

EL SODIO EN EL ALTIPLANO BOLIVIANO

SODIUM IN THE BOLIVIAN HIGH PLATEAU

Luís Carlo Lázaro*

RESUMEN	ABSTRACT	RESUMO
El altiplano boliviano, se caracteriza por alojar salares, lagunas y diapiros; compuestos por diversas sales. Abundando yacimientos de geoquímica variada, donde el elemento central es el sodio.	The Bolivian high plateau is characterized by housing salt flats, lagoons and diapiros; composed of various salts. Abundant deposits of varied geochemistry, where the central element is sodium.	O planalto boliviano é caracterizado por abrigar salinas, lagoas e diapiros; composto por vários sais. Depósitos abundantes de geoquímica variada, onde o elemento central é o sódio.
Al realizar un recorrido desde el altiplano norte, se pueden observar pequeñas afloraciones blanquecinas de sales de sodio, variando su concentración y su extensión progresivamente, hasta llegar a la región sudoeste del altiplano, donde se concentra la mayor cantidad de salares y lagunas que se mencionan en este artículo y las sales existentes en cada una de ellas.	When making a tour from the northern highlands, small whitish outcrops of sodium salts can be observed, varying their concentration and extension progressively, until reaching the southwestern region of the highlands, where the largest amount of salt and lagoons mentioned are concentrated in this article and the existing salts in each of them.	Ao fazer um tour pelas terras altas do norte, podem ser observados pequenos afloramentos esbranquiçados de sais de sódio, variando sua concentração e extensão progressivamente, até chegar à região sudoeste das terras altas, onde estão concentradas a maior quantidade de sal e lagoas mencionadas neste artigo e os sais existentes em cada um deles.
PALABRAS CLAVE: Sodio, rocas evaporíticas, elementos iónicos en solución, cristalización, Cloruro de sodio, Thenardita, bórax, diapiro.	KEYWORDS: Sodium, evaporitic rocks, ionic elements in solution, crystallization, Sodium chloride, Thenardite, borax, diapiro.	PALAVRAS-CHAVE: Sódio, rochas evaporíticas, elementos iônicos em solução, cristalização, Cloreto de sódio, Thenardita, bórax, diapiro.
History of the article: Received 02/12/2019. Style review 03/12/2019. Accepted 09/12/2019.		

INTRODUCCIÓN

El elemento sodio en minerales y rocas

El sodio a diferencia del oro por ejemplo: - no existe como elemento nativo, debido a la reactividad química mostrada cuando en contacto con el oxígeno o aire se oxida -, aún así, la formación de óxido y/o hidróxido de sodio en la naturaleza es improbable, a diferencia de la existencia de combinaciones¹ abundantes con el cloro, o con el silicio en minerales y rocas evaporíticas² como la Halita o sal Gema (NaCl), y la Thenardita (Na₂SO₄) En las rocas ígneas³, el sodio forma aluminosilicatos como la Albita⁴ mineral que contiene el mayor porcentaje de sodio.

Los minerales originarios de rocas evaporíticas e ígneas plagioclasas donde se clasifican a los feldespatos con un contenido mayor en sodio, como es el caso de la albita, por efecto de la meteorización (destrucción de rocas por reacción química, fuerzas físicas o procesos biológicos) pueden ser descompuestos.

Meteorización que en conjunto con las condiciones áridas del altiplano boliviano, de elementos gaseosos como el cloro y el agua, hace tiempo atrás, contribuyeron a que los minerales sódicos fueran disgregados y disueltos para formar soluciones acuosas, que en la actualidad se hallan en estado natural de salares, lagunas y diapiros.

Bajo esta perspectiva, en el presente artículo se hace una sucinta descripción de las manifestaciones químicas más frecuentes del elemento sodio en el altiplano boliviano.

DESARROLLO

Yacimientos externos con presencia de sodio

Los compuestos de sodio, se hallan esparcidos en todo el altiplano boliviano formando:

- Salmueras naturales
- Lagunas
- Salarés
- Diapiros salinos

a) Salmueras naturales

Son salmueras infiltradas en el suelo, formando napas freáticas de agua salada. Se encuentran principalmente en el sector del altiplano norte.

Estas salmueras, son extraídas con baldes⁵ de cuero de llama y acumuladas en pequeñas estancos llamados cajones, donde por evaporación del solvente, cristaliza principalmente el cloruro de sodio (NaCl) sal común, otra parte de la cristalización, es moldeada formando adobes conocidos en varios mercados de nuestro país.

Pobladores de las comunidades de la Quiñara, Jayana, Llallagua, provincia Pacajes del Departamento de La Paz, se dedican desde tiempos ancestrales, a esta actividad de explotación y comercialización de (NaCl) sal común.

b) Lagunas

En la gran cadena de lagunas saladas y de colores⁶. La cristalización salina de afloraciones blanquecinas que varían en tamaño y extensión en sus orillas, es de origen diagenético, es decir, que por la capilaridad del terreno, las soluciones ascienden a la superficie desde mantos

¹ También carbonatos, nitratos, sulfatos y compuestos asociados con otros elementos alcalinos y alcalinotérreos, entre los que destacan el: potasio, calcio y magnesio.

² Rocas sedimentarias formadas por cristalización y sobre saturación de sales disueltas en lagos y mares. Los yacimientos más importantes son los de sal común y yeso (Na₂SO₄).

³ Formadas a partir del enfriamiento y solidificación del magma.

⁴ Silicato sódico NaAlSi₃O₈, que contiene 11,8 por ciento de Na₂O, es el feldespato más rico en sodio del grupo de las plagioclasas, en el que está asociado a la Anortita (feldespato cálcico). Los feldespatos intermedios entre los dos anteriores son de más a menos sódicos; Oligoclase, Andesina, Labrador y Bytownita. La Albita es un mineral que se encuentra en las rocas ígneas ácidas: (granitos, sienitas y dioritas, en filones y a veces de diques).

⁵ Mucho más resistentes a la corrosión, que los baldes de plástico o baldes metálicos.

⁶ Estas lagunas de colores, se constituyen en la actualidad en un gran atractivo turístico, visitadas anualmente por muchas personas que se ven atraídas por la belleza y muy peculiar característica de cada laguna, en una región, donde la blancura de sus nubes, compite con la blancura de sales esparcidas a orillas de cada laguna.

subterráneos cubiertos por capas de arcilla que oscilan entre 30 a 100 cm de grosor.

Lagunas con presencia del elemento sodio:

Liviscota

- Contiene sulfato de sodio, acumulado en una de sus orillas en capas que alcanzan hasta 40 cm de espesor. En época seca, se puede acumular esta sal como thenardita (Na_2SO_4).

Phallarata

- Contenido muy bajo de carbonatos (CO_3^{2-}) e iones (Na^{+1}). No presenta afloraciones salinas importantes en sus orillas.

La laguna

- Sus características son similares a la laguna Liviscota; predominando mirabilita ($\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$) y thenardita (Na_2SO_4).

Cañapa

- En esta laguna, se tiene un yacimiento muy interesante de mirabilita y thenardita.

Hedionda norte

- Las playas de esta laguna son estrechas y sus aguas tienen un contenido uniforme de sulfato de sodio.

Chiar khota

- Laguna con mayor atractivo turístico que de interés mineralógico. Sus aguas contienen mayoritariamente el catión sodio (Na^{+1}). Además de otros cationes (Li^{+1}), (K^{+1}) y aniones variados (Cl^{-1}), (SO_4^{+2}), (HCO_3^{-1}), pero en menor cantidad.

Honda norte

- Contiene bajas concentraciones de sulfato de sodio, afloraciones de thenardita en sus orillas. Su área es de 0,5 km^2 .

Chulluncani

- Es una laguna que tiende a secarse en época de sequía. Sus aguas contienen sulfato de sodio que cristalizan en sus orillas.

Cachi laguna

- Se observa un campamento abandonado y donde se realizó una explotación de carbonato de sodio (1958-1960). Presenta depósitos arcillosos en toda su extensión, que dificultan el muestreo adecuado. Esta laguna contiene carbonato de sodio natural disuelto en sus aguas.

Khara

- Está rodeada por dos lagunas pequeñas. Sus aguas contienen concentraciones relativamente bajas de carbonato de sodio natural.

Colorada

- Sus aguas reflejan un color rojizo, que se visualiza con mayor nitidez al atardecer. Contiene aniones sulfato (SO_4^{+2}), y cationes sodio (Na^{+1}) en concentración relativamente interesante.

Verde

- Parte de las lagunas de color, no tiene valor mineralógico, pero sí atractivo turístico.

Collpa laguna

- De 1 km^2 de extensión. Sus aguas contienen carbonato y bicarbonato de sodio, en invierno, cristalizan carbonatos naturales recolectados por miembros de la Cooperativa Minera San José, localidad de Quetena chico.

Hedionda sur

- Caracteriza a esta laguna el olor a amoníaco. contiene carbonato de sodio natural, cuya formación parece ser favorecida por la presencia de amoníaco, generada por descomposición de algas acuáticas y otras materias orgánicas.

Honda sur

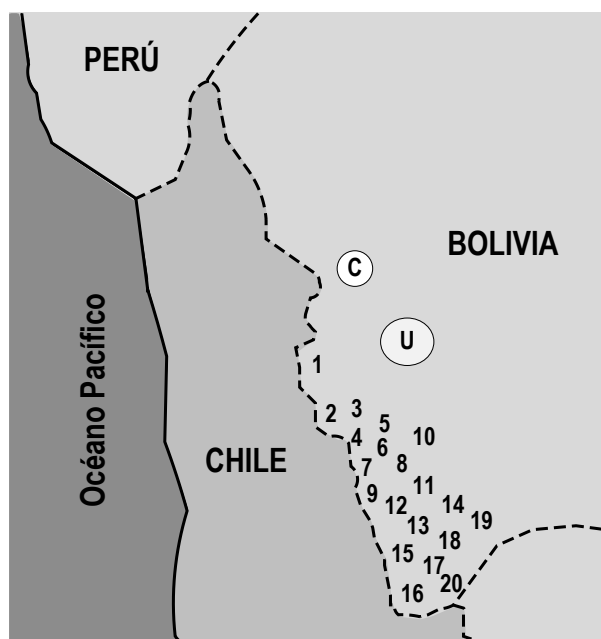
- Se ubica en un sector parecido a un cráter pequeño y sus aguas contienen concentraciones interesantes de carbonato (CO_3^{2-}), bicarbonato (HCO_3^{-1}), y (Na^{+1}) sodio en solución.

Ramaditas

- Abarca una extensión aproximada de 2 km^2 . Sus aguas contienen bajas concentraciones de sulfato de sodio.

c) Salares

Salares mayores Uyuni y Coipasa



Referencia lagunas

2= La laguna. 5= Cañapa. 6= Hedionda norte. 7= Chiar Khota. Honda norte. 10= Chulluncani. 12= Cachi laguna. 13= Khara. 15= Laguna colorada. 16= Laguna verde. 18= Collpa laguna. 19 Hedionda sur. 20= Honda sur. 9= Ramaditas.

Referencia salares

U= Uyuni. C= Coipasa. 1= Empexa. 3= Laguni. 4= Chiguana. 11= Pastos Grandes. 14= Capina. 170 Challviri.

Fuente: Elaboración propia sobre información de [1]

Figura 1: Extremo suroeste de Bolivia donde se encuentran salmueras, salares, lagunas y diapiros de origen evaporítico

En la región altiplánica destacan por su extensión el salar de Uyuni (10000 km^2) y el salar de Coipasa (2000 km^2). Ver figura 1. Estos salares se formaron por evaporación progresiva del agua (solvente), que derivó en una costra porosa relativamente gruesa de cloruro de sodio (NaCl)

en equilibrio químico con salmuera sobresaturada, por lo tanto la evaporación del agua, ocasiona la precipitación y cristalización principalmente del cloruro de sodio (NaCl).

Según la curva de solubilidad del NaCl, la temperatura no tiene mucha influencia en el proceso de cristalización de esta sal, confirmando que la pérdida de agua (solvente) por evaporación, contribuye significativamente en la formación del cloruro de sodio en la costra salina de estos salares.

Salares menores

Salar de Bellavista

- Presenta afloraciones de thenardita (Na_2SO_4), provenientes de una capa de mirabilita ($\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$) de hasta 50 cm, cubierta por arcilla y arena con 40 cm de espesor. El sector este del salar, aloja un yacimiento mineral de borato de sodio y calcio hidratado (ulexita, $\text{NaCaB}_5\text{O}_9 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$).

Salar de Empexa

- En época seca no presenta un lago central, pero si en época de lluvia, presenta afloraciones de Cloruro de sodio (NaCl) y sulfato de sodio (Na_2SO_4), proveniente de capas interiores.

Salar de Laguni

- Puede también considerarse un salar, por no presentar un lago central casi todo el año, con afloraciones de salinas de ulexita⁷ ($\text{NaCaB}_5\text{O}_9 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$) borato de sodio y calcio hidratado en su superficie.

Salar de Chiguana

- Presenta una capa arcillosa cubierta de afloraciones salinas irregulares. En un sector se tiene la presencia de ulexita ($\text{NaCaB}_5\text{O}_9 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$) borato de sodio y calcio hidratado.

Salar de Pastos grandes

- Es una boratera, caracterizada por la presencia de una extensa costra calcárea y sedimentos arcillosos. Se tiene también corrientes de aguas termales y dos lagunas centrales, rodeadas de otras más pequeñas. Un yacimiento mediano de ulexita se tiene en la parte central de este salar.

Salar de Capina

- Se tiene la presencia de una costra de carbonato de calcio y un excelente yacimiento de ulexita que es procesada en la planta de ácido bórico de Apacheta. Una laguna central complementa la situación geográfica de esta boratera.

Salar de Chalviri

- Boratera importante. La ulexita parece estar asociada a la presencia de indicios de bórax ($\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$) tetraborato de sodio y colemanita ($\text{Ca}_2\text{B}_6\text{O}_{11} \cdot 5\text{H}_2\text{O}$) borato de calcio.

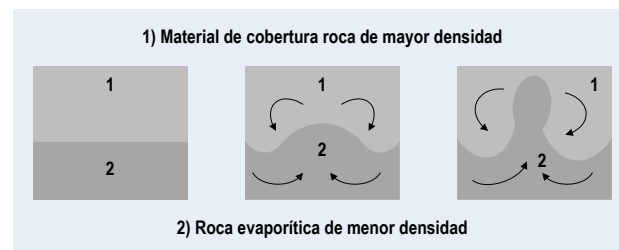
Diapiros salinos en Bolivia

Los diapiros tienen gran importancia por su relación con la dinámica de la Tierra, se presentan en la naturaleza en diferentes escalas y en distintos ambientes geológicos. Su formación se debe al ascenso de material rocoso menos denso, dúctil deformable y móvil a través de otro material rocoso con densidad mayor que hace de cobertura encajante⁸. Influyendo también la altura del material de cobertura encajante y la viscosidad de los dos materiales.

⁷ En el delta del río Grande que desemboca hacia el sur del salar de Uyuni, se encuentra el yacimiento más grande de ulexita, las poblaciones de río Grande y Vinto K, explotan y comercializan este mineral, que se encuentra, en napas subterráneas con profundidad variable entre 50 cm a 200 cm por debajo de un manto arcilloso uniforme producido por sedimentos del río Grande que fueron descargados antes donde empieza la costra de sal. El espesor de estas lentes adyacentes de ulexita varían entre 10 a 150 cm.

⁸ Roca que rodea a una masa intrusiva (ascendente).

El diapirismo⁹ es común en rocas evaporíticas frías (sales alcalinas, alcalinotérreas, yeso ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), anhidrita (CaSO_4), formando diapiros salinos. Ver figura 2.



Fuente: Elaboración propia sobre información de [2]

Figura 1: Esquema de formación diapiro salino

En el altiplano central boliviano, formaciones de diapiros salinos se presentan en Macha, departamento de Potosí y en Challapata, departamento de Oruro. Los cristales de diapiros salinos del altiplano central, son más pequeños y algunas muestras parecen verdaderas gemas, de uso frecuente en ritos religiosos, artesanales y medicinales.

CONCLUSIONES

A partir de esta descripción de fuentes naturales del altiplano boliviano, donde se encuentra el elemento sodio en estado iónico acuoso o en estructuras cristalinas sólidas, se puede indicar que los aniones acompañantes mayoritarios son cloruros (Cl^{-1}), en menor cantidad sulfatos (SO_4^{2-}), carbonatos (CO_3^{2-}) y bicarbonatos (HCO_3^{-1}). Reportando especial interés la presencia de boratos en el delta del río Grande, Salar de Uyuni, salar Capina y Collpa laguna.

Por otra parte, la asociación de sodio con litio y potasio, e inclusive con elementos del grupo dos, como el calcio y magnesio, permite plantear que donde se encuentre el catión sodio, también pueden estar presentes elementos alcalinos y alcalinotérreos. Importantes para desarrollar un complejo industrial de Química básica en el país.

BIBLIOGRAFÍA

Risacher, F., Miranda, J., Carlo, L. L., 1976, Litio y potasio en las borateras de río Grande, Informe UMSA – ORSTOM, La Paz – Bolivia,

Rivas, S., Ahlfeld, F., 1998, Los minerales de Bolivia y sus pasajes, Tomos 1 y 2, Santa Cruz de la Sierra – Bolivia.

Referencias bibliográficas:

[1] Ballivián, O., Risacher, F., 1981, Los salares del altiplano boliviano, ORSTOM Paris – Francia,

[2] Berdiel, R. T., Santolaria, O. P., 2012, Cómo reproducir diapiros en el aula. Enseñanza de las ciencias de la Tierra, Vol.20, nº 3, p: 263, Girona – España.

(*), Licenciado en Ciencias Químicas, Docente Emérito, Departamento de Materias Básicas, Facultad de Tecnología – UMSA.

⁹ En las proximidades del ingreso al Chaco boliviano, se encuentran yacimientos de halita, formados geológicamente por el fenómeno del diapirismo. Otros yacimientos de este tipo, donde existen rocas de sal que abarcan una serranía entera, se pueden ubicar en la mina San Simón, provincia Entre ríos, departamento de Tarija.