

Ocurrencia de mineralización de boratos y la relación del equilibrio químico entre boratos calcio - sódico en el Salar de la Laguna Salinas en el distrito de San Juan de Tarucani – Arequipa

Occurrence of borate mineralization and the relationship of chemical equilibrium between sodium calcium borates in the salt pan of Laguna Salinas in the district of San Juan de Tarucani – Arequipa

César Augusto Ccama Cabana¹, Jaime César Mayorga Rojas²

Recibido: 18/05/2021 – Aprobado: 28/03/2022 – Publicado: 30/06/2022

RESUMEN

En el Perú tenemos el único yacimiento boratífero del tipo salar, la Laguna Salinas, el cual se caracteriza por formarse bajo ciertos factores ambientales de origen evaporítico, determinados por procesos endógenos y supergenos (sistema endorreico), ahora bien, debemos entender cómo se formó y cuál es su relación en el tiempo geológico con respecto a su equilibrio químico. En Lagunas Salinas se extrae ulexita que es un borato de calcio y sodio hidratado el cual vemos que por sus características es posible dar una relación sobre su ocurrencia sobre otros boratos similares y el porqué de su dominio en la zona sobre otras especies boratíferas. El objetivo de la investigación es determinar los horizontes mineralizados de ulexita con relación al equilibrio químico entre la temperatura de formación y el contenido de agua que presentan estas especies boratíferas. La investigación es del tipo no experimental, es decir las muestras que se sacaron en campo se analizaron para ver la relación que tienen entre su temperatura de formación y la cantidad de agua que estos tienen entre sí, el cual se logró concluir esquemas de deposiciones secuenciales las cuales dan oportunidad a extraer nuevos boratos y con conocer más sobre este tipo de yacimientos.

Palabras claves: yacimiento boratífero; calcio; sodio; Laguna Salinas; minerales no metálicos; medios sedimentarios continentales; supergeno; endógeno; endorreico; ulexita; secuencia depocentral.

ABSTRACT

In Peru there is the only boratiferous deposit of the salar type, the Laguna Salinas, which is characterized by being formed under certain environmental factors of evaporitic origin, determined by endogenous and supergenic processes (endorheic system), now, we must understand how it was formed and what is its relationship in geological time with respect to its chemical equilibrium. In Lagunas Salinas, ulexite is extracted, which is a hydrated calcium and sodium borate, which we see that due to its characteristics it is possible to give a relationship on its occurrence over other similar borates and the reason for its dominance in the area over other boratiferous species. The objective of the research is to determine the mineralized horizons of ulexite in relation to the chemical equilibrium between the formation temperature and the water content that these boratiferous species present. The research is of the non-experimental type, that is, the samples that were taken in the field were analyzed to see the relationship between their formation temperature and the amount of water that they have among themselves, which was able to conclude sequential depositions schemes which give the opportunity to extract new borates and to learn more about this type of deposits.

Keywords: boratiferous deposit; calcium; sodium; Laguna Salinas; non-metallic minerals; continental sedimentary media; supergene; endogenous; endorheic; ulexite; depocentral sequence.

1 Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Facultad de Ingeniería Geológica, Minera, Metalúrgica y Geográfica, Unidad de Posgrado. Lima, Perú.

Alumno. E-mail: cesaragusto.ccama@unmsm.edu.pe - ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0905-0103>

2 Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Facultad de Ingeniería Geológica, Minera, Metalúrgica y Geográfica. Lima, Perú.

Docente. E-mail: jaimemayorga@unmsm.edu.pe - ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8423-3343>

I. INTRODUCCIÓN

El quinto elemento de la tabla periódica, el boro, es relativamente escaso en la corteza terrestre. No se le encuentra en su estado puro sino oxidado como borato. Los boratos, se encuentran como minerales en diferentes tipos de rocas, siendo el bórax, la ulexita, la colemanita y la turmalina los más comunes. En el Perú, el mayor depósito de boro (como el mineral ulexita, $\text{NaCaB}_5\text{O}_9 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$), está en la Laguna de Salinas, un salar ubicado en el departamento de Arequipa a una altura de 4300 msnm. Según el ministerio de Energía y Minas, el año 2018 se extrajeron más de cien mil toneladas de ulexita en el Perú (Laos & Benner, 2019).

Se han identificado más 150 especies minerales las cuales se encuentran en mayor frecuencia en medios sedimentarios continentales y en una menor proporción se encuentran en facies de evaporitas submarinas, pero también debemos indicar que existen boratos de origen endógeno tales como son los skarn, pegmatitas y del tipo turmalinas ((Alonso & Del Valle Ruiz, 1997) Actualizando la ubicación de la laguna Salinas (Figura 1).

En Perú en la localidad de San Juan de Tarucani Arequipa en el salar de Salinas se extrae la ulexita que en términos comerciales es el borato calco - sódico más importante explotados por Turquía y muchos países de Sudamérica.

De acuerdo con el estudio de Alonso, R.N., 2016. Prospección de boratos neógenos en América del Sur, comprendidas entre los países de Bolivia, Argentina, Chile y Perú son las provincias boratíferas del mundo más importantes que se encuentran en auge (Horacio R. Flores et al., 2002).

En el siguiente artículo se detalla cómo se dio la mineralización en la el salar de la laguna salinas describir

sus características y como la peculiaridad de este tipo de yacimiento boratífero requiere ciertas condiciones de ambiente para ser fructífero y económico para la extracción de este mineral y como se da la relación entre proberitita y ulexita, con la investigación bibliográfica y las muestras sacadas.

La región en estudio se encuentra dentro del arco volcánico de los Andes Centrales (CVZ) que se extiende desde la latitud del volcán Sara Sara (15° S) hasta el límite con Chile (Alonso, 2016). Donde una peculiaridad de los yacimientos ubicados en esta zona es que se encuentra localizados los volcanes activos y potencialmente activos del sur peruano (Figura 2).

II. METODOS

Se tratará acerca del origen del yacimiento de boratos, describiremos sus contexto geológico y ocurrencia mineralógica con el objetivo de comprender el equilibrio químico entre los cationes principales de mineralización ($\text{Ca}^{+2}\text{-Na}^+$) y la relación entre Ulexita y Proberitita (Gazulla et al., 2005).

2.1 Generalidades Geológicas de los yacimientos boratíferos

El yacimiento boratífero de Lagunas Salinas se encuentra dentro de la clasificación de yacimientos boratíferos de origen continental *Boratos en salares y playas-lagos*.

Boratos en salares y playas -lagos: Los lagos de ambientes salinos se dan bajo factores favorables relacionados con el vulcanismo activo, cuentas cerradas (sistema endorreico) relacionada a fallas profundas, fuentes termales ricas mineralizadas en boro y un clima de aridez adecuado con el balance entre la precipitación y evaporación (Lagos Durán, 2016).



Figura 1. Principales localidades boratíferas del mundo. Tomado de Alonso & Del Valle Ruiz (1997). Actualizado por Cesar Ccama, 2021

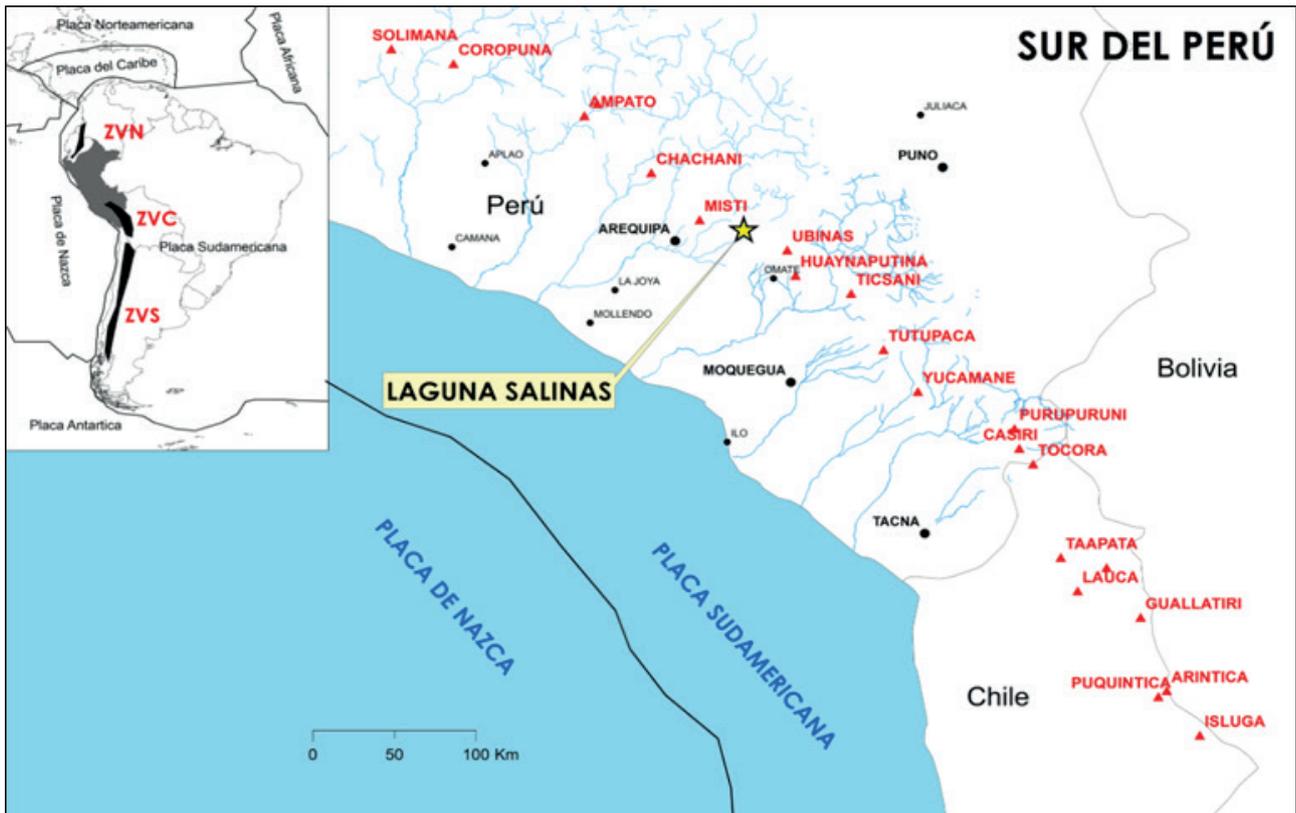


Figura 2. Ubicación de la laguna salinas con respecto al zona volcánica central
Fuente: Elaboración propia

Para hacer una diferencia entre los salares y los playas-lagos, se debe entender que los salares de los Andes Centrales esta relacionados con una tectónica compresible y se ubican a grandes altitudes mientras que el término playas-lago como en el caso de Estados Unidos están relacionados a una tectónica de distensión y prácticamente se encuentran a nivel del mar (Figura 3).

En el sector de los andes donde la Placa de Nazca subduce con hacia el este, concurren características geodinámicas especiales que conducen a:

- Engrosamiento de la corteza hasta 70 km.
- Máxima asimetría topográfica entre la fosa peruano – chilena de 8000 m de profundidad y los volcanes cordilleranos a casi 7000 m de altitud.
- Desarrollo de un arco volcánico continental calco alcalino.
- Desarrollo de un elevado *plateau* (Altiplano-Puna) de 2000 km de largo, 200 km de ancho y 3700 m de altura media;
- Condiciones climáticas que incrementan el grado de sequedad hacia el oeste, llegando a condiciones de hiperaridez en la costa chileno-peruana
- formación de cuencas cerradas extensas.

Los Boratos concentran por precipitación química en las cercanías de resortes de boro en cuencas tipo playa (Cahit Helvacı, 2020).

La mayoría de los depósitos sudamericanos están asociados con toba calcárea, que se presenta como una etapa tardía tapando los boratos, y en algunos casos con halita y yeso (Laguna Salinas). Se indica actividad volcánica reciente por flujos basálticos a riolíticos en áreas adyacentes, y se presume una fuente volcánica para los boratos. Los depósitos salariales de América del Sur consisten en lechos y nódulos de ulexita, con algo de bórax o inyoíta, asociados con sedimentos de playa del Holoceno, principalmente barro, limo, halita y yeso (Cahit Helvacı, 2020).

2.2 Geología del Yacimiento Boratífero de la Laguna Salinas

La laguna salina es una cuenca intervolcánica con un basamento del jurásico – cretácico que quedo definida en el mioceno superior. El relleno de dicha cuenca habría empezado a sedimentar en el plioceno con materiales gruesos que constituirán las facies basales de este medio sedimentario. En el pleistoceno se convirtió en un lago de agua dulce gracias a los glaciares vecinos que rodean a la laguna y a las precipitaciones que este presentaba.

Los boratos se han originado por el derrame de aguas calientes altamente mineralizadas de contenido de boro

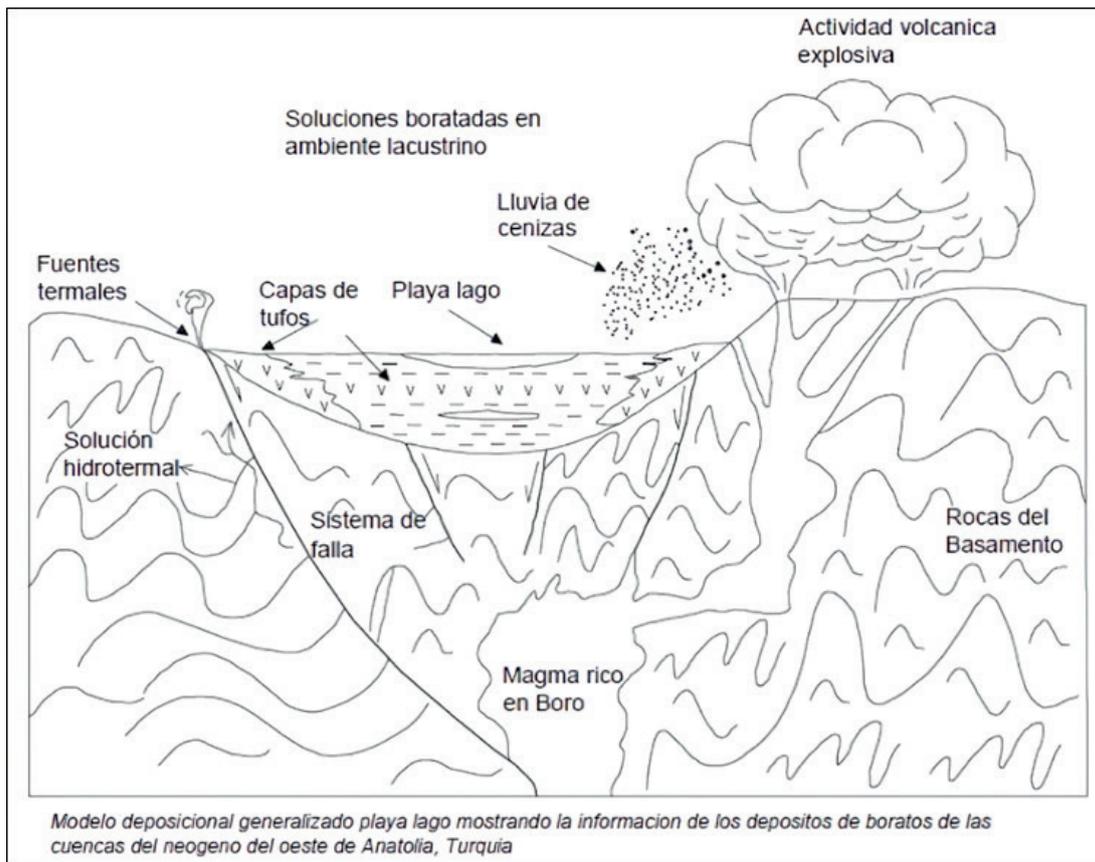


Figura 3. Modelo generalizado tipo playa – lago (Anatolia - Turquía). Tomado de Cahit Helvaci (2020)

que han ascendido en el borde de los salares siguiendo planos de fallas profundas. Se ha observado una evidente zonación evaporítica, desde el borde hasta el centro de las depresiones, se manifiesta en: carbonatos (travertinos), sulfatos (yeso, mirabilita), boratos (ulexita) y cloruro (halita).

En la laguna Salinas se pueden reconocer de manera clara dos ciclos sedimentarios claramente diferenciables.

Durante la primera fase, tienen una longitud de entre cuatro y seis metros, formadas por finas piezas multicapa de arcilla flexible de color marrón a verde oliva, las cuales se caracterizan por desfoliarse como si fueran las páginas de un libro; A mayor profundidad se estima que responden a una condición paleoclimática diferente, correspondiente al período de máxima expansión del lago durante el Pleistoceno. Con aguas tranquilas y claras, estas condiciones eran favorables. De la deposición estacional de sustancias arcillosas, se observa alternancia de materia orgánica y olor a azufre.

El segundo ciclo el cual se inicia con una capa homogénea de unos (0.10 – 0.15 m) correspondiente a una pumicita mediana a gruesa, gris, suelta, permeable y porosa la cual constituye un excelente acuífero, localmente se conoce como micro conglomerado y muy rara vez se ha observado ulexita por debajo de este nivel, pero hay zonas en las que sí se identificó ulexita por debajo de la pumicita.

Hacia la parte superior aparece yeso en cristales sueltos euhedrales, sobre la mencionada se apoya una capa de ulexita maciza la cual determinamos para nuestro caso como **Horizonte B**, de espesores variables nombrando promedio 0.30 m, sigue hacia arriba un limo de color verde petróleo de espesor (figura 4)

Aproximado de 0.20 m y una sección de cenizas volcánicas gris oscuras, medianas a finas con intercalaciones de limos y arcillas las cuales son las portadoras de la ulexita en nódulos con formas de copos, toda esta sección nodular, conocida por nosotros como el **Horizonte A**, alcanza potencias variables de hasta 1.20 m y suele incluir algunas secciones con lentes y mantos de mirabilita. (Figura 4)

Todo lo descrito líneas arriba corresponde a un esquema o diagrama idealizado de la distribución de facies de la laguna Salinas, el cual puede diferir en torno se continúe realizando estudios en el salar en cuanto a ocurrencias de mineralización y la profundidad que se presenten las mismas.

III. RESULTADOS

Se debe entender la Genesis del yacimiento de la Laguna Salinas.

La laguna Salinas responde a los patrones generalizados de otras depresiones cerradas en climas áridos, en un análisis

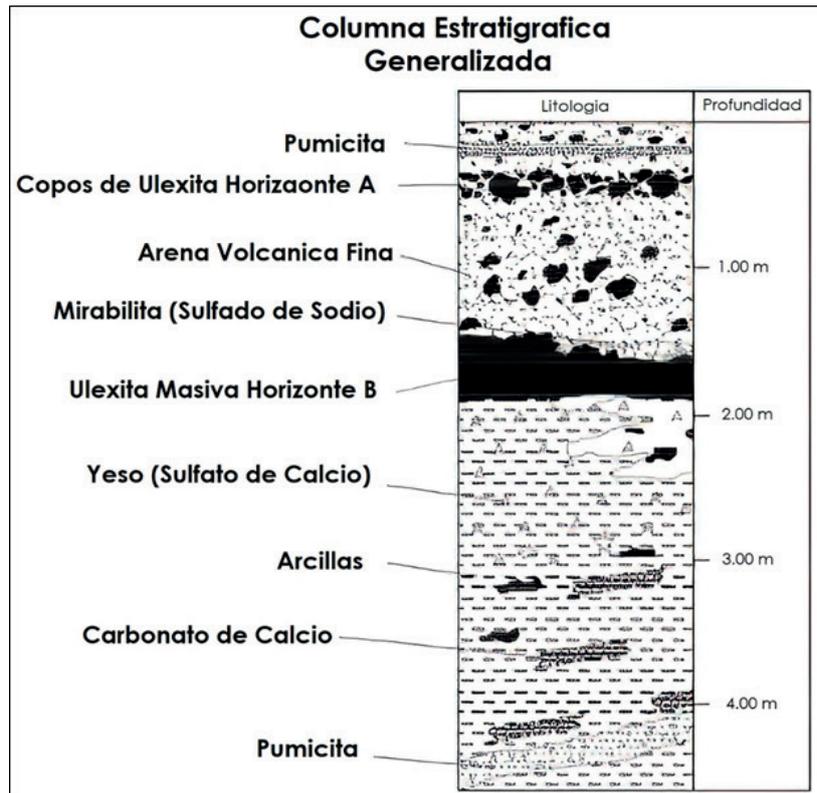


Figura 4. Columna estratigráfica Generalizada– Laguna Salinas.

Fuente: Elaboración propia

lateral, la evolución de las facies clásticas mostradas en la periferia de este lago se transforma en facies evaporíticas, desde el borde hacia el centro del lago. (Alonso & Del Valle Ruiz, 1997).

Los casos descritos representarán una disminución del tamaño del grano hacia el centro del salar que va desde grava gruesa a arena fina y limo. Un pantano que se extiende sobre la mayor parte del margen sur entre facies clásticas y evaporíticas. En el campo de evaporación se observa una pobre partición lateral, sin embargo hay una evolución de arcillas con abundantes carbonatos y yeso, luego boratos (ulexita), sulfatos de sodio (mirabilita) y finalmente facies cloruradas (halita).

Las muestras sacadas en campo nos muestran la relación que se tiene entre el contenido de óxido de boro con respecto al agua (Figura 5).

En las lagunas del Holoceno son muy frecuentes algunos boratos, como el bórax y la ulexita, otros menos frecuentes (inyoita y la hidroboraquita) y algunos prácticamente ausentes (colemanita y la probertita), donde la ulexita será materia principal del estudio.

La comparación de estos datos con la distribución de boratos en las formaciones del Neógeno muestra que algunas de las especies boratíferas significativas como inyoita, probertita, ulexita, etc., están mejor representadas en lagunas del holoceno, por lo que su evolución es rápida

y la contribución de forma continua. (Tabla 1). De lo descrito, la pérdida o ganancia de los moles de agua en los boratos, determinan a esta especie boratífera al problema principal de los minerales evaporíticos comunes.

De acuerdo con esta tabla de distribución de boratos hidratados a través del tiempo podemos entender que la mineralización en la laguna salinas además de poseer ciertas características ambientales en la formación se debe considerar el tiempo geológico, pues la laguna salina empezó a formarse en el Mioceno por lo cual estos yacimientos son muy jóvenes, y según la tabla la ulexita posee una continuidad que alcanza los tiempos actuales.

La relación que guarda el equilibrio químico entre el agua y la temperatura de formación se da en el hallazgo de dos especies boratíferas similares, la ulexita y la probertita, la diferencia de los dos es que la probertita posee más agua dentro de su ensamble mineralógico lo que hace que en ciertos climas criofilos se origine primero, pero de acuerdo a los procesos supergenos a las cuales está expuesta salinas, la probertita empieza a deshidratarse transformándose en ulexita, y tal como se ve en la tabla 1 es posible que la continuidad de la probertita en el holoceno si se de pero que este se haya convertido en ulexita (Figura 6).

3.1 Sistemas de equilibrio químico (estequiometría)

La relación entre los sistemas de estequiometría de borato de diferentes cationes y agua permitió probar lo siguiente:

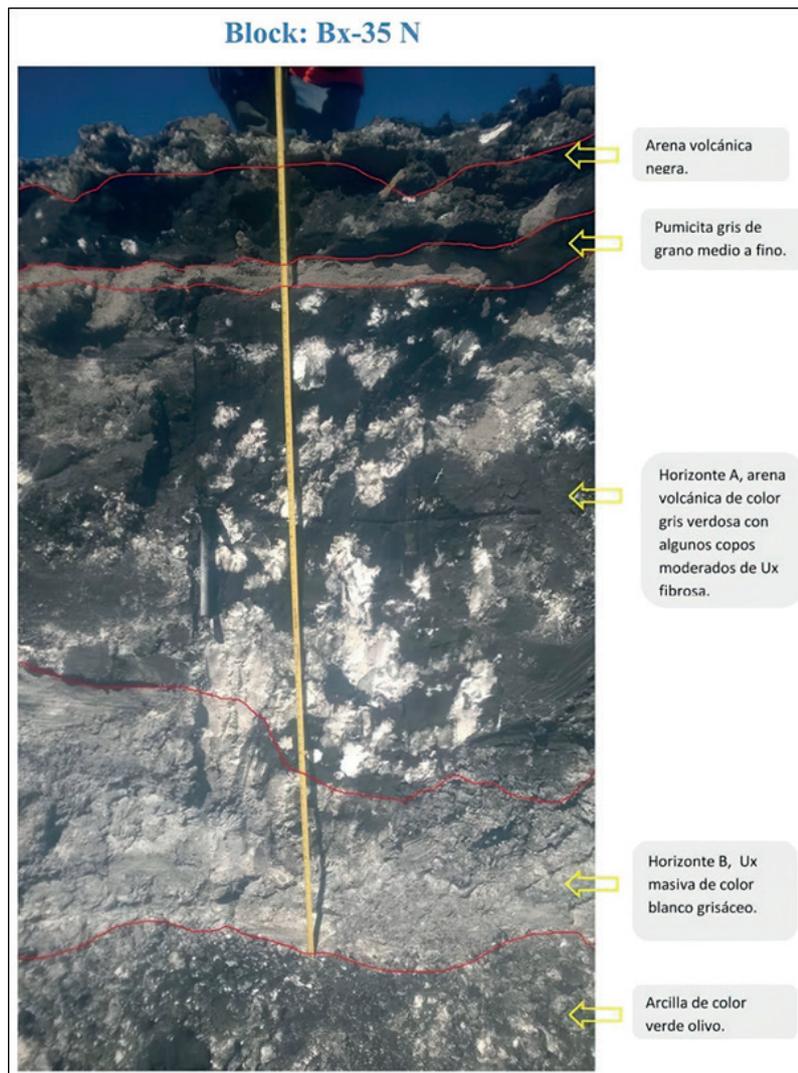


Figura 5. Columna estratigráfica – Laguna Salinas, descripción de la textura nodular “Cotton Ball” de la Ulexita, Block Bx-35.

Tabla 1. Distribución comparativa de algunos de los boratos más frecuentes en los depósitos jóvenes y antiguos

Boratos		Neogeno – Pleistoceno	Holoceno
$\text{CaB}_3\text{O}_3(\text{OH})_5 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$	Inyoita	—————	-----
$\text{Ca}_2(\text{H}_3\text{B}_3\text{O}_7)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$	Meyerhofferita	—————	----- ???
$\text{Ca}(\text{B}_3\text{O}_4)(\text{OH})_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$	Colemanita	—————	----- ???
$\text{Ca}_2(\text{B}_5\text{O}_7)(\text{OH})_5 \cdot \text{H}_2\text{O}$	Priceita	—————	-----
$(\text{Na,Ca})(\text{B}_5\text{O}_3)(\text{OH})_6 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$	Ulexita	—————	-----
$\text{NaCa}(\text{B}_5\text{O}_7)(\text{OH})_4 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$	Probertita	—————	-----
$\text{Na}_2(\text{B}_4\text{O}_5)(\text{OH})_4 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$	Borax	—————	-----
$\text{Na}_2(\text{B}_4\text{O}_6)(\text{OH})_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$	Kernita	—————	-----
$\text{Na}_2(\text{B}_4\text{O}_5)(\text{OH})_4 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$	Tincalconita	-----	—————
$\text{CaMg}(\text{B}_6\text{O}_8)(\text{OH})_6 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$	Hidroboracita	-----	-----
$\text{Mg}_3(\text{B}_3\text{O}_3)(\text{OH})_5 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$	Kurnakovita	—————	-----
$\text{Mg}(\text{B}_3\text{O}_3)(\text{OH})_5 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$	Inderita	—————	-----

Fuente: Basado, en parte, en Federico Ortí (1996). Actualizada por Cesar Ccama (2021)

En comparación con el grupo principal de calcio y sodio representado por la probertita y la ulexita, se muestra que la estabilidad del borato de Na-Ca en función de la temperatura y la actividad del agua encuentra un equilibrio estequiométrico con el entorno apropiado. Sujetos a temperaturas más bajas, muchos boratos se comportan fríos, especialmente en invierno, ya que precipitan con minerales como la mirabilita (Federico Ortí, 1996). La ulexita es el borato predominante en el Salar de Salinas debido a la fase de deshidratación, que resulta en la pérdida de moles del agua derivada de la probertita y su conversión a ulexita en el sistema endodérmico. Asimismo, se puede decir que la ulexita está relacionada con los carbonatos, la mirabilita, el yeso y la halita.

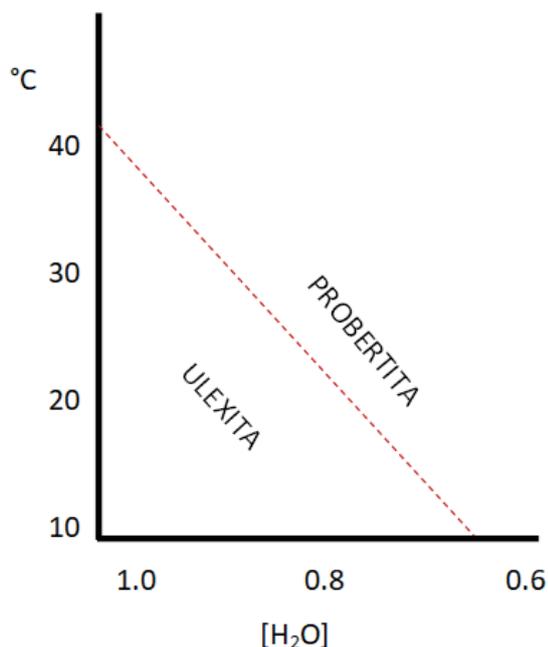


Figura 6. Gráfica de equilibrio de boratos de sodio y calcio en las variables de temperatura y agua (basado, en parte, en Federico Ortí (1996). Actualizada por Cesar Ccama (2021)

3.2 Boratos de Ca/Na: Secuencias de Evapofacies y Estadios de Sedimentación

La el orden del medio sedimentario en el depósito de boratos de sodio y calcio de origen lacustres, tanto holocenos como actuales, muestra zonas donde se acumulan ciertos minerales según la solubilidad que estos tengan y en la existencia de gradientes laterales de concentración. Y la relación que se da entre el porcentaje de agua y temperatura de formación da posibles esquemas idealizados de como la ocurrencia.

Tipo hidroquímico: Ca, Na/ borato Inyoita-Ulexita donde su distribución vertical sería primero un borato cálcico representado por la inyoita y borato calcio sódico representado por la ulexita debido que el calcio tiene una solubilidad menor que el sodio. (Figura 7), se aprecia la tendencia general a una secuencia del tipo borato-calcicos; borato-Calcio/ sodio; borato-sodio.

Todas estas secuencias son claramente químico-evaporíticas y se organizan según las solubilidades de los boratos. Esto incluye un desarrollo quimiosensorial continuo de los estadios de sedimentación, con la mitad inferior de concentración aumentada (para borato de sodio) y la mitad superior de dilución (para borato de calcio) (Federico Ortí, 1996).

Hacemos la relación espacio tiempo y vemos que la mayoría de estos yacimientos son recientes y que su evolución ha sido rápida y que aun en nuestro tiempo estos yacimientos siguen siendo dinámicos.

Esta división se desarrolla verticalmente, dando lugar a una serie de sedimentos, ya sean únicos o periódicos, entre boratos. (Figura 7)

La laguna salina no es la excepción ya que se puede comprobar indicios de nueva mineralización a pocos centímetros del suelo que probablemente en unos años se convierta en un horizonte mineralizado económico.

Por lo cual en una descripción dentro de un sentido perimetral muestra un desarrollo de facies clásticas desde los extremos de la laguna que cambiando sistemáticamente a facies evaporíticas en el centro de la laguna (Vinante & Alonso, 2006).

De acuerdo con ello en la Laguna Salinas por tal razón diremos que las facies clásticas van a estar muy bien identificadas hacia el lado Este en las amplias pampas aluviales en Cebadillas y Yanacancha las cuales van desde los pies de las diversas montañas hasta el borde del salar y van a graduar granulométricamente de mayor a menor en esa dirección.

- La **facie clástica** representa granulometrías decrecientes (de mayor a menor) con dirección al centro del salar, que van desde gravas gruesas hasta arenas finas y limos.
- Las **Evapofacies** se han reconocido un cambio desde arcillas con abundancia de carbonatos hacia arcillas ricas en yeso, luego borato (ulexita), sulfato de Na (mirabilita) y finalmente una facie clorurada (halita).

Diremos que con respecto a una distribución vertical de facies se observa difusamente un orden que va de base a techo de la siguiente manera: arcillas con calcita, arcillas con yeso, ulexita, mirabilita, ulexita, halita; de esta manera se da a conocer una zonación de solubilidades que pasan desde carbonatos a sulfatos, luego boratos y finalmente los cloruros, el cual se asemeja al esquema secuencial de la figura 7.

IV. DISCUSION

Los boratos en Salinas se han originado por el derrame de aguas calientes mineralizadas que han ascendido en el borde de los salares siguiendo planos de fallas profundas. Se ha observado una fuerte zonación evaporítica desde el borde hasta el centro de las depresiones, se manifiesta en:

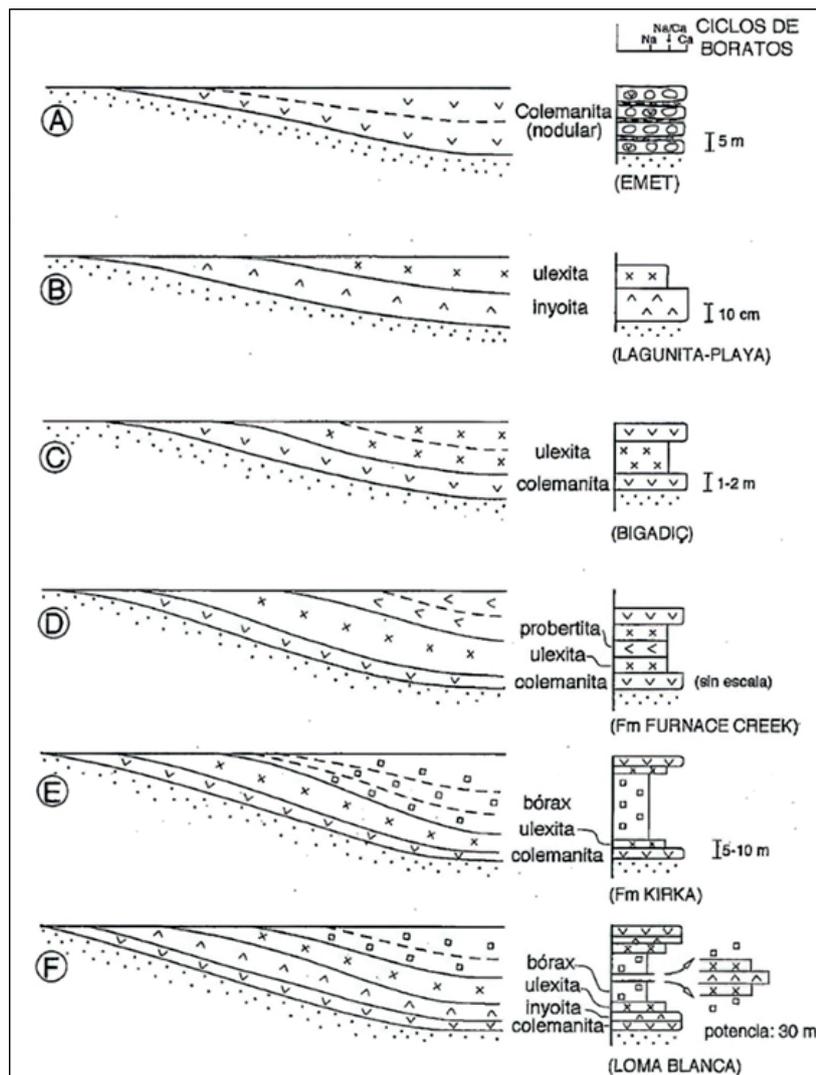


Figura 7. Esquemas del orden sistemático en los depósitos de los boratos de calcio y sodio de origen lacustre, con las correspondientes interpretaciones de cinturones de facies. Los ciclos se indican sólo hasta el estadio de máxima concentración, basado, en parte, en Federico Ortí (1996).

carbonatos (travertinos), sulfatos (yeso, mirabilita), boratos (ulexita) y cloruro (halita).

Reconociéndose dos ciclos, en el primer ciclo aproximadamente entre los cuatro a seis metros está compuesto por arcillas plásticas, pardas a verde oliva finamente laminadas, las cuales presentan características de desfoliarse, correspondiente a un punto en el tiempo de mayor desarrollo del salar en el Pleistoceno, de esta manera en el segundo ciclo el cual se inicia con una capa homogénea de pumicita mediana a gruesa, gris, suelta, permeable y porosa la cual constituye un excelente acuífero, localmente se conoce como micro conglomerado y muy rara veces se ha observado ulexita por debajo de este nivel.

Hacia la parte superior aparece yeso en cristales sueltos euhedrales, sobre la mencionada se apoya una capa de ulexita maciza la cual determinamos para nuestro caso como Horizonte B, de espesores variables nombrando

promedio 0.30 m, sigue hacia arriba un limo de color verde petróleo de espesor de hasta 1.20 m donde rodea al Horizonte A con un espesor promedio de 0.20 m.

La ocurrencia de ulexita que se da en Salinas con respecto al equilibrio químico entre el porcentaje de agua y temperatura de formación se expresa en el hallazgo de dos especies boratíferas similares, la ulexita y la probertita, la diferencia de los dos es que la probertita posee más agua dentro de su ensamble mineralógico lo que hace que en ciertos climas criófilos se origine primero, pero de acuerdo a los procesos supergenos a las cuales está expuesto salinas, la probertita empieza a deshidratarse transformándose en ulexita, y tal como se ve en la tabla 1 es posible que la continuidad de la probertita en el holoceno si se dé pero que este se haya convertido en ulexita.

La distribución de boratos hidratados a través del tiempo podemos entender que la mineralización en la

laguna salinas además de poseer ciertas características ambientales en la formación se debe considerar el tiempo geológico, pues la laguna salina empezó a formarse en el Mioceno por lo cual estos yacimientos son muy jóvenes, y según la tabla la ulexita posee una continuidad que alcanza los tiempos actuales (Federico Ortí, 1996).

Estos dos puntos la distribución de boratos a través del tiempo y la relación entre contenido de agua y temperatura de formación nos da esquemas generalizados

Esta división se desarrolla verticalmente, dando lugar a una serie de sedimentos, ya sean únicos o periódicos., entre boratos por lo cual en una descripción dentro de un análisis lateral muestra una sedimentación sistemática de facies clásticas que empiezan en los bordes del lago hasta llegar a facies evaporíticas en el centro de la laguna. (Daniel Vinante & Ricardo N. Alonso, 2006).

El cual nos indica una nueva forma de ver estos salares, actualmente en salinas se explota a no más de tres a cuatro metros de profundidad por temas de seguridad y operatividad no se puede profundizar más, pero buscando nuevas tecnologías que nos permitan profundizar más podría brindarnos la oportunidad de obtener más información sobre la ocurrencia de boratos en salinas.

V. CONCLUSIONES

El salar de salinas se da bajo factores favorables relacionados con el vulcanismo activo, cuentas cerradas (sistema endorreico) relacionada a fallas profundas, fuentes termales ricas mineralizadas en boro y un clima de aridez adecuado con el balance entre la precipitación y evaporación (Lagos Durán, 2016).

En el salar de salinas, se pueden identificar a la ulexita siendo la mejor representación en yacimientos jóvenes, y por ende su evolución es rápida y el aporte es continuo, lo cual indicaría que es un yacimiento dinámico que está en constante aporte.

En los ambientes sedimentario los boratos de calcio y sodio de origen lacustre, muestra distribuciones que dependen de la solubilidad del mineral como por ejemplo es común encontrar minerales de contenido cálcico en los bordes de la laguna y en el centro minerales de contenido sódico debido a su mayor solubilidad.

VI. AGRADECIMIENTOS

Los autores de este artículo expresan sus más sinceros agradecimientos a la Unidad de Posgrado de la UNMSM por la ayuda brindada durante la investigación tal como se refleja en los resultados de la misma.

VII. REFERENCIAS

Cahit Helvaci. (2020). *Borates* - ScienceDirect. Dokuz Eylul University. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/B978-0-12-409548-9.12049-4>

Daniel Vinante, & Ricardo N. Alonso. (2006). Evaporfacies del Salar Hombre Muerto, Puna argentina: distribución y genesis. *Rev. Asoc. Geol. Argent.*, 61(2). http://www.scielo.org.ar/scielo.php?pid=S0004-48222006000200012&script=sci_arttext&tlng=pt

Federico Ortí. (1996). Boratos cálcico-sódicos de ambientes evaporíticos lacustres: aspectos sedimentológicos y diagenéticos generales. *Geogaceta*, 270-273. <http://rabida.uhu.es/dspace/bitstream/handle/10272/11812/Boratos.pdf?sequence=2>

Gazulla, M. F., Gómez, M. P., Orduña, M., & Silva, G. (2005). Cerámica y Vidrio Caracterización química, mineralógica y térmica de boratos naturales y sintéticos. *Boletín de La Sociedad Española de Cerámica y Vidrio*, 44(1), 21-31. [http://boletines.secv.es/upload/20070116120659.44\[1\]21-31.pdf](http://boletines.secv.es/upload/20070116120659.44[1]21-31.pdf)

Horacio R. Flores, Lilian E. Mattenella, & Silvana K. Valdez. (2002). Physical and physicochemical properties of borates from Argentinean Puna. *Informacion Tecnológica*, 13(1). <https://www.researchgate.net/publication/297478434>

Laura Valentina Lagos Durán. (2016). *Hidrogeoquímica de fuentes termales en ambientes salinos relacionados con salares en los Andes del Norte de Chile*. <https://repositorio.uchile.cl/handle/2250/140833>

Ricardo N. Alonso. (2016). Prospección de boratos neógenos en el sur del Perú. In C. Asociación Argentina de Geólogos Economistas. Actas (Ed.), *XI Congreso Argentino de Geología Económica*. https://www.researchgate.net/publication/342886899_Alonso_RN_2016_Prospeccion_de_boratos_neogenos_en_el_sur_del_Peru_XI_Congreso_Argentino_de_Geologia_Economica_7-992016_Asoacion_Argentina_de_Geologos_Economistas_Actas_CD_8_p_Salta

Ricardo N. Alonso, & Teresita del Valle Ruiz. (1997). *Asociaciones minerales en depósitos de boratos* (Universidad de Barcelona, Ed.). https://www.researchgate.net/publication/233969420_Asoaciones_minerales_en_depósitos_de_boratos

Roberto Laos, & Steven Benner. (2019). EL BORO Y EL MUNDO ARN. *Revista de Química*, 33(1-2), 5-7. <https://revistas.pucp.edu.pe/index.php/quimica/article/view/21419>

Contribución de autoría:

Conceptualización, Curación de datos, Investigación, Administración del proyecto, Redacción- revisión y edición: (César Ccama Cabana y Jaime Mayorga Rojas)

Análisis formal, Metodología, Visualización, Redacción - borrador original: (César Ccama Cabana)

Supervisión: (Jaime Mayorga Rojas y César Ccama Cabana)