

Producción de litio a pequeña escala a partir de salmueras

Catalina Velásquez, Ingeniería Civil Industrial¹, Victor Cabrera, Post-Doc en Ingeniería Ambiental².

¹Universidad Finis Terrae, Chile, catavelasquezcarrasco@gmail.com.

²MIT, Massachusetts, USA, victorcabrera27@gmail.com.

En los últimos años, el uso del litio ha crecido innegablemente, debido a que existen diversas aplicaciones de este mineral y sobre todo por el aumento en la demanda de baterías en electrónica portátil y por su practicidad tecnológica. También es posible evidenciarlo, gracias a las fuertes inversiones y exploraciones en el sector.

Así como el uso del litio ha evolucionado, también lo ha hecho la manera de consumir este metal, en las décadas pasadas se utilizaba mayormente como Carbonato de Litio, para tratar problemas psiquiátricos, en cambio actualmente se consume un porcentaje cada vez más alto como hidróxido de litio por sus propiedades como agente para transferir el calor y como electrolito para baterías. Debido a esto ha crecido el interés de realizar investigaciones en este ámbito, por lo que este trabajo tiene por objetivo abrir el debate hacia los métodos de extracción de litio que se utilizan actualmente, describiéndolos, de tal manera de plantear nuevas técnicas que optimicen el proceso, sobre todo enfocado a una producción de hidróxido de litio, ya que actualmente se obtiene necesariamente a partir del Carbonato de Litio, lo que aumenta los costos de producción. El crecimiento significativo de la explotación del litio trae como consecuencia que muchos productores pequeños deseen incursionar en el mercado, por lo que se finalizará con un análisis de CAPEX y OPEX, para lograr deducir si es factible para una minera a pequeña escala producir hidróxido de litio a partir de salmueras.

Keywords: Litio, hidróxido de litio, carbonato de litio, métodos de extracción, pequeña minería, CAPEX, OPEX.

I. INTRODUCCIÓN

El Litio es una metal blanco, ampliamente utilizado actualmente en el mundo, para diferentes aplicaciones y sus importantes propiedades, por lo que su importancia es cada vez mayor. Es considerado un material energético fundamental, esto es gracias a sus propiedades físicoquímicas, dentro de las cuáles se destacan que es el metal sólido más ligero, es blando, de bajo punto de fusión y reactivo. Entre las propiedades físicas se encuentran el alto calor específico, su alta conductividad térmica, baja viscosidad y muy baja densidad [1].

Los compuestos del litio están difundidos en la naturaleza, aunque su proporción es escasa y gracias a la cantidad de propiedades que tiene es que su uso en los últimos años ha aumentado considerablemente y por ende se han buscado variadas fuentes de obtención de este mineral, la más importante es mediante las salmueras, ya que más del 80% de las reservas mundiales del litio es posible encontrarlas en estas [2], además cabe mencionar que el costo de obtención es mucho menor, en relación al litio que se encuentra en los

minerales.

Chile, mediante el Salar de Atacama; Bolivia, con el Salar de Uyuni; y Argentina, a través del Salar del Hombre Muerto, Rincón y Olaroz, concentran cerca del 85% de las reservas de litio en salmueras, y 50% de las reservas totales de litio en el mundo y en estos tres países es posible encontrarlo en las salmueras, donde se encuentran mezclados con otros tipos de minerales, que también pueden ser aprovechados, tales como el potasio, sodio, boro, sulfatos y cloruros.

Si bien es cierto, el uso que se le da al litio es amplio y variado, en los últimos años ha evolucionado, debido a que en el siglo XX se utilizaba mayormente como carbonato de litio Li_2CO_3 para aplicaciones en el área de la psiquiatría, en aproximadamente una proporción del 80% de carbonato de litio Li_2CO_3 y 20% entre Cloruro de litio; LiCl e hidróxido de litio; LiOH , sin embargo actualmente se consume aproximadamente 50% como LiOH , uno de los principales componentes de las baterías recargables. Las proyecciones crecientes de la demanda por hidróxido de litio hacen necesario que Chile replantee como dinamizar la explotación de este recurso en forma sustentable.

La importancia que tiene el plantear mejoras en el proceso que se utiliza actualmente es debido a un serie de problemáticas que genera, en primer lugar los efectos en el medioambiente, en la flora y la fauna, por los químicos que son utilizados y que son luego son desechados, quedando en el ambiente o en las salmueras que son devueltas al Salar. Otra problemática tiene relación con los recursos hídricos, las empresas se encuentran instaladas en el Desierto de Atacama, específicamente en el Salar de Atacama, una región donde la disponibilidad de agua es cada vez menor y al evaporar la salmuera es muy alta la pérdida de este recurso. Finalmente, otra problemática que se genera es la cantidad de espacio que deben utilizar para construir las pozas de evaporación, que ocupan cientos de hectáreas de terreno en el Desierto, lo que puede afectar al turismo en la región.

La idea de realizar un informe acerca del litio tiene relación con la creciente demanda de este, su mercado cambiante, las implicancias del desarrollo de la industria de la minería no metálica y más precisamente explicar cómo la explotación de este mineral se perfila en el continente. Es por esto que en el desarrollo del siguiente informe se planteará de manera novedosa la posibilidad de explotar el litio mediante un proceso diferente y como esto se aplicaría a una producción de hidróxido de litio. Además éste método que se planteará deberá también mejorar la repercusión que tiene en el medioambiente la explotación de litio actualmente y dar cabida a que los actores de menor escala puedan incursionar en el mercado, lo que ayudará al desarrollo del país dentro de

Digital Object Identifier: (to be inserted by LACCEI).
ISSN, ISBN: (to be inserted by LACCEI).

16th LACCEI International Multi-Conference for Engineering, Education, and Technology: “Innovation in Education and Inclusion”, 19-21 July 2018, Lima, Peru.

esta industria cada vez más importante. Se finalizará con un análisis de CAPEX y OPEX, que comparará económicamente la metodología utilizada actualmente con la planteada en este informe, para lograr deducir si es factible para una minera a pequeña escala producir hidróxido de litio a partir de salmueras.

II. DESARROLLO

El litio se caracteriza por ser un elemento fuertemente electropositivo, lo que le confiere gran poder de reactividad frente a los agentes químicos. Actualmente es sabido que el 85% de las reservas mundiales de litio en forma de salmueras se encuentran en América del Sur [3]. En comparación con Argentina y Bolivia, Chile es el país con las mejores condiciones para la explotación del litio entre los tres, gracias a la ubicación de las salmueras en el Norte del país, ya que las condiciones climáticas, la gran tasa de evaporación por el calor y la sequedad existente, permiten su extracción con los menores costos de producción a nivel mundial. Chile y Australia son actualmente los dos productores de litio más importantes del mundo, mientras que China, Corea del Sur y Japón los mayores consumidores de este elemento. Tal como se mencionó con anterioridad, Chile es el segundo país que tiene la mayor tasa de producción del litio en el mundo, lo que hace que sea muy importante el estudio de este dentro del país e ir planteando mejoras, por lo que es aquí donde se centrará el estudio. La comisión nacional del litio destacó a este mineral como un bien estratégico para Chile, lo que significa que el estado es su auténtico dueño, sin embargo en la práctica esto no funciona así, ya que la Corporación de Fomento de la Producción, CORFO, entregó por concesión el derecho a la explotación del litio en el Salar de Atacama a dos empresas que se desarrollan hasta el día de hoy; SQM, filial de Soquimich y SCL Rockwood, antiguamente Sociedad Chilena del Lito [1]. Ambas empresas tienen derecho a explotar el litio en el Norte de Chile, las cuáles lo hacen a gran escala, debido a las altas inversiones iniciales que se necesitan. La técnica que utilizan fue inventada en la década de los sesenta donde comenzó a desarrollarse un método diferente de extracción de litio, ya que hasta ese momento solo se producía a partir de rocas, y desde ahí se comenzaron a estudiar e investigar las salmueras, creado el método de producción conocido y utilizado hasta el día de hoy. A diferencia de la minería del Cobre, donde el país tiene una amplia experiencia, en la minería del litio esto no ocurre, y es por esta razón que siguen utilizando el método creado en esos años, sin ir planteando mejoras, por lo que desarrollar investigaciones en este campo se hace necesario. Se hace interesante entender el método de extracción de litio a partir de salmueras y su forma. En general las salmueras se encuentran ubicadas en lugares estratégicos, donde las condiciones climáticas favorecen la evaporación y por ende la producción, para lo que se necesitan hacer grandes pozas de evaporación que abarcan mucho terreno en el Desierto de Atacama, además de una gran cantidad de tiempo para obtener

las salmueras con altas concentraciones de sales y con un impacto ambiental que se debe reducir, ya que en estas áreas existe flora y fauna que hay que proteger, además el agua es un bien escaso que es necesario utilizar con responsabilidad.

II. MÉTODO DE EXTRACCIÓN DE LITIO A PARTIR DE SALMUERAS

La mayor cantidad de litio en la naturaleza se encuentra en salmueras naturales y no en minerales pegmatíticos, es por ello que el método de extracción por salmueras es uno de los métodos más utilizados por los beneficios que este conlleva[4]. En Chile, la extracción del litio de los salares se realiza mediante la perforación que puede llegar a alcanzar hasta los 200[mts] de profundidad y de donde se efectúa el bombeo de la salmuera, extrayendo el líquido, que es enviado luego a pozas de evaporación. Las pozas deben estar previamente impermeabilizadas con geo-membranas. Gracias al proceso de evaporación y cristalización, que es también una técnica de separación de disoluciones[5], es posible separar el cloruro de sodio, así como también es posible separar el cloruro de potasio de manera que las sales que van quedando en el proceso de evaporación son obtenidas mediante una fresadora y trasladadas en camiones a las pozas, a través de las cuales se obtienen las salmueras concentradas y las sales. Luego se deben separar los demás minerales que contienen las salmueras concentradas, de manera de obtener litio en estado líquido. Este proceso se realiza en plantas de procesamiento, mediante precipitación y agregado de ciertos reactivos químicos, el litio se obtiene como carbonato de litio, el cual debe tener una pureza mínima de 99,1% para que pueda ser comercializado [6] y a partir del carbonato de litio es posible obtener luego el hidróxido de litio. Las ventajas y desventajas de este proceso se mencionan a continuación:

Ventajas

- En general, cuando se extrae el litio a través de las salmueras, estas se encuentran en lugares donde las condiciones climáticas son áridas, lo que contribuye a la evaporación, simplificando el proceso.
- La ubicación privilegiada de las salmueras, aminora también los costos de producción.

Desventajas

- El consumo y contaminación de agua, el impacto en la flora y fauna y la generación de residuos sólidos y químicos.
- Actualmente se obtiene hidróxido de litio a través de carbonato de litio, lo que hace que los precios de producción de este compuesto aumenten.
- Los altos costos de inversión inicial que se requieren no permiten que mineras a pequeña escala puedan desarrollarse en esta industria.

IV. MINERÍA A PEQUEÑA ESCALA

La minería a pequeña escala puede diferenciarse de la minería a mediana y gran escala mediante una serie de características, tales como su distribución geográfica, legislación nacional, ejecución de política minera, cantidad de horas trabajadas, cantidad de mineral producido, etc. Sin embargo no ha sido establecida, incluso en Chile, una norma que defina en forma única a la pequeña minería [6], sino que se le da la definición dependiendo de cada estudio. Es por ello que durante el desarrollo de este trabajo se definirá la minería a pequeña escala en base a la producción de carbonato de litio anual, el cuál debe ser entre 1.000 a 5.000 toneladas, para lo que se considerarán aproximadamente 200 hectáreas de salmueras ubicadas en el Norte de Chile.

V. METODOLOGÍA PROPUESTA

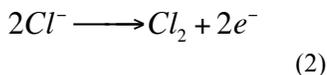
A continuación se detallará en que consiste el proceso de la electrólisis, de manera de plantear una nueva metodología como posible. La electrólisis es un proceso químico que genera una reacción de oxidación-reducción, para que se conduzca la corriente, y donde en los reactantes se producen alteraciones químicas [7], es decir, significa separación de elementos químicos por acción de la electricidad. Ésta es muy importante debido a que a través de ella es posible obtener el litio de alta pureza, que no se encuentra libre en la naturaleza y, por ende, si a través de ella es posible obtener litio, también sería posible una solución a la obtención de hidróxido de litio directamente.

El cloruro de litio LiCl es la materia prima para la producción de litio metálico mediante electrólisis, la reacción que ocurre es de la siguiente forma:

Cátodo



Ánodo



De manera que la función global queda de la siguiente forma:



Ahora bien, esto será utilizado mas adelante para analizar que otro proceso, complementado a este, puede producir hidróxido de litio.

Ya ha sido estudiada la electrólisis con la que es posible obtener el litio, sin embargo, existe otro proceso que es de mucha relevancia también, debido a que con este se hace posible sustituir la evaporación, el cuál es la Electrodialísis.

Ésta es una técnica basada en el transporte de iones a través de membranas selectivas bajo la influencia de un campo eléctrico. Mediante este proceso se consigue separar iones o moléculas cargadas. La concentración de los componentes de la alimentación se basa en la migración eléctrica a través de membranas iónicas. El proceso que tiene lugar es el siguiente:

Cuando se aplica una diferencia de potencial los cationes son atraídos por el cátodo o electrodo negativo, lo que da lugar a una reacción de reducción, en este caso los cátodos serían el Cloro y los Hidróxidos. Los aniones son atraídos por el ánodo o electrodo positivo, lo que da lugar a una reacción de oxidación en este caso los ánodos serían el Hidrógeno y el Sodio. Las membranas de transferencia catiónica sólo permiten el paso de los cationes y las membranas de transferencia aniónica sólo permiten el paso de los aniones[8]. Para realizar el proceso de electrodiálisis, se utiliza la energía eléctrica.

Como se puede notar, la electrodiálisis es capaz de eliminar variados elementos que componen una salmuera y que hoy en día pasan por un largo proceso de evaporación, por lo que esto sería una alternativa factible a ese actual proceso. Una vez eliminado los elementos que no son necesarios, se pasarán por otro reactor químico que separe iones litio con iones cloruro, de la siguiente forma, dando lugar al electrólisis que fue explicada con anterioridad:

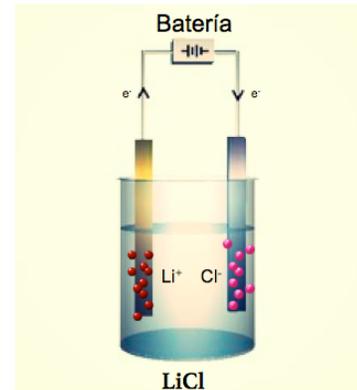


Fig. 2: Electrólisis del Cloruro de Litio

Fuente: Elaboración propia.

Acá se extraen los iones de litio y cloruro. Si se utiliza la electrodiálisis, con una membrana de por medio, que separe el anión Cl^- con el catión Li^+ y luego se le agrega a estos cationes agua pura, ocurriría la siguiente reacción:

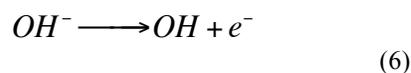


El hidrógeno debe ser eliminado, ya que no se necesita en los pasos posteriores, y el ión hidróxido reacciona con el ión litio, también mediante una reacción óxido-reducción, de la siguiente forma:

Cátodo



Ánodo



De manera que la función global queda de la siguiente forma:



Con lo que finalmente es posible obtener el hidróxido de litio, sin necesidad del proceso de evaporación. En resumen, el proceso que se está proponiendo en este trabajo es el siguiente:

El proceso se debe iniciar con una perforación de un pozo en el salar para encontrar los depósitos de salmueras a una altura de aproximadamente 30[mts] de profundidad y por sistema de bombeo es posible extraerlo, luego la salmuera, en vez de pasar por pozas de evaporación, sería vertida a un reactor químico, diseñado para maximizar la conversión y la selectividad de esa reacción con el menor costo posible, con lo que se obtendrá en primera instancia una salmuera sin componentes como el sodio o hidróxidos, que no son necesarios. Luego de que hayan sido eliminados se utiliza la electrólisis del Cloruro de litio, en la que se separarán los iones, y gracias a la reacción que se genera al agregar agua pura, es posible obtener el hidróxido de litio.

VI. EVALUACIÓN ECONÓMICA

Lo primero que es necesario tener en cuenta en la evaluación económica, es que la unidad de medida será LCE, es decir, lithium carbonate equivalent; el costo equivalente a producir carbonato de litio, independiente de si se produce algún otro compuesto, siempre se llevará a estas unidades de medida.

CAPEX:

En primer lugar se analizará lo que ocurre con el CAPEX, debido a que la inversión que se necesita hacer inicialmente es un punto en contra que tiene la minería a pequeña escala, ya que no cuenta con los recursos necesarios y es por esto que no han logrado incursionar en el sector. Por ende en este sentido lo que se realizará será comparar la inversión que se necesita hacer al hacer piscinas de evaporación versus la inversión que se necesita hacer al realizar el proceso que se ha mencionado anteriormente, que consiste en electrodiálisis para obtener hidróxido de litio directamente.

Costo de producción de litio a partir de salmueras con pozas de evaporación solar: El mayor costo que tiene es en las pozas solares, la operación en la planta de carbonato de litio no significa tanto en términos económicos. Actualmente se necesitan aproximadamente US\$10 por kilo de carbonato de litio producido o, expresado en toneladas, se necesitan US\$10 mil y de esto, la mitad es dinero que se utiliza para el funcionamiento e instalación de pozas solares, esto puede verse reflejado en los estados financieros consolidados, correspondientes al período terminado al 31 de diciembre de 2017, publicados por la empresa Sociedad Química y Minera de Chile S.A. y Filiales [9].

SQM gastó durante el año 2017 aproximadamente US\$400 millones. Considerando los datos anteriores, SQM produce 40.000 toneladas de carbonato de litio anualmente, US\$200 millones que se gastaron fueron producto de las pozas de

evaporación y lo restante son los costos de planta de carbonato de litio, hidróxido de litio y cloruro de litio. Por otro lado Soquimich informó que sus utilidades al 31 de diciembre de 2017 llegaron a US\$427.7 millones, lo que representa un aumento de 54% respecto a los US\$278.3 millones del mismo período de 2016 [10].

Se puede concluir que es demasiado dinero el que se necesita para una mina a pequeña escala el realizar piscinas de evaporación solar. A continuación se verá lo que ocurre con el CAPEX con el método propuesto.

Costo de producción de litio a partir de salmueras utilizando la electrodiálisis: El costo de producción de litio a partir de salmueras requiere de tres principales costos, los cuáles son la instalación de una planta de electrólisis, además de la planta de carbonato de litio y de hidróxido de litio, para producir los compuestos necesarios y cotizados en la industria. Por lo tanto, si se elimina el proceso de evaporación, sería posible ahorrarse aproximadamente el 50% de los costos asociados a la inversión inicial, que corresponden a las piscinas, debido a que el resto del costo estaba asociado, en el ítem anterior, a la realización de plantas de carbonato de litio, hidróxido de litio y cloruro de litio. En conclusión se gastarían US\$200 millones.

Ahora, si bien es cierto la inversión inicial que se necesita es un aspecto fundamental en términos de las decisiones que toma una empresa para iniciar operaciones, también lo son los costos operacionales u OPEX, los cuáles serán explicados a continuación.

OPEX: Según la información obtenida de los estados financieros de la Sociedad Química y Minera de Chile S.A. y Filiales, el costo de producir carbonato de litio a partir de salmueras es de aproximadamente US\$2.5 a US\$3.0 por kilo de LCE, en términos de toneladas son US\$2500 a US\$3000. Como se ha mencionado al momento de comparar los métodos de extracción, a partir de minerales es más costoso, y en este caso el costo de producir carbonato de litio es de US\$9000 por tonelada de LCE. Ahora, con el método propuesto, el aumento del costo no es tan significativo, ya que se ha considerado dentro de la inversión la instalación de plantas de carbonato de litio, hidróxido de litio y la planta para realizar la electrólisis, lo que haría aumentar los costos serían los químicos necesarios para hacer que funcione la reacción y la energía que se necesita para la electrodiálisis. Por lo tanto, teniendo en cuenta esto, el costo aumenta en un 20% en comparación al costo de producir un kilo de LCE a partir de salmueras, lo que significa US\$3500 por tonelada de LCE.

Se puede observar que el CAPEX baja a la mitad y el OPEX aumenta en US\$0.5 por kilogramo de LCE. Si se logra que se una minera a pequeña escala produzca 5000 toneladas de carbonato de litio anualmente y se instalaran, por ejemplo, 20 empresas pequeñas, entonces anualmente se estarían produciendo 100000 toneladas de carbonato de litio, que es la mitad del consumo anual del mundo, lo que además va

umentando, tal como lo ha planteado la empresa Soquimich al afirmar que: ‘El mercado de litio continuó su fuerte crecimiento en 2017, con un crecimiento de la demanda total cercano al 17% de acuerdo con nuestras estimaciones’[12].

Entonces, para finalizar con la comparación de ambos métodos, con el método actual una empresa necesitaría US\$400 millones de inversión inicial y US\$12.5 millones asociados a costos de operaciones. Un total de US\$412.5 millones para producir 5000 toneladas de LCE. Por otro lado con el método propuesto se necesitaría un CAPEX de US\$200 millones y un OPEX de US\$17.5 millones, lo que suma un total de US\$217.5 millones. Ahora, si las ganancias de SQM durante el año 2017 ascendieron a US\$427.7 millones produciendo 40000 toneladas, una minera a pequeña escala puede obtener utilidades por US\$53.5 millones.

Por lo que es posible determinar que es mucho mas asequible para las mineras a pequeña escala utilizar el método propuesto.

VII. CONCLUSIONES

La proyección que tiene este mineral en su aplicación a las nuevas tecnologías, lo hacen un recurso valioso y de cada vez mayor interés y Chile tiene un papel fundamental en este mercado, ya que es uno de los países con mayores reservas de litio en el mundo, lo que ha conllevado a que exista disposición de su estudio. Dado a como se ha venido desarrollando este camino del litio en Chile, se presenta un horizontes de altas expectativas para esta actividad minera. Los desafíos que existen son grandes en la industria minera no metálica sin embargo se hace imprescindible plantear mejoras en los procesos por variadas razones, por la degradación ambiental derivada de la actividad minera, por las altas inversiones iniciales, por el mercado cambiante, etc. De ahí que el presente trabajo exploró las principales dificultades de los métodos de extracción de litio que son utilizados actualmente de manera de buscar una nueva metodología para obtener hidróxido de litio sin tener que pasar por el proceso de obtención de carbonato de litio previamente que hace que los costos aumenten, con el objetivo de abrir la discusión futura, ya que es un tema que está cobrando cada vez mas importancia en el mundo actual. Si bien es cierto las nuevas tecnologías tendrán que pasar por una serie de obstáculos para luego ser implementadas, es bueno abrir el debate hacia nuevas opciones, mas económicas y amigables con el medio ambiente, además de abaratar costos que permitan a empresas de pequeña escala incursionar en este mercado.

La metodología que se ha propuesto consiste en concentrar el litio que se encuentra en las salmueras, eliminar las impurezas y a través de la electrodiálisis y electrolisis, obtener hidróxido de litio con un alto porcentaje de pureza, que permita que tenga un valor importante para ser comercializado. Además mencionando que esto tiene un impacto ambiental mucho menor a las pozas de evaporación, ofrece un claro beneficio a la población de alrededores del Desierto de Atacama, ya que esta es una región que tiene un importante estrés hídrico, y

esto permite cuidar este recurso, además de cuidar la flora y fauna existente en el lugar por lo que no supone una amenaza tan grave para el medio ambiente. El método reemplazará al proceso de evaporación, que debe evaporar en piscinas por un largo periodo de tiempo de aproximadamente diez meses en total y con lo que se puede obtener un aproximado de un gramo de litio por litro de salmuera extraída y que conlleva un alto costo de inversión.

Con el método se logró disminuir los costos en aproximadamente US\$195, para obtener una ganancia de US\$53.5 millones y si se considerara que 20 empresas pequeñas producen las 5000 toneladas de LCE, serían capaces de producir la mitad del consumo anual de carbonato de litio en el mundo, con lo que benefician también la competitividad de Chile en los mercados internacionales.

Dentro de las aplicaciones que tiene este trabajo se puede mencionar que puede beneficiar directamente a empresas pequeñas que buscan una opción económicamente factible en la industria de la minería no metálica y sin ser una amenaza para el medio ambiente.

ACKNOWLEDGMENT

Quisiera expresar mi más profundo agradecimiento a todas las personas que con su ayuda han colaborado en la realización del presente trabajo, a Dr. Victor Cabrera, por la orientación, el seguimiento y la supervisión continua, a Patricio Campos, Ingeniero civil de minas de la Universidad de Chile, que con su experiencia y voluntad me guío en el desarrollo de este trabajo. A mis padres, que han sido mi ejemplo continuo de lucha y a mi hermana, Macarena, por llenar mi vida de alegría, por ser mi compañera y por todos esos momentos que hemos pasado juntas.

REFERENCES

- [1] R. Briones, H. Bosselin, G. Gutiérrez & J. Zagal, ‘El litio, mineral estratégico para la energía en Chile y el mundo’, elmostrador, Diciembre 2017.
- [2] MiningPress. (2017, Abril 28). ‘Litio: El informe especial del gobierno argentino’. Online. Available: <http://www.miningpress.com/nota/307223/litio-el-informe-especial-del-gobierno-argentino>
- [3] COCHILCO (Comisión Chilena del Cobre). Dirección de Estudios Políticas Públicas. Antecedentes para una Política Pública en Minerales Estratégicos: Litio (DE/12/09)
- [4] F. Aguilar, & L. Zeller, Centro de derechos humanos y ambiente, "El Nuevo Horizonte Minero Dimensiones Sociales, Económicas y Ambientales", Córdoba, 2012.
- [5] EcuRed. (2018, Mayo 6). Cristalización. [Online]. Available: <https://www.ecured.cu/Cristalizaci%C3%B3n>
- [6] E. Chaparro, "La llamada pequeña minería: un renovado enfoque empresarial", CEPAL, Santiago, Chile, Tech. Rep. serie 6, Julio 2000.
- [7] F. Díaz, ‘Principios de electrodeposición’, UNAM Cautitlan, Facultad de estudios superiores, Izcalli, México, 2008.
- [8] S. Hareh, ‘Diseño de una planta de electrodiálisis’, Proyecto/Trabajo final de carrera, Universidad Politécnica de Cataluña, Barcelona, 2009.
- [9] SQM, Estados financieros consolidados, Santiago, 2018.
- [10] La Tercera, ‘Ganancias de SQM crecen 54% en 2017, impulsadas por el litio’, LT, Marzo, 2018.