

NOTA GEOLÓGICA

## Reservas, recursos y exploración de litio en salares del norte de Chile

José Cabello<sup>1</sup>

<sup>1</sup> *Mineralium CG, Escritor Manuel Rojas 1699-D, La Reina, Santiago.*  
*cabello.lechuga@vtr.net*

---

**RESUMEN.** El descubrimiento de litio en el salar de Atacama en el norte de Chile, en 1969, sentó las bases para el desarrollo del principal yacimiento de salmueras de este elemento en el mundo. Los antecedentes disponibles sobre los yacimientos en salmueras ubicados en los salares de Atacama y Maricunga indican reservas de 10.879.000 toneladas de litio, a las cuales se agregan recursos por 3.335.100 toneladas de litio, identificados en 9 salares andinos y preandinos adicionales. El futuro de la exploración es también auspicioso si se considera que existe información acerca de la presencia de salmueras portadoras de litio en otros 13 salares y 36 áreas prospectivas identificadas que aún no han sido estudiadas. El nivel de las reservas y recursos de litio identificados y las alentadoras expectativas para la exploración sitúan a Chile como un actor relevante en el desarrollo de la industria del litio en el mundo.

*Palabras clave: Litio, Salares, Minería, Geología, Chile.*

**ABSTRACT. Reserves, resources and lithium exploration in the salt flats of northern Chile.** The discovery of lithium in the Salar de Atacama in northern Chile in 1969 laid the foundations for the development of the world's leading lithium brine deposit. The available background on the brine deposits located in the Atacama and Maricunga salt flats indicates reserves of 10,879,000 tons of lithium, to which resources are added for 3,335,100 tons of lithium identified in 9 additional Andean and pre-Andean salt flats. The future of exploration is also auspicious considering that there is information on the presence of lithium-bearing brines in another 13 salt flats and 36 identified prospective areas that have not yet been studied. The level of lithium reserves and resources identified and the encouraging expectations for exploration place Chile as a relevant player in the development of the lithium industry worldwide.

*Keywords: Lithium, Salt flats, Mining, Geology, Chile.*

## 1. Introducción

El litio tiene un papel cada vez más importante en nuestra sociedad al permitir la construcción de baterías recargables con una alta capacidad de almacenamiento (Calisaya-Azpilcueta *et al.*, 2020). La batería de iones de litio es actualmente una tecnología madura; sin embargo, quedan muchas oportunidades para mejorar su rendimiento y seguridad, y el crecimiento en la escala de producción hará que el costo de estas disminuya (Bibienne *et al.*, 2020). Podemos esperar que los vehículos eléctricos se conviertan en el nuevo estándar en movilidad para la próxima década (Bowell *et al.*, 2020) y ello, necesariamente, debería ir acompañado por un incremento en la demanda de litio.

Varios estudios, basados principalmente en su importancia para las tecnologías verdes (Grosjean *et al.*, 2012; Daw y Namur, 2014; Bradley *et al.*, 2017; Hund *et al.*, 2020), consideran el litio como uno de los elementos críticos para el desarrollo industrial.

Chile es el principal productor de litio a partir de depósitos de salmuera. En 2020, produjo 18.000 toneladas (USGS, 2021), las que representan alrededor del 22% del total de la producción mundial de 82.000 toneladas de litio (t Li), y lo ubica como el segundo productor en el mundo después de Australia. La producción acumulada total de Chile en los últimos 36 años es de 266.156 t Li (Tabla 1).

Las salmueras enriquecidas en litio están presentes en los salares preandinos y andinos que cubren una extensa área del norte de Chile. En esta se han reportado unas 59 ocurrencias de este elemento hasta el momento (Cabello, 2021).

En este trabajo se consideran 23 depósitos que presentan diferentes grados de avances en su exploración o evaluación. De ellos, solo los salares de Atacama y Maricunga tienen estudios de evaluación con suficiente detalle para poder definir las reservas de litio.

Los informes, evaluaciones y encuestas de exploración sobre los 23 salares, completados durante la última década, proporcionan una visión actualizada sobre la situación actual de la producción, reservas, recursos y exploración de litio en Chile (Cabello, 2021).

## 2. Ubicación, geografía y geología

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 (Chong, 1984; Vila, 1990; Risacher *et al.*, 2003). Tanto los salares andinos como preandinos del norte de Chile constituyen uno de los complejos evaporíticos más importantes del mundo y, entre otros, contienen recursos significativos de litio (Ericksen y Salas, 1989; Cabello, 2021). Al menos 59 salares (ca. 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>. Estas definen una franja de orientación norte-sur, entre los 18 y 27° S, 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 (Fig. 1).

Desde un punto de vista geomorfológico, esta región se caracteriza por un gran número de cuencas endorreicas, mayoritariamente de origen tectónico. Su evolución geológica incluye el emplazamiento de arcos magmáticos, acompañados de episodios tectónicos extensionales separados por cortos episodios contraccionales y generación de fallas regionales (Charrier *et al.*, 2007).

Un clima árido persistió en esta región durante la mayor parte del Mioceno y el Cuaternario (Clarke, 2006). Los salares y lagos salinos se formaron por una combinación de factores geológicos, morfológicos, hidrológicos y climáticos (Ericksen *et al.*, 1976; Chong, 1988; Munk *et al.*, 2016). La mayoría de ellos se formaron por desecación de lagos durante el Holoceno y por la posterior depositación 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 (Risacher y Fritz, 2009).

## 3. Producción

La primera mención sobre la presencia de salmueras de litio en Chile se produjo el año 1969, con la publicación de los resultados de un extenso estudio del salar de Atacama (Moraga *et al.*, 1974). La producción de este yacimiento comenzó en 1984.

El salar de Atacama es el mayor yacimiento de salmuera de litio del mundo y de allí proviene la totalidad de la producción de litio del país. Tiene

TABLA 1. PRODUCCIÓN DE LITIO EN CHILE DESDE EL AÑO 1984 HASTA EL 2020 (SALAR DE ATACAMA).

Año	Carbonato de Li (t)	Hidróxido de Li (t)	Cloruro de Li (t)	Li equivalente (t)
1984	2.110	0	0	0.397
1985	4.508	0	0	0.847
1986	4.458	0	0	0.838
1987	6.139	0	0	1.154
1988	7.332	0	0	1.378
1989	7.508	0	0	1.411
1990	9.082	0	0	1.707
1991	8.575	0	0	1.612
1992	10.823	0	0	2.036
1993	10.369	0	0	1.949
1994	10.439	0	0	1.962
1995	12.943	0	0	2.433
1996	14.180	0	0	2.666
1997	24.246	0	0	4.558
1998	28.337	0	807	5.458
1999	30.231	0	161	5.709
2000	35.869	0	0	6.743
2001	31.320	0	0	5.888
2002	35.242	0	0	6.625
2003	41.667	0	0	7.833
2004	43.971	0	494	8.346
2005	43.091	504	681	7.134
2006	46.241	3.794	1.166	8.883
2007	51.292	4.160	4.185	10.324
2008	48.469	4.050	4.362	9.823
2009	25.154	2.987	2.397	5.610
2010	44.025	5.101	3.725	9.724
2011	59.933	5.800	3.864	12.853
2012	62.002	5.447	4.145	13.229
2013	52.358	4.197	4.091	11.201
2014	55.074	4.194	2.985	11.531
2015	50.418	3.888	2.069	10.456
2016	70.831	5.576	1.775	14.525
2017	73.563	5.279	2.535	15.113
2018	87.029	6.468	3.826	17.000
2019	n.d	n.d	n.d	19.200
2020	n.d	n.d	n.d	18.000
<b>Total</b>	<b>1.148.829</b>	<b>61.446</b>	<b>43.268</b>	<b>266.156</b>

Fuente: Sernageomin (2018), Cochilco (2018), USGS (2021).

n.d: no disponible.



FIG. 1. Mapa de ubicación de los salares andinos y preandinos mencionados en este trabajo, modificado de Cabello (2021).

una concentración promedio de 0,14% (o 1.400 ppm) de litio equivalente, o alrededor de 1.680 mg/l con una densidad de la salmuera de 1,2 g/cc (Osses, 2019). Durante el año 2020 las operaciones de Sociedad Química y Minera (SQM) y Albemarle, las dos empresas que explotan las salmueras de este salar, produjeron 18.000 toneladas de metal de litio, alrededor del 22% del total de la producción mundial de 82.000 toneladas, excluyendo la producción estadounidense (USGS, 2021).

La naturaleza geológica del yacimiento, con una alta concentración de litio y las condiciones climáticas imperantes en el área, caracterizadas por una alta tasa de evaporación, permiten producir a bajo costo (Cabello, 2021). Cochilco (2013) reportó un costo de producción del carbonato de litio de 2.000 a 2.300 dólares/t, pero en 2017 estas cifras se estimaron en 2.600 a 3.100 dólares/t.

Las salmueras ricas en litio se bombean desde el acuífero del salar, utilizando pozos de extracción, y desde la cabeza del pozo, se desvía a un sistema de estanques de evaporación. Mediante etapas sucesivas de evaporación por radiación solar, la salmuera inicial se enriquece progresivamente en su contenido de cloruro de litio hasta alcanzar una solución con aproximadamente 6% de litio; el proceso de concentración puede tardar entre 12 y 18 meses (Cochilco, 2009). La salmuera rica en cloruro de litio (LiCl), resultante del último estanque del sistema de producción, se transporta a plantas de procesamiento químico cerca de la ciudad de Antofagasta (plantas Salar del Carmen y La Negra) en el norte de Chile, donde se convierte en carbonato de litio, hidróxido de litio o cloruro de litio (Garcés, 2001).

El depósito también contiene otros elementos económicamente importantes, tales como sodio, potasio, magnesio y boro, los cuales son recuperados, en forma de diferentes minerales precipitados a lo largo de los distintos pasos del proceso de evaporación de la salmuera. La potasa, que incluye varias sales de potasio solubles, junto con el litio son los principales productos que se obtienen de la explotación de este yacimiento. En cuanto a las operaciones de litio, los datos disponibles indican que la producción acumulada total desde 1984 a 2020 (Tabla 1) en el salar de Atacama es de 1.149.000 toneladas de carbonato de litio, 61.400 toneladas de hidróxido de litio y 43.000

toneladas de cloruro de litio; todo ello representa unas 266.000 toneladas de litio equivalente. Los nuevos acuerdos entre Corfo (Corporación de Fomento de la Producción), institución estatal, propietaria de las pertenencias mineras, con las empresas SQM y Albemarle muestran que la futura producción de litio en este salar podría, en algún momento, alcanzar 48.800 toneladas al año.

#### 4. Reservas

En los últimos 10 años, se han realizado importantes progresos en la evaluación de los depósitos de salmuera rica en litio (Houston *et al.*, 2011; Hains, 2012; Kunasz, 2013<sup>1</sup>; Evans, 2014). Estos depósitos se diferencian de otros yacimientos minerales, porque los elementos de interés económicos están contenidos en una salmuera en la que tanto su composición como su ley cambian con el tiempo, antes y durante la extracción. En el caso de Chile, el salar de Atacama y el recientemente evaluado salar de Maricunga son los únicos depósitos que incluyen reservas calculadas de acuerdo con los protocolos actuales de la industria minera: NI 43-101 de Canadá y el código para la certificación de prospectos de exploración, recursos y reservas mineras (Ley 20.235 de Chile).

SQM publicó información (Fock, 2019<sup>2</sup>) que entrega los cálculos de reserva del sector del salar objeto de su explotación (819 km<sup>2</sup>). La estimación utiliza un modelo geológico tridimensional basado en la información de sondajes, el volumen del acuífero que hospeda la salmuera, la porosidad corporal de halita, la densidad de la salmuera y la concentración de litio en ella. Este método de estimación, que se puede considerar compatible con la norma NI 43-101 usada en Canadá (SQM, 2020<sup>3</sup>), determinó una reserva de *ca.* 9.200.000 toneladas de litio.

Recientemente Osses (2018) reportó reservas de 1.290.000 toneladas de litio en el sector del salar explotado por Albemarle cuyo tamaño es de 167 km<sup>2</sup>, pero no hizo referencia a un informe técnico de la empresa relacionada. Sin embargo, al revisar el tamaño de las pertenencias, así como al comparar la estimación de la reserva SQM, se podría suponer razonablemente que este número es válido.

<sup>1</sup> Kunasz, I. 2013. Brines Resources and Reserves. TRU Group Inc. Unpublished report: 7 p.

<sup>2</sup> Fock, A. 2019. Evaluación de Recurso In situ-Reserva Base en el Salar de Atacama. SQM, Gerencia de Hidrogeología Salar, Power Point Presentation, 25 slides.

<sup>3</sup> SQM. 2020. Annual Report 2019. Sociedad Química y Minera de Chile S.A.: 396 p.

El segundo yacimiento de salmuera de litio más importante en Chile, el salar de Maricunga, fue recientemente objeto de un estudio de factibilidad (Worley Parsons, 2019<sup>4</sup>) para un proyecto de carbonato de litio. En este se reporta la existencia de 389.000 toneladas de litio en la categoría de reservas. Al considerar la información de las dos operaciones en el salar de Atacama más la evaluación reciente del salar de Maricunga, se obtiene una reserva total estimada de 10.879.000 toneladas de litio (Tabla 2). Esta cifra corresponde a alrededor del 64% de las reservas mundiales (17.000.000 toneladas de litio) de acuerdo con las estadísticas más recientemente (USGS, 2021).

## 5. Recursos

Desde el descubrimiento del litio en el salar de Atacama en 1969, se materializaron algunos estudios en varios salares (Gajardo y Carrasco, 2010<sup>5</sup>; Troncoso *et al.*, 2013; Carrasco *et al.*, 2018), además de las evaluaciones de algunas empresas mineras. Esto dio lugar a información técnica de depósitos de litio en 22 salares adicionales.

Un grupo de 9 salares corresponde a aquellos que incluyen cálculos individuales de tonelaje con concentraciones medias de litio notificadas (Tabla 3, incluye parte del salar de Atacama). Este grupo cubre una superficie de 2.003 km<sup>2</sup>, con una cantidad estimada de 3.335.100 toneladas de litio con una concentración media en las salmueras de 561 ppm.

Las cifras de tonelaje de litio (Tabla 3) no cumplen con el código NI 43-101, pero podrían utilizarse como una indicación preliminar del potencial económico, así como una referencia para futuras actividades de exploración y evaluación.

## 6. Exploración

Como se señaló anteriormente, los depósitos de salmueras son únicos en el sentido de que los elementos de interés económico están contenidos en un entorno móvil, y tanto la composición de ella como su concentración tienen un elemento temporal (Hains, 2012). Estos aspectos presentan problemas distintivos en la exploración y el muestreo de depósitos de salmuera de litio. Las salmueras ricas en litio se encuentran en toda la región de los Andes Centrales. Sin embargo, estos depósitos, presentes en los salares, varían sustancialmente en términos de concentraciones de litio y están expuestos a diferentes condiciones climáticas (es decir, tasas de evaporación, tasas de precipitación, patrones de viento y temperaturas ambientales), todas las cuales influyen en la capacidad de recuperar económicamente el litio de cada salar y que deben ser considerados durante las etapas de exploración. En esta etapa, no obstante, es prioritario el uso de modelos geológicos (Bradley *et al.*, 2013; Munk *et al.*, 2016) y disponer de información detallada sobre la extensión de los salares, el tamaño del núcleo, la corteza de halita y las características de la salmuera.

**TABLA 2. RESERVAS DE LITIO CONTENIDAS EN SALMUERAS DE LOS SALARES DE ATACAMA Y MARICUNGA, NORTE DE CHILE.**

Salar	Tipo	Altura m s.n.m.	Área de la cuenca km <sup>2</sup>	Área del salar km <sup>2</sup>	Área de explotación km <sup>2</sup>	Concentración promedio de Li/ppm	Reservas de Li/toneladas	Referencias
Atacama (Núcleo)	Preandino	2.300	18.100	986	167	1.500	1.290.000	Osses, 2018
Atacama (Núcleo)	Preandino	2.300	18.100	986	819	1.500	9.200.000	Fock, 2019 <sup>2</sup> ; SQM, 2020 <sup>3</sup>
Maricunga	Preandino	3.760	3.045	145	25	1.117	389.000	Worley Parsons, 2019 <sup>4</sup>
<b>Total</b>			<b>21.145</b>	<b>1.131</b>	<b>1.011</b>		<b>10.879.000</b>	

<sup>4</sup> WorleyParsons. 2019. Definitive feasibility Study of MSB Blanco Lithium Carbonate Projects, Atacama Region Chile. Technical Report for Minera Salar Blanco: 389 p.

<sup>5</sup> Gajardo, A.; Carrasco, R. 2010. Salares del Norte de Chile: Potenciales Fuente de Litio. Servicio Nacional de Geología y Minería-Reunión CEPAL, Power Point Presentation, 19 slides.

**TABLA 3. RECURSOS DE LITIO CONTENIDOS EN SALMUERAS DE LOS SALARES ANDINOS Y PREANDINOS DEL NORTE DE CHILE.**

Salar	Tipo	Altura m s.n.m.	Área de la cuenca km <sup>2</sup>	Área del salar km <sup>2</sup>	Área de explotación km <sup>2</sup>	Concentración promedio de Li/ppm	Recursos de Li/toneladas	Referencias
Surire	Andino	4.260	574	144	n.d	400	180.000	Prokurika, 2018 <sup>6</sup>
Atacama	Preandino	2.300	18.100	986	652	1.500	2.170.000	Osses, 2018
Punta Negra	Preandino	2.945	4.263	250	n.d	280	220.000	Prokurika, 2018 <sup>6</sup>
Aguilar	Andino	3.320	589	71	n.d	337	70.000	Prokurika, 2018 <sup>6</sup>
La Isla	Andino	3.950	858	152	n.d	1.080	270.000	Prokurika, 2018 <sup>6</sup>
Las Parinas	Andino	3.987	676	40	n.d	477	50.000	Prokurika, 2018 <sup>6</sup>
Pedernales	Preandino	3.370	3.620	335	n.d	423	375.000	Prokurika, 2018 <sup>6</sup>
Laguna Brava	Andino	4.250	504	10	n.d	310	3	Hiner, 2010
Laguna Verde	Andino	4.350	1.075	15	n.d	247	97	Hiner, 2009
<b>Total</b>			<b>30.259</b>	<b>2.003</b>		<b>561</b>	<b>3.335.100</b>	

n.d: no disponible.

Como se ha señalado, las salmueras ricas en litio están presentes en una extensa área del norte de Chile, con unas 59 ocurrencias reportadas hasta ahora (Cabello, 2021). En este trabajo se incluyen solo 23 salares (Fig. 1), para los que se dispone de información de diferente calidad, resultado de los esfuerzos de exploración o evaluación realizados en estos depósitos (Tablas 2-4). De estos 23 casos, 13 salares (Tabla 4) han sido objeto de muestreo parcial y preliminar. Esto dio lugar a un área total de 579 km<sup>2</sup> con 290 ppm Li de concentración media en las salmueras. En el futuro se puede prever un esfuerzo de exploración, centrado en las 13 áreas de mayor prospectividad ya probadas, incluyendo unos 36 sectores prioritarios adicionales. Esto permitiría agregar, a los 13 salares parcialmente identificados, otras cuencas aún no muestreadas.

## 7. Conclusiones

El litio está presente en concentraciones económicas en varios salares de la región de los Andes Centrales, en el norte de Chile. Aquí se ubica uno de los centros productivos más importantes del mundo gracias al desarrollo del yacimiento de salmuera ubicado en

el salar de Atacama. En 2020, Chile produjo 18.000 toneladas, alrededor del 22% del total mundial, que asciende a 82.000 toneladas. Los nuevos acuerdos de inversión sugieren que la futura producción del salar de Atacama podría alcanzar las 48.800 toneladas anuales en los próximos años.

La información relacionada con las dos operaciones de explotación en el salar de Atacama más una evaluación reciente en el salar de Maricunga permite calcular una reserva estimada de 10.879.000 toneladas de litio. Esta cantidad corresponde aproximadamente al 64% de las reservas mundiales (17.000.000 toneladas), según los datos más recientes disponibles.

Sobre la base de evaluaciones de calidad variable para 23 salares, muchos de ellos muy preliminares, se presenta una estimación de recursos de salmuera de litio (no conforme con los protocolos de la industria minera). El monto de los recursos obtenido para un grupo de 9 depósitos, para los cuales se dispone de cálculos individuales del tonelaje con la concentración media de litio notificada, es de 3.335.100 toneladas, con una concentración media de 561 ppm litio.

La suma de las reservas y recursos reconocidos hasta ahora significa la existencia de más de 14.214.000 toneladas de litio en el país.

<sup>6</sup> Prokurika, B. 2018. Mercado del Litio y Situación en Chile. Ministerio de Minería, Power Point, 15 slides. Santiago.

TABLA 4. CONCENTRACIÓN DE LITIO EN SALMUERAS DE SALARES ANDINOS Y PREANDINOS DEL NORTE DE CHILE.

Salar	Tipo	Altura m s.n.m.	Área de la cuenca km <sup>2</sup>	Área del salar km <sup>2</sup>	Área de explotación km <sup>2</sup>	Concentración promedio de Li/ppm	Referencias
Tara	Preandino	4.400	2.035	48	n.d	600	Troncoso <i>et al.</i> , 2013; Carrasco <i>et al.</i> , 2018
Aguas Calientes 1	Andino	4.280	221	6	n.d	290	Troncoso <i>et al.</i> , 2013; Carrasco <i>et al.</i> , 2018
Pujsa	Andino	4.500	634	18	n.d	620	Troncoso <i>et al.</i> , 2013; Carrasco <i>et al.</i> , 2018
Loyoques/ Quisquiro	Andino	4.150	676	80	n.d	640	Troncoso <i>et al.</i> , 2013; Carrasco <i>et al.</i> , 2018
Aguas Calientes 2	Andino	4.200	1.168	134	n.d	45	Troncoso <i>et al.</i> , 2013; Carrasco <i>et al.</i> , 2018
Laco	Andino	4.250	306	16	n.d	32	Troncoso <i>et al.</i> , 2013; Carrasco <i>et al.</i> , 2018
Talar (Aguas Calientes 3)	Andino	3.950	476	46	n.d	17	Troncoso <i>et al.</i> , 2013; Carrasco <i>et al.</i> , 2018
Aguas Calientes 4	Andino	3.665	656	20	n.d	205	Troncoso <i>et al.</i> , 2013; Carrasco <i>et al.</i> , 2018
Pajonales	Andino	3.537	1.964	104	n.d	350	Troncoso <i>et al.</i> , 2013; Carrasco <i>et al.</i> , 2018
Gorbea	Andino	3.950.000	324	27	n.d	500	Troncoso <i>et al.</i> , 2013; Carrasco <i>et al.</i> , 2018
Agua Amarga	Andino	3.558	863	23	n.d	60	Troncoso <i>et al.</i> , 2013; Carrasco <i>et al.</i> , 2018
Grande	Andino	3.950	867	29	n.d	123	Troncoso <i>et al.</i> , 2013; Carrasco <i>et al.</i> , 2018
Piedra Parada	Preandino	4.150	388	28	n.d	288	Troncoso <i>et al.</i> , 2013; Carrasco <i>et al.</i> , 2018
<b>Total o Promedio</b>			<b>10.578</b>	<b>579</b>		<b>290</b>	

n.d: no disponible.

Para los 13 salares restantes se dispone de muestreo parcial, lo que los sitúa como potenciales objetos de exploración futura. A ellos se unen otros 36 que aún no han sido objeto de estudios.

Las reservas de litio, los recursos y el potencial de exploración identificados e informados en esta revisión confirman la presencia futura de Chile como un actor clave en el desarrollo de la industria del litio en el mundo.

#### Agradecimientos

El autor desea agradecer a Mineralium CG por su continuo apoyo a esta investigación. Las críticas constructivas de C. Ford, E. Tulcanaza, A. Puig y A. Fock a las primeras

versiones mejoraron la calidad de este manuscrito. Igualmente, agradezco los comentarios a la versión final realizada por los revisores R. Carrasco y W. Vivallo.

#### Referencias

- Bibienne, T.; Magnan, J.F.; Rupp, A.; Laroche, N. 2020. From Mine to Mind and Mobiles: Society's Increasing Dependence on Lithium. *Elements* 16: 265-270.
- Bowell, R.; Lagos, L.; De los Hoyos, C.; Declercq, J. 2020. Classification and Characteristics of Natural Lithium Resources. *Elements* 16: 259-264.
- Bradley, D.; Munk, L.; Jochens, H.; Hynek, S.; Labay, K. 2013. A preliminary deposit model for lithium brines.

- United States Geological Survey, Open-File Report 2013-1006: 6 p.
- Bradley, D.C.; Stillings, L.L.; Jaskula, B.W.; Munk, L.A.; McCauley, A.D. 2017. Lithium. *In* Critical mineral resources of the United States-Economic and environmental geology and prospects for future supply (Schulz, K.J.; DeYoung, J.H., Jr.; Seal, R.R. II; Bradley, D.C.; editors). United States Geological Survey, Professional Paper 1802: K1-K21.
- Cabello, J. 2021. Lithium brine production, reserves, resources and exploration in Chile: An updated review. *Ore Geology Reviews* 128:1-5.
- Calisaya-Azpilcueta, D.; Herrera-León, S; Cisternas, L.A. 2020. Current and Future Global Lithium Production till 2025. *The Open Chemical Engineering Journal* 14: 36-51.
- Carrasco, R.; Vivallo, W.; Ercilla, O.; Troncoso, R. 2018. Los Salares Andinos y Pre-Andinos de las Regiones de Antofagasta y Atacama, Chile: Su potencial geológico como fuentes de Li y K. *In* Congreso Geológico Chileno, No. 15, Actas: 2 p. Concepción.
- Charrier, R.; Pinto, L.; Rodríguez, M.P. 2007. Tectonostratigraphic evolution of the Andean Orogen in Chile. *In* The Geology of Chile (Moreno, T.; Gibbons, W.; editors). The Geological Society of London: 21-114. London.
- Chong, G. 1984. Die Salare in Nordchile. *Geologie, Struktur und Geochemie. Geotektonische Forschungen* 67: 146 p.
- Chong, G. 1988. The Cenozoic saline deposits of the Chilean Andes between 18°00' and 27°00' south latitude. *In* The Southern Central Andes: Contributions to Structure and Evolution of an Active Continental Margin (Bahlburg, H.; Breitreuz, C.; Giese, P.; editors). *Lectures Notes in Earth Sciences* 17: 137-151.
- Clarke, J.D.A. 2006. Antiquity of aridity in the Chilean Atacama Desert. *Geomorphology* 73: 101-114.
- Cochilco. 2009. Antecedentes para una Política Pública en Minerales Estratégicos: Litio. Comisión Chilena del Cobre, Dirección de Estudios: 45 p. Santiago.
- Cochilco. 2013. Mercado Internacional del Litio. Comisión Chilena del Cobre, Dirección de Estudios: 61 p. Santiago.
- Cochilco. 2018. Mercado Internacional del Litio y su Potencial en Chile. Comisión Chilena del Cobre, Dirección de Estudios: 36 p. Santiago.
- Daw, G.; Namur, D. 2014. International trade and criticality of mineral resources: The case of lithium. *Economic appliqué* 67 (3): 65-89.
- Erickson, G.E.; Salas, R. 1989. Geology and resources of salars in the Central Andes. *In* Geology of the Andes and its Relation to Hydrocarbon and Mineral Resources (Erickson, G.E.; Cañas, M.T.; Reinemund, J.A.; editors). Circum-Pacific Council for Energy and Mineral Resources, Earth Science Series 11: 151-164.
- Erickson, G.E.; Chong, G.; Vila, T. 1976. Lithium resources of Salars in the Central Andes. United States Geological Survey, Professional Paper 1005: 66-74.
- Evans, K. 2014. Lithium. *In* Critical Metals Handbook (Gunn, G.; editor). John Wiley and Sons: 230-260.
- Garcés, I. 2001. La Industria del Litio en Chile. Universidad de Antofagasta, Departamento de Ingeniería Química: 26 p.
- Grosjean, C.; Herrera, P.; Perrina, M.; Poggi, P. 2012. Assessment of world lithium resources and consequences of their geographic distribution on the expected development of the electric vehicle industry. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 16: 1735-1744.
- Hains, D.H. 2012. Best Practice Guidelines for Resource and Reserve Estimation for Lithium Brines. Canadian Institute of Mining, Metallurgy and Petroleum (CIM): 10 p.
- Hiner, J.E. 2010. NI-43-101 Technical Report on the Laguna Brava Project Third Region, Copiapó, Chile. Etna Resources Inc.:37 p.
- Hiner, J.E. 2009. NI-43-101 Technical Report on the Laguna Verde Salar Project and other Salar Properties held by South American Lithium Company S.A. Cerrada. Third Region, Copiapó, Chile. Etna Resources Inc.:50 p.
- Houston, J.; Butcher, A.; Ehren, P.; Evans, K., Godfrey, L. 2011. The evaluation of Brine Prospects and the Requirement for Modifications to Filing Standards. *Economic Geology* 106: 1225-1239.
- Hund, K.; La Porta, D.; Fabregas, T.P.; Laing, T.; Drexhage, J. 2020. Minerals for Climate Action: The Mineral Intensity of the Clean Energy Transition, Climate-Smart Mining Facility. International Bank for Reconstruction and Development/The World Bank: 112 p.
- Ley 20.235 de Chile. 2007. Regula la figura de las personas competentes y crea la comisión calificadora de competencias de recursos y reservas mineras. Biblioteca del Congreso Nacional de Chile: 9 p.
- Moraga, A.; Chong, G.; Fortt, M.A.; Henríquez, H. 1974. Estudio Geológico del Salar de Atacama, Provincia de Antofagasta. Instituto de Investigaciones Geológicas, Boletín 29: 56 p. Santiago.
- Munk, L.A.; Hynek, S.A.; Bradley, D.C.; Boutt, D.; Labay, K.; Jochens, H. 2016. Lithium Brines: A Global Perspective. *In* Rare Earth and Critical Elements in Ore Deposits (Verplanck, P.L.; Hitzman, M.W.; editors). Society of Economic Geologists, *Reviews in Economic Geology* 18: 339-365.

- Osses, L. 2018. El Futuro del Litio hacia el 2025. Instituto de Ingenieros de Minas de Chile, Revista Minerales 289: 12-19.
- Osses, L. 2019. La importancia de las Reservas de Litio en el Salar de Atacama. Revista Nueva Minería y Energía 154: 1 p.
- Risacher, F.; Fritz, B. 2009. Origin of Salts and Brine Evolution of Bolivian and Chilean Salars. *Aquatic Geochemistry* 15: 123-157.
- Risacher, F.; Alonso, H.; Salazar, C. 2003. The origin of brines and salts in Chilean salars: a hydrochemical review. *Earth-Science Reviews* 63 (3-4): 249-293.
- Sernageomin. 2018. Anuario de la Minería Chilena. Servicio Nacional de Geología y Minería: 271 p. Santiago.
- Troncoso, R.; Ercilla, O.; Carrasco, R.; Vivallo, W.; 2013. Estudio del Potencial de Litio en Salares del Norte de Chile. Servicio Nacional de Minería: 251 p. Santiago.
- USGS. 2021. Mineral Commodity Sumaries 2021. United States Geological Survey: 200 p. Reston, Va.
- Vila, T. 1990. Salar Deposits in Northern Chile. *In Stratabound Ore Deposits in the Andes* (Fontboté, L.; Amstutz, G.C.; Cardozo, M.; Cedillo, E.; Frutos, J.; editors). Springer-Verlag: 703-720. Berlín.