

## CONSECUENCIAS HIDROLOGICAS DE LA EXPLOTACION DEL SALAR DE ATACAMA, NORTE DE CHILE

L. Mardones\* y G. Chong\*

### Introducción

El Salar de Atacama presenta características que lo diferencian de otros salares<sup>1</sup>, entre éstas una gran variedad de lagunas, originadas por causas diversas, cuya alimentación puede provenir de corrientes superficiales, de acuíferos libres o de acuíferos confinados. Según el tipo de formación presentan diferentes salinidades. Estas lagunas ocupan aproximadamente una superficie de 14 km<sup>2</sup> y se ubican principalmente en sectores periféricos del Salar. Dichas lagunas están separadas del sector central de mayor saturación de sales, por una barrera de sedimentos finos, que regulan el paso del agua desde la zona de recarga hacia la zona más deprimida, condicionando que finalmente lleguen a este sector sólo los residuos de la recarga. Estos residuos que constituyen la recarga de las salmueras, se presentan altamente concentrados en elementos tales como litio, potasio y boro, los cuales son objeto de explotación intensiva por parte de la Compañía Chilena del Litio. Se piensa, no obstante, que la extracción de estas salmueras dadas las condiciones hidrológicas del Salar no tendrá una influencia determinante en el comportamiento de las lagunas.

El Salar de Atacama es una Cuenca evaporítica del tipo Preandino<sup>2</sup> ubicada en el sector centro oriental de la Segunda Región de Antofagasta (23°30'S y 68°15'W, Fig. 1) a una altitud del orden de 2.300 m s.n.m. con una superficie de unos 3.000 km<sup>2</sup>. Se emplaza en la parte más baja de una hoya hidrográfica que tiene unos 15.000 km<sup>2</sup>. El Salar de Atacama es el de mayor tamaño y uno de los más antiguos del país. Una característica

sobresaliente es que posee una zonación de sus unidades detríticas y salinas. De acuerdo a esto, se puede observar que los materiales clásticos aparecen desde la parte más externa de la cuenca, diferenciados por su granulometría. Asimismo, las sales se distribuyen de acuerdo a su producto de solubilidad lo que se traduce, en una generalización, en una franja externa de sulfatos con carbonatos subordinados y una parte central clorurada, conocida como núcleo<sup>3</sup>.

Los recursos hídricos recibidos por el salar, se estiman en unos 5.400 litros/segundo, de los cuales 4.700 son aportados subterráneamente, a través de acuíferos libres y confinados<sup>1</sup> y el resto en forma superficial, un gran porcentaje de estos aportes van a alimentar lagunas que se disponen principalmente en los bordes y en las partes norte y sur del Salar, dejando un residuo de salmueras de alta salinidad y con algunos elementos de importancia económica (Li, K, B, Mg) que se concentran en el núcleo.

Debe considerarse que una serie de lagunas que se forman en el Salar y que son escritas en este trabajo, son el medio donde vive una abundante fauna y se desarrolla una variada flora. El uso de salmueras del salar puede, en condiciones específicas, traer graves consecuencias al desarrollo de este hábitat.

### Lagunas y Agua Subterránea

La parte mayoritaria de los aportes llegan a la cuenca del salar por el norte, este y sur. El sistema de recarga condiciona la formación de diversas lagunas que alcanzan una superficie cercana a los 14 km<sup>2</sup>, los cuales se emplazan principalmente en sectores periféricos. Sus condiciones de formación son diferentes, lo que permite distintos grados de concentración de elementos salinos.

De acuerdo a esto, los acuíferos confinados determi-

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

nan, especialmente en la parte norte del salar, la formación de lagunas que se emplazan en estructuras de colapso ('sink holes'). Estas se generan por la disolución del basamento subterráneo, especialmente carbonatos aunque, en este caso, también podría deberse a la disolución parcial de sulfatos; otro tipo de lagunas se produce por la acumulación a lo largo de escorrentías superficiales. Un tercer grupo debe su formación a surgencias de aguas subterráneas debido a afloramientos de acuíferos confinados; cerca de la superficie; en los bordes del Salar y principalmente a lo largo de estructuras. Finalmente, otro tipo de lagunas se forman debido a afloramientos de acuífero libre en los bordes de la zona de interfase.

#### *Características de los Distintos Tipos de Lagunas*

1. Las lagunas que se producen debido a la acumulación de escorrentías superficiales son de superficies relativamente extensas (0,5-1,0 km<sup>2</sup>) con un espesor de agua de orden centimétrico. Sus aguas están totalmente expuestas a los procesos de evaporación. Se pueden separar dos subtipos:
  - a. En el borde noroccidental del Núcleo del Salar, se forman por la acumulación de aguas del río San Pedro y sus aguas son de alta concentración salina.
  - b. En el borde nororiental y sur del núcleo del Salar, las lagunas se forman por la acumulación de surgencias de aguas subterráneas provenientes del acuífero confinado. En este caso las aguas se van acumulando y concentrando, progresivamente, a través de los procesos de evaporación.
2. Las lagunas emplazadas en estructuras de colapso ('sink-holes') se pueden dividir en tres tipos desde el punto de vista morfológico:
  - a. Depresional: Un caso típico es la Laguna Tebenquiche (esquemático en la Fig. 2a), que, con una superficie de más de un kilómetro cuadrado, tiene un espesor de agua desde centímetros a decímetros. Se ha formado por la superposición de varias estructuras de colapso, cuyos bordes aún son observables. La depresión intercepta el nivel freático recibiendo las recargas del acuífero (Fig. 2a). Las aguas son evaporadas a partir de la superficie libre del agua. Esto produce un doble efecto ya que, por una parte, hay sales que precipitan al fondo de las cuencas mientras que otras enriquecen las salmueras en sólidos disueltos.
  - b. Tipo Pozo: Corresponden a una depresión de forma cilíndrica, de paredes verticales, muy regular, que pueden alcanzar hasta cerca de un kilómetro de diámetro (Fig. 2b). Al igual que en otras estructuras de disolución, las sales disueltas a profundidad, producen una cavidad que, posteriormente origina los desplomes, y luego el relleno por las aguas. Estas son de bajas concentraciones salinas y con valores muy próximos a las aguas subterráneas circundantes. Esta situación obedece a una menor intensidad de la evaporación, a un menor tiempo de residencia del agua y a una menor remoción de la masa de aire saturado.
  - c. Tipo cavidad de disolución: En este caso se generan cavidades muy próximas a la superficie del terreno, las cuales provocan el colapso del techo y la posterior formación de la laguna (Fig. 2c). Se caracterizan por presentar aguas de alta salinidad en relación a las aguas subterráneas circundantes.
3. Lagunas producidas en las zonas de interfase
 Este tipo de lagunas se presentan, de preferencia, en los márgenes del Núcleo del Salar. Se generan por el ascenso de aguas de baja salinidad provenientes de la recarga natural del acuífero libre cuando se reduce la superficie de salida del agua subterránea en el frente de la zona de interfase. De acuerdo a esto, la reducción de la superficie de salida y el acuífamiento de las aguas menos salinas frente a las concentradas del salar, ocasionan un incremento en la velocidad de flujo, acercándose a la superficie del terreno, lo que determina una suerte de surgencia de aguas. Estas surgencias forman una especie de 'rosario' de lagunas alineadas a lo largo de la superficie de interfaz (Fig. 3).

#### **Consecuencias que pueden esperarse de la explotación de las Salmueras del Salar**

Como es conocido, en el Salar de Atacama existe una explotación de sus salmueras para la obtención de litio y potasio por parte de la Compañía Chilena del Litio que tiene una producción anual del orden de 10.000.000

FIGURA 1 UBICACION DEL AREA DE ESTUDIO

Chile

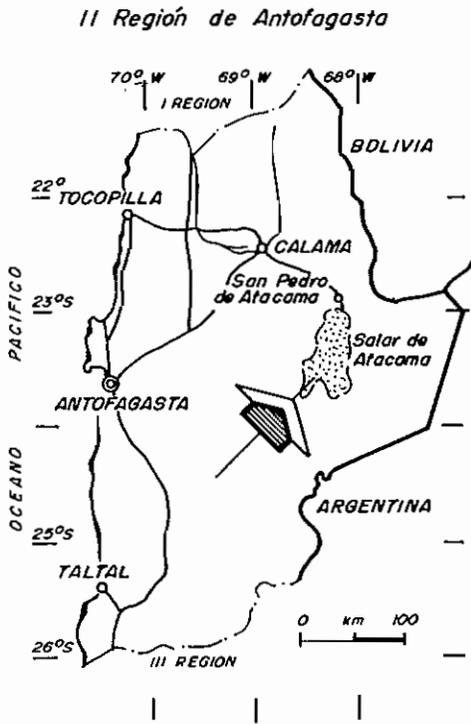
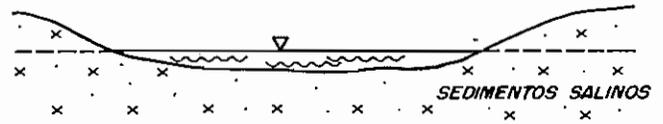
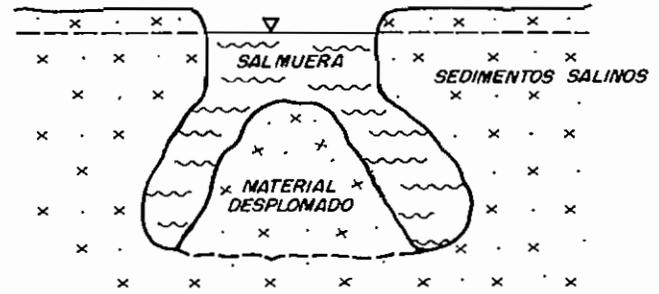


FIGURA 2 LAGUNAS PRODUCIDAS POR ESTRUCTURAS DE COLAPSO

a Tipo Depresional



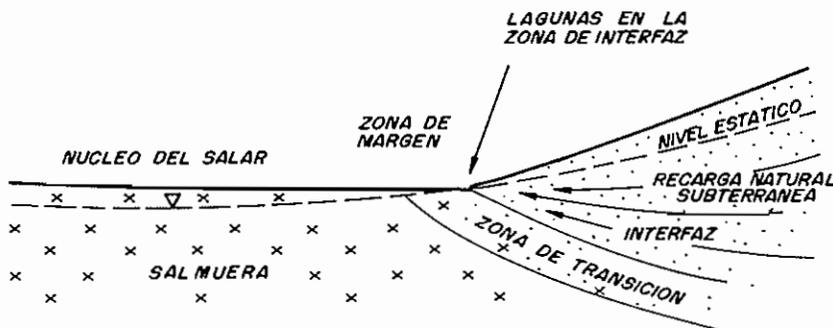
b Tipo Pozo



c Tipo Cavity de Disolución



FIGURA 3 LAGUNAS PRODUCIDAS EN LA ZONA DE INTERFAZ



lb/año de carbonato de litio. Asimismo, existe un proyecto en estudio que considera otra explotación de salmueras (Proyecto Minsal) que considera recuperar Litio, Potasio y Boro, a partir de  $30 \times 10^6$  t de salmuera anualmente.

Todas estas salmueras son explotadas de la unidad salina conocida como Núcleo. Las salmueras en el Núcleo del Salar no están expuestas en la superficie, encontrándose a una profundidad promedio del orden de 0,5 m; a su vez, el Núcleo salino, saturado en salmueras, está rodeado por una unidad salino-sedimentaria de material fino, aproximadamente coincidente con una zona lateral de transición. Esta franja lateral puede presentar anchos de varios kilómetros. La gradiente hidráulica en ella es baja y decreciente en el sentido del Núcleo. Asimismo, la unidad está afectada por una inmensa evaporación, de tal manera que el Núcleo, donde la porosidad es alta, será el lugar donde se concentren los residuos de la recarga.

De acuerdo a esto se puede concluir que la explotación racional de las salmueras en el sector del Núcleo del Salar no va a tener una influencia marcada en el

comportamiento hidrológico de las lagunas. Esto se debe a que el borde mencionado evitará las variaciones en los niveles de agua en las lagunas conectadas subterráneamente y no tendrá influencia en las lagunas de origen superficial.

Por otra parte, esto también hace considerar que una utilización mayor que la actual de las escorrentías superficiales, provocaría un efecto negativo inmediato y haría desaparecer la mayor parte de las lagunas del Salar.

### Referencias

1. Mardones, P.L. 1986. Características geológicas e hidrogeológicas del Salar de Atacama. In *El Litio un nuevo recurso para Chile* (Lagos, G.; editor). *Universidad de Chile*.
2. Chong, G. 1984. Die Salare in Nordchile-Geologie, Struktur und Geochemie. *Geotektonische Forschungen*, Vol. 67, No. 1-2, p. 1-146. Stuttgart.
3. Moraga, A.; Chong, G.; Fortt, A.; Henríquez, H. 1974. Estudio Geológico del Salar de Atacama, Antofagasta. *Instituto de investigaciones Geológicas, Boletín*, No. 29, 59 p. Santiago, Chile.