

Proceso de extracción del Litio y recuperación del agua



Trabajo Final

Alumnas:

Clara Viacava

Lara Rodriguez Altamirano

Tutor:

Ángel Di Pietro

Director de Carrera:

Alejandro Mohamad

Índice

Introducción	3
Proceso de extracción	5
Ventajas y desventajas del proceso actual de extracción del litio	9
Problemática Ambiental/Social	10
Características generales del ambiente donde se produce la explotación	11
Impactos negativos en los humedales y recursos hídricos	13
Propuesta	17
Métodos de extracción directa	17
Extracción directa mediante solventes	18
Pruebas en Bolivia	19
Análisis de la solución	20
Análisis económico	20
Análisis ambiental	20
Seguridad e higiene	22
Identificación de los peligros	22
Primeros auxilios	22
Medidas de lucha contra incendios	23
Medidas en caso de vertido accidental	23
Manipulación y almacenamiento	23
Control de exposiciones y protección individual	23
Consideraciones relativas a la eliminación	25
Conclusión	26
Bibliografía	27



Introducción

El Litio es un metal que en los últimos años ha despertado gran interés en el mundo, transformándose en un recurso estratégico a nivel mundial. En gran parte, este interés se debe a que el litio es el material esencial en la fabricación de baterías ion-litio destinadas a proveer energía a la próxima generación de vehículos eléctricos. Además del mercado de autos eléctricos, el litio abastece también al de lubricantes, donde se descubrió que varios compuestos del litio se usan en la formulación de lubricantes de alta temperatura. Así mismo, se usa para aleaciones livianas y resistentes en la industria aeronáutica y, es un componente importante en materiales cerámicos.

Históricamente, hubo dos métodos de extracción: a partir de minerales rocosos o de salmueras de salares continentales. En Argentina, tiempo atrás se comenzó extrayendo el Litio de depósitos de Espudomeno, pero hoy en día la extracción está totalmente concentrada en los salares del norte del país. La extracción de litio en salares de altura en el “triángulo del litio” en Argentina, Bolivia y Chile se lleva a cabo por un método evaporítico que consiste en la recristalización fraccionada de diversos cloruros bajo radiación solar y posterior precipitación de carbonato de litio

Hoy en día hay dos proyectos produciendo carbonato de litio en nuestro país, y si bien hay alrededor de 50 proyectos de litio en distintas fases de la etapa de exploración, hay 8 que entrarán próximamente en etapa de producción. A continuación, se detallan algunos de los principales salares de Argentina y en qué etapa de desarrollo están:

- En producción:
 - Proyecto Fénix, iniciado en 1997 en Catamarca.
 - Sales de Jujuy comenzó a producir en 2015 y se encuentra en el salar de Olaroz en Jujuy
- En construcción:
 - Proyecto Cauchari - Olaroz, ubicado en el salar Jujeño Cauchari
 - Centenario Ratones, proyecto avanzado de la minera francesa Eramine (2024) en Salta. Suspendió actividades por la crisis durante la pandemia y retomó operaciones.
 - Tres Quebradas en Catamarca, en la Laguna Tres Quebradas
 - Puna Ming, en Salta, se está finalizando la construcción de su planta piloto ubicada en el Salar del Rincón.
 - Mariana en junio comenzó con la construcción de su planta piloto, también ubicada en la puna salteña en Salar de Llullaillaco.
 - Sal de Oro, en el Salar del Hombre Muerto (Entre Salta y Catamarca) Produce Hidróxido de Litio
 - Sal de Vida, Catamarca, se encuentra en búsqueda de inversores.
 - Cachi, Catamarca se encuentra en el Salar Carachi Pampa



- En etapa de exploración
 - Salta:
Hay 10 proyectos: Salar del Rincón, Sal de Los Ángeles, Pastos Grandes, PPG, Rincón Lithium, Sal de Oro (tienen previsto este año comenzar la construcción), Salar de Pular, Salar del Rincón 2, Salar del Hombre Muerto Norte II y el Río Grande.
 - Jujuy:
Hay 1 proyecto: Salinas Grandes.

En etapa de prospección hay 20 proyectos. Si se pusieran en marcha todos, el potencial productivo en Argentina de carbonato de litio equivalente (LCE) llegaría a las 305 mil toneladas anuales, en su mayoría con calidad batería.

Es importante resaltar que cada salar tiene una química diferente y por lo tanto los métodos de extracción de litio deben adaptarse a la composición de las diferentes salmueras. El proceso evaporítico es más lento, pero tiene menor costo que la explotación de rocas. Debe tenerse en cuenta que la química involucrada en estos procesos es relativamente simple, sin embargo, tienen lugar en zonas desérticas a 3.000-4.000 m de altura donde los ecosistemas son frágiles e involucran el procesamiento de miles de toneladas por año.

En este informe se va a hacer un análisis detallado del proceso de extracción actual del Carbonato de Litio, en el cual se va a estudiar el impacto ambiental del mismo, y se van a buscar alternativas sustentables. Además, se va a realizar un estudio de las medidas de seguridad tanto durante el proceso de extracción, el tratamiento y el almacenamiento.



Proceso de extracción

Para comenzar con el proceso de extracción, se bombea la salmuera que se encuentra por debajo de la capa de sal en los salares y se procede a la evaporación en grandes piletas de baja profundidad llamadas pozas.



Imagen 1. Salar de Atacama Chile.



Imagen 2. Salar del Hombre Muerto. Catamarca, Argentina

Estas pozas suelen tener aproximadamente 30cm de profundidad y miles de metros de largo, construidas al borde del salar. La velocidad de evaporación varía dependiendo de la composición química de la salmuera (sobre todo por la presencia de magnesio que dificulta la evaporación) pero oscila entre 1,5 y 6 L/m² por día. Con una concentración de 1g/L, cada tonelada de litio representa 1 millón de litros de salmuera, por lo que la pérdida de agua es a gran escala, considerando además que se trata de un área desértica.

El proceso de evaporación consiste en una sucesión de pozas secuenciales donde, como se puede observar en el diagrama 1, precipitan cloruros de sodio, sodio y magnesio y finalmente potasio y magnesio. De esta manera va aumentando la concentración de Litio en la solución. Este proceso puede durar entre 18 y 24 meses, dependiendo de las precipitaciones, las horas de luz solar, la humedad, la intensidad del viento y la temperatura.

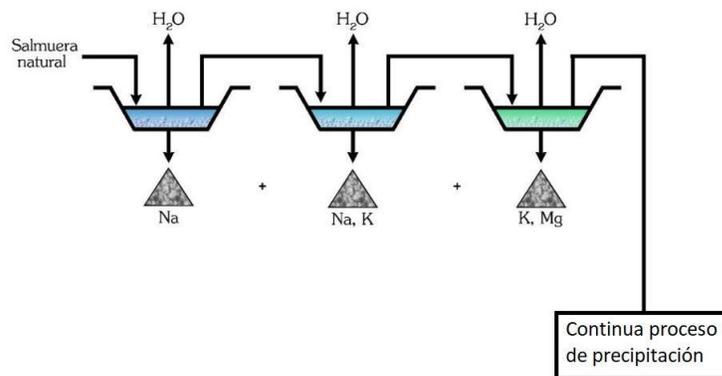


Diagrama 1. Extracto del esquema de pozas en el proceso evaporítico del Dr. D. Galli.

Una vez alcanzada una concentración aproximada de 6% de LiCl se agrega cal ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) para precipitar el magnesio y se elimina el boro por extracción por solventes, con recuperación de los mismos por destilación.

Este proceso permite la eliminación del magnesio y calcio que pueden utilizarse para consolidar caminos en el desarrollo del salar o bien como material ignífugo de relleno para construcciones.

Dependiendo del producto que se desea obtener, se procede de dos maneras diferentes, en el caso de querer obtener $\text{LiOH} \cdot \text{H}_2\text{O}$ y/o LiCl de alta pureza, se procede con electrodiálisis de la solución concentrada de cloruro de litio.

En caso de querer obtener Carbonato de litio (Li_2CO_3) de calidad batería se procede a agregar Soda Solvay en un proceso llamado carbonatación, donde precipita el carbonato de litio impuro



(99,5% Grado técnico) que luego, por inyección de CO₂, se convierte en bicarbonato de Litio. Este proceso implica ganar bonos verdes ya que contribuye con la eliminación de CO₂. Luego, por filtración y calentamiento se obtiene Carbonato de Litio Grado batería (99,9%).

A continuación, un flujograma del proceso descrito anteriormente.

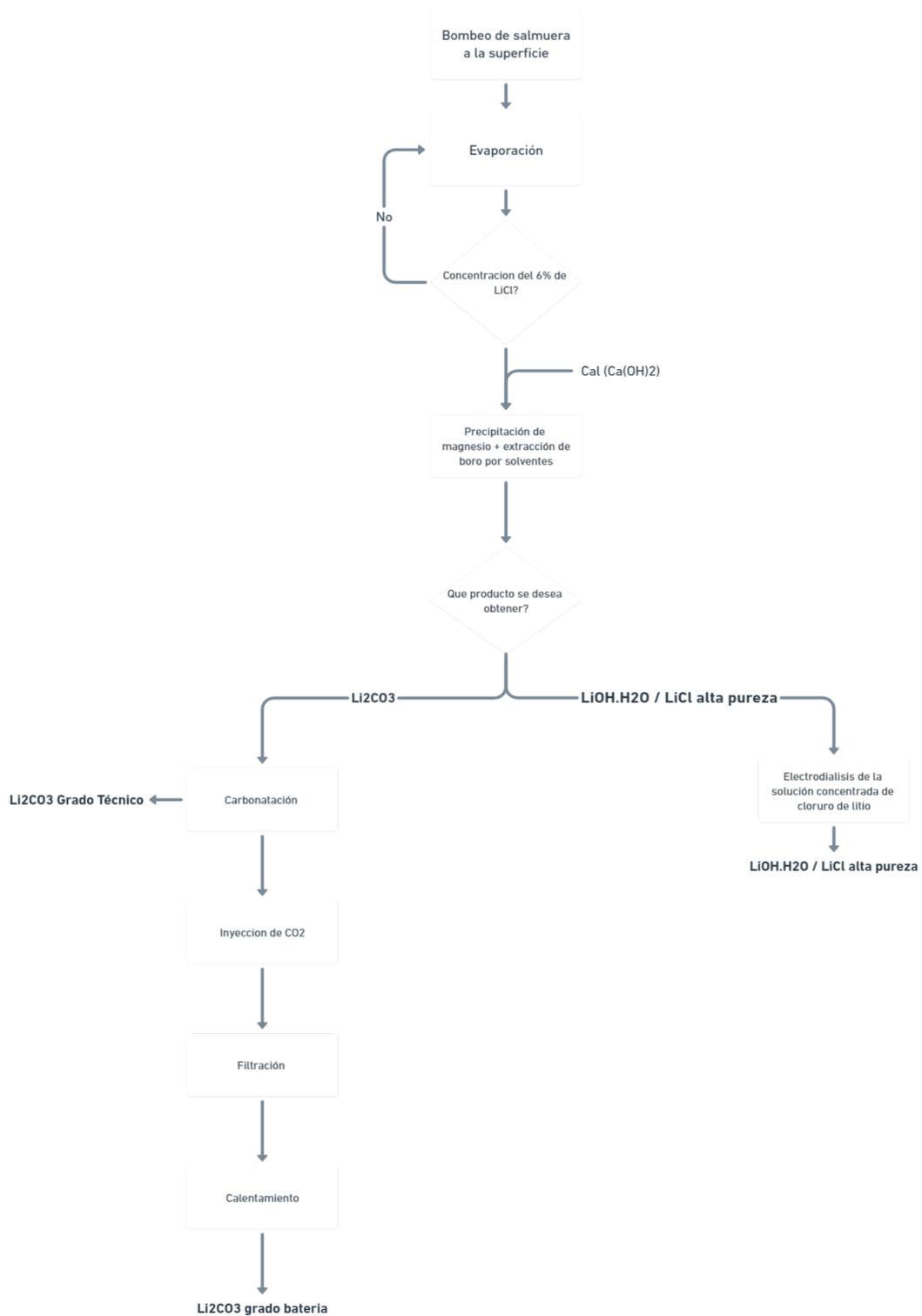


Diagrama 2. Proceso de extracción de Litio convencional



Ventajas y desventajas del proceso actual de extracción del litio

Este tipo de extracción, supone inversiones muy bajas debido a la poca infraestructura necesaria para el proceso. Se necesitan amplios territorios, pero no se requieren grandes tecnologías ni construcciones a diferencia de la extracción de Litio a partir de pegmatitas (mineral). De esta manera, el margen de ganancias que supone la explotación del Litio es muy grande, por lo que representa una gran oportunidad para la economía del país.

Sin embargo, este proceso supone varias desventajas. Por un lado, tiene un impacto ambiental y social muy importante, el cual será desarrollado más adelante. Y, por otro lado, es un proceso muy ineficiente en cuanto a tiempos y porcentaje de recuperación de litio. La etapa de evaporación puede demorar hasta dos años, ya que, al ser una evaporación no forzada, depende de las condiciones climáticas (precipitaciones, horas de luz solar, humedad, intensidad del viento, temperatura, etc.) para poder llegar a las concentraciones necesarias. Además, los piletones implican altas pérdidas de litio. Se pierde aproximadamente un 50% del litio de la salmuera alimentada en este proceso, salvo que se realice un revestimiento que suele ser muy costoso. El promedio de recuperación de Litio con este proceso suele ser de alrededor del 30%.

Otro desafío son las etapas de calentamiento y enfriamiento significativos por las que debe pasar la salmuera con concentración de litio al final del proceso, las cuales demandan alto consumo de energía y agua.

Problemática Ambiental/Social



Imagen 3. “No al litio. Sí al agua y a la vida en nuestros territorios”, cartel que recibe a los visitantes de Salinas Grandes en la provincia de Jujuy.

La expansión del mercado internacional de baterías de litio ha impactado enormemente en el desarrollo de la demanda poniendo a Sudamérica en el foco de las grandes empresas dedicadas a la extracción del litio. Los países del llamado “Triángulo del Litio” han recibido, durante los últimos años, un gran flujo de empresas mineras destinadas a la explotación de este mineral.

En el marco de una transición hacia energías más limpias, el principal desafío es cómo compatibilizar la explotación de recursos naturales con la preservación del ambiente y los derechos de las comunidades locales en los salares andinos.

La extracción de litio, en particular mediante el método evaporítico, implica una enorme pérdida de agua y produce una salinización del agua dulce por lo que impone una gran amenaza para los frágiles humedales altoandinos. Estos ecosistemas ubicados a más de 4.000 metros de altura en los Andes tienen un valor clave para las economías locales, que incluye pastos para el ganado, recursos alimenticios y agua fresca para las comunidades locales y, además, representan un patrimonio cultural para el país.

Uno de los mayores problemas a los que se enfrenta el gobierno es al rechazo social que tienen estos proyectos donde, por la falta de políticas regulatorias en la extracción, las empresas toman pocas medidas para conservar el ecosistema priorizando únicamente el “negocio rápido”, es



decir, buscando obtener la mayor cantidad de ganancias en poco tiempo sin importar los daños al medio ambiente que provoquen.

“Las empresas generan la información para los estudios de impacto ambiental, pero sólo en un área de influencia definida por su propio proyecto. No están obligadas a hacer los estudios que contemplen la cuenca hídrica en su totalidad, que es mucho más grande que el área específica asignada al proyecto”, advirtió la abogada Pía Marchegiani, docente de la Facultad de Derecho de la UBA y directora del área de Política Ambiental en la Fundación Ambiente y Recursos Naturales (FARN)

En el caso del salar de Olaroz, que ya está en proceso de explotación, el impacto ambiental registrado es muy elevado a causa de la débil cultura institucional provincial, que no establece adecuados controles para este tipo de ambiente frágil, y de una práctica empresarial que no presta la debida diligencia al cuidado del ambiente, externalizando los costos de los pasivos ambientales generados.

“El yacimiento fue construido con infraestructura precaria, sin tener en cuenta las delicadas condiciones naturales de la cuenca y priorizando la maximización de ganancias. El resultado esperable es la alteración del ciclo hidrológico de la cuenca debido a la interrupción de la circulación de agua hacia las zonas de descarga naturales y un elevado riesgo de contaminación irreversible de las fuentes de agua dulce a causa de las instalaciones inadecuadamente construidas e incorrectamente ubicadas.” comenta Marchegiani

Características generales del ambiente donde se produce la explotación

Las cuencas de la Puna y Altos Andes poseen dos características estructurales principales: se encuentran **rodeadas por cordones serranos** y desarrollan un **lago o salar en el centro** de la cuenca. Esta configuración permite distinguir dos subambientes: por un lado, los cordones montañosos que rodean la cuenca, donde se concentran las precipitaciones, las pendientes son más elevadas y hay mayor desarrollo de sedimentación clástica (sedimentos formados por rocas preexistentes); y, por otra parte, el sector central de la cuenca donde las pendientes del terreno son muy bajas, las precipitaciones menores y la sedimentación dominante es la evaporítica.

El funcionamiento hidrogeológico general de la cuenca consiste en la recarga de agua por precipitaciones en los sectores montañosos y su descarga por evaporación en el sector central de la misma. El tránsito del agua desde las áreas de recarga hacia la zona de descarga se produce primero a través de valles y quebradas y, una vez que abandona el frente montañoso, da lugar a una importante geoforma conocida como abanico aluvial a través de la cual el agua transita por



flujo subterráneo y, en menor medida, por flujo superficial en canales intermitentes sobre la superficie del abanico que funcionan durante los eventos de precipitación.

Producto de la evaporación, se produce la concentración de sales que da lugar a las salmueras ricas en recursos minerales.

Por lo tanto, la precipitación de agua dulce en las zonas altas fluye hacia el centro de la cuenca donde predominan los fenómenos de evaporación. El tránsito del agua se produce por medio de los abanicos aluviales de forma tanto subterránea como superficial. La dinámica de las aguas subterráneas en el centro de la cuenca se da mediante la interfaz entre las aguas dulces que bajan de los abanicos aluviales y la salmuera que se encuentra en el centro de la cuenca. Resulta posible, entonces, definir dos áreas diferentes en cuanto al flujo subterráneo de las aguas: el **núcleo del salar**, hidrodinámicamente aislado, donde se encuentra la salmuera y la **zona de mezcla** donde se produce la interfaz agua dulce – salmuera.

Como se mencionó arriba, el núcleo del salar es un área hidrodinámicamente aislada que contiene un flujo subterráneo que se debe al hundimiento de las aguas más densas en las zonas donde la evaporación es más intensa (sobreconcentración de sales) y el ascenso del agua menos densa por los laterales. Esta celda convectiva se encuentra aislada ya sea por los extremos de la cuenca o por la presencia de la zona de mezcla.

En la zona de mezcla se produce el “choque” entre las aguas dulces que descienden desde los abanicos y la celda convectiva del núcleo del salar. Se genera así un flujo de ascenso, una elevación de la carga hidráulica, que aproxima la napa a la superficie e incluso logra hacerla aflorar generando cadenas de lagunas. Es en la zona de mezcla donde se desarrollan los principales ambientes de tipo humedal y, al mismo tiempo, donde ocurre la mayor evaporación de la cuenca.

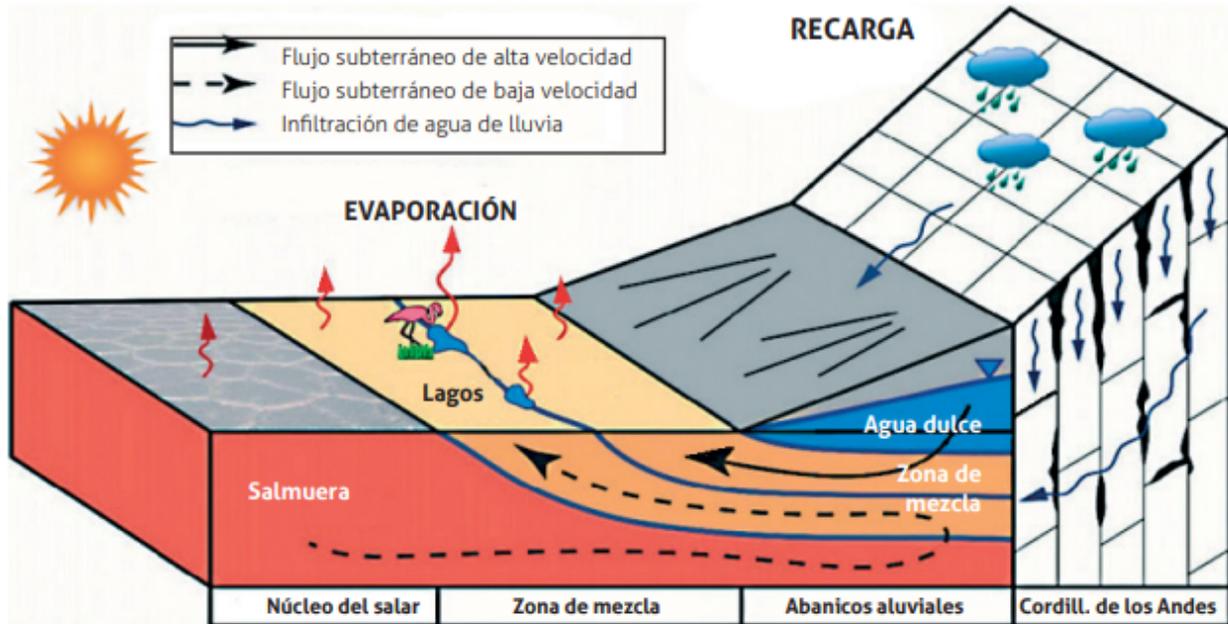


Imagen 4. Representación visual de la zona geográfica alrededor del salar.

Lo más importante de este ambiente consiste en la delicadeza de su equilibrio natural. El fenómeno más intenso es la evaporación que ocurre de forma constante durante todo el año, más allá de la variación estacional en intensidad. Las precipitaciones, escasas y fuertemente localizadas en la zona alta, representan el único aporte de agua a la cuenca, de modo que, el sistema se encuentra casi permanentemente bajo un estrés hídrico que amenaza interrumpir los ciclos de circulación. De alterar este balance, la escasa humedad que da lugar a los ambientes de humedal desaparecería, por lo tanto, resulta claro que cualquier explotación de recursos que quiera realizarse en estos ambientes debe ser hecha con cuidado de no alterar esta tan frágil dinámica.

Impactos negativos en los humedales y recursos hídricos

Durante el proyecto, tanto en la exploración como en la explotación / producción, se llevan a cabo diferentes etapas que afectan, en mayor o menor medida, el equilibrio del ecosistema. En la etapa de exploración, que es la menos invasiva, las alteraciones son simplemente temporarias y los impactos suelen ser transitorios y controlados.

En cambio, la etapa de explotación y producción es la que más impacto genera en el medio ambiente. Si bien las instalaciones son temporales, estas duran aproximadamente entre 30 y 40 años, involucrando grandes superficies en el salar. Por lo tanto, en esta etapa es donde se produce



la mayor cantidad y magnitud de impactos, con consecuencias en el entorno. Se pueden distinguir 3 tipos de impactos y se dividen en:

1- **Impacto de los pozos y acueductos:** cuando se bombea agua desde un pozo se produce un cono de depresión en el acuífero cuyas dimensiones dependen del material usado y caudal de bombeo. Si se bombea desde pozos cercanos y los conos se superponen, el efecto de la depresión es mucho mayor, generando una alteración en el flujo de aguas subterráneas.

2- **Salinización del agua dulce:** este efecto puede producirse de dos formas distintas, dependiendo de dónde se ubique el pozo de bombeo:

a- Si las depresiones se producen en el núcleo del salar, el agua dulce migrará desde los abanicos hacia estos sectores y se salinizará.

b- Si el bombeo se produce sobre las reservas de agua dulce de los abanicos, la dinámica de la zona de mezcla puede verse afectada y se producirá la invasión de agua salada desde el núcleo hacia los abanicos. Este daño es irreversible ya que los sedimentos quedarán impregnados de sal lo que contaminaría las nuevas recargas.

3- **Disminución o cese de evaporación:** un descenso excesivo de los niveles freáticos puede provocar que la evaporación desde la superficie freática cese.

Una vez extraída la salmuera, circula por acueductos hacia la planta productora. El agua con alta concentración de sales es altamente corrosiva y los materiales usados para los acueductos deben ser los adecuados dado que filtraciones y roturas pueden provocar la salinización de los suelos, dañando, sobre todo, a los productores locales.

Por último, el impacto generado por las plantas de producción es equivalente al de cualquier instalación donde se realice un proceso industrial. Debe existir la correcta manipulación de sustancias peligrosas y, sobre todo, de los residuos peligrosos que pueden ser producto del proceso industrial o del personal que trabaja en la planta. En particular estas plantas producen emisiones atmosféricas de diferentes sustancias (polvos), que, de no estar contenidas, pueden ocasionar impacto directo en las aguas superficiales de la cuenca, personas, fauna y flora, tal como reclaman los habitantes en las áreas próximas a la mina de Sales de Jujuy en Olaroz-Cauchari

A continuación, se adjunta una tabla con los distintos daños que fueron reportados por las mismas empresas extractoras durante el proceso de obtención de Litio:



Proceso de extracción del Litio y recuperación del agua
Clara Viacava – Lara Rodríguez Altamirano

Pais	Sitio	Empresa	Instalacion/Actividad	Año	Daños ambientales	Categoría impacto	Evidencia
Argentina	Olaroz - Cauchari	OROCOBRE Sales de Jujuy SA	Derrame de agua salada en campo Quijano	2019	Salinizacion de suelos y humedales	Demostrado	Orocobre reporte anual 2019
Argentina	Olaroz - Cauchari	OROCOBRE Sales de Jujuy SA	Derrame de combustible en suelo en Tincalayu	2019	Contaminacion de suelos con residuos peligrosos	Demostrado	Orocobre reporte anual 2019
Argentina	Olaroz - Cauchari	OROCOBRE Sales de Jujuy SA	Camino y acueductos en salar	2019	Modificacion del flujo natural superficial del agua. Alteracion del ciclo de precipitacion de sales Alteracion del balance hidrico	Potencial	Foto en Orocobre reporte anual 2019
Argentina	Olaroz - Cauchari	OROCOBRE Sales de Jujuy SA	Derrame de salmuera en la localidad de Diablillos desde las perforaciones	2016	Salinizacion de suelos y humedales	Demostrado	Orocobre reporte anual 2016
Argentina	Olaroz - Cauchari	OROCOBRE Sales de Jujuy SA	Derrame de salmuera en la localidad de Diablillos desde las perforaciones	2015	Salinizacion de suelos y humedales	Demostrado	Orocobre reporte anual 2015
Argentina	Olaroz - Cauchari	OROCOBRE Sales de Jujuy SA	Camino y acueductos en salar	2015	Modificacion del flujo natural superficial del agua. Alteracion del ciclo de precipitacion de sales Alteracion del balance hidrico	Potencial	Orocobre reporte anual 2015
Argentina	Olaroz - Cauchari	OROCOBRE Sales de Jujuy SA	Derrame de salmuera en la localidad de Diablillos desde las perforaciones	2014	Salinizacion de suelos y humedales	Demostrado	Orocobre reporte anual 2014
Argentina	Olaroz - Cauchari	OROCOBRE Sales de Jujuy SA	Piletas de evaporacion transformadas en rellenos de residuos	2019	Pasivo ambiental Viola la Ley 24051. Requisitos tecnologicos en las operaciones de eliminacion - Operaciones de eliminacion no aceptables	Demostrado	Instalaciones de almacenamiento y evaporacion de residuos. Orocobre Septiembre 2019

Tabla 1. Daños reportados

Estos problemas mencionados, ya son un tema recurrente entre los productores locales ya que reclaman que la falta de agua ya se está sintiendo en sus hogares, afectando los sistemas de riego para sus cultivos. Y este es un problema que de no estar regularizado por el Estado va a ser aún peor con el pasar de los años ya que la demanda del Litio continúa creciendo a gran escala y con el boom de los autos eléctricos pareciera no tener techo.

El crecimiento es exponencial y para 2030 se prevé una demanda tres veces mayor a la de este año, por lo que pone la necesidad de normas regulatorias como prioridad para proteger el ecosistema y estilo de vida de los productores locales.

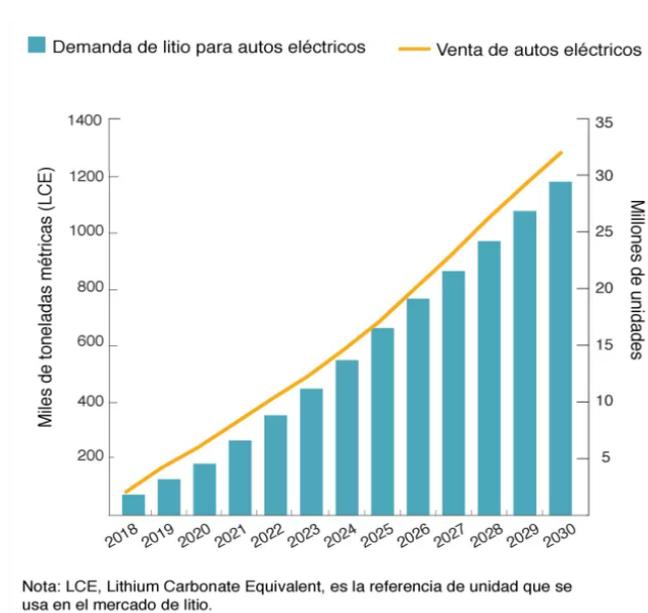


Imagen 5. Demanda del litio de los próximos años

A modo de conclusión, sólo se se contempla el ciclo hidrogeológico de la cuenca como una totalidad integrada para el diseño de la explotación, es posible incorporar la industria al ciclo hidrológico natural del ambiente y preservar los recursos naturales

En caso contrario, de no contar con un modelo hidrogeológico apropiado y de una red de monitoreo para control de las variables ambientales, el riesgo que se corre es la alteración, parcial o total, del ciclo hidrológico y de cualquier elemento que dependa de él, como los humedales. Las consecuencias pueden ser variables dependiendo de la escala y naturaleza de este impacto, entre las más significativas se encuentran el descenso generalizado de la superficie freática, la modificación del balance hídrico natural del agua, la salinización de reservas de agua dulce, la contaminación de suelos con residuos peligrosos, el desecamiento de fuentes de agua subterráneas y humedales, y cambios de clima locales, a nivel cuenca, debido a la pérdida de humedad en el ambiente.



Propuesta

Debido a la problemática ambiental, los largos períodos de tiempo que supone el proceso de evaporación, la evaporación de parte del litio en dicho proceso, entre otras desventajas del proceso de extracción actual, fue necesario investigar distintas alternativas al proceso utilizado hoy en la Argentina.

Es importante tener en cuenta, como se mencionó anteriormente, que cada salar tiene su propia química y hay que adaptar cada proceso a la salmuera que se quiera tratar, lo cual puede traer complicaciones a la hora de buscar una única solución que se pueda aplicar a todos los sitios de explotación.

La alternativa que proponemos son los **métodos de extracción directa**. La misma reemplaza el proceso de evaporación, acortando los tiempos de producción, evitando el desperdicio de agua y evitando perder parte del litio en el proceso. Existen diferentes métodos de extracción directa, por lo que se puede seleccionar cuál es el que mejor funciona para la salmuera que se desee explotar.

Métodos de extracción directa

A grandes rasgos, el proceso consiste en bombear la salmuera y filtrar el litio, lo que permite luego devolver la salmuera restante al medio del cual fue obtenida. La mayoría de estos métodos están en una instancia de pruebas piloto, a excepción del que utiliza columnas de absorción que viene más avanzado.

Estos métodos están siendo explorados a nivel mundial por diferentes empresas ya que suponen una importante mejora en cuanto a tiempos, rendimiento y reducción significativa del uso y desperdicio de agua. Algunas de las empresas que están desarrollando esta tecnología son E3 Lithium, Energy X, Eramet, CleanTech Lithium, Tenova, entre otras.

Existen varios métodos diferentes de extracción directa. Por un lado, se están probando las columnas de adsorción, las mismas utilizan la corriente eléctrica como forma de seleccionar el litio de la salmuera, sin utilizar agua ni generar residuos, se prevé incluso que la energía sea proveniente de paneles solares. Además, se están desarrollando las membranas de nanofiltrado, las cuales se componen de materiales que son atractivos para el litio, y mediante vapor de agua permite realizar la separación de las sales. Existe también el desarrollo de solventes que, según sostiene una de las empresas creadoras (Tenova Advanced Technologies), logra en solo un día



una solución de cloruro de litio con una pureza superior al 99,9%. El proyecto supone además la reinyección de la salmuera libre de litio nuevamente al salar.

Extracción directa mediante solventes

En este trabajo nos enfocaremos principalmente en la extracción directa mediante solventes, ya que es la tecnología con mayores posibilidades de adaptarse a las salmueras que tenemos en Argentina. Si bien cada empresa desarrolla sus propios solventes y las fórmulas de cada una de ellos varía con la composición de cada una de las salmueras, el proceso que proponen es similar y mantiene las mismas características.

Para ilustrar este proceso, nos guiaremos por la propuesta realizada por la empresa E3 Lithium. La empresa propone extraer la salmuera de niveles muy por debajo del nivel freático y devolver el agua salina a la misma formación, de esta manera no se requieren altos volúmenes de agua dulce. Con este proceso, se evitan las piletas de evaporación, vertederos de residuos mineros o estanques a cielo abierto. Además, la recuperación del litio se realiza en minutos, no toma meses o hasta años como en el caso del proceso de evaporación.

Como se puede observar en la ilustración a continuación es un proceso muy simple, se bombea la salmuera a un tanque, donde hay un solvente altamente selectivo para el Litio, el cual es bombeado a otro tanque para continuar con el proceso de refinamiento. El agua restante es reinyectada al mismo lugar donde fue extraída.

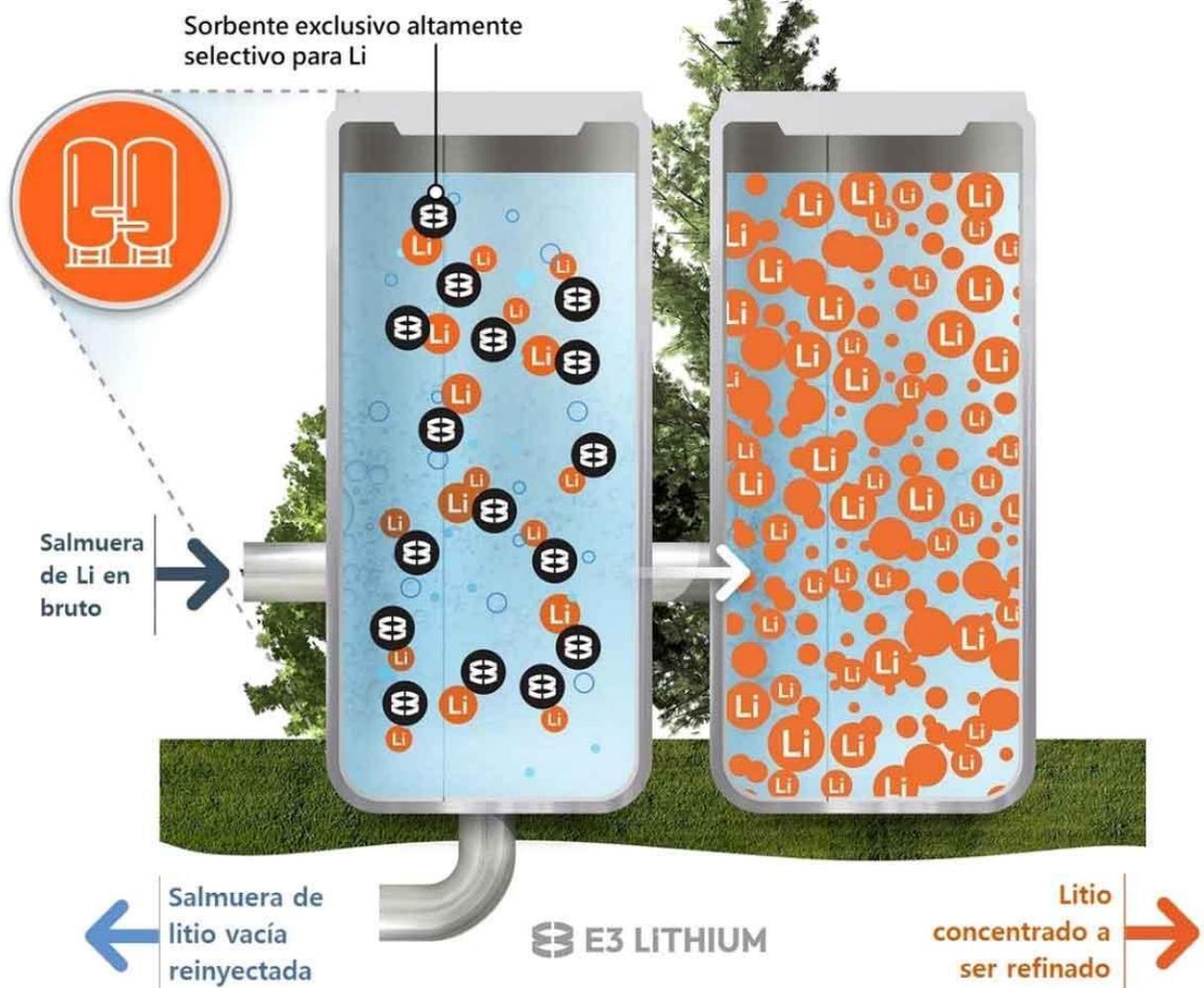


Imagen 6. Extracción directa del litio mediante Solventes.

Pruebas en Bolivia

Según la revista Swissinfo, diferentes firmas de EEUU, China y Rusia realizaron pruebas de extracción directa de Litio en Bolivia. El presidente de Yacimientos de Litio Bolivianos (YLB), confirmó que sus tecnologías de EDL se pueden aplicar en los salares de las regiones andinas de Potosí y Oruro.

Las empresas pudieron completar de manera satisfactoria todas las etapas de la convocatoria, incluidas evaluaciones técnicas y operativas, memorandos de entendimiento, acuerdos de confidencialidad de patentes de tecnología y las pruebas de pilotaje con muestras de las salmueras bolivianas. En total fueron casi dos años de trabajo para seleccionar las tecnologías



necesarias y acelerar el proceso de producción e industrialización del litio. Se reportaron como resultado de las pruebas una tasa de recuperación del litio mayor al 80%, por lo que se declaró que las tecnologías evaluadas de las cuatro compañías son aplicables a los salares bolivianos. En concreto, las mismas son aplicables en los salares de Uyuni y Pastos Grandes (ambos en Potosí) y en Coipasa (compartido entre Oruro y Chile).

En enero del 2022, se invirtieron 1.000 millones de dólares en dos complejos industriales con tecnologías de EDL en Uyuni y Coipasa. Cada complejo tendrá una capacidad para producir hasta 25.000 toneladas anuales de carbonato de litio con un 99.5% de pureza.

Las salmueras en el territorio argentino son similares en composición a las salmueras del territorio boliviano, por lo que creemos que estos resultados son alentadores para poder replicar estas tecnologías en nuestro país.

Análisis de la solución

Análisis económico

Basándonos en los números compartidos en el artículo sobre las pruebas en Bolivia mencionado anteriormente, hemos realizado un cálculo aproximado del repago de la inversión para entender si es económicamente viable esta solución para nuestro país

Considerando una inversión de 500 millones de dólares para un complejo industrial que produzca 25.000 toneladas anuales, considerando un precio promedio por tonelada de carbonato de litio de 80.000 dólares, resultaría en una producción de 2.000 millones de dólares por año, por lo que económicamente no representa una inversión inviable.

Análisis ambiental

La extracción directa del litio, supone una reducción abismal en el consumo de agua a lo largo del proceso, siendo esta la principal problemática tanto ambiental como social del proceso de extracción actual.

Como se explicó anteriormente y como se ilustra en la siguiente imagen, se propone reinyectar el agua no utilizada nuevamente a la salmuera en puntos específicos donde no afecta al ecosistema actual.

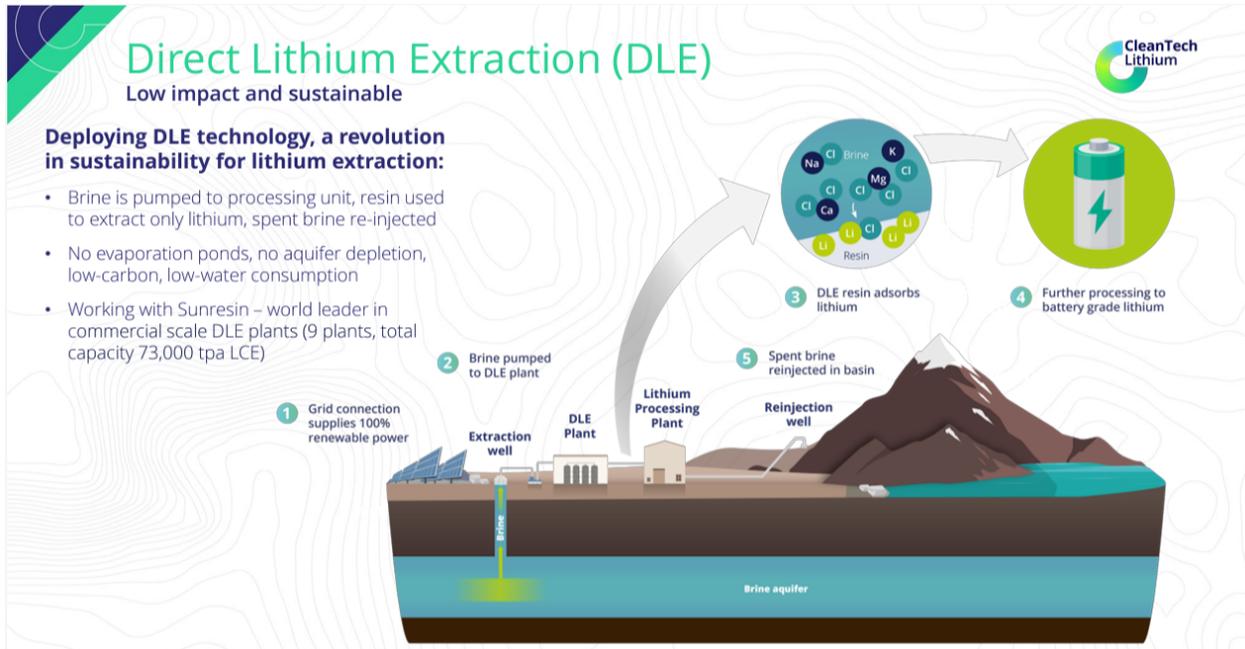


Imagen 7. Proceso de extracción directa. Extraída de la propuesta de CleanTech Lithium.

En la propuesta de CleanTech Lithium se incluye además la posibilidad de obtener energía mediante paneles solares, lo cual impulsa aún más la iniciativa de tener energías limpias desde su producción hasta su uso posterior en el formato de baterías eléctricas.

Con esta solución se reducirán los impactos ambientales generados en la etapa de evaporación mencionados anteriormente, al inyectar la salmuera bombeada en lugares estratégicos, por un lado, se reduce el impacto de los pozos y acueductos ya que se podría contrarrestar la alteración en el flujo de aguas subterráneas. Además, se podría evitar la salinización del agua dulce, ya que al devolver el agua bombeada en los puntos estratégicos mencionados, no habrá migración de agua dulce de los abanicos al núcleo del salar. Por último, se previene el descenso excesivo de los niveles freáticos, y evitando así que cese la evaporación desde la superficie freática contrarrestando también la falta de lluvias en esas zonas.

Seguridad e higiene

Es importante tener en cuenta tanto la seguridad e higiene del personal que va a estar trabajando en planta como a la hora de almacenar y transportar el producto terminado y sus principales productos derivados.

Identificación de los peligros

En primer lugar, hay que identificar los peligros asociados al Carbonato de Litio. Según SGA (Sistema Globalmente Armonizado) se identifican dos principales peligros, por un lado, la toxicidad aguda oral (H302) y por otro lado las lesiones oculares graves o irritación ocular (H319).

La palabra de advertencia que identifica a esta sustancia es **Atención** y el pictograma es el siguiente:



Para la prevención de siniestros es muy importante llevar guantes y gafas de protección.

Primeros auxilios

En caso de siniestros, se debe proceder de la siguiente manera:

- Notas generales: El individuo debe quitarse inmediatamente las prendas contaminadas.
- En caso de inhalación: Se debe proporcionar aire fresco, si aparece malestar o en caso de duda se debe consultar con un médico.
- En caso de contacto con la piel: Aclarar la piel con agua o ducharse, si aparece molestar o en caso de duda se debe consultar con un médico.
- En caso de contacto con los ojos: mantener separados los párpados y enjuagar con abundante agua limpia y fresca por lo menos durante diez minutos. En caso de llevar lentes de contacto quitarse los mismos. En caso de que exista irritación ocular consultar con un oculista.
- En caso de ingesta: enjuagar la boca con agua en caso de que la persona esté consciente. Llamar a un médico.

Los principales síntomas y efectos agudos y retardados pueden ser vómitos o irritación. El contacto del carbonato de litio con la piel suele producir ampollas.



Medidas de lucha contra incendios

En caso de incendio, es necesario coordinar las medidas de extinción con los alrededores; se puede utilizar agua pulverizada, espuma, polvo extinguidor seco o dióxido de carbono. Es importante saber que **no se debe utilizar agua para extinguir el incendio**.

Si bien es una sustancia no combustible, en caso de incendio pueden formarse monóxido de carbono (CO) y dióxido de carbono (CO₂). Por este motivo se recomienda luchar contra el incendio desde una distancia razonable, tomando las precauciones habituales y llevando un aparato de respiración autónomo.

Medidas en caso de vertido accidental

En cuanto al personal que no forma parte de los servicios de emergencia, es necesaria la utilización de equipos de protección adecuados con el fin de evitar toda posible contaminación y contacto con la piel, los ojos y la ropa, además es muy importante no respirar el polvo.

En cuanto a las precauciones relativas al medio ambiente, es importante mantener el producto alejado de los desagües y de las aguas superficiales y subterráneas.

En lo que respecta a los métodos y materiales de contención y de limpieza, para contener un vertedero es necesario el cierre de desagües, se debe recoger mecánicamente y realizar un control del polvo. Una vez recolectado el contenido vertido, se debe colocar en recipientes apropiados para su eliminación.

Manipulación y almacenamiento

No son necesarias medidas especiales para una manipulación segura, aunque se recomienda fuertemente lavar las manos antes de las pausas y al fin del trabajo. Manteniéndose lejos de alimentos y bebidas.

Para tener un almacenamiento seguro, es necesario que el lugar esté seco, la temperatura recomendada de almacenaje es entre 15 y 25 °C, y se sugiere utilizar una ventilación local y general.

Control de exposiciones y protección individual

Se utilizaron los parámetros DNEL (Derived no-effect concentration/nivel sin efecto derivado) y PNEC (Predicted no-effect concentration/concentración prevista sin efecto) para evaluar los valores relativos a la salud humana y a los valores medioambientales.



Parámetro	Niveles umbrales	Vía de exposición	Tiempo de exposición
DNEL	10 mg/m ³	Por inhalación	Crónico - efectos sistémicos
DNEL	30 mg/m ³	Por inhalación	Agudo - efectos sistémicos
DNEL	64,3 mg/kg	Cutánea	Crónico - efectos sistémicos
DNEL	100 mg/kg	Cutánea	Agudo - efectos sistémicos

Tabla 2. Valores relativos a la salud humana.

Parámetro	Niveles umbrales	Vía de exposición	Tiempo de exposición
PNEC	9 mg/l	Agua dulce	Corto plazo (ocasión única)
PNEC	0,9 mg/l	Agua marina	Corto plazo (ocasión única)
PNEC	0,3 mg/l	Agua	Emisiones intermitentes
PNEC	122,2 mg/l	Depuradora de aguas residuales (STP)	Corto plazo (ocasión única)
PNEC	35,2 mg/kg	Sedimentos de agua dulce	Corto plazo (ocasión única)
PNEC	3,52 mg/kg	Sedimentos marinos	Corto plazo (ocasión única)
PNEC	1,76 mg/kg	Suelo Corto	plazo (ocasión única)

Tabla 3. Valores relativos al medio ambiente.

Como se mencionó anteriormente, es importante usar equipo de protección personal para evitar exposiciones. Se requieren gafas de protección con protección en los laterales, guantes adecuados de protección química, se recomienda hacer períodos de recuperación para la regeneración de la piel y protección respiratoria para la formación de polvos.

Consideraciones relativas a la eliminación

Se debe eliminar el producto y su recipiente como residuos peligrosos, se deben seguir las normas locales, nacionales o internacionales correspondientes. Es muy importante **no tirar los residuos por el desagüe**. Los residuos se deben clasificar en las categorías aceptadas por los centros locales o nacionales de tratamiento de residuos.



Imagen 8. Salar en explotación



Conclusión

La transición energética hacia las tecnologías verdes, ya sea con el objetivo de reemplazar totalmente o de manera parcial las energías fósiles, representa un desafío para la sociedad actual, ya que durante toda la cadena de valor se debería buscar complementar los principios de sustentabilidad ambiental, soberanía nacional e inclusión social.

El eslabón final de la tecnología limpia –la batería– debe incluir, desde el origen del proceso, que los métodos extractivos de su principal componente –el litio– sean sostenibles social y ambientalmente. El no cumplimiento de estos principios aumentaría la brecha social y las inequidades entre los países desarrollados, principales usuarios de los autos eléctricos, y los países en desarrollo, productores de litio a costa del daño ambiental y social.

Para que los procesos de extracción sean lo más amigables con el medio ambiente posible, las empresas encargadas de ellos deben tener un conocimiento detallado del sistema natural de cada zona, junto con sus posibilidades y limitaciones. Esto muchas veces requiere de una inversión específica para la elaboración de mapas del territorio, seguimiento de las principales variables ambientales (precipitaciones, temperatura, evaporación, niveles freáticos, etc.) y modelos integradores que definan cómo interactúan los elementos naturales y cómo es su dinámica.

Sobre estos conocimientos es que se debe buscar que el proyecto sea económicamente viable, evitando a toda costa el negocio fácil y rápido en donde solamente se busca maximizar las ganancias de la empresa bajando los costos al usar infraestructura de baja calidad, vulnerando reglamentaciones, etc.

Es necesario innovar en cuanto a soluciones y alternativas para los procesos que existen actualmente, es muy importante no perder el foco en la importancia de la energía limpia en toda la cadena de producción, es por eso que creemos que la inversión en los métodos de extracción directa son el futuro de la producción de litio en los salares del mundo, principalmente en el triángulo del litio.

Estos métodos no representan únicamente una oportunidad en cuanto a tiempos de producción y calidad de producto, sino que son la oportunidad para reducir el impacto ambiental y social generado, abriendo la posibilidad de plantear la extracción de Litio como una oportunidad para nuestro país y no como un conflicto para los habitantes de las zonas explotadas.

Además, a diferencia de los métodos convencionales de producción, la extracción directa permite mayores volúmenes de producción de litio en menores tiempos, ampliando la posibilidad de satisfacer la demanda mundial que va en constante aumento, y la cual va a seguir creciendo en los próximos años como se presentó anteriormente. Tenemos la oportunidad como país de implementar estas tecnologías y adelantarnos a la competencia, creemos que el momento es ahora, tenemos que animarnos a ser pioneros y adoptar estas innovaciones antes de que sea demasiado tarde.



Bibliografía

Contexto actual del Litio

<https://www.cronista.com/apertura/inversiones/todos-por-el-litio-uno-por-uno-los-nuevos-proyectos-argentinos-y-las-empresas-que-estan-detras/>

<https://econojournal.com.ar/2022/07/cuales-son-los-ocho-proyectos-de-litio-que-ingresaran-en-etapa-de-produccion-comercial-en-los-proximos-tres-anos/>

<https://econojournal.com.ar/2021/04/el-gobierno-espera-inversiones-por-us-470-millones-en-proyectos-de-litio-para-2021/>

https://es.made-in-china.com/co_hebeiaifosen/product_Lithium-Carbonate_uouyesuhng.html

Proceso de extracción actual del Litio

Libro: Litio, Un Recurso Natural Estratégico. Publicado por la Academia Nacional de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales [ANCEFN]

https://www.argentina.gob.ar/sites/default/files/informe_litio_-_octubre_2021.pdf

Problemática Social/Ambiental

[Litio: la fiebre del "oro blanco", ¿fortuna o infortunio para Argentina? - BBC News Mundo](#)

[Litio: ¿Cuál es el impacto social y ambiental de las explotaciones? | Sobre La Tierra \(uba.ar\)](#)

Métodos de Extracción directa

<https://wp-ctlithium-rebuild-2022.s3.eu-west-2.amazonaws.com/media/2023/04/CTL-Investor-Deck-April-2023-Shortened-Version.v3.pdf>

<https://dialogochino.net/es/articulo/58865-puede-el-litio-ser-producido-con-un-menor-impacto-ambiental-en-america-latina/>



<https://panorama-minero.com/litio/litio-y-tecnologia-como-obtener-mas-valor-de-las-salmueras/>
<https://www.worldenergytrade.com/metales/litio/innovadora-tecnologia-extraccion-litio-e3-lithium>

<https://capevlac.olade.org/innovacion/2020/03/31/desarrollan-una-tecnica-que-podria-revolucionar-la-extraccion-del-litio-para-las-baterias-de-los-coches-electricos/>

Revista Swissinfo - Pruebas en Bolivia

https://www.swissinfo.ch/spa/bolivia-litio_firmas-de-rusia--china-y-eeuu-probaron-extracci%C3%B3n-directa-de-litio-en-bolivia/48390804

Empresas de Extracción directa

<https://e3lithium.ca/>

<https://energyx.com/lithium/#direct-lithium-extraction>

<https://tenova.com/technologies/hydrometallurgy/lithium>

<https://ctlithium.com/es/about/direct-lithium-extraction/>

<https://www.eramet.com/en/eramine-world-class-lithium-production-project>

Seguridad e Higiene

<https://www.uv.mx/pozarica/cq/files/2021/01/211-LITIO-CARBONATO%CC%81-.pdf>

<https://www.lenntech.es/litio-y-agua.htm#:~:text=%C2%BFC%C3%B3mo%20reacciona%20el%20litio%20con,litio%20en%20la%20tabla%20peri%C3%B3dica.>

<https://www.gesi.de/en/blog/2016/07/11/bedeutung-dnel-und-pnec/>