



# La microbiota de los salares.

## Preocupaciones de la ciencia sobre la minería del litio

### Autor

Rafael Torres Muñoz  
Email: [rtorres@bcn.cl](mailto:rtorres@bcn.cl)  
Tel.: (56) 32 226 3912

Nº SUP: 140130

Documentos disponibles en:  
<https://atp.bcn.cl>

### Resumen

Los salares en el norte de Chile son restos de lagos antiguos, lo que los convierte en laboratorios naturales donde condiciones ambientales extremas han dado forma a una microbiota única, la cual, a través de diferentes procesos metabólicos, influye y modela su entorno.

Más de dos tercios de los recursos de litio se encuentran en Argentina, Bolivia, Chile y China en forma de depósitos de salmuera, los cuales tienen un gran potencial para el suministro futuro. Chile es el principal productor de carbonato de litio ( $\text{Li}_2\text{CO}_3$ ) a partir de salmueras, seguido por Argentina y China. El litio es crucial en las baterías recargables de vehículos eléctricos y en sistemas de almacenamiento de energía renovable, siendo así fundamental para la transición energética “cero carbono” perseguida.

Las sales requeridas para alcanzar dicho objetivo, aparte de los compuestos de litio son -principalmente- nitrato de potasio y cloruro de sodio; abundantes en el Desierto. Un ejemplo de su explotación exhaustiva es la actividad extractiva en el Salar de Llamara, cuyas aguas se extraen para disolver rocas de 'caliche', generando diferentes tipos de nitratos usados en la producción de sales solares para energías limpias.

Fundamentales para el metabolismo ecosistémico de los salares son los “tapetes microbianos”; organizaciones microbianas que contribuyen al funcionamiento de otros organismos. Esta vida microbiana no sería posible, sin la presencia del agua. En ecosistemas secos y áridos -como los salares- el agua es escasa, siendo un factor limitante para el desarrollo de la vida. Su pérdida puede gatillar la destrucción de complejas tramas microbiológicas, de sus interacciones de tiempo profundo y finalmente provocar la pérdida de la biodiversidad microbiana, basamento fundamental de las especies que viven en los salares; un futuro posible que los científicos ven con justificada preocupación.

## Introducción

---

Este documento se enfoca en las preocupaciones que, actores de la comunidad científica nacional e internacional, expresan respecto a los posibles peligros que la industria minera extractiva supone para a microbiota<sup>1</sup> y el metabolismo ecosistémico del “Triángulo del Litio”<sup>2</sup>. En la elaboración de este documento se consultaron fuentes científicas debidamente acreditadas.

Las traducciones son del autor

## Ecosistemas alto andinos del triángulo del litio

---

La escorrentía de las montañas es la única fuente de agua, y los medios de vida de las comunidades locales dependen de los servicios ecosistémicos proporcionados por los humedales resultantes. Por otra parte, los ecosistemas en la región del triángulo del litio tienen precipitaciones extremadamente bajas, con un promedio anual de 100-200 mm y tasas de evaporación anual de 1300-1700 mm, con temporadas intermitentes de lluvia en los años de La Niña<sup>3</sup>.

La región tiene una rica avifauna (por ejemplo, tres de las seis especies de flamencos del mundo) y una cubierta vegetal (pastizales y marismas)<sup>4</sup>. En esta zona de alta biodiversidad, las especies de plantas son particularmente sensibles a la disponibilidad de agua, y un ligero cambio en el balance hídrico puede afectar en gran medida la cubierta vegetal y la diversidad vegetal (Arroyo et al 1988).

Los salares del norte de Chile son remanentes de antiguos paleolagos<sup>5</sup>, por lo que son considerados laboratorios naturales, lo que significa que las condiciones ambientales forzantes y extremas han modelado una microbiota única, la que a través de distintos procesos metabólicos modela –a su vez- el entorno<sup>6</sup>.

## Transición energética

---

El litio es el tercer elemento de la tabla periódica. Es altamente reactivo y se puede encontrar junto a otros minerales en formaciones rocosas, en depósitos de arcilla, o en forma de iones disueltos en salmuera. También es el ingrediente activo de las baterías recargables ligeras de los vehículos eléctricos y de aquellas que almacenan cantidades masivas de energía en las redes de las energías renovables, por lo que el litio es esencial para la futura transición energética.

---

<sup>1</sup> Microbiota: Dícese de los componentes microscópicos de los ecosistemas. A pesar de ser las criaturas más pequeñas de la naturaleza, tienen un impacto muy profundo sobre los humanos y el planeta entero. *N. del A.*

<sup>2</sup> “¿Qué es el “Triángulo del Litio” y cuál es su relevancia económica y geopolítica? El llamado “Triángulo del Litio” se encuentra en el altiplano andino; en una meseta de gran altitud situada entre las cordilleras oriental y occidental de los Andes. La región se caracteriza por su clima árido y sus extensos salares, en un área geográfica que abarca partes de Argentina, Bolivia y Chile. Más de la mitad del litio del mundo está en esa zona. Disponible en: <https://thelogisticsworld.com/manufactura/que-es-el-triangulo-del-litio-y-cual-es-su-relevancia-economica-y-geopolitica/>. Diciembre 2023.

<sup>3</sup> “¿Qué es el fenómeno de El Niño y La Niña? Es un fenómeno periódico que afecta las costas del Pacífico Sur y Central (técnicamente llamado ENSO: “El Niño-*Southern Oscillation*”). “El Niño” es la fase cálida del fenómeno y “La Niña” la fase fría. Los episodios pueden durar hasta un año. Disponible en: <https://www.nationalgeographic.es/medio-ambiente/que-es-el-fenomeno-de-el-nino-y-la-nina>. Diciembre 2023.

<sup>4</sup> “Potential impacts on wildlife and ecosystem Socio-environmental impacts of lithium mineral extraction: towards a research agenda”. Disponible en: <https://doi.org/10.1088/1748-9326/aae9b1>. Diciembre 2023.

<sup>5</sup> “Paleo”: elemento prefijal de origen griego que entra en la formación de nombres y adjetivos con el significado de ‘viejo’, ‘antiguo’. Así un paleolago es un lago antiguo, en órdenes de magnitud de miles y millones de años. Disponible en: <https://languages.oup.com/google-dictionary-en/>. Diciembre 2023.

<sup>6</sup> “CIENTÍFICAS ESTUDIARÁN “BIÓSFERA RARA” DE SALARES ANDINOS A TRAVÉS DE PROYECTO FONDECYT”. Disponible en: <https://www.conicyt.cl/blog/2014/06/24/cientificas-estudiaran-%E2%80%9Cbiosfera-rara%E2%80%9D-de-salares-andinos-a-traves-de-proyecto-fondecyt/>. Diciembre 2023.

La crisis climática –y por ende medioambiental- es un hecho reconocido y diversas iniciativas de alcance planetario buscan reducir las emisiones de CO<sub>2</sub> hasta la nulidad en la década de 2050<sup>7</sup>. En Estados Unidos de Norteamérica, el transporte es la mayor fuente de contaminación por dióxido carbono, con alrededor del 30% de las emisiones. Por lo que, lograr algo que sea clasificable como clima seguro, implica el reemplazo de los vehículos con motor de combustión interna por vehículos eléctricos y conectar esos coches, camiones y autobuses a una red eléctrica alimentada por el viento o el sol. (La transición desde un modelo de vehículos individuales a uno de transporte público facilitaría este proceso y tendría otros efectos medioambientales positivos)<sup>8</sup>.

En suma, el litio interviene dos veces en esta ecuación. En primer lugar, es materia prima de las baterías de los coches eléctricos y -en segundo lugar- las baterías son el medio de almacenamiento de energía en las redes que operan con ráfagas intermitentes de viento y rayos de sol, y operan como un mecanismo como un amortiguador (o buffer) para suavizar los picos de oferta y ajustarla a la demanda de las redes de distribución.<sup>9</sup><sup>10</sup>.

Chile es el principal productor mundial de carbonato de litio (Li<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>) a partir de salmueras<sup>11</sup>, lo que explica el rol clave que juega en la transición energética global. Las salmueras del salar de Atacama, en Chile, se encuentran a unos 2.300 metros sobre el nivel del mar, en un altiplano andino, y más de dos tercios de los recursos de litio se encuentran en Argentina, Bolivia, Chile y China en forma de depósitos de salmuera; los cuales tienen un gran potencial para el suministro futuro. Estas reservas subterráneas de litio están en el fondo de una depresión rodeada por la cordillera andina que ha concentrado litio en las aguas que hay bajo la dura superficie de esta vasta llanura salina, que en total ocupa un área del orden de 2.100 Km<sup>2</sup> <sup>12</sup>. Otras dos sales –necesarias para el almacenamiento de energía térmica- son compuestos de sodio y de potasio.

Las aguas del Salar de Llamara son extraídas y transportadas unos 8 kilómetros al norte del salar, donde son usadas para disolver rocas de ‘caliche’, de las que se obtiene el nitrato de potasio; y las sales de sodio son obtenidas desde depósitos situados en la pampa, a través de un proceso que utiliza el agua del Salar de Llamará y del acuífero de la Pampa del Tamarugal<sup>13</sup>. Ambas sales -una vez purificadas- son usadas para almacenar energía calórica (como sales fundidas), en plantas termosolares de concentración.

Un ejemplo significativo de las posibilidades que abren las plantas termosolares de concentración lo constituye la planta concentradora termosolar de Cerro Dominador, la más grande de Latinoamérica, que se yergue en el medio del Desierto de Atacama. Su torre principal tiene una altura de 220 metros y tiene una capacidad de 110 KMW (Kilo Mega Watt, es decir 110 mil millones de watts) y 17,5 horas de autonomía por almacenamiento termal<sup>14</sup>.

<sup>7</sup> “Llegar a las emisiones netas cero: el mundo se compromete a tomar medidas”. Disponible en: <https://www.un.org/es/climatechange/net-zero-coalition>. DICIEMBRE 2023.

<sup>8</sup> “El costo de ser verde”. Disponible en: <https://cl.boell.org/sites/default/files/2020-12/Libro%20Salares%20Andinos%20OPSAL.pdf>. Diciembre 2023.

<sup>9</sup> Reducir de manera drástica el consumo general de energía también ayudaría

<sup>10</sup> *Ibidem*.

<sup>11</sup> “Regionalized life cycle assessment of present and future lithium production for Li-ion batteries”. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0921344922004451>. Diciembre 2023.

<sup>12</sup> *Op.Cit.* “El costo de ser verde”.

<sup>13</sup> *Ibidem*.

<sup>14</sup> “Salares en peligro de extinción: Micro-desastres en el Norte de Chile”. Disponible en: [https://pure.uva.nl/ws/files/69224772/ttap\\_a\\_1968634\\_sm9568.pdf](https://pure.uva.nl/ws/files/69224772/ttap_a_1968634_sm9568.pdf). Diciembre 2023.

## Tapetes microbianos

Los tapetes microbianos son comunidades autónomas de microorganismos, incluyendo bacterias, arqueas y algunas microalgas, formadas por biomineralización directa o indirecta, sedimentación y acumulación de biomasa residual. Son ejemplos de vida en ambientes extremos. Se encuentran en diversos ambientes, desde profundidades marinas y entornos subterráneos hasta altitudes elevadas, como laderas de volcanes, así como en áreas extremas donde la vida vegetal y animal es limitada; tales como manantiales calientes, ventilas hidrotermales en el fondo del mar y cuerpos de agua alcalinos o hipersalinos. Albergan microorganismos conocidos como extremófilos, fundamentales en los ciclos biogeoquímicos del planeta: tales como la fijación del carbono y el nitrógeno, por ejemplo. Además, estos microorganismos poseen características metabólicas que generan productos útiles para diversas aplicaciones humanas<sup>15</sup>.

Adicionalmente, son estructuras superficiales ancestrales, dependientes de la irradiación solar. Por debajo de esta superficie microbiana, las cianobacterias realizan fotosíntesis, produciendo grandes concentraciones de oxígeno que contribuyen al funcionamiento de otros organismos. Esta vida microbiana no sería posible, sin la presencia del agua. En ecosistemas secos y áridos -como los salares- el agua es escasa, siendo un factor limitante para el desarrollo de la vida. Las salmueras -agua con altas concentraciones de sales- contienen una gran diversidad de bacterias, arqueas, virus, y células eucariotas<sup>16</sup>. En este contexto, el tapete microbiano en conjunto con el agua y las condiciones ambientales específicas del desierto de Atacama, forman un ecosistema espacio-temporal dinámico, donde las modificaciones de uno de estos factores, como en el caso del agua en el salar de Llamara, puede gatillar la destrucción de ecologías microbianas y sus interacciones de tiempo profundo<sup>17</sup>.

La memoria microbiana colectiva y de tiempo profundo, presente aún en un pequeño charco en el medio del desierto de Atacama, está siendo borrada por las operaciones propias del extractivismo, hecho que obliga a pensar con mayor detención cómo es posible sostener la habitabilidad planetaria sin la depredación de sus recursos. Considerando lo anterior, los autores plantean que la desaparición de los hábitats microbianos del desierto debiese ser considerada como micro-desastres, un tipo de desastre a nivel microbiano que afecta y amenaza los vestigios pasados del planeta Tierra, y una de las pocas conexiones -que también son conexiones afectivas- que quedan con nuestros orígenes<sup>18</sup>.

<sup>15</sup> ¿Qué son los tapetes microbianos laminados? Disponible en: [https://www.revistaciencia.amc.edu.mx/images/revista/74\\_4/PDF/06\\_74\\_4\\_1415.pdf](https://www.revistaciencia.amc.edu.mx/images/revista/74_4/PDF/06_74_4_1415.pdf). Diciembre 2023.

<sup>16</sup> "Microbial Communities From the World's Largest Lithium Reserve, Salar de Atacama, Chile: Life at High LiCl Concentrations" Disponible en: <https://agupubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1029/2018JG004621>. Diciembre 2023.

<sup>17</sup> *Op.Cit.* "Salares en peligro de extinción: Micro-desastres en el Norte de Chile".

<sup>18</sup> *Ibidem*.



Creative Commons Atribución 3.0  
(CC BY 3.0 CL)