



## Geología del Litio Hospedado en Arcillas y Salmueras en el Altiplano Andino

Angel Salas<sup>1</sup> & José Yparraguirre<sup>2</sup>

<sup>1</sup> UNIVERSIDAD NACIONAL MAYOR DE SAN MARCOS, Av. Venezuela S/N, San Miguel, Lima-Perú.  
(angel.salas@unmsm.edu.pe)

<sup>2</sup> MINEMETALLURGY SAC, Av. Santa Elvira 6136, Urb. Santa Luisa, Los Olivos, Lima-Perú.  
(ayparraguirre@minemetallurgy.com)

### 1. Abstract

With the increasing demand for environmentally friendly energy, lithium is emerging as an important material of the future, mainly with the advent of Hybrid Electric Vehicles. Nowadays lithium is mined from brines, pegmatites and recently in clays, in that order of volume; in recent years have been many studies about lithium-rich clays focused in origin, source, and accumulation of lithium, one of them is the Andean Plateau. The Andean Plateau meets the characteristics that allow the economic concentration of lithium, such qualities are: 1) volcanism on a lithium-rich basement and 2) endorheic basins that concentrate lithium-rich solutions, result of leaching.

**Key words:** lithium, Li-rich clays, Li-rich brines, Andean Plateau, endorheic basin

### 2. Resumen

En la creciente demanda de energía amigable con el medio ambiente, el litio emerge como un material del futuro, principalmente con el desarrollo de Vehículos Eléctricos Híbridos. Actualmente el litio es minado de salmueras, pegmatitas y recientemente de arcillas, en ese orden de volumen; por ende, en años recientes se ha realizado investigación sobre el origen y acumulación de litio y uno de los lugares de estudio es el Altiplano Andino. En el altiplano andino confluyen características que permiten la concentración económica del litio, estas cualidades son: 1) volcanismo y basamento rico en litio y 2) cuencas endorreicas que concentran las soluciones que lixivian las rocas circundantes.

**Palabras clave:** litio, arcillas ricas en litio, salmueras ricas en litio, Altiplano Andino, cuenca endorreica

### 3. Introducción

El litio no es un metal raro, por el contrario se encuentra ampliamente distribuido en la Tierra, se encuentra disperso en rocas, suelos y aguas oceánicas y continentales, sin embargo este metal se halla en concentraciones económicas principalmente en salmueras (59 %) y pegmatitas (25 %), y el remanente se encuentra en arcillas, aguas geotermales, y salmueras petrolíferas (Kavanagh et al., 2018). La presencia de litio en arcillas aún se encuentra en estado de entendimiento, posiblemente porque este tipo de depósito aún es escaso en el mundo.

### 4. Ocurrencia del Litio en el altiplano

#### 4.1. Evolución geológica del Altiplano

El Altiplano Andino es el más grande *plateau* orogénico formado en un margen tectónico de subducción (Garziona et al., 2017), en el cual se manifiesta un clima árido ocasionado por una barrera orográfica. En el interior se encuentran múltiples cuencas endorreicas, como producto del levantamiento de los Andes. El Altiplano Andino alcanzó su posición actual (~3.8 km de altitud) hace 5.4 Ma, tal levantamiento es adjudicado a la remoción de la litósfera inferior desde el Oligoceno tardío hasta el Mioceno tardío, principalmente en la zona central del Altiplano Andino (referencias en Garziona et al., 2017); a consecuencia de este proceso de delaminación se originaron múltiples erupciones de ignimbritas desde el Mioceno al Plioceno (Allmendinger et al., 1997), seguidas por volcanismo máfico proveniente del manto, finalmente precedidas por relleno cuaternario.

Las rocas paleozoicas en el Altiplano Andino presentan contenidos de Li y B significativamente mayores a la abundancia de la corteza superior,

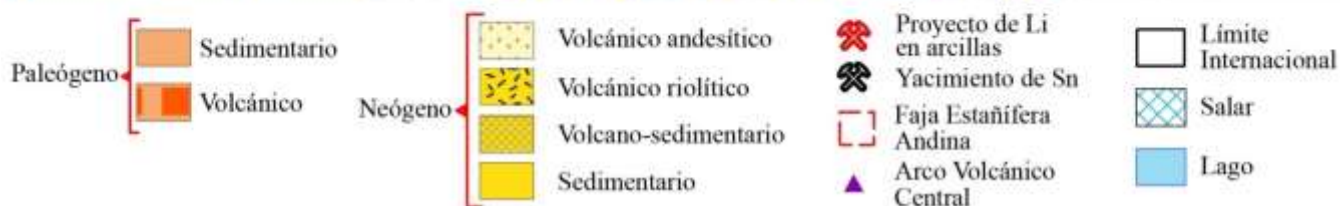
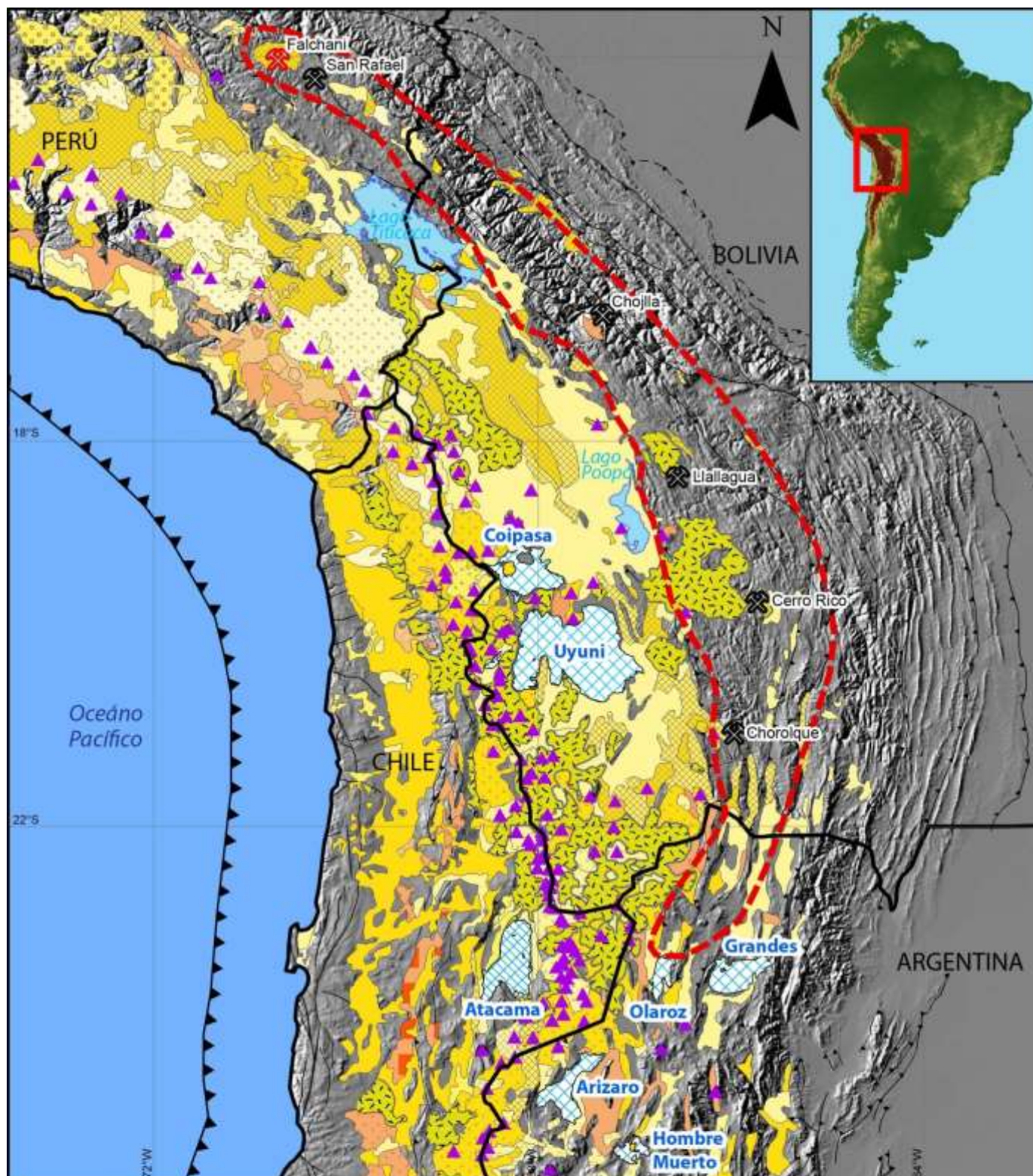


Figura 1.- Mapa Geológico del Paleógeno y Neógeno del Altiplano. Adaptado de Gomez et al. (2019).



en consecuencia los magmas de la Zona Volcánica Central incorporan material del manto y a su vez rocas del basamento, resultando en contenidos de Li mucho mayores a los esperados por el proceso convencional de diferenciación magmática, además estos valores son mayores a la Zona Volcánica del Sur y Norte (Meixer et al. 2019); una evidencia de este fenómeno son los valores extremadamente altos de Li en obsidiana denominada localmente como “Macusanita” en el sur del Perú, con un promedio de ~1300 ppm y un máximo de ~3400 ppm (Pichavant et al., 1987), la macusanita es considerada como la manifestación volcánica de un plutón de tipo-S. En consecuencia se hace evidente que la fuente de Li en los salares del Altiplano proviene de la lixiviación de rocas paleozoicas y del Arco Volcánico Central.

#### **4.2. Litio en salmueras**

Las salmueras (> 40 000 ppm en TSD) ricas en Li se originan en cuencas endorreicas de clima árido, generalmente se localizan en latitudes subtropicales y medias (Munk et al. 2016), actualmente salmueras de litio en concentraciones económicas se encuentran en el Tibet – Qinghai Plateau (China) y en el Altiplano Andino (Sudamérica).

La principal producción de Litio a nivel global proviene de salmueras, específicamente del Altiplano Andino, del cual el principal productor en el mundo es el Salar de Atacama (Chile). La mayor reserva de litio del mundo se encuentra en el salar de Uyuni (Bolivia) y otras salmueras de menor volumen de Li como Hombre Muerto en Argentina, véase Fig. 1; estos países son denominados informalmente como “el triángulo del litio”. Según Munk et al. (2016) los sistemas de salmueras comparten seis características en común, estos son: (1) clima árido, (2) cuencas cerradas conteniendo una corteza de sal, (3) actividad hidrotermal y/o magmática asociada, (4) subsidencia controlada por tectonismo, (5) fuentes de litio idóneas y (6) tiempo suficiente para concentrar el litio en la salmuera.

#### **4.3. Depósitos de Litio en Arcillas**

Los depósitos de litio en arcillas se encuentran hospedados en rocas volcánicas y/o piroclásticas.

La fuente del litio siempre ha sido tema de debate, hasta estudios recientes que determinan que proviene de: (1) lixiviación de rocas volcánicas, esencialmente riolitas, las cuales poseen cantidades variables de litio, tales cantidades

umentan al originarse sobre una corteza gruesa (> 1000 ppm; Benson et al., 2017), llegando a > 2000 ppm en raras riolitas aluminosas; (2) del aporte de soluciones hidrotermales producto de la desgasificación de las cámaras magmáticas mientras aún se encuentran en actividad.

Hasta la actualidad solo se conocen 3 depósitos de este tipo, estos son: Thacker Pass (EE.UU.), Bacanora (México) y Falchani (Perú), y estos reúnen las características siguientes: (1) se localizan en depresiones volcánicas (paleocaderas) o tectónicas (grabens), (2) se encuentran hospedados en rocas volcánicas y piroclásticas asociadas y (3) son de edad reciente (Mioceno hasta la actualidad).

Siempre se ha asumido que la especie mineral que contiene el litio en estos depósitos es la hectorita  $[\text{Na}_{0.3}(\text{Mg},\text{Li})_3\text{Si}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2]$ , la cual posee 1.16 % de  $\text{Li}_2\text{O}$ , este mineral se origina a causa de: la desvitrificación de la ceniza o vidrio volcánico, por precipitación de aguas lacustrinas o la incorporación de Li en depósitos en arcillas preexistentes (Asher-Bolinder, 1991); no obstante un reciente estudio en la caldera McDermitt (Nevada) indica que el mineral principal es la illita rica en Li (Castor & Henry, 2020).

### **5. Exploración de Litio en el Altiplano Andino**

#### **5.1. Exploración de Li en salmueras**

La distribución de cuencas evaporíticas está en función del clima del pasado reciente haciendo improbable nuevos descubrimientos (Kesler et al., 2012); sin embargo aún existe potencial en sistemas de aguas subterráneas, los métodos convencionales para la exploración son: análisis químico de agua y sedimentos, adicionalmente estudios geofísicos para la determinación la conductividad eléctrica (Munk et al. 2016).

#### **5.2. Exploración de Li en Arcillas**

Los depósitos de litio hospedados en arcillas afloran como rocas volcánicas y/o piroclásticas, por lo cual podrían pasar como desapercibidas a simple vista. Sin embargo las características del descubrimiento reciente del proyecto Falchani, en el sur del Perú indican que estos se han formado en el interior de una caldera volcánica, aunque sus límites no están definidos hasta el momento (The Mineral Corporation, 2019).

Las calderas volcánicas son grandes depresiones, asociadas a volcanismo explosivo, geográficamente conforman sistemas hidrológicos

cerrados, lo cual facilita la concentración de elementos litófilos como el Li en las facies de intracaldera (Benson et al., 2017), en añadidura el aporte de Li por aguas subterráneas también es posible (Munk et al., 2016), después de la formación de las calderas estas se encuentran sujetas a levantamiento o subsidencia acorde al marco tectónico (Rytuba, 1994). En consecuencia se enfatiza la localización de las estructuras tipo caldera tales como fallas anulares y radiales, las cuales posiblemente han sido obliteradas por erupciones volcánicas continuas y/o por diversos procesos erosivos.



Figura 2. Representación esquemática del altiplano andino

## 6. Conclusiones

- Recientes estudios confirman que el litio en el altiplano en salmueras es producto de:
  - a) Un magmatismo que posee concentraciones anómalas de litio, mucho mayor a otros arcos volcánicos andinos, originado por delaminación, y un basamento rico en litio.
  - b) La lixiviación del litio en cuencas endorreicas en un clima árido que permite la acumulación y precipitación.
- La exploración en estructuras tipo caldera en el altiplano puede llevar al descubrimiento de recursos de litio en arcillas.

## Referencias

- Allmendinger, R., Jordan, T., Kay, S. & Isacks, B. 1997. The Evolution of the Altiplano-Puna Plateau of the Central Andes. *Annual Review of Earth and Planetary Sciences*, v. 25, p. 139–74.
- Asher-Bolinder, S. 1991. Descriptive model of lithium in smectites of closed basins. En: Orris, G.J. & Bliss, J.D. (eds.), *Some Industrial Mineral Deposits: Descriptive Deposit Models*, United States Geological Survey Open Report 91-11A.
- Benson, T.R., Coble, M., Rytuba, J. & Mahood, G. 2017. Lithium enrichment in intracontinental

rhyolite magmas leads to Li deposits in caldera basins. *Nature Communications*, v. 8, p. 1-9.

- Castor, S. & Henry, D. 2020. Lithium-rich Claystone in the McDermitt Caldera, Nevada, USA: Geologic, Mineralogical, and Geochemical Characteristics and Possible Origin. *Minerals*, 10, 68, p. 1-38.
- Garziona, N., McQuarrie, N., Perez, N., Ehlers, T., Beck, S., Kar, N. ... & Horton, B. 2017. Tectonic Evolution of the Central Andean Plateau and Implications for the Growth of Plateaus. *Annual Reviews of Earth and Planetary Sciences*, v. 45, p. 529 – 559.
- Gómez, J., Schobbenhaus, C. & Montes, N.E., compiladores. 2019. Geological Map of South America 2019. Escala 1:5 000 000. Commission for the Geological Map of the World (CGMW), Servicio Geológico Colombiano y Servicio Geológico de Brasil. París.
- Kavanagh, L., Keohane, J., García Cabellos, G., Lloyd, A. & Cleary, J. 2018. Global Lithium Sources-Industrial Use and Future in the Electric Vehicle Industry: A Review. *Resources*, v 7, 57.
- 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. doi: 10.1016/j.oregeorev.2012.05.006
- Meixer, A., Sarchi, C., Lucassen, F., Becchio, R., Caffè, P., Lindsay, J., Rosner, M. & Kasemann, S. 2019. Lithium concentrations and isotope signatures of Palaeozoic basement rocks and Cenozoic volcanic rocks from the Central Andean arc and back-arc. *Mineralium Deposita*, <https://doi.org/10.1007/s00126-019-00915-2>
- Munk, L., Hynek S., Bradley, D., Boutt, D., Labay, K. & Jochens, H. 2016. Lithium brines: a global perspective. En: Philip L. Verplanck, P. & Hitzman, M. (eds.), *Rare Earth and Critical Elements in Ore Deposits*, Reviews in Economic Geology, v. 18, p. 339–365.
- Rytuba, J. 1994. Evolution of Volcanic and Tectonic Features in Caldera Settings and their importance in the localization of ore deposits *Economic Geology*, v. 89, p. 1687-1696.
- The Mineral Corporation. 2019. Mineral Resource Estimates for the Falchani Lithium Project in the Puno District of Peru, Report N° C-MYI-EXP-1727-1134. Recuperado de: [www.sedar.com](http://www.sedar.com).