Minería del agua: la extracción de litio en el desierto más árido del mundo

Autora

Engel Ramírez

Agosto 2025

FUNDACIÓN Terram

Minería del agua: la extracción de litio en el desierto más árido del mundo

Autora: Engel Ramírez

Edición de contenidos: Telye Yurisch, Flavia Liberona

Edición periodística: Cristóbal Moreno

Obra liberada bajo licencia Creative Commons: Licencia Creative Commons: Reconocimiento – No comercial – Compartir igual: El artículo puede ser distribuido, copiado y exhibido por terceros si se reconoce la autoría en los créditos. No se puede obtener ningún beneficio comercial y las obras derivadas tienen que estar bajo los mismos términos de licencia que el trabajo original.

Más información en: *http://creativecommons.org*

Disclaimer

Esta publicación de la Fundación Terram se elaboró en el marco de un proyecto con el Natural Resource Governance Institute (NRGI). Las opiniones y los puntos de vista consignados en esta publicación no comprometen a NRGI.

Fundación Terram
General Bustamante 24, 5to piso, oficina i. Providencia, Santiago de Chile.

Piscina de evaporación en el Salar de Atacama, Región de Antofagasta.
Foto: *Fundación Terram*

Fono: +56 2 22694499

e-mail: *contacto@terram.cl*

Facebook Fundación Terram: *Fundación Terram*

X Fundación Terram: *@Terram_Chile*

Instagram Fundación Terram: *@fundacion_terram*

LinkedIn: *Fundación Terram*

1. Introducción

En el contexto de crisis climática, la búsqueda de los países por disminuir sus emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) ha incrementado la demanda global de los llamados "minerales críticos" para la transición energética, entre los que se encuentra el litio. Chile, como parte del denominado "triángulo del litio", cuenta, de acuerdo a los antecedentes disponibles, con las mayores reservas mundiales de este mineral en salares, los que representan la fuente económicamente más rentable para su extracción. Este hecho, sumado a las favorables condiciones climáticas que imperan en la zona norte del país –caracterizada por una alta tasa de evaporación que facilita la concentración de este elemento en el proceso extractivo– ha desencadenado una explotación cada vez más intensiva del litio, principalmente en el Salar de Atacama donde se presenta la mayor concentración promedio de litio en salmueras freáticas del mundo (Grudner, 2022). Administrativamente, este salar se encuentra ubicado en la Región de Antofagasta, en medio del desierto de Atacama conocido por ser el desierto más árido del mundo[1], mientras que geográficamente se localiza en la tercera cuenca más grande del país con alrededor de 15.620 km² a una altura de entre 2.300 a 2.400 m.s.n.m. (DGA, 2004).

Sin embargo, estas ventajas comparativas para la explotación, han soslayado sistemáticamente los posibles impactos ambientales y problemáticas sociales que esta extracción intensiva puede generar. De acuerdo a la legislación vigente, los salares son tratados como un tipo de yacimiento minero y no como un ecosistema frágil y complejo, de gran relevancia para hacer frente a la crisis climática. Además, éstos son importantes sumideros de carbono, fuentes de agua dulce y de recarga de agua de napas subterráneas, presentando también funciones ecosistémicas como el control de inundaciones y el sustento de una gran diversidad de flora, fauna y organismos microbiológicos (Convención Ramsar, 2018).

En este contexto, el presente documento tiene como propósito, en primer lugar, resaltar la relevancia de los salares como espacios de conservación debido a su importancia como reservorios de agua dulce y capacidad de sustento ecológico en el desierto, entregando antecedentes que permitan debatir y complementar la narrativa actual. En segundo lugar, se busca examinar y comparar los diferentes modelos de explotación existentes y emergentes para la extracción y concentración del litio, considerando las diferentes ventajas y limitaciones de cada uno en cuanto al uso y requerimiento de diferentes recursos. Finalmente, se realizarán una serie de recomendaciones que buscan contribuir al debate actual, recalcando la importancia de contar con estudios e información acabada que permita elaborar mejores políticas públicas.

1 De acuerdo al Centro de Investigación Desierto de Atacama de la Universidad Católica, que estudia el ecosistema de su mismo nombre, éste se encuentra entre los 18° y los 28° latitud sur, abarcando gran parte del norte de Chile y sur de Perú. Para mayor información revisar el sitio web: https://cda.uc.cl/descubre-mas/biodiversidad-y-conservacion-de-los-ecosistemas-de-niebla/

2. Antecedentes generales

El Panel Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC) en su informe especial sobre los impactos del calentamiento global de 1,5°C con respecto a los niveles preindustriales (IPCC, 2018), señala que es urgente limitar el aumento de la temperatura media del planeta a 1,5°C, lo que reduciría la intensidad y frecuencia de los eventos climáticos extremos y con ello, los riesgos y posibles impactos a la población y los sistemas naturales. En este escenario, es primordial alcanzar la carbono neutralidad al año 2050, reduciendo la emisión de GEI en un 45% al 2030, respecto a los niveles del año 2010, además de cambiar el sistema energético, terrestre, urbano y de infraestructura.

Lo anterior, fue uno de los hitos que generó un cambio de paradigma a nivel global en cuanto a la manera de generar, almacenar y distribuir la energía, lo que sumado a los acelerados avances tecnológicos del último tiempo asociados al desarrollo de diferentes industrias –como la electromovilidad–, ha incrementado la demanda de una serie de minerales considerados estratégicos para la **transición energética** como el cobalto, el cobre, las tierras raras y el litio (Maldonado y col., 2024). En este sentido, se ha impuesto en la agenda global la necesidad de acelerar la descarbonización y disminuir la dependencia de los combustibles fósiles, una demanda impulsada principalmente por los países industrializados del hemisferio norte para cumplir con sus compromisos climáticos de disminución de emisiones de GEI. Esto ha tenido como consecuencia una creciente presión sobre las comunidades y ecosistemas en los que se localizan estos minerales -por lo general en países en vías de desarrollo-, originando una serie de conflictos y problemáticas sociales y ambientales que se espera vayan en aumento ante las perspectivas de una explotación más intensiva (Jerez y col., 2021).

De acuerdo a la Comisión Chilena del Cobre (Cochilco), en su última proyección sobre El Mercado del Litio de 2024, se prevé que la demanda mundial de este mineral en 2025 alcance las 1.394 toneladas de carbonato de litio equivalente (LCE)[2], principalmente como insumo para la fabricación de baterías ión-litio utilizadas en vehículos eléctricos, sistemas de almacenamiento de energía, artículos eléctricos y uso industrial/químico (Cochilco, 2024a). En Chile, de acuerdo al último Anuario de la Minería del Servicio Nacional de Geología y Minería (Sernageomin) de 2024, la producción de litio alcanzó durante 2023 las 302.457 toneladas de LCE entre sus diferentes compuestos (carbonatos, hidróxidos, cloruros y sulfatos), manteniendo el posicionamiento del país como segundo productor a nivel mundial después de Australia (Sernageomin, 2024).

Esta producción es generada únicamente por dos empresas privadas: SQM Salar y Albemarle Ltda. La Sociedad Química y Minera de Chile S.A. (hoy conocida como SQM), surge a fines de la década de los 60's como una sociedad de capitales mixtos entre el Estado de Chile y la compañía salitrera Anglo Lautaro S.A, transitando en las décadas posteriores por una nacionalización, privatización y

2 El carbonato de litio equivalente o LCE, por sus siglas en inglés, es una expresión que relaciona el contenido de litio metálico con el de carbonato de litio. La equivalencia es 1 ton Li = 5,28 ton LCE (Cochilco, 2009).

diferentes cambios societarios (Poveda, 2020). Por otra parte, Albemarle tiene su origen alrededor de la década de los 80's con la creación de la Sociedad Chilena del Litio (SCL), también de capitales mixtos, entre la entidad estatal Corporación de Fomento de la Producción (CORFO) (45%) y Foote Minerals Company (55%). Ambas empresas, ejecutan sus operaciones mediante contratos de proyecto y arrendamiento suscritos con CORFO en las pertenencias mineras conocidas bajo el nombre de "OMA", que la Corporación posee en el Salar de Atacama (CORFO, 2016). Estos contratos fueron modificados sustancialmente durante el año 2016 (Albemarle) y 2018 (SQM) luego de un largo proceso arbitral iniciado en 2014 por CORFO en la Cámara de Comercio de Santiago debido a graves incumplimientos del mismo y otras malas prácticas incurridas por la empresa SQM[3] (Yurisch y col., 2024; CORFO, 2018); entre las que destaca la constitución de concesiones mineras e inscripción de derechos de agua en las áreas perimetrales a las pertenencias mineras arrendadas a la Corporación.

Cabe señalar que el Salar de Atacama es el único depósito salino en Chile que actualmente presenta una explotación minera de litio. Este salar se caracteriza por estar ubicado en una cuenca endorreica en el desierto más árido del mundo a 2.300 m.s.n.m. y por contar con una superficie total de aproximadamente 3.000 km², con un núcleo de halita de alrededor de 1.100 km² y una zona marginal de 2.000 km² de limos salinos; siendo el más grande de Chile (Alonso y Risacher, 1996). Además, presenta un promedio de precipitaciones de 10 mm/año con una gran variabilidad entre estaciones, una temperatura media de 14°C y una evaporación estimada de 2.000 mm/año (Alonso y Risacher, 1996).

Es así como desde hace años, numerosos estudios y artículos han relevado los impactos que la explotación de litio ha generado, principalmente, en cuanto a la pérdida de agua en el salar debido al método productivo por evaporación (Bunel, 2024). De acuerdo a algunas estimaciones, por cada tonelada del mineral blanco se evaporan alrededor de 2 millones de litros de agua [4], lo que ha originado preocupaciones sobre el mantenimiento del balance hídrico del sistema hidrológico del salar, en cuanto a la disminución de las napas subterráneas y la escasez de agua dulce en una zona desértica, y que ha conllevado a que se denomine a este tipo de explotación como "**minería del agua**" (Lorca y col, 2023). A lo anterior se suma la publicación de un estudio que detectó que el Salar de Atacama se "hunde" a una tasa de 1 a 2 cm por año, lo que podría ser atribuido al bombeo y extracción de salmuera para la obtención de litio y otras sustancias minerales, ya que, según lo señala, la subsidencia identificada en el depósito se encuentra junto a los pozos de extracción que han experimentado la mayor disminución de los niveles freáticos, lo que se traduce en la compactación de los acuíferos, reduciendo su permeabilidad y porosidad (Delgado y col., 2024).

3 Para mayor información revisar "Chile: detienen proceso sancionatorio de SQM acusada de graves infracciones ambientales. Publicado por Mongabay (22 de enero de 2019). Disponible en: *https://es.mongabay.com/2019/01/chile-detienen-sanciones-por-danos-ambientales-en-salar-de-atacama/*

4 Para mayor información revisar "Litio en Chile: Estado renueva contrato de explotación a empresa infractora ambiental". Publicado por Mongabay (31 de octubre de 2018). Disponible en: *https://es.mongabay.com/2018/10/explotacion-de-litio-en-chile/*

3. Salares: oasis de agua y vida en el desierto

De acuerdo al art. 1 del Código de Minería vigente en Chile (Ley N°18.248/1983)[5], los salares al igual que las covaderas, arenas metalíferas y otros yacimientos de combustibles fósiles, son considerados un tipo de mina sobre el cual el Estado tiene un dominio absoluto, exclusivo, inalienable e imprescriptible. Lo anterior, ha conllevado a que estos ecosistemas sean explotados sin mayores consideraciones ambientales, en desmedro de su importancia ecológica, sociocultural, científica y paisajística, entre otros; todo con la finalidad de extraer diversos tipos de minerales utilizados a gran escala por las diferentes industrias, como lo son los compuestos de boro, potasio o litio.

Sin embargo, esta mirada productivista de los salares en la cual sólo son vistos como yacimientos inertes de materias primas, se contrapone con definiciones de organismos nacionales e internacionales, según los cuales, en efecto, los salares serían un tipo de humedal, señalando que son ecosistemas frágiles y de gran importancia para la resiliencia ante el cambio climático[6]. Por ejemplo, la Convención sobre los humedales de importancia internacional –también conocida como "**Convención Ramsar**"– define a los humedales como "toda área terrestre que esté saturada o inundada de agua de manera estacional o permanente", estableciendo un listado con aquellos de importancia internacional que los países designan para su conversación (Convención Ramsar, s.f.). Esta Convención, firmada en 1971 en la ciudad de Ramsar en Irán, entró en vigencia en 1975, siendo ratificada por Chile en el año 1981 (D.S. N°771/1981, MINREL)[7]. En la actualidad, el país cuenta con 16 sitios inscritos en la lista, que totalizan unas 363.927 ha y entre los que es posible identificar siete sistemas salinos, tales como el Salar de Surire de 15.858 ha o el Sistema Hidrológico de Soncor del Salar de Atacama con 67.133 ha consideradas, inscrito desde 1996[8].

En esta misma línea, a fines de 2005 la entonces Comisión Nacional del Medio Ambiente (CONAMA) presentó la "Estrategia Nacional para la conservación y uso racional de los humedales en Chile" , la cual tenía como ejes principales la conservación y uso sustentable de todo tipo de humedal presente en el país (CONAMA, 2005). Posteriormente, en 2006, el Centro de Ecología Aplicada (CEA) Ltda. junto con CONAMA, elaboraron un documento sobre la "Protección y manejo sustentable de humedales integrados a la cuenca hidrográfica" (CEA y CONAMA, 2006), en el cual identificaron tres familias o ecotipos principales de humedales presentes en Chile (marinos, costeros y continentales) y seis subcategorías o clases (intrusión salina, de evaporación, infiltración, infiltración saturado, escorrentía y afloramiento subterráneo). **Los salares fueron así definidos como un tipo de humedal continental del tipo evaporación**,

5 Para mayor información revisar el Código de Minería de 1983 Ley 18.248. Disponible en: *https://bcn.cl/263hl*

6 Para mayor información revisar "Salares y litio en ecosistemas frágiles". Publicado por CIPER (10 de julio de 2023). Disponible en: *https://www.ciperchile.cl/2023/07/10/salares-y-litio-en-ecosistemas-fragiles/*

7 Para mayor información revisar el Decreto 771 de 1981 que "promulga la convención sobre zonas húmedas de importancia internacional especialmente como hábitat de las aves acuáticas, suscrito en Irán el 2 de febrero de 1971". Disponible en: *https://bcn.cl/2k1m4*

8 Para mayor información revisar la Lista de Ramsar. Disponible en: *https://www.ramsar.org/sites/default/files/2023-08/sitelist.pdf*

los que se caracterizan por ser una fuente de agua de recarga y descarga de acuíferos, presentar una gran biodiversidad y ser ecosistemas frágiles y vulnerables.

Un par de años después, en 2008, a nivel latinoamericano se lanzaría la "Estrategia regional de conservación y uso sostenible de los humedales altoandinos" formulada en el marco de la Convención Ramsar con el apoyo de los gobiernos de Ecuador y Chile, para promover la cooperación de los países andinos entorno a estos **humedales estratégicos de montaña** localizados principalmente en ecosistemas de páramo, jalca y puna de la Cordillera de los Andes (Convención de Ramsar y Grupo de contacto EHAA, 2008). Estos humedales, presentan diferentes gradientes de salinidad y son abastecidos en su mayoría por agua subterránea almacenada hace miles de años en sus acuíferos –por lo que se conoce también como "agua fósil"[9]–, dando origen a diferentes tipos de sistemas hidrológicos tales como: salares, lagunas, ríos, vegas y bofedales (Frau y col, 2023; Ulloa, 2024).

En el año 2020 se promulgó la Ley N°21.202[10] "que modifica diversos cuerpos legales con el objetivo de proteger los humedales urbanos", en el cual no fueron considerados los humedales ubicados en zonas rurales. Lo anterior, conllevó a que en 2022 un grupo de parlamentarios presentaran una moción de proyecto de ley (PL), actualmente archivado, para "dictar normas para dar protección a los humedales rurales y modificar cuerpos normativos que indica" (Boletín N°14.987-12)[11], con la finalidad de ampliar la protección a estos ecosistemas.

En lo que respecta a la protección y tratamiento de los salares como humedales, el Salar de Atacama se encuentra catalogado como un sitio prioritario de conservación, dado que en parte de su ecosistema denominado "Matorral desértico tropical interior de *Atriplex atacamensis - Tessaria absinthioides*", es posible identificar una gran variedad de especies de flora, fauna y microorganismos[12].

Flamencos en el Salar de Atacama, Región de Antofagasta.
Foto: *Fundación Terram | Cristóbal Moreno*

9 Se entiende por agua fósil al agua acumulada durante cientos o miles de años en mantos acuíferos situados en cuencas sedimentarias (Margat y Saad, 1985).

10 Para mayor información revisar la Ley 21.202 de 2020 que "modifica diversos cuerpos legales con el objetivo de proteger los humedales urbanos". Disponible en: *https://bcn.cl/2cvha*

11 Para mayor información revisar el proyecto de ley, Boletín 14.987-12, que "dicta normas para dar protección a los humedales rurales y modifica cuerpos normativos que indica". Disponible en: *http://www.senado.cl/appsenado/templates/tramitacion/index.php?boletin_ini=14987-12*

12 Para mayor información revisar el sitio web del Sistema de información y monitoreo de biodiversidad (SIMBIO) del Ministerio del Medio Ambiente sobre el Salar de Atacama. Disponible en: *https://simbio.mma.gob.cl/CbaSP/Details/1445*

En cuanto a los microorganismos presentes en el desierto de Atacama, éstos se caracterizan por formar parte de una trama microbiológica compleja y única que ha ocasionado que, durante el último tiempo, hayan sido ampliamente estudiados debido a su capacidad para subsistir en condiciones extremas de alta salinidad, baja disponibilidad de agua, altas temperaturas y radiación solar, convirtiendo a los salares en **laboratorios naturales de gran interés científico** (Torres, 2023). Como referencia, cabe destacar que, en este vasto desierto, existen otros sitios catalogados como prioritarios de conservación, tales como, el Salar de Aguas Calientes IV[13] y el Salar de Ascotán[14].

Es importante mencionar que, debido a la desprotección y explotación que sufren estos ecosistemas a nivel nacional y regional, en 2023 surge la Alianza de Humedales Andinos[15], integrada por organizaciones de Argentina, Bolivia y Chile, con el propósito de promover la protección y conservación de estos ecosistemas, así como del agua, biodiversidad, territorios y modo de vida de las comunidades indígenas que dependen de ellos.

Finalmente, cabe señalar que en abril de 2023, el gobierno de Gabriel Boric presentó la Estrategia Nacional del Litio (ENL) (Ministerio de Minería, 2023), la cual plantea entre sus principales ejes: la creación de una Empresa Nacional del Litio que participe en toda la cadena de producción con un especial énfasis en la generación de valor agregado; la creación de una Red de Salares Protegidos que abarque al menos un 30% de la superficie de éstos; la creación de un Instituto Tecnológico y de Investigación Público de Litio y Salares que contribuya a levantar y disponer de información científica completa; y la incorporación del Estado en la explotación de litio mediante asociaciones público-privadas que permitan aprovechar las capacidades técnicas instaladas.

Particularmente en relación a la **Red de Salares Protegidos**, múltiples han sido las interrogantes y críticas sobre la forma de implementación y los criterios utilizados para definir los salares que la conformarán, ya que a nivel nacional no se cuenta con la suficiente información científica de cada uno de estos sistemas, en relación a su capacidad de carga, fisicoquímica, diversidad biológica y microbiológica, entre otros (Alianza de Humedales Andinos, 2024; Madrid, 2025); situación que no se consideró al momento de definir la lista de salares, fragmentando la protección de éstos en vez de contemplarlos como un sistema integrado. Lo anterior, nuevamente plantea la interrogante de la visión estatal sobre estos ecosistemas y el tratamiento que debiesen recibir, ¿serán vistos como yacimientos para explotar o espacios de conservación?

Por lo anterior, y dado que a partir de la ENL se han clasificado salares de acuerdo a criterios que no consideran variables ecológicas para la explotación de empresas estatales, privadas o asociaciones público-privadas, es que en el próximo capítulo se analizarán los métodos de extracción de litio de salmuera existentes, donde se comparará el actual modelo evaporítico, ampliamente cuestionado, con las "nuevas" tecnologías de extracción directa que prometen una mayor eficiencia y menor consumo de agua y terreno intervenido, que el método actual.

13 Para mayor información revisar el sitio web del Sistema de información y monitoreo de biodiversidad (SIMBIO) del Ministerio del Medio Ambiente sobre el Salar de Aguas Calientes IV. Disponible en: *https://simbio.mma.gob.cl/CbaSP/Details/1372*

14 Para mayor información revisar el sitio web del Sistema de información y monitoreo de biodiversidad (SIMBIO) del Ministerio del Medio Ambiente sobre el Salar de Ascotán. Disponible en: *https://simbio.mma.gob.cl/CbaSP/Details/1454#limites*

15 Para mayor información revisar el sitio web de la Alianza de Humedales Andinos. Disponible en: *https://humedalesandinos.org/acerca-de-la-alianza/*

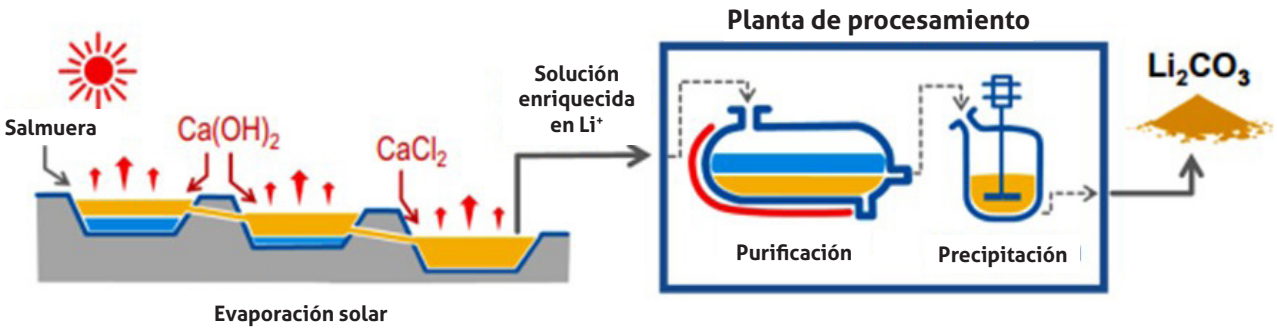
4. Modelos de explotación de litio

A nivel mundial, la explotación de litio se puede realizar desde dos fuentes principalmente: **a partir de pegmatitas graníticas**, un tipo de roca de origen volcánico que en algunos casos puede presentar un porcentaje variable de elementos como litio, cesio o tierras raras; o bien, **desde depósitos de salmuera**, originados por la concentración de sales luego de la evaporación de paleo-lagos (Cochilco, 2024b; Kesler y col., 2012). En la explotación desde roca, se puede extraer litio desde diferentes minerales de aluminosilicatos que se encuentran en ella, tales como espodumena ($LiAlSi_2O_6$), ambligonita ($LiAl(F,OH)PO_4$), eucriptita ($LiAlSiO_4$) y petalita ($LiAlSi_4O_{10}$), siendo la espodumena el mineral con el mayor contenido (entre 6-9% de Li_2O) y por tanto la económicamente más importante (Choubey y col, 2016). Este tipo de explotación se ha dado en gran medida en Australia, China, Canadá, Zimbabue y Estados Unidos (Kesler y col, 2012).

4.1 Método de extracción por evaporación

La extracción desde salmuera, que se produce en la actualidad principalmente en China, Chile y Argentina, requiere de un bombeo mediante pozos de extracción ubicados en el núcleo del salar, luego de lo cual el litio se concentra en sucesivas piscinas de evaporación de gran extensión y poca profundidad. Mediante la adición de hidróxido de calcio ($Ca(OH)_2$) se eleva el pH de la salmuera y se genera una precipitación hasta alcanzar una concentración de alrededor de 6 a 7 % de litio en solución, tras lo cual se transporta a la planta de procesamiento, tal como se observa en la **Figura 1** (Cochilco, 2024b; Choubey y col., 2016). Este método de extracción, al igual que otros procesos extractivos, puede generar una serie de impactos ambientales en los diferentes componentes de estos ecosistemas, tales como el agotamiento de la salmuera y agua dulce, la contaminación, la disminución de la flora y fauna y la alteración de la estructura y fisicoquímica del suelo (Real y col., 2024).

Figura 1: Modelo simplificado del método evaporítico



Fuente: Tabelin y col., 2021.

En Chile el método de extracción de litio utilizado por las empresas que operan en el Salar de Atacama, es el tradicional modelo evaporítico hidro-intensivo. Éste, si bien tiene menores costos operacionales, genera la extracción de enormes volúmenes de agua, lo que intensifica la escasez hídrica en el territorio, acrecentando la conflictividad con las comunidades locales y afectando a la flora y fauna nativa (Garcés y Álvarez, 2020; Jerez y col., 2021). Lo anterior, se suma a la concentración de derechos de agua dulce que ha inscrito SQM en los terrenos perimetrales a las pertenencias mineras que arrienda a CORFO, y que derivó en que esta entidad interpusiera dos demandas en los años 2014 y 2016 en el Centro de Mediación de la Cámara de Comercio de Santiago, aludiendo que la litífera con esta y otras acciones, buscaba hacer inviable la licitación del salar a futuro (Yurisch y col., 2024). También, es importante señalar que tanto SQM como Albemarle, han sido objeto de sanciones por parte de la Superintendencia del Medio Ambiente (SMA)[16] y la Dirección General de Aguas (DGA) debido a incumplimientos detectados en relación a sus Resoluciones de Calificación Ambiental (RCA) y/o Planes de Alerta Temprana (PAT)[17] .

Tabla 1: Cuotas de extracción de agua dulce y salmuera autorizadas para Albemarle y SQM

	Albemarle Ltda.	SQM Salar SpA
Derechos de agua otorgados por la DGA	18,5 L/s.	547 L/s.
Extracción de agua permitidos en sus RCA	6 L/s desde los pozos Tilopozo y Tucúcaro.	240 L/s desde los pozos Mullay, Allana, Camar, Socaire y P2.
Extracción de salmuera promedio anual	442 L/s (ampliado en 2016, originalmente eran 142 L/s).	1.700 L/s (considerando los sectores MOP y SOP)[18].

Fuente: elaboración propia a partir de RCA N°403/2013 (Albemarle)[19], RCA N°21/2016 (Albemarle)[20] y RCA N°226/2006 (SQM)[21].

En este contexto, la generación e implementación de nuevas tecnologías denominadas como "extracción directa de litio" (DLE, por sus siglas en inglés), en las que se utilizan diferentes técnicas para lograr la extracción selectiva del compuesto de interés, han sido difundidas por empresas y gobiernos como la solución para disminuir la huella hídrica de esta industria, sin considerar los impactos ambientales y limitaciones que éstas puedan presentar ni la falta de estudios de viabilidad técnica necesarios en cada caso (Calvo, 2022; Cochilco, 2024).

16 La Superintendencia del Medio Ambiente, o SMA, es un servicio público chileno creado a partir de la Ley N°20.417 encargado de fiscalizar el cumplimiento de las resoluciones de calificación ambiental, planes de prevención y/o descontaminación, normas de calidad y de emisión, y planes de manejo. Para mayor información revisar el sitio web: *https://portal.sma.gob.cl/*

17 Para mayor información revisar "SMA aprueba programa de cumplimiento que exige a SQM Salar medidas por más de 46.000 millones de pesos" en el sitio web de la Superintendencia del Medio Ambiente. Disponible en: *https://portal.sma.gob.cl/index.php/sma-aprueba-programa-de-cumplimiento-que-exige-a-sqm-salar-medidas-por-mas-de-46-000-millones-de-pesos/*

18 Los sectores MOP y SOP son las zonas donde SQM Salar localiza su extracción de salmuera. En el área MOP, de 152 km² ubicada más al sur del núcleo del salar, se produce cloruro de potasio y salmuera con litio concentrado y en el área SOP, de 58 km² ubicada más al norte en el núcleo del salar, se produce sulfato de potasio y ácido bórico (RCA N°226/2006).

19 Para mayor información revisar la resolución exenta N°403 de 2013 del Servicio de Evaluación Ambiental (SEA). Disponible en: *https://seia.sea.gob.cl/archivos/RCA_0403_RLL.pdf*

20 Para mayor información revisar la resolución exenta N°21 de 2016 del Servicio de Evaluación Ambiental (SEA). Disponible en: *https://seia.sea.gob.cl/archivos/2016/01/22/RCA_ROCKWOOD_LITIO.PDF*

21 Para mayor información revisar la resolución exenta N°226 de 2006 del Servicio de Evaluación Ambiental (SEA). Disponible en: *https://seia.sea.gob.cl/archivos/EIA/2013102201/EIA_1040282_DOC_2128728227_-1.pdf*

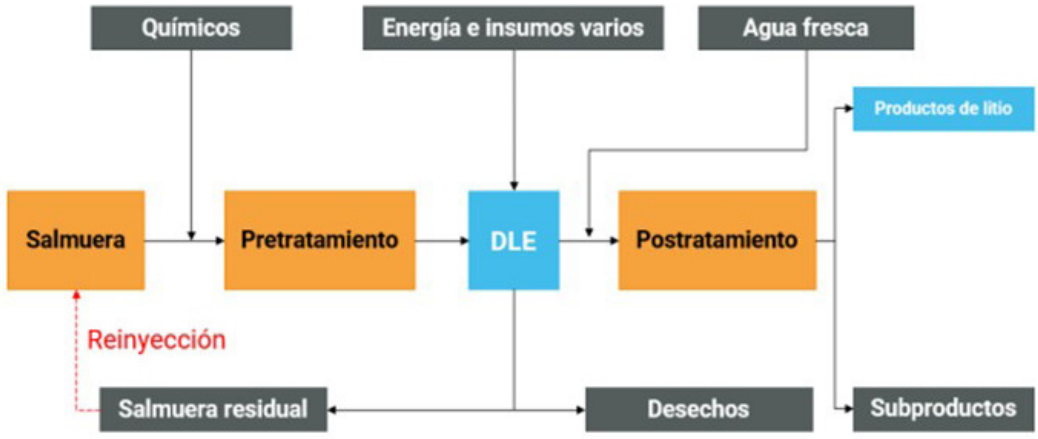
Es así como incluso en la ENL se hace mención, de manera general, que se "exigirá la implementación de tecnologías de bajo impacto ambiental" en aquellos salares en régimen de explotación, sin señalar cómo o cuáles se evaluarán o impulsarán. En este marco, durante el último tiempo se han anunciado diferentes proyectos donde se comunica la utilización de tecnologías de DLE, tales como: SIMCO, empresa ligada al Grupo Errázuriz en su proyecto "Producción de Sales Maricunga"[22]; la asociación público-privada de Codelco con la minera anglo australiana Río Tinto también en el Salar de Maricunga[23]; y la asociación público-privada entre Enami y Río Tinto en el proyecto "Salares Altoandinos"[24], en el que se considera la explotación de los salares Aguilar, La Isla y Grande.

4.2 Métodos de extracción directa

Algunas de las tecnologías de DLE más conocidas y que podrían eventualmente utilizarse en algunos de estos proyectos, son la extracción por solvente, la extracción con membranas, el intercambio iónico, las separaciones electroquímicas y la utilización de adsorbentes inorgánicos (Calvo, 2022). Actualmente esta última es la más desarrollada a nivel mundial en proyectos a escala comercial, tales como los proyectos de Arcadium Lithium y Eramet en Argentina o Lanke Lithium y Zannge Lithium en China, entre otros; mientras que, en Chile todas estas tecnologías se encuentran aún en etapa piloto o de estudio, como es el caso del proyecto de Salares Altoandinos de Enami (Cochilco, 2024b; Gallegos y col., 2025).

Cabe mencionar que estas tecnologías suelen ir acompañadas de diferentes operaciones unitarias de pre y post tratamiento de la salmuera. En el primer caso, su finalidad es acondicionar la muestra para aumentar la eficiencia en la obtención del analito de interés con el método seleccionado. Mientras que los tratamientos posteriores se implementan, generalmente, para producir los compuestos comerciales del grado requerido de acuerdo a su uso (Gallegos y col., 2025), tal como se observa en la **Figura 2**.

Figura 2: Modelo simplificado de los métodos de DLE



Fuente: Gallegos y col., 2025.

22 Para mayor información revisar "SIMCO y comunidad colla Pai Ote lanzan proyecto de litio sostenible en Maricunga con tecnología DLP y una inversión de US$600 millones". Publicado en REDIMIN (15 de enero de 2025). Disponible en: *https://www.redimin.cl/simco-y-comunidad-colla-pai-ote-lanzan-proyecto-de-litio-sostenible-en-maricunga-con-tecnologia-dlp-y-una-inversion-de-us600-millones/*

23 Para mayor información revisar "Codelco elige a Rio Tinto como socio para el desarrollo de proyecto de litio en el Salar de Maricunga". Publicado en el sitio web de CODELCO (19 de mayo de 2025). Disponible en: *https://www.codelco.com/prensa/2025/codelco-elige-a-rio-tinto-como-socio-para-el-desarrollo-de-proyecto-de*

A continuación, se presenta un cuadro resumen con una breve descripción de las tecnologías mencionadas:

Tabla 2: Resumen de las principales tecnologías de extracción directa de litio (DLE)

Técnica DLE	Descripción
Extracción electroquímica	Se utilizan cátodos de intercalación de litio, como óxido de manganeso y litio o fosfato de hierro y litio, y un ánodo de plata o carbón para la captación de cloruro, la cual se conoce como "captura iónica". Una técnica alternativa, es utilizar una membrana semipermeable a aniones cloruro entre los electrodos de óxido de manganeso y litio, lo cual genera su migración hacia la solución de recuperación alta en contenido de litio, obteniéndose una concentración elevada de cloruro de litio.
Extracción por solventes orgánicos	Es un tipo de extracción líquido-líquido en la cual, se utiliza un extractante en fase acuosa para extraer un determinado analito desde otra fase acuosa inmiscible, en este caso, salmuera. Este tipo de extracción puede requerir de varias etapas, utilizando diferentes tipos (o mezclas) de extractantes dependiendo de la concentración de litio presente en la salmuera.
Recuperación[25] selectiva con membranas	Esta técnica puede presentarse en diferentes procesos, tales como la nanofiltración o la electrodiálisis. Se basa en el movimiento de un líquido a través de una membrana semipermeable con un tamaño de poro específico para permitir la separación del analito de interés.
Adsorción específica de Cloruro de litio (LiCl)	Se basa en la utilización de un material sólido, generalmente hidróxido de aluminio u óxido de metales de transición como manganeso o titanio; sobre el cual se adsorben las moléculas de LiCl. Posteriormente, este material es sometido a diferentes lavados con agua y cloruro de litio diluido para remover iones interferentes y finalmente desorber el cloruro de litio concentrado.
Intercambio iónico Li^+/H^+	Se basa en reemplazar un catión presente en la estructura del material sorbente, por el litio deshidratado (por evaporación) desde la salmuera. Para la extracción de litio se utilizan resinas que intercambian protones (H^+) por cationes de Li^+, las cuales suelen ser óxidos de manganeso, titanio o vanadio. Posteriormente, la extracción desde el sorbente se realiza añadiendo ácido clorhídrico (HCl) que disminuye el pH de la solución permitiendo el intercambio del litio por el hidrógeno, obteniéndose la sal de cloruro de litio.

Fuente: *elaboración propia a partir de Liu y col., 2019; Bunel, 2024; Cochilco, 2024b; Calvo, 2022.*

24 Para mayor información revisar "ENAMI desarrollará con Rio Tinto el proyecto de litio Salares Altoandinos habilitando una inversión estimada de US$ 3 mil millones". Publicado en el sitio web de ENAMI (22 de mayo de 2025). Disponible en: *https://www.enami.cl/Noticias/Pages/ENAMI-desarrollar%C3%A1-con-Rio-Tinto-el-proyecto-de-litio-Salares-Altoandinos-habilitando-una-inversi%C3%B3n-estimada-de-US$-3-mil-m.aspx*

25 Para efectos de este documento, la recuperación será entendida como el rendimiento o eficiencia del método analítico (tecnología) utilizado en la extracción del analito de interés (ISP, 2010).

De las tecnologías mencionadas en la tabla anterior, es importante resaltar algunos parámetros particulares donde destacan algunas sobre otras. Por ejemplo, el intercambio iónico es la que presenta una mayor selectividad para salmueras con una alta relación Li^{+}/Mg^{+2}, mientras que la de adsorción es la que presenta un mayor consumo de agua respecto a las otras cuatro técnicas (Gallegos y col., 2025). Por otra parte, en cuanto al consumo de energía, la separación electroquímica sería la menos eficiente, siendo además una de las que requeriría mayor mantención futura junto a la recuperación con electro-membrana. Finalmente, en relación a la reinyección, éstas últimas junto al intercambio catiónico serían las más factibles, es decir, las que eventualmente podrían reintegrar una salmuera sin trazas de reactivos ni dilución; mientras que, la reinyección post DLE con extracción por solventes orgánicos sería la menos adecuada debido a los riesgos de contaminación de la salmuera residual (Gallegos y col., 2025).

Es importante tener en cuenta que, en su conjunto, estas nuevas tecnologías de DLE, si bien presentan algunas ventajas respecto al tradicional método evaporítico, también presentan una serie de limitaciones asociadas a su ejecución. Algunas de las principales diferencias que se pueden encontrar son respecto al tiempo y eficiencia de producción, donde las tecnologías de DLE pueden alcanzar una recuperación de alrededor del 80-90% en cuestión de horas o días, versus el método evaporítico cuya eficiencia bordea el 40-50% en tiempos de 12 a 18 meses. Por otra parte, en cuanto a los costos operacionales y gasto en energía, el método evaporítico destaca por requerir una menor inversión, luego de lo cual la concentración de litio se realiza por evaporación natural asociada a las condiciones climáticas del desierto; mientras que, las tecnologías de DLE necesitan mayores inversiones iniciales y de mantención, además de un mayor gasto en energía eléctrica para el funcionamiento de sus instalaciones (Bunel, 2024; Cochilco, 2024b; Calvo, 2022).

Considerando lo anterior, algunas de las principales ventajas y limitaciones de los métodos de extracción directa versus el método evaporítico tradicional, se exponen en el siguiente cuadro:

Tabla 3: Comparación entre el modelo evaporítico y las tecnologías de extracción directa

	Modelo evaporítico	Tecnologías de DLE
Tipo de tecnología	Tradicional. Ampliamente utilizada durante décadas.	Emergente. No todas las tecnologías están estudiadas a escala comercial.
Tiempo de producción	El proceso de recuperación de litio puede tardar entre 12 a 18 meses.	Varía dependiendo de la técnica de extracción. Puede ir desde horas a días.
Pérdida de agua	Evaporación de grandes volúmenes de agua. Alrededor del 85-95% de la salmuera.	Menor pérdida directa de agua dulce.
Condiciones climáticas	Las condiciones climáticas y la radiación solar influyen en el rendimiento.	Técnicas son independientes de condiciones climáticas.
Superficie requerida	Grandes terrenos con numerosos pozos de evaporación y acopio.	Instalaciones utilizan una menor extensión de suelos.

Costos operacionales	Inversión inicial para construcción de piscinas y mantención.	Mayor inversión en insumos, equipos tecnológicos y energía.
Tipos de fuente de litio	Funcional para extracción de litio desde salmuera.	Puede utilizarse para la extracción de litio desde otras fuentes.
Reinyección de salmuera	No contempla la reinyección de salmuera, aunque puede darse.	Contempla la reinyección de salmuera. Aún no hay estudios acabados sobre su impacto y eficacia.
Eficiencia	Recuperación de alrededor del 40-50% del litio.	Recuperación de alrededor del 80-90% dependiendo de la técnica de extracción y características del depósito.

Fuente: *elaboración propia a partir de Bunel, 2024; Cochilco, 2024b; Calvo, 2022.*

Cabe señalar que las características fisicoquímicas y geológicas particulares de cada salar, así como el uso de la técnica de extracción adecuada para cada caso, será determinante para lograr una mayor o menor eficiencia (Cochilco, 2024). Esto implica no sólo contar con estudios acabados y específicos de cada salar, sino que también realizar numerosos ensayos para identificar la técnica más costo efectiva. **En el caso chileno, existe un amplio desconocimiento de estos ecosistemas**, lo que implicaría previamente, un exhaustivo levantamiento de información científica de cada uno de estos cuerpos salinos (Madrid, 2025).

Otro aspecto importante a considerar, es que los métodos de DLE proponen posterior a su proceso de recuperación de litio, la reinyección de la salmuera procesada o "agotada" al salar. Sin embargo, esto ha generado gran incertidumbre, debido a que no existen estudios acabados que den cuenta de la viabilidad técnica y posibles impactos ambientales asociados a estos procesos (Cochilco, 2024b). Entre las principales preocupaciones relacionadas a la reinyección, se puede mencionar:

Explotación litífera en el Salar de Atacama, Región de Antofagasta.
Foto: *Fundación Terram | Cristóbal Moreno*

Figura 3: Principales preocupaciones relacionadas a la reinyección de salmuera

- La incorporación a la cuenca de trazas de reactivos orgánicos o inorgánicos dependiendo de la tecnología de DLE utilizada en el proceso de extracción.
- Cambios en la temperatura y pH de la salmuera post extracción de litio dependiendo de la tecnología utilizada.
- Cambios en la concentración de las sales presentes en los acuíferos producto de una posible dilución.
- Posibles daños ecológicos en el salar, producto de la modificación de las características físicas y/o químicas originales.
- Impacto estructural y funcional de los acuíferos.
- Disposición de los residuos y reactivos utilizados en el proceso.
- Mayor gasto energético asociado a los pozos de reinyección, dependiendo de la técnica utilizada.
- Ubicación de los pozos y mecanismos de reinyección, y la eficiencia del proceso, entre otros.

Fuente: *elaboración propia a partir de Cochilco, 2024b; Marazuela y col., 2019.*

Por lo anterior, consideramos que es **necesario realizar estudios específicos y particulares para cada uno de los salares que se contempla explotar, no sólo en cuanto a la técnica de DLE escogida, sino que también, al modelo o técnica de reinyección en sí misma** (Bunel, 2024). Esto debido al desconocimiento de los impactos ambientales que se podrían generar al mezclar la salmuera agotada post extracción en los acuíferos con salmuera aún presente o, peor aún, en los acuíferos de agua dulce del salar, lo que produciría graves daños ecológicos en dicho ecosistema si no se tiene conocimiento de los equilibrios hidrodinámicos de cada uno (Marazuela y col., 2019).

Vista al desierto de Atacama, Región de Antofagasta.
Foto: *Fundación Terram | Cristóbal Moreno*

5. Conclusiones y recomendaciones

De los antecedentes presentados es posible concluir que, si bien se han realizado algunos esfuerzos para disponer de mayor información pública sobre los diferentes sistemas salinos en Chile, aún existen grandes brechas de información entorno a estos ecosistemas, especialmente, respecto a los salares altoandinos. Aún hay escasos estudios entorno a las diferentes dinámicas hidrogeológicas que los regulan, las especies que en ellos habitan, así como también la ausencia de un marco jurídico robusto que de amplia protección y promueva su conservación.

Por otra parte, respecto a las tecnologías emergentes de extracción, es necesario ahondar en los posibles impactos ambientales que éstas pueden conllevar. Si bien, en la práctica reducirían la pérdida de agua de salmuera por evaporación con la reinyección de la misma, no hay estudios suficientes que den cuenta de los efectos nocivos que este proceso, con un fluido que presenta nuevas características fisicoquímicas y una tasa arbitraria de recarga, pudiese generar en la estructura y funcionalidad de las napas subterráneas de los salares. Las cuales, vale decir, deberían ser caracterizadas caso a caso.

Por lo anterior, es que desde Fundación Terram, se proponen las siguientes recomendaciones:

- **Promover el levantamiento de información basal sobre cada uno de los sistemas salinos del país**, que contenga y establezca un mínimo de estudios que permitan caracterizar tanto física, química, biológica, geológica e hidrogeológicamente a cada uno.

- **Georreferenciar cada uno de estos sistemas, unificando la información en un único portal de acceso público**. Por ejemplo, el implementado actualmente por la Ley de Humedales Urbanos[26].

- **Establecer un sistema de monitoreo en línea para cada uno de los salares en explotación**, que permita contrarrestar la información reportada por las empresas y verificar en tiempo real las variaciones en sus diferentes parámetros, químicos, físicos y biológicos.

- **Avanzar en un marco jurídico integral que proteja estos ecosistemas**, promoviendo su conservación y el mantenimiento de la biodiversidad que sustentan.

- **Promover la creación de una Ley de Salares Altoandinos**, que comprenda el rol y la compleja trama hidrogeológica que conforman estos sistemas acuáticos en la puna de Los Andes.

26 Para mayor información revisar el sitio web "Sistema de gestión de humedales urbanos" del Ministerio del Medio Ambiente. Disponible en: *https://sistemahumedales.mma.gob.cl/*

6. Referencias

Alianza de Humedales Andinos. (2024). *Red de salares protegidos: Análisis crítico de la implementación de criterios de la Estrategia Nacional del Litio.* Policy brief N°2. Disponible en: *https://www.fima.cl/wp-content/uploads/2024/10/policy-brief-2.pdf*

Alonso, H., & Risacher, F. (1996). *The Salar de Atacama Geochemistry, part 1: The origen of components and saline balance.* Revista Geológica de Chile, 23, 113-122. Disponible en: *https://app.ingemmet.gob.pe/biblioteca/pdf/RGC23-113.pdf*

Bunel, E., (2024). *Estudio de vigilancia tecnológica sobre métodos de extracción directa de litio.* Documentos de Proyectos (LC/TS.2024/62). Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL). Santiago, Chile. Disponible en: *https://repositorio.cepal.org/server/api/core/bitstreams/786420ea-63ff-46d6-a0c6-708bfc5167d6/content*

Calvo, E. (2022). *Nuevos métodos de extracción directa de litio: Impacto en la explotación sustentable de los salares de la puna.* Asociación Civil Ciencia Hoy. Ciencia Hoy. Vol 30, n° 180. p 51-59. Disponible en: *https://ri.conicet.gov.ar/handle/11336/210264*

CEA y CONAMA. (2006). *Protección y manejo sustentable de humedales integrados a la cuenca hidrográfica.* Centro de Ecología Aplicada Ltda. y Comisión Nacional del Medio Ambiente. Santiago, Chile. Disponible en: *https://humedaleschile.mma.gob.cl/wp-content/uploads/2014/03/ecotipos-V2-102007.pdf*

Choubey, P., Kim, M., Srivastava, R., Lee, J., & Lee, J.-Y. (2016). *Advance review on the exploitation of the prominent energy-storage element: Lithium. Part I: From mineral and brine resources. Minerals Engineering, 89, 119–137. https://doi.org/10.1016/j.mineng.2016.01.010*

Cochilco. (2009). *Antecedentes para una política pública en minerales estratégicos: Litio. Comisión Chilena del Cobre. 46 p.* Santiago, Chile. Disponible en: *https://ciperchile.cl/pdfs/litio/estudio_cochilco.PDF*

Cochilco. (2024a). *Mercado del Litio. Proyección 2024-2025 [PowerPointSlides]. Santiago, Chile. Comisión Chilena del Cobre.* Disponible en: *https://www.cochilco.cl/web/download/976/2025/13059/mercado-del-litio-proyecciones-2024-2025.pdf*

Cochilco. (2024b). *El litio y sus tecnologías de procesamiento. Comisión Chilena del Cobre, 54 p.* Santiago, Chile. Disponible en: *https://www.cochilco.cl/web/download/917/2024/12429/el-litio-y-sus-tecnologias-de-procesamiento.pdf*

CONAMA. (2005). *Estrategia Nacional para la conservación y uso racional de los humedales en Chile.* Comisión Nacional del Medio Ambiente. Santiago, Chile. Disponible en: *https://humedaleschile.mma.gob.cl/wp-content/uploads/2017/05/Estr_humedal_27-02-06.pdf*

Convención Ramsar. (s.f.) *La Convención de Ramsar: ¿de qué trata? Convención sobre los humedales.* Disponible en: *https://www.ramsar.org/sites/default/files/fs_6_ramsar_convention_sp_0.pdf*

Convención Ramsar. (2018). *Perspectiva mundial sobre los humedales. Estado de los humedales del mundo y de los servicios que prestan a las personas.* Disponible en: *https://www.ramsar.org/sites/default/files/documents/library/gwo_s.pdf*

Convención de Ramsar y Grupo de Contacto EHAA. (2008). *Estrategia Regional para la Conservación y Uso Sostenible de Humedales Altoandinos.* Gobiernos de Ecuador y Chile, CONDESAN y TNC-Chile. Disponible en: *https://humedaleschile.mma.gob.cl/wp-content/uploads/2018/04/ERHAA_espanol.pdf*

CORFO. (2016). Presentación Cámara de Diputados [PowerPoint Slides]. *Comisión Investigadora Litio.* Obtenido de *https://www.camara.cl/verDoc.aspx?prmID=63026&prmTIPO=DOCUMENTOCOMISION*

CORFO. (2018). *Bases de conciliación proceso arbitral CORFO-SQM [PowerPointSlides].* Santiago, Chile: Corporación de Fomento de la Producción.

Delgado F., Shreve T., Borgstrom S., León-Ibáñez P., Castillo J. & Poland M. (2024). *A Global Assessment of SAOCOM-1 L-Band Stripmap Data for InSAR Characterization of Volcanic, Tectonic, Cryospheric, and Anthropogenic Deformation*, in IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, vol. 62, pp. 1-21, Art no. 5216821. *https://doi: 10.1109/TGRS.2024.3423792*

DGA. (2004). *Diagnóstico y clasificación de los cursos y cuerpos de agua según objetivos de calidad. Cuenca Salar de Atacama.* Dirección General de Aguas, Ministerio de Obras Públicas, Gobierno de Chile. Disponible en: *https://mma.gob.cl/wp-content/uploads/2017/12/Atacama.pdf*

Frau, D., P.Marconi, F.Arengo, A.Clark. (2023). *El Agua y los Humedales del Altiplano de Catamarca.* Fundación YUCHAN. Salta, Argentina. Disponible en: *https://salares.org/wp-content/uploads/2023/12/El-Agua-y-los-Humedales-del-Altiplano-de-Catamarca-2023_final.ISBN_.pdf_compressed_compressed.pdf*

Gallegos, S., Rojas, R., Videla, A. (2025). *Introducción a las tecnologías directas de extracción de litio.* Publicado por el Centro de Energía de la Universidad Católica de Chile (CEUC). 56 p. Disponible en: *http://assets.energia.uc.cl.s3.amazonaws.com/Tecnologias_de_Extraccion_Directa_28_Enero_2025_6f2c85e875.pdf*

Grudner, E. C. (2022). Comportamiento fisicoquímico, ventajas y desventajas, de los métodos: tradicional y separativos de innovación tecnológica para la extracción directa del litio (EDL), a partir de salmueras freáticas. *Revista Tecnológica, 18*, 22. Disponible en: *http://revistasbolivianas.umsa.bo/scielo.php?pid=S1729-75322022000100005&script=sci_arttext&tlng=pt*

Hernández, Y. (2020). *Cambio Climático: Causas y Consecuencias.* RenovaT, 4(1), 38-53. Disponible en: *https://core.ac.uk/reader/542924970*

IPCC. (2018). *Calentamiento global de 1,5°C. Informe especial del IPCC sobre los impactos del calentamiento global de 1,5 ºC con respecto a los niveles preindustriales. Disponible en: https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/sites/2/2019/09/SR15_Summary_Volume_spanish.pdf*

ISP. (2010). *Validación de métodos y determinación de la incertidumbre de la medición: Aspectos generales sobre la validación de métodos.* Instituto de Salud Pública de Chile. 70 p. Santiago, Chile. Disponible en: *https://www.ispch.cl/sites/default/files/documento_tecnico/2010/12/Guia%20T%C3%A9cnica%201%20validaci%C3%B3n%20de%20M%C3%A9todos%20y%20determinaci%C3%B3n%20de%20la%20incertidumbre%20de%20la%20medici%C3%B3n_1.pdf*

Jerez, B., Garcés, I., & Torres, R. (2021). *Lithium extractivism and water injustices in the Salar de Atacama, Chile: The colonial shadow of green electromobility.* Political Geography, 87, 102382. *https://doi.org/10.1016/j.polgeo.2021.102382*

Kesler, S., Gruber, P., Medina, P., Keoleian, G., Everson, M., & Wallington, T. (2012). *Global lithium resources: Relative importance of pegmatite, brine and other deposits.* Ore Geology Reviews, 48, 55–69. *https://doi.org/10.1016/j.oregeorev.2012.05.006*

Liu, G., Zhao, Z., & Ghahreman, A. (2019). *Novel approaches for lithium extraction from salt-lake brines: A review. Hydrometallurgy. 187, 81-100. https://doi.org/10.1016/j.hydromet.2019.05.005*

Lorca, M., Oliver, M., & Garcés, I. (2023). *"Se instaló el diablo en el Salar".* Organizaciones atacameñas, agua y minería del litio en el Salar de Atacama. Estudios atacameños, 69, 6. Disponible en: *https://estudiosatacamenos.ucn.cl/index.php/estudios-atacamenos/article/view/4899*

Madrid, P. (2025). *Análisis crítico de la clasificación de sistemas salinos según la Estrategia Nacional del Litio.* 46 p. Publicación de Fundación Terram. Santiago, Chile. Disponible en: *https://www.terram.cl/descargar/recursos_naturales/mineria/Analisis-critico-de-la-Clasificacion-de-Sistemas-Salinos-segun-la-Estrategia-Nacional-del-Litio.pdf*

Maldonado, G., Valdez, J., García, J., y Carrera, R. (2024). *Análisis y perspectivas de los minerales Críticos: El Tesoro Latente de América Latina*. Reincisol, 3(6), 1008–1035. Disponible en: *https://www.reincisol.com/ojs/index.php/reincisol/article/view/241*

Marazuela, M. A., Vázquez-Suñé, E., Ayora, C., García-Gil, A., & Palma, T. (2019). *Hydrodynamics of salt flat basins: The Salar de Atacama example*. Science of the Total Environment, 651, 668-683. *https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.09.190*

Margat, J. y Saad. K. (1985). *El Agua Fósil*. En El Correo de la UNESCO. El Agua, esa maravilla. Publicado por la Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura. 36p. España. Disponible en: *https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000062543_spa*

Ministerio de Minería. (2023). *Estrategia Nacional del Litio.* Disponible en: *https://s3.amazonaws.com/gobcl-prod/public_files/Campa%C3%B1as/Litio-por-Chile/Estrategia-Nacional-del-litio-ES_14062023_2003.pdf*

Poveda, R. (2020). *Estudio de caso sobre la gobernanza del litio en Chile*. Serie Recursos Naturales y Desarrollo, N° 195 (LC/TS.2020/40), Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL). Santiago, Chile. Disponible en: *https://repositorio.cepal.org/server/api/core/bitstreams/aa27f131-395d-4ac4-b4f6-8e2c7aa231cd/content*

Real, J., Cabezas, R., Villalba, S., y Alandí, G. (2024). *Propuesta sobre un modelo conceptual de monitoreo integrado de salares en los países del triángulo del litio*. Documentos de Proyectos (LC/TS.2024/67), Santiago, Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL). Disponible en: *https://repositorio.cepal.org/server/api/core/bitstreams/6d81dbad-9f4f-4a01-962d-7e6bcdf6b731/content*

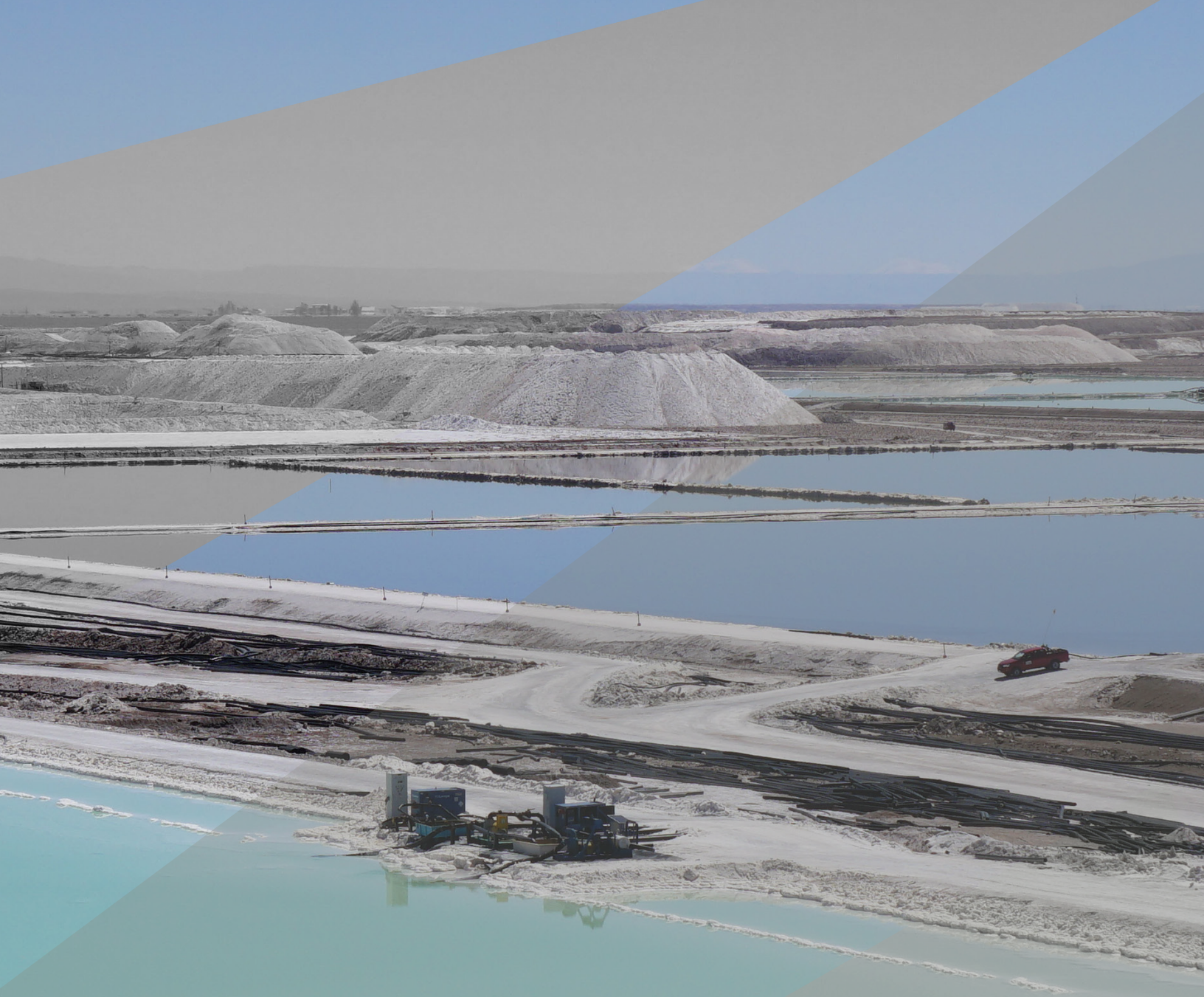
Sernageomin. (2024). *Anuario de la Minería de Chile 2023*. Servicio Nacional de Geología y Minería, 243 p. Santiago. Disponible en: *https://www.sernageomin.cl/anuario-de-la-mineria-de-chile/*

Tabelin, C., Dallas, J., Casanova, S., Pelech, T., Bournival, G., Saydam, S., Canbulat, I. (2021). *Towards a low-carbon society: A review of lithium resource availability, challenges and innovations in mining, extraction and recycling, and future perspectives.* Minerals Engineering, 163, 106743. *https://doi.org/10.1016/j.mineng.2020.106743*

Torres, R. (2023). *La microbiota de los salares. Preocupaciones de la ciencia sobre la minería del litio.* Asesoría técnica parlamentaria. Disponible en: *https://obtienearchivo.bcn.cl/obtienearchivo?id=repositorio/10221/35579/1/Mircobiota_de_los_salares_preocupaciones_de_la_ciencia.pdf*

Ulloa, C. (2024). *Los salares son humedales.* Publicado por Fundación Tantí. San Pedro de Atacama y Santiago, Chile. Disponible en: *https://www.fundaciontanti.org/wp-content/uploads/2024/07/Librillo-salares-son-humedales.pdf*

Yurisch, T., González, G., Ramírez, E. (2024). *Diagnóstico de la corrupción en la industria del litio en Chile.* 71 p. Publicación de Fundación Terram. Santiago, Chile. Disponible en: *https://www.terram.cl/wp-content/uploads/2024/07/Diagnostico-de-la-Corrupcion-Industria-Litio_Terram.pdf*



FUNDACIÓN Terram

Fundación Terram

General Bustamante 24, 5to piso, oficina i. Providencia, Santiago de Chile.

Fundación Terram *@Terram_Chile* *@fundacion_terram* *Fundación Terram*