación Argentina, 2019). De estos dos últimos la mayoría se encuentran en la provincia de Salta.

El CS es necesario para el proceso de producción de LC, el cual se comercializa con un precio FOB de ~250 USD/t, transmitiendo un valor puesto en el NOA de ~400 USD/t y puesto en Potosí de ~750 USD/t. La instalación de una planta de producción de CS (SOLVAY) en el NOA (Complejo Industrial Pocitos) es posible en función de la disponibilidad de las materias primas y la matriz energética.

La idea proyecto que se expone, a modo de síntesis, la consideramos de interés ya que se cuenta con un mercado asegurado en el NOA, como insumo necesario en la industria del litio. Por otra parte, si existiera producción remanente se podrá destinar a otras industrias del país que requieren carbonato de sodio y/o exportar a Bolivia para el desarrollo de los proyectos litíferos localizados en el Salar de Uyuni.

Nuestro país cuenta con un sistema científico-técnico calificado que puede concretar las investigaciones y las tecnologías para desarrollar la planta industrial de referencia.

En cuanto a las inversiones requeridas para poner en marcha el proyecto se podrá interesar a capitales privados o a la generación de una empresa mixta con participación de las provincias y de la nación.

Referencias

- [1] Dirección General de Desarrollo Minero, "Perfil del Litio – 2018", Estados Unidos Mexicanos, Secretaría de Minería. México, 2018, 43 pp.
- [2] B. Jephcott, "Lithium Industry Analysis 2016. How long will the Lithium Prices continue to rise for?", en Golden Dragon Capital, 2016, pp. 1-19.
- [3] Ministerio de Energía y Minería, Presidencia de la Nación Argentina, "Argentina, Proyectos avanzados de Litio en salares", Junio 2019, 81 pp.
- [4] Patente C01B 15/08 (2006.01), "Procedimiento de extracción de litio para la obtención de carbonato de litio, desde una salmuera o mineral y/o arcilla previamente tratado para estar libre de boro", Número de Publicación Internacional (43), Fecha de publicación internacional 11.04.2013, Documento WO 2013/049952 A1 - PCT/CL2012/000056, 52 pp.
- [5] A. Toca Otero, "Industria química y cambio tecnológico: el proceso electrolítico Solvay en Torrelavega", Quaderns D'història de L'enginyeria II, 1997, pp. 40-69.
- [6] D.J.S. Vissio, "Industria del carbonato de sodio - Método Solvay: materias primas disponibles en el país. Factores económicos para la ubicación de la planta", Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Universidad de Buenos Aires, Tesis Doctoral, 1947, 86 pp.
- [7] I. Schalamuk, R. Fernández, R. Etcheverry, Los yacimientos de minerales no metalíferos y rocas de aplicación de la región NOA. Ministerio de Economía, Subsecretaría de Minería, Anales XX, 1983, 196 pp.
- [8] M. Godeas, S. Segal, C.J., Herrmann. "Inventario Minero de la provincia de Jujuy", en Relatorio XVII Congreso Geológico Argentino, VI A Recursos Minerales e hidrocarburos, 2008, pp. 493-518.
- [9] E. Zappettini, "Depósitos de tierras raras y torio en la Puna y Cordillera Oriental, Jujuy y Salta", Recursos Minerales de la República Argentina, 1999, pp. 979-986.
- [10] C.J. Herrmann, "Minerales y rocas industriales de la provincia de Jujuy", en Relatorio XVII Congreso Geológico Argentino, VI A Recursos Minerales e hidrocarburos, 2008, pp. 519-534.

