

## ANTECEDENTES GEOQUIMICOS DE LOS DEPOSITOS SALINOS DEL NORTE GRANDE DE CHILE

P. Campano\* y N. Guerra\*

En el presente trabajo se analizan e interpretan 2.591 datos químicos (Li, Na, K, Mg, Ca, Cl<sup>-</sup>, SO<sub>4</sub><sup>=</sup>, CO<sub>3</sub><sup>=</sup>, B<sub>2</sub>O<sub>4</sub>), procedentes de 23 depósitos salinos distribuidos desde la Cordillera de los Andes hasta la Cordillera de la Costa<sup>1, 2, 3</sup>. Estos depósitos, ubicados entre los 18° y 27°S se clasifican en Salares Andinos, Preandinos, de la Depresión Central y de la Cordillera de la Costa, según sus características geomorfológicas y geográficas<sup>4, 5, 6, 7</sup> (Fig. 1).

El marco geológico de los depósitos salinos está constituido por potentes series de rocas volcánicas de edad terciaria superior-cuaternaria, de composición principalmente andesítica, riódacítica y riolítica, con escasos afloramientos de basamento paleozoico y mesozoico. Estas rocas, sometidas a los procesos de meteorización (incluyendo importante lixiviación y erosión), constituyen la fuente principal de los elementos químicos acumulados en los depósitos salinos; además, diversos elementos químicos son aportados directamente por el volcanismo y la actividad geotermal<sup>4</sup>.

Los elementos químicos derivados de estos procesos, son transportados esencialmente por el agua y su depositación se efectúa de acuerdo a los respectivos valores del producto de solubilidad; éste dependerá de la concentración relativa de las distintas especies iónicas y de la temperatura, lo que, sumado a las características climáticas de esta región del territorio, en especial la escasa precipitación y la alta tasa de evaporación solar, determinan la secuencia de precipitación de las diferentes sales<sup>4, 8</sup>. La recarga hidrológica salina del conjunto de las cuencas evaporíticas es controlada por la pendiente regional existente desde la Cordillera Andina hacia la Depresión Central.

En este estudio se ha podido establecer que individualmente estos grupos de salares presentan características químicas distintivas, pero que, sin embargo, su evolución como conjunto está relacionada directamente con los sistemas hidrogeológicos alimentadores y con las propiedades físicoquímicas de los compuestos salinos en solución. Estas características se reflejan en la composición química de las salmueras y costras salinas, determinándose la existencia en ambas fases de una variación composicional desde una asociación inicial cálcico-magnésica, en los salares andinos, hacia una asociación de carácter sódico-potásica, en los depósitos salinos ubicados al oeste de la Cordillera de los Andes.

### Salmueras

Los valores de las razones (Na+K)/(Ca+Mg) aumentan desde los salares andinos a los de la Depresión central, reflejando la progresiva remoción de los iones calcio y magnesio (Tabla 1). Es importante señalar que el estudio de las razones SO<sub>4</sub><sup>=</sup>/Cl<sup>-</sup> demuestra que la mayoría de las salmueras estudiadas son cloruradas (razón menor que 1). Las únicas salmueras sulfatadas, son aquellas presentes en las lagunas Miñiques, Miscanti y Lejía de los salares andinos; y Llamara y Lagunas entre los de la Depresión Central.

Los salares preandinos son los que concentran las mayores cantidades de Li, cuyo mayor enriquecimiento en las salmueras, va asociado a un aumento de la concentración de Cl<sup>-</sup>.

La representación de la abundancia relativa de Na, K, Mg y Ca mediante un diagrama triangular (Figs. 2, 3), permite delinear una secuencia de evolución química desde el término cálcico-magnésico hacia el sódico-potásico, desde las salmueras de los depósitos salinos andinos a las de los salares de la depresión central.

\* Universidad Católica del Norte, Departamento de Ciencias Geológicas, Casilla 1280, Antofagasta.

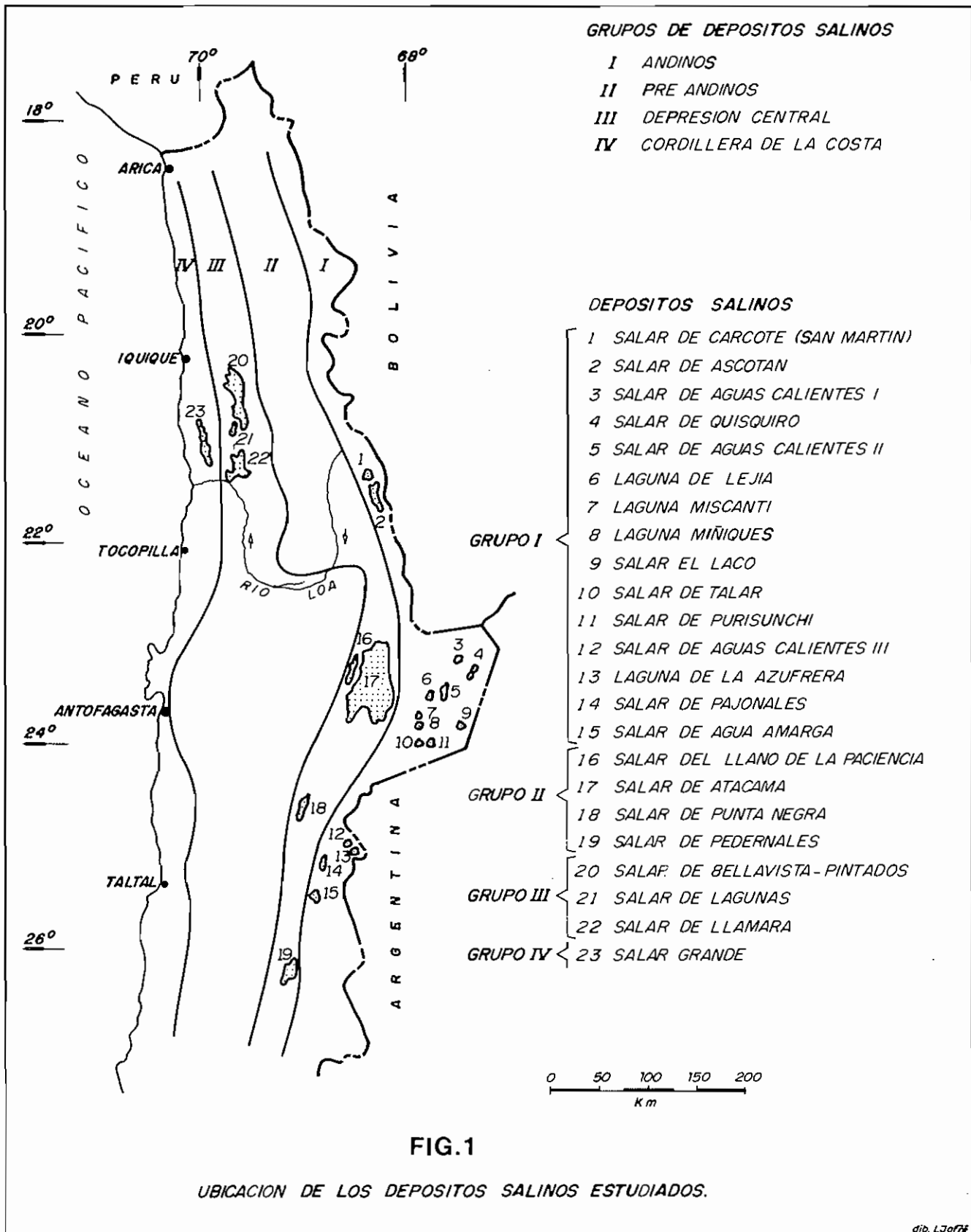


Tabla 1.

Salares	Na + K		Na		K		SO <sub>4</sub>		SO <sub>4</sub> + CO <sub>3</sub>	
	Ca + Mg		Ca + Mg		Ca + Mg		Cl <sup>-</sup>		Cl <sup>-</sup>	
	SAL	COS	SAL	COS	SAL	COS	SAL	COS	SAL	COS
Andinos	5,59	0,34	5,18	0,32	0,41	0,02	0,85	2,83	0,71	23,81
Pre- Andinos	20,46	33,30	19,00	32,80	1,48	0,31	0,05	0,10	0,06	0,13
De la Depresión Central	33,00	25,50	29,60	25,30	3,51	0,21	5,56	0,30	5,40	0,32

SAL: salmueras; COS: costras.

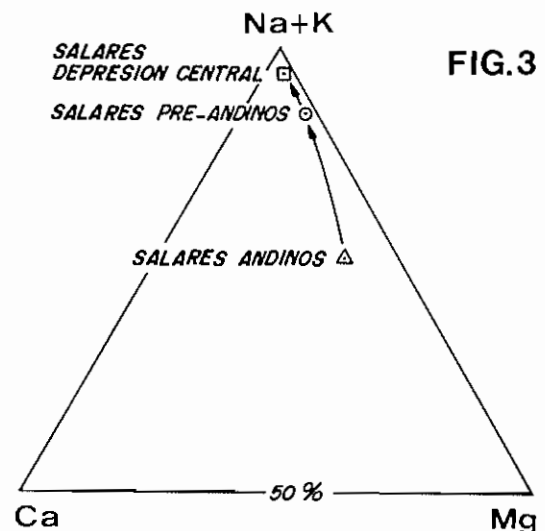
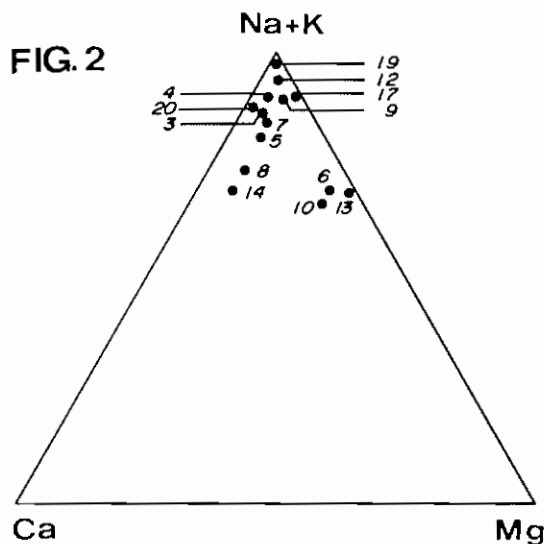
El contenido de Boro muestra una tendencia definida a presentar valores más altos en los salares andinos, para luego decrecer en los preandinos, encontrándose las concentraciones más bajas en aquéllos de la depresión central; la excepción es el salar de Lagunas, que presenta contenidos de intervalo intermedio.

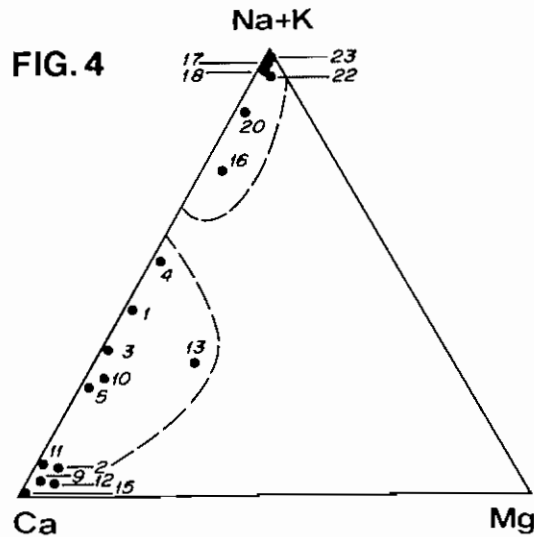
### Costras

Las concentraciones de Na y Cl en todos los salares estudiados muestran una clara correlación positiva, como es de esperar. Los contenidos promedio de cada grupo de salares tienen una tendencia a presentar valores más altos de ambos elementos, desde los salares andinos hacia los de la Cordillera de la Costa; esta característica, al mismo tiempo, permite separar los cuatro grupos de salares citados.

Sin embargo el K, que es en general menos abundante, no revela una correlación definida con el Cl debido, probablemente, a la mayor tendencia que presenta este elemento a ser adsorbido por la fracción detrítica arcillosa de los sedimentos evaporíticos. Los minerales arcillosos poseen una reconocida capacidad de intercambio iónico, lo que favorecería la remoción de K de las salmueras y, en consecuencia, provocaría una disminución en el contenido de K de las costras.

En el diagrama triangular de la figura 4, se representa la abundancia relativa de Na, K, Mg y Ca, observándose que los depósitos salinos se distribuyen mayoritariamente a lo largo del eje (Na+K)-Ca. Los salares preandinos, aquellos de la Depresión Central y los de la Cordillera de la Costa se agrupan en el vértice (Na+K) del diagrama; esta conducta geoquímica se observa con mayor claridad en la figura 5 donde se han graficado los promedios de





los contenidos de los cuatro grupos de depósitos.

El control fisicoquímico de la precipitación, junto a las condiciones excepcionales del desierto de Atacama, en especial su aridez, imprimen a las fases sólidas de los depósitos salinos ciertas características químicas desarrolladas espacialmente de este a oeste, reflejándose en parte en el incremento de la razón  $\text{Na}/\text{Ca} + \text{Mg}$ , desde los depósitos salinos andinos hacia aquéllos de la depresión central. Por otra parte, las razones  $\text{SO}_4 + \text{CO}_3/\text{Cl}^-$  y  $\text{SO}_4/\text{Cl}^-$  muestran una disminución gradual de sus valores en el mismo sentido (Tabla 1).

Finalmente, desde el punto de vista económico, se ha podido establecer que salares tales como: San Martín, Ascotán, Aguas Calientes II, Aguas Calientes III, El Laco, Laguna de la Azufrera y Bellavista-Pintados, presentan elevados contenidos relativos de Mg y Ca en sus costras; en tanto, las salmueras del salar de Talar y Laguna de la Azufrera superan la concentración promedio de Mg del salar de Atacama, que es de 1,23%.

En general, se ha podido concluir que los salares preandinos presentan un mejor potencial como reservorios de Li (salar de Atacama y de Pedernales), mientras que los salares andinos (Aguas Calientes I, Aguas Calientes II, Aguas Calientes III y Quisquiri) tienden a presentar mayores concentraciones de Boro; sin embargo, es interesante destacar los altos conteni-

dos de este elemento que presenta el salar de Bellavista-Pintados situado en la Depresión Central.

### Agradecimientos

En este trabajo se entrega parte de los resultados geoquímicos obtenidos en el proyecto FONDECYT 786/87 'Caracterización geológica, química y mineralógica de los salares chilenos tipo y su consecuente importancia económica'. Los autores manifiestan su agradecimiento al Dr. Jaime Arias, Departamento de Ciencias Geológicas, Universidad Católica del Norte, por sus valiosos comentarios y lectura crítica del texto.

### Referencias

1. Moraga, A.; Chong, G.; Fortt, M.A.; Henríquez, H. 1974. Estudio geológico del Salar de Atacama, Provincia de Antofagasta. *Instituto de Investigaciones Geológicas, Boletín* No. 29, 56 p.
2. Vila, T. 1976. Hidrogeología y distribución zonal de las costras salinas en el salar de Bellavista-Pintados. Norte grande de Chile. *In Congreso Geológico Chileno, No. 1, Actas*, Vol. 2, p. E33-E52. Santiago.
3. Sayes, J. 1978. Geología del Salar de Pintados-Bellavista. Memoria de Título. *Universidad de Chile*.
4. Vila, T. 1975. Geología de los depósitos salinos andinos. Provincia de Antofagasta, Chile. *Revista Geológica de Chile, No. 2*, p. 41-55.
5. Vila, T. 1976. Modelo de distribución y origen de algunos elementos en salmueras de depósitos salinos andinos, Norte de Chile. *In Congreso Geológico Chileno No. 1, Actas*, Vol. 2, p. E65- E82. Santiago.
6. Gajardo, A. 1988. Geología, génesis y distribución geográfica de recursos no metálicos de Chile. *Boletín Minero*, Vol. 103, No. 27, p. 50-59.
7. Chong, G. 1988. The Cenozoic saline deposits of the Chilean Andes between 18°00' and 27°00' south latitude. *In The southern central Andes, contributions to structure and evolution of an active continental margin* (Bahlburg, H.; Breitreuz, Ch. and Giese, P.; editores). *Lectures Notes in Earth Sciences, Springer Verlag*, No. 17, p. 137-151.
8. Hardie, L.A. y Eugster, H.P. 1970. The evolution of closed basin brines. *Mineralogical Society of America, Special Paper*, Vol. 3, p.273-290.