

# Salares

## Caracterización y Génesis

### Autor

---

Rafael Torres M.  
Email: [rtorres@bcn.cl](mailto:rtorres@bcn.cl)  
Tel.: (56) 2 2270 1869

### Comisión

---

Elaborado para las  
Comisiones de Minería y  
Energía del Senado y la  
Cámara de Diputados.

Nº SUP: 138796

---

### Resumen

---

Los salares del norte de Chile son el producto de procesos naturales – tectónicos, volcánicos, meteorológicos y biológicos, entre otros- que en una escala de millones de años, han desarrollado estructuras aisladas de los territorios circundantes. En general, presentan características y componentes únicos que los singularizan en la geografía sudamericana.

Contribuyeron a su formación, un clima árido que persistió durante millones de años. Los salares y lagos salinos se formaron por una combinación de factores geológicos, morfológicos, hidrológicos y climáticos. Las rocas volcánicas son las principales fuentes de los elementos presentes en ellos.

Uno de tales elementos es el litio, esencial para el desarrollo tecnologías limpias para el almacenamiento de energía eléctrica para enfrentar los desafíos ambientales planteados por la transición climática en curso.

Su abundancia relativa en los salares del norte de Chile y la simpleza de las técnicas para extraerlo desde soluciones concentradas (llamadas salmueras), han hecho de nuestro país un actor importante en la producción mundial de litio.

### Introducción

---

Este informe –el primero de una serie de tres- aborda el origen, historia, características geológicas, la micro fauna y micro flora de los salares del norte de Chile. Su propósito es proporcionar una visión de la riqueza única e irremplazable de sus componentes, más allá de la obvia necesidad del litio que contiene, necesario para el desarrollo de los sistemas de almacenamiento de energía eléctrica indispensables para el desarrollo de una economía cero-carbono.

## I. Salares del Norte de Chile

---

### ¿Qué es un salar?

«Salares», es el nombre asignado a un conjunto de sedimentos de naturaleza evaporítico<sup>1</sup>-detrítica<sup>2</sup>, cuya génesis ha tenido lugar en cuencas endorreicas<sup>3</sup> sometidas a un clima árido o semiárido. La persistencia en el tiempo de las condiciones que favorecen que un salar se mantenga activo como tal provoca la existencia de una lámina de agua libre sobre los sedimentos salino-detriticos, cuya área suele mostrar una variación estacional más o menos acusada. Generalmente, si la extensión de la lámina de agua cubre más del 50 % de la superficie de dichos depósitos se habla de «lago salino», reservándose el término «salar» para aquellos sistemas en los que el área cubierta por agua libre es inferior a dicho umbral (Garcés et al, 1996)<sup>4</sup>.

Los salares del norte de Chile son el producto de procesos naturales –tectónicos, volcánicos, meteorológicos y biológicos, entre otros, que -en una escala de millones de años- han desarrollado estructuras aisladas de los territorios circundantes, presentando características y componentes únicos que los singularizan en la geografía sudamericana.

El norte de Chile se caracteriza por una sucesión de cordilleras de orientación norte-sur que limitan cuencas ocupadas por numerosos lagos salinos y costras de sal, llamados colectivamente salares<sup>5</sup>. Tanto los salares andinos como preandinos del norte de Chile, constituyen uno de los complejos evaporíticos más importantes del mundo (Cabello, 2022)<sup>6</sup>. Al menos 59 salares (ca<sup>7</sup>. 5.211 km<sup>2</sup>), lagos salinos y lagunas (unos 222 km<sup>2</sup>) se encuentran emplazados en cuencas endorreicas, distribuidas dentro de un área de 53.000 km<sup>2</sup>. Cuencas que definen una franja de orientación norte-sur, entre los grados 18

<sup>1</sup> Las evaporitas son rocas sedimentarias que se forman por cristalización de sales disueltas en lagos y mares costeros. La cristalización requiere la sobresaturación del agua salada por las sales que contiene. El proceso es favorecido por condiciones climáticas, como una evaporación intensa, por lo que son típicamente de climas áridos. Se requieren también condiciones topográficas específicas, que se presentan en forma de cuencas endorreicas y mares costeros casi cerrados. Disponible en: [http://edafolegia.ugr.es/programas\\_suelos/practgen/factform5/evaporitas.htm](http://edafolegia.ugr.es/programas_suelos/practgen/factform5/evaporitas.htm). (Julio 2023).

<sup>2</sup> Las rocas detríticas se forman por el transporte, acumulación y cementación de partículas sólidas derivadas de la disgregación y meteorización de rocas preexistentes. Se clasifican por el tamaño y la morfología de los granos. Disponible en: <http://bcn.cl/3e829> (Julio 2023).

<sup>3</sup> Cuenca endorreica es un área en la que un volumen muy escaso o nulo del agua de su superficie alcanza el mar. Disponible en: <https://www.merriam-webster.com/dictionary/endorheism> (Julio 2023).

<sup>4</sup> Garcés, I., López, P. L., Auqué, L. F., Chong, G., Valles, V., & Gimeno, M. J. (1996). Características geoquímicas generales del sistema salino del Salar de Llamara (Chile). *Estudios Geológicos*, 52(1-2), 23–35. . Disponible en: <http://bcn.cl/3e82a> (Julio 2023).

<sup>5</sup> Cabello, José. (2022). Reservas, recursos y exploración de litio en salares del norte de Chile. *Andean geology*, 49(2), 297-306. <https://dx.doi.org/10.5027/andgeov49n2-3444> (Julio, 2023).

<sup>6</sup> Evaporítico: Relativo a la evaporita, una clase de minerales y rocas sedimentarios que se forman por la precipitación a partir de un fluido acuoso. Disponible en: <https://glossary.slb.com/es/terms/e/evaporitic> (Julio, 2023).

<sup>7</sup> ca: *circa*, latín por cerca, aproximadamente

y 27° Sur, con una longitud de unos 1.000 km y un ancho promedio de 120 km (50-250 km) en la vertiente occidental de la cordillera de los Andes (Figura 1)<sup>8</sup>.



Fuente: Cabello, 2022<sup>9</sup>

<sup>8</sup> *Op. Cit*, Cabello, José. (2022). Reservas, recursos y exploración de litio en salares del norte de Chile.

<sup>9</sup> *Ibidem*.

## II. ¿Cuán antiguos son los salares del Norte de Chile?

---

Un clima árido persistió en esta región durante la mayor parte del Mioceno<sup>10</sup> y el Cuaternario<sup>11</sup>. Los salares y lagos salinos se formaron por una combinación de factores geológicos, morfológicos, hidrológicos y climáticos. La mayoría de ellos se formó por desecación de lagos durante el Holoceno<sup>12</sup> y por el posterior depósito de materiales salinos, precipitados a partir de la evaporación de aguas de escorrentías superficiales, aguas subterráneas y agua de inundación anual o intermitente, que se incorporan a las cuencas donde se ubican los salares. Las rocas volcánicas son las principales fuentes de los elementos presentes en los depósitos evaporíticos y salmueras que los constituyen.

## III. Microbiota de los Salares del Norte Grande

---

La biología de los salares es peculiar. La microbiota<sup>13</sup> de los salares evolucionó en un ambiente de altas temperaturas y altas concentraciones salinas que exigió un metabolismo peculiar, caracterizado como extremófilo<sup>14</sup>.

Los salares del Norte de Chile, especialmente los andinos y preandinos, son oasis en zonas desérticas con fauna y flora, en parte endémicas. Hoy se atribuye gran importancia a su microbiota, que muestra una amplia variedad, novedad y potencialidad en la generación de nuevo conocimiento y en Biotecnología<sup>15</sup>.

En este marco de ambientes desérticos, depósitos salinos y actividad volcánica, subsisten microorganismos considerados extremófilos, no sólo por su capacidad de vivir en condiciones extremas de temperatura, salinidad, desecación, radiación UV y pH, sino también por sobrevivir en presencia de nutrientes que no son compatibles con los organismos eucariotas<sup>16</sup>.

---

<sup>10</sup> El **Mioceno** es una división de la escala del tiempo geológico que se extiende desde los 23 millones de años hasta los 5 millones de años. Disponible en: <https://geoparqueomet.sernageomin.cl/terms/mioceno/> (Julio, 2023).

<sup>11</sup> Según la INQUA (International Union for Quaternary Research), el Cuaternario se inició hace 2.588 millones de años y se extiende hasta nuestros días. Disponible en: <https://core.ac.uk/download/pdf/296399529.pdf> (Julio 2023).

<sup>12</sup> El Holoceno es una división de la escala del tiempo geológico que se extiende desde los 11.700 años hasta nuestros días. Este periodo se caracteriza por la pérdida de biodiversidad y la extinción de muchas especies, El Homo Sapiens es la única especie humana que ha vivido en esta época, desarrollando grandes civilizaciones, cuyo crecimiento y actividades han impactado fuertemente el medioambiente. Disponible en: <https://geoparqueomet.sernageomin.cl/terms/holoceno/#:~:text=El%20Holoceno%20es,11.700%20a%C3%B1os%20hasta%20nuestros%20d%C3%ADas> (Julio, 2023).

<sup>13</sup> La biota es –según la Real Academia de la Lengua Española- el conjunto de la flora y fauna de una región. La microbiota es, en consecuencia, el componente microscópico de la biota.

<sup>14</sup> Un extremófilo, es un organismo adaptado a los extremos ambientales donde se desarrolla de manera óptima bajo una o varias condiciones extremas; de ahí el sufijo “*filo*”, que significa “*el que ama*”. Disponible en: <https://www.britannica.com/science/extremophile> (Julio, 2023).

<sup>15</sup> *Op.Cit.* “El Dominio Salino del norte de Chile y sus yacimientos de minerales industriales” .

<sup>16</sup> *Ibidem.*

La microbiota de los diferentes salares es controlada por la salinidad y por factores como la altitud y el tipo de iones disueltos; como el contenido de sulfato y el pH por ejemplo. Las comunidades microbianas se estructuran, además, diferencialmente en los hábitats que componen el ecosistema: i) las salmueras, ii) sedimentos y estructuras subacuosas como los tapetes microbianos e iii) evaporitas<sup>17</sup> o bioevaporitas incluyendo estromatolitos<sup>18</sup>. En estos hábitats se observan diferencias en la distribución de microorganismos fototróficos<sup>19</sup> oxigénicos y anoxigénicos, de respiración aeróbica y anaeróbica, entre otros. En los últimos años se ha avanzado en el estudio de comunidades endolíticas<sup>20</sup> resistentes a la desecación, asociadas a sales delicuescentes<sup>21</sup> en el Salar Grande y en costras de halita, en evaporitas y en comunidades que participan en los procesos de formación de minerales<sup>22</sup>.

#### IV. Usos Potenciales

---

Desde estos ambientes se han aislado microorganismos de interés biotecnológico y científico por sus mecanismos de resistencia y la producción de compuestos bioactivos (componentes no nutrientes que tiene actividad biológica y tienen un efecto beneficioso para la salud como prodigiosina)<sup>23</sup>. En el marco del estudio de metabolismos extremos especializados para usar pares redox<sup>24</sup> presentes en estos ambientes, como los involucrados en el ciclo biogeoquímico del arsénico, se han obtenido cultivos capaces de formar biominerales con potencial uso en tratamiento del cáncer y en la industria optoelectrónica.

Desde las comunidades microbianas de salares ácidos (soportadas por azufre de origen volcánico) se han aislado también microorganismos con potencial uso en procesos de lixiviación (extracción de un sólido previa disolución en un medio donde es soluble) en presencia de cloruro y en el tratamiento de soluciones industriales ácidas. Algunos de estos salares se han estudiado también por su analogía con Marte<sup>25</sup>.

---

<sup>17</sup> “Las **evaporitas** son los productos de la evaporación desde agua salada. Un buen ejemplo es el salar de Bonneville de Utah. El salar (evaporitas) se formaron cuando un antiguo lago de sal se evaporó. Bajo el calor del Sol, el agua se convirtió en vapor y se desplazó hacia la atmósfera, pero la sal que se había disuelto en el agua se quedó atrás y formó las evaporitas”. Disponible en: [https://geologiaweb.com/rocas/evaporitas/#Tipos\\_de\\_evaporitas](https://geologiaweb.com/rocas/evaporitas/#Tipos_de_evaporitas) (Julio 2023).

<sup>18</sup> “Según el [Instituto de Geología de la Universidad Nacional Autónoma de México](https://www.unam.mx/) (UNAM), los estromatolitos son estructuras órgano-sedimentarias laminadas, típicamente de carbonato de calcio (CaCO<sub>3</sub>) que crecen adheridas al sustrato y emergen verticalmente del mismo, produciendo estructuras de gran variedad morfológica, volumétrica y biogeográfica (Julio 2023).

<sup>19</sup> Fototrófico oxigénico: que necesita de luz y oxígeno para procesar sus alimentos. Anoxigénicos son aquellos organismos que no necesitan oxígeno.

<sup>20</sup> Comunidad endolítica: comunidad que medra al interior de rocas.

<sup>21</sup> Sales que pueden absorber la humedad y disolverse en ella.

<sup>22</sup> Op.Cit. “El Dominio Salino del norte de Chile y sus yacimientos de minerales industriales”.

<sup>23</sup> “*Serratia marcescens* es una bacteria gram negativa capaz de sintetizar un pigmento rojizo, llamado *prodigiosina* que- bajo las condiciones adecuadas- “se asemeja de un modo cuanto menos sorprendente a la propia sangre”. Disponible en: <https://microbacterium.es/serratia-marcescens-la-bacteria-milagrosa> (Julio 2023).

<sup>24</sup> Redox: reacción de óxido-reducción. En la que uno de los intervinientes gana electrones (se reduce, aumenta su carga negativa) y el otro se oxida, pierde electrones (disminuye su carga negativa).

<sup>25</sup> Op.Cit. El Dominio Salino del norte de Chile y sus yacimientos de minerales industriales.

La aplicación biotecnológica de la microbiota, asociada a ambientes salinos, es un tema de actualidad. Incluye la aplicación de presencia y actividad bacteriana que va desde la fabricación de cremas anti rayos UV hasta el potencial uso de nanopartículas anticancerígenas.<sup>26</sup>

---

### Nota aclaratoria

Asesoría Técnica Parlamentaria, está enfocada en apoyar preferentemente el trabajo de las Comisiones Legislativas de ambas Cámaras, con especial atención al seguimiento de los proyectos de ley. Con lo cual se pretende contribuir a la certeza legislativa y a disminuir la brecha de disponibilidad de información y análisis entre Legislativo y Ejecutivo.



Creative Commons Atribución 3.0  
(CC BY 3.0 CL)

---

<sup>26</sup> *Ibidem.*