

## LAS LOMAS DE LA SAL Y SUS RELACIONES CON LOS SALARES GRANDE, LLAMARA Y DE ATACAMA, NORTE DE CHILE

G. Chong\*

### Introducción

El presente trabajo resume parte de los resultados obtenidos en el estudio de depósitos salinos-tipo en lo que se ha definido como 'Dominio Salino' del Norte Grande de Chile<sup>2</sup>. Se describen las Lomas de La Sal (LdS), parte sur de la región de Tarapacá, 30 km al NNE de Quillagua, con su centro en 21°27'8"S y 69°25'4"W. LdS es una gran afloramiento de sal-yeso anhidrita que, junto a otros similares, de dimensiones menores, se distribuyen en la Cuenca del Salar de Llamara. Estas evaporitas se han definido en una sola unidad estratigráfica, compuesta de anhidrita y yeso, denominada Formación Soledad<sup>4</sup>. Asimismo han sido descritas como 'el Gran Lago Soledad'<sup>1</sup> y el 'Gran Lago Salado de Soledad'<sup>3</sup>.

### Lomas de La Sal (LdS)

Corresponde a un gran relieve de unos 21 km de largo por un ancho máximo de 7 km y una altura de 30-50 m s.n.m. de la Pampa del Tamarugal. Su rasgo más destacado es el Cerro Tambillo Alto (1.097 m s.n.m.). Su parte norte se orienta esteoeste-noroeste con unos 6 km de largo por 2-3 km de ancho. Está separada por la quebrada Tambillo Alto, de la parte sur, de un largo de unos 13 km por 3 km de ancho y elongada norte-sur. Junto a afloramientos similares, aislados y de menor extensión areal, se distribuyen en la Cuenca del Salar de Llamara, con el Salar del mismo nombre en su parte más baja. El límite este de la cuenca es la parte distal

de conos aluviales coalescentes que descienden desde el bloque tectónico de Sierra de Moreno. El límite oeste es la cordillera de la Costa que forma, en el sector, un amplio valle que se acuña hacia el oeste y desemboca en la Cuenca del Salar Grande. El Salar de Llamara, junto a otros que se adosan a la Cordillera de la Costa y descritos como de edad cuaternaria se incluyen entre los salares de la Depresión Central<sup>2</sup>. LdS es un cuerpo evaporítico homogéneo, macizo, cubierto de costras salinas decimétricas y con un relieve superficial muy irregular con desniveles métricos. Las costras son pardas debido a la inclusión de material detrítico, formadas de yeso anhidrita, ocasionalmente con halita.

El reconocimiento de detalle de LdS, permite establecer que estas evaporitas no corresponden a terrazas de yeso/anhidrita del Cuaternario, sino a cuerpos de historia más compleja y antigua. Asimismo, LdS y los afloramientos similares de la Cuenca de Llamara no son comparables a los estratos métricos salino-detríticos tipo playa, que forman el Salar de Llamara s.str. Se trata, en cambio, de halita maciza de decenas de metros de potencia, con un 'cap' de yeso hasta métricos y que sobreyace a secuencias de anhidrita con escasas intercalaciones de materiales clásticos (¿cenizas?-¿riolitas?). La sal aparece, predominantemente, como un agregado de cristales subhedrales y traslúcidos, milimétricos a centimétricos, con inclusiones clásticas, sin burbujas fluidas. En la parte más alta hay lentes clásticos, métricos, de granulometría de arena con cuarzo, feldespatos y 'brechas salinas', en que la matriz también es de cuarzo y feldespato. La presencia de 'diques de arena' al igual que el relleno de grietas con cristales centimétricos, es común. Se observan horizontes centimétricos de un material negro en la sal. Este está formado por plagioclasas y partículas amorfas, que podrían corresponder a vidrio volcánico alterado.

Se ha reconocido la presencia de sulfatos de calcio

\* Universidad Católica del Norte, Departamento de Ciencias Geológicas, Avda. Angamos 0610, Casilla 1280, Antofagasta, Chile.

y sodio y trazas de Li, K, Mg y Fe. Una muestra orientativa indicó 50,89% cloruros, 5,02% sulfatos, 0,297% carbonatos, 0,052% sílice, menos de 0,002% boratos y trazas de nitratos. Como cationes 26,9% Na, 1% Ca, 0,22% Mg, 0,50% K y menos de 0,001% Li y As.

### Sección Estratigráfica

LdIS está cortada por la quebrada Tambillo, la cual se formó, probablemente, por la acción combinada de una falla, estructuras de hundimiento y erosión. Aquí se ha observado la siguiente sección:

- **0,10-0,20 m** de costra salina constituida por 'tortillas de anhidrita' de forma circular, desde algunos centímetros hasta decenas de centímetros de diámetro. Correlacionable con la Unidad Losa de los perfiles de Yacimientos de Nitratos y con las costras de los Salares de las Pampitas<sup>2</sup>. Están compuestos casi exclusivamente de anhidrita radial y los análisis indican valores promedios de 0,10% Mg, 25,06% Ca, 0,32% Na, 0,26% K, 0,15% Li, menos de 0,005% As y menos de 0,23% Sr. Dentro de los aniones 0,86% cloruros, 66,32% sulfatos, 0,20% carbonatos, 0,17% boratos, 0,13% nitratos y 0,28% sílice. Estas 'tortillas' sólo se observan, parcialmente, en sectores de la parte norte y a lo largo de una quebrada. Esto hace suponer que estos materiales puedan no estar *in situ* y no formar una cubierta superficial como se asume.
- **0,5-5 m** 'Cap' de yeso/anhidrita formando una costra parda, irregular de microrrelieve duro y frágil. Los análisis indican valores promedios de 0,16% Mg, 7,25% Ca, 23,02% Na, 0,27% K, 0,005% Li, 0,005% As, 0,14% Sr, 40,99% cloruros, 20,74% sulfatos, 0,001% carbonatos y 0,15% sulfatos.
- **40-70 m** de halita maciza homogénea con las características ya descritas y diferentes porcentajes de NaCl. Algunos 'sink holes' pero no se reconoce estratificación. Un análisis indicó 0,22% Mg, 0,02% Sr, 1,00% Ca, 29,60% Na, 0,50% K, menos de 0,001% Li, 50,89% cloruros, 5,02% sulfatos, 0,30% carbonatos, menos de 0,001 % boratos, 0,052% sílice, 0,00% nitratos. Los límites superior e inferior son relativamente tajantes.
- **15-20 m** yeso/anhidrita en estratos estratos. Por lo

menos dos horizontes decimétricos, en la parte superior, que podrían corresponder a cenizas cementadas por sal o restos de riolitas con abrasión salina, con abundante biotita. La base no está expuesta.

### Evolución Teórica de LdIS

En la Depresión Central (aquí, Pampa del Tamarugal) se ha desarrollado, en el Cenozoico Superior, una intensa actividad sedimentaria lacustre, sincrónica al desarrollo volcánico-sedimentario en el actual sector de la Alta Cordillera. Esto se traduce en un importante aporte de elementos desde los sistemas volcánicos orientales hacia la Depresión Central. Este se efectúa a través de aguas subterráneas y superficiales y como aportes directos a través de erupciones.

Las secuencias que representan esta evolución afloran en las profundas quebradas al norte de Zapiga o en el cañón del río Loa. Corresponden a limolitas, margas, calizas, diatomitas, areniscas, conglomerados, evaporitas y lentes de sílice. Paleocanales indican la organización de sistemas fluviales en y entre las zonas lacustres.

Resulta evidente el desarrollo de un clima más húmedo durante esos procesos; sin embargo, esta se habría generado mayoritariamente hacia el este de la Depresión Central en la entonces divisoria de aguas. La presencia de macrofauna, con la excepción de algunos Megaterios que podrían haber habitado oasis, es escasa. Esto indicaría que las aguas eran relativamente saladas, y se puede especular sobre un clima semiárido y que, probablemente, la Depresión Central era una especie de puente entre dos franjas con mayor desarrollo orgánico, la Puna y la Cordillera de la Costa. Es posible que, en una primera etapa, sólo existiera uno o dos grandes lagos, incluyendo el lago Soledad<sup>1</sup>. Posteriormente, efectos combinados de mayor aridez, tectonismo, aislamiento de cuencas parciales y organización de drenajes produjeron desequilibrios entre aportes y evaporación. Algunos lagos comienzan a evolucionar a lagos salados o amargos y otros a salares con gran aumento en la salinidad de las salmueras. En el caso del Lago Soledad se estima que su límite norte sería el sector de Lagunas coincidiendo con facies marginales

formadas por los potentes depósitos de anhidrita allí existentes. Hacia el sur, aproximadamente Quillagua. Hacia el oeste varios km al occidente de Cerro Soledad. Al este el límite está obliterado por conos aluviales actuales. La profundización de canales y consecuente erosión retrógada se habría producido esencialmente por tectonismo.

En esta etapa se emplaza parte del actual río Loa, drenando hacia el mar no solamente los lagos sino las salmueras de los salares. En esta etapa se pierde la porosidad de las sales y se produce la compactación. Posteriormente, el actual régimen de flujos laminares y avenidas destruye la mayor parte de los salares quedando sólo remanentes centrales de núcleos (LdIS), borde (Lagunas) y paleorreliques islas (Cerro Soledad con sus bordes de costras). La halita disuelta, en gran volumen, y debido a su mayor producto de solubilidad, es transportada, preferentemente como agua subterránea, hacia al actual cuenca del Salar Grande.

### Edad

Los antecedentes conocidos asignan estas evaporitas a la Formación Soledad que es datada como pleistocena-holocena por sobreyacer a la Formación El Loa, de edad mínima plio-pleistocena<sup>8</sup>. Sin embargo, resulta difícil, en general, datar este tipo de depósitos salinos.

LdIS es un paleosalar que, en su parte superior incluye el mismo tipo de cubierta salina que los salares de las Pampitas (Acha, Tana, Tiliviche). Estos salares están cortados por los drenajes de Vitor, Garza, Camarones, Suca, Camiña, Tana y Retamilla, que se habrían comenzado a emplazar en el Mioceno superior y el Plio-Pleistoceno<sup>5</sup>. Esto indica que los salares de las Pampitas y sus correspondientes 'tortillas de anhidrita' podrían tener una edad máxima pre miocena superior. Asimismo se puede asumir que estos paleosalares de LdIS sean la parte terminal y/o sincrónica de estos cuerpos lacustres. Sus depósitos estarían representados por las formaciones El Batea y Quillagua del Plioceno y Pleistoceno Inferior, respectivamente<sup>6</sup>. Consecuentemente, las evaporitas de LdIS podrían tener, como mínimo, esa edad.

En el aspecto especulativo se podría pensar que los

niveles de riolitas y/o cenizas de LdIS son equivalentes a aquéllos definidos en el Salar de Atacama con edades entre 2 y 4 Ma. Todos estos antecedentes apuntan a que LdIS tendría una edad neógena superior entre el Mioceno superior y Pleistoceno inferior, más tentativamente cerca de esta última edad.

### Relaciones tentativas entre LdIS, Salar Grande (SG) y Salar de Atacama (SA)

Entre estas tres unidades salinas existen algunas similitudes y posibles relaciones:

- El SG y LdIS son paleosalares fósiles, sin niveles de salmueras. Sin embargo, SG está aún protegido en su cuenca tectónica activa. LdIS, en cambio, es un remanente de un cuerpo de mucho mayor tamaño y completamente erodado.
- LdIS, SA y SG son cuerpos evaporíticos de distinta evolución en el tiempo, pero de características similares (núcleos, zonas marginales de sulfatos, intercalaciones volcánicas).
- En lo que se refiere a relaciones de edad, el SA es de comprobada edad neógena superior (intercalaciones de volcanitas de 2,5 Ma en su parte alta (Bevacqua, comun. personal, 1988). La antigua historia de la cuenca lacustre y el espesor de más de 1.000 m de sal, avalan esta mayor antigüedad. De acuerdo a esto, el SA estaba en evolución cuando la cuenca de LdIS era drenada y destruida. Como lagos, posiblemente, fueron sincrónicos y el primero persistió por el continuo y mayor aporte desde el este.
- Otra relación es la posibilidad de que el SG se formara por el aporte periódico y subterráneo de las salmueras derivadas de la erosión y destrucción de LdIS.
- Finalmente, el Salar de Llamara es una etapa actual y activa que sobreyace a las unidades lacustres y evaporíticas de LdIS.

### Aspectos Económicos

Con la excepción de sal gema de calidad mediana y de anhidrita y yeso con enormes reservas, LdIS no presenta ningún atractivo económico. No se puede especular que en la parte no expuesta, la composición vaya a cambiar.

## Referencias

1. Brüggén, J. 1950. Fundamentos de Geología de Chile. *Instituto Geográfico Militar*, 374 p. Santiago.
2. Chong, G. 1988. The Cenozoic saline deposits of the Chilean Andes between 18° and 27° south latitude. *In* The Southern Central Andes. Contributions to Structure and evolution on an active continental margin (Balburg, H.; Breitzkreuz, C.; Giese, P.; editors). *Lecture Notes in Earth Sciences, Springer-Verlag*, No. 17, p. 137-151. Berlin.
3. Hoffstetter, B.; Fuenzalida, H.; Cecioni, G. 1957. Lexique Stratigraphique International. *Centre de Recherches Scientifique*, Vol. 5, No. 7, 444 p. Paris.
4. Maksaev, V.; Marinovic, N. 1980. Cuadrángulos Cerro de la Mica, Quillagua, Cerro Posada y Oficina Prosperidad. Región de Antofagasta. *Instituto de Investigaciones Geológicas, Carta Geológica de Chile, Nos. 45 al 48*, 60 p. Santiago.
5. Mortimer, C. 1980. Drainage Evolution in the Atacama Desert of Northern Chile. *Revista Geológica de Chile*, No. 11, p. 3-28. Santiago.
6. Naranjo, J.A.; Paskoff, R.P. 1982. Estratigrafía de las unidades sedimentarias cenozoicas de la cuenca del Río Loa en la Pampa del Tamarugal, Región de Antofagasta. *Revista Geológica de Chile*, No.15, p. 49-57. Santiago.
7. Rieu, M. 1975. Les formations sedimentaires de la Pampa del Tamarugal et le Río Loa ('Norte Grande du Chili'). *Cahiers ORSTOM, Série Géologie*, Vol. 7, No. 2, p. 143-164. Paris.
8. Skarmeta, J.; Marinovic, N. 1981. Hoja Quillagua, Región de Antofagasta. *Instituto de Investigaciones Geológicas, Carta Geológica de Chile, No. 51*, 63 p. Santiago.

---

El presente trabajo fue realizado en el contexto del Proyecto Fondecyt 786/87.

---