

**ULTIMOS DATOS SOBRE EL SALAR DE UYUNI**  
**RECURSOS ECONOMICOS Y ORIGEN DE LAS CONCENTRACIONES**

En Li, K, Mg, B

---

François RISACHER <sup>x</sup>

---

**I. DESCRIPCION SOMERA DEL SALAR DE UYUNI**

El Salar de Uyuni es la costra de sal más grande del mundo : 10.000 Km<sup>2</sup> (Fig. 1). Tiene hasta 11 metros de espesor en la zona Nor-este. Está constituida de halita (95%) y de yeso (5%). Es muy porosa (35%) y muy permeable. Está rellena con una salmuera intersticial (Fig. 2). Es en esta salmuera que se encuentran disueltos los elementos económicamente interesantes : litio (Li), potasio (K), boro (B) y magnesio (Mg). Debajo de la costra hay sedimentos lacustres impermeables con una porosidad media de 50%, también rellena con una salmuera intersticial. El nivel de la salmuera dentro de la costra sube y baja según la estación.

Esta costra de sal proviene de la sequía, hace 10000 años, de un antiguo lago salado (1) : el lago Tauca (Fig. 3).

Ya se tienen numerosos análisis de las salmueras de la costra de sal ((2), (3), (4), (5), (6), (7)). Esto permite estimar las órdenes de magnitud de las reservas en los elementos económicamente interesantes :

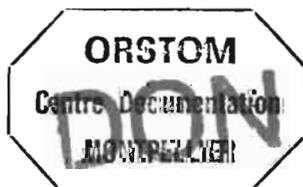
Li :	9 millones de toneladas (récord mundial)
B :	6 " "
K :	150 " "
Mg :	100 " "

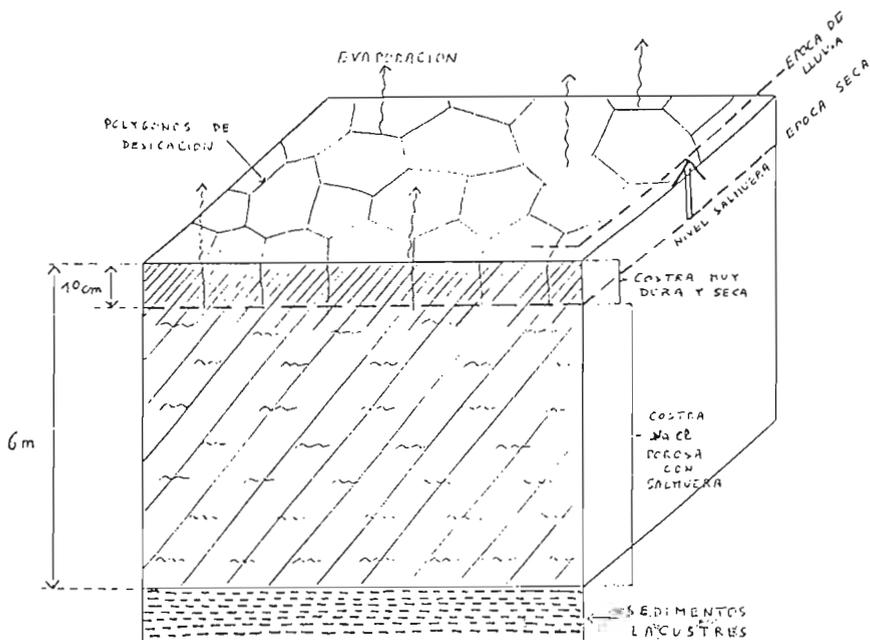
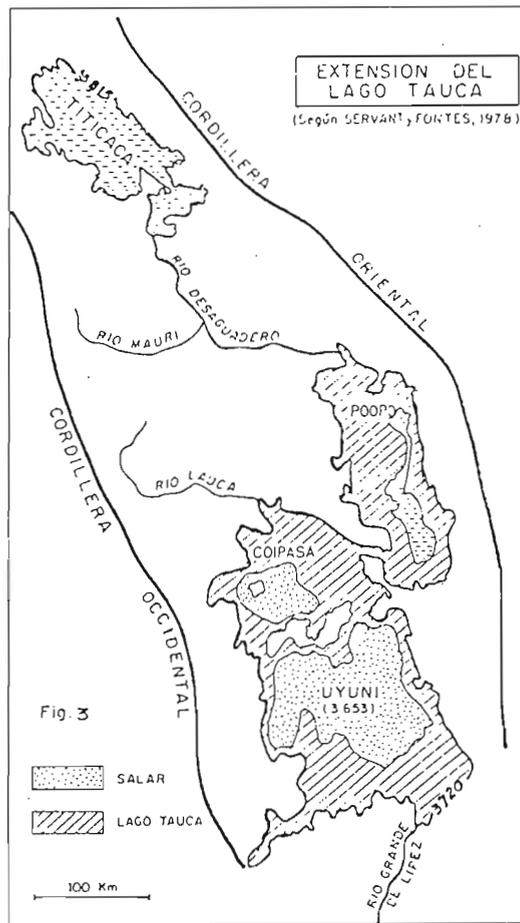
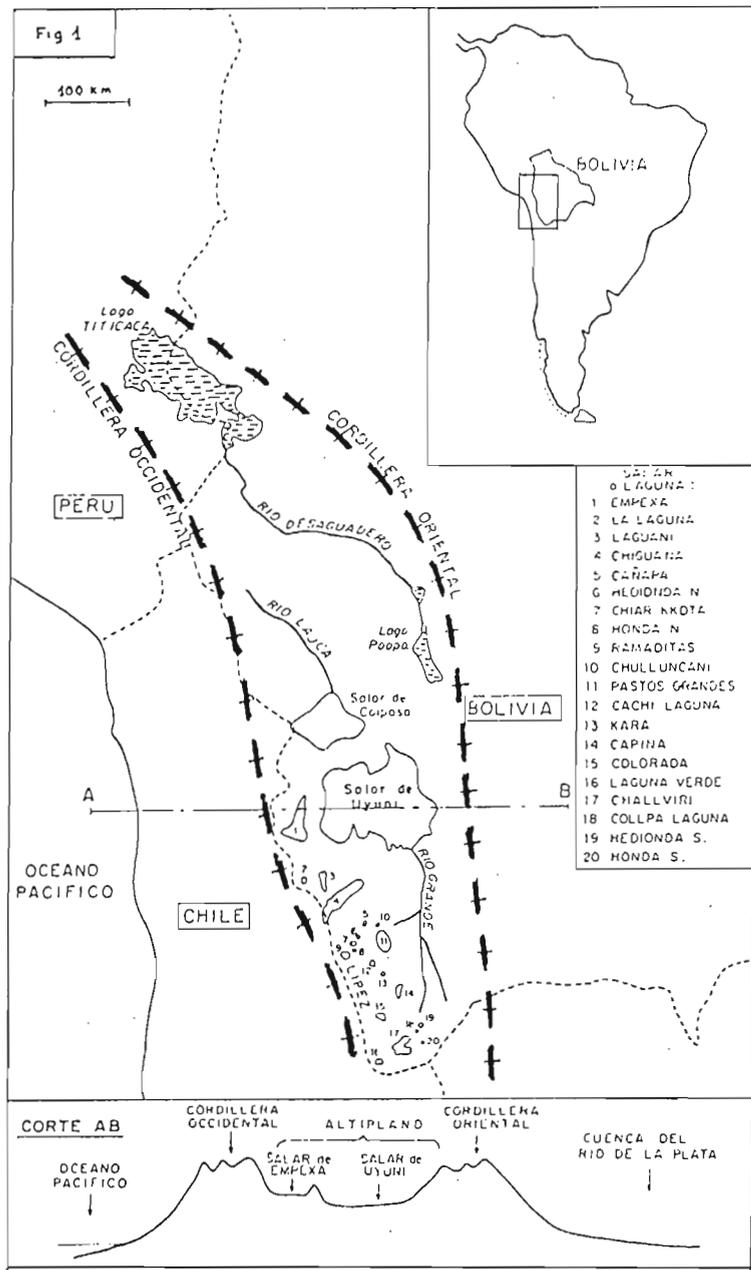
**II. EL PROBLEMA MAYOR**

Conociendo las cantidades de todos los elementos ahora presentes en el salar, y sabiendo que éste proviene de la sequía de un antiguo lago, se puede tratar de obtener la composición química de este lago disolviendo todo lo que hay en el salar en el volumen del antiguo lago.

---

<sup>x</sup> ORSTOM  
 Casilla 8714  
 La Paz - Bolivia





**FIG. 2**  
COSTRA SUPERFICIAL DEL  
SALAR DE UYUNI

Previamente es necesario hacer una corrección con respecto a la cantidad de elementos que han llegado al salar desde hace 10.000 años. La composición química que se obtiene del antiguo lago es muy particular. No tiene ninguna relación con el quimismo de todos los manantiales, ríos y lagos del Altiplano (Fig. 4). La cantidad de Li, K, B y Mg es inferior a la de cloruro de sodio (8).

Si el antiguo lago hubiera tenido una composición similar a la de todas las demás aguas y salmueras del Altiplano, hoy día el salar debería tener 100.000.000 de toneladas de Li (y no las 9.000.000 que existen actualmente).

Una explicación parcial es que el lago Tauca ha redissuelto una costra de sal similar a la actual. Si un nuevo lago se establece ahora en el Altiplano central, este lago redissolvería una gran parte de la costra, enriqueciéndose mucho más en NaCl en relación a todos los demás componentes.

Sin embargo, esta no es una explicación muy satisfactoria; sólo desplaza el problema al pasado : por qué el lago anterior al Tauca tenía una composición tan particular ?

Una de las hipótesis es que los elementos que aparentemente faltan se hubieran infiltrado lentamente en los sedimentos, por debajo de la costra. Para verificarlo, hemos conseguido una pequeña perforadora saca-testigo con la que hemos hecho varios pozos. El más profundo, en la zona central del salar, alcanzó una profundidad de 121 metros.

### III. EL POZO CENTRAL

Debajo de la costra superficial, hemos encontrado 11 costras suplementarias separadas por niveles lacustres (Fig. 5). Todo el perfil está saturado por una salmuera intersticial al igual que en la costra superficial.

Inmediatamente observamos que el espesor de las costras aumenta con la profundidad y que, al contrario, el espesor de los niveles lacustres disminuye.

En la figura 5 presentamos el perfil de concentraciones en Li, de las salmueras intersticiales de todo el perfil. Se puede observar :

- que las concentraciones son uniformes en las costras
- que las concentraciones son variables en los sedimentos

Al parecer, en la zona más espesa en sedimentos lacustres, se produce una notable disminución del contenido en Li de las

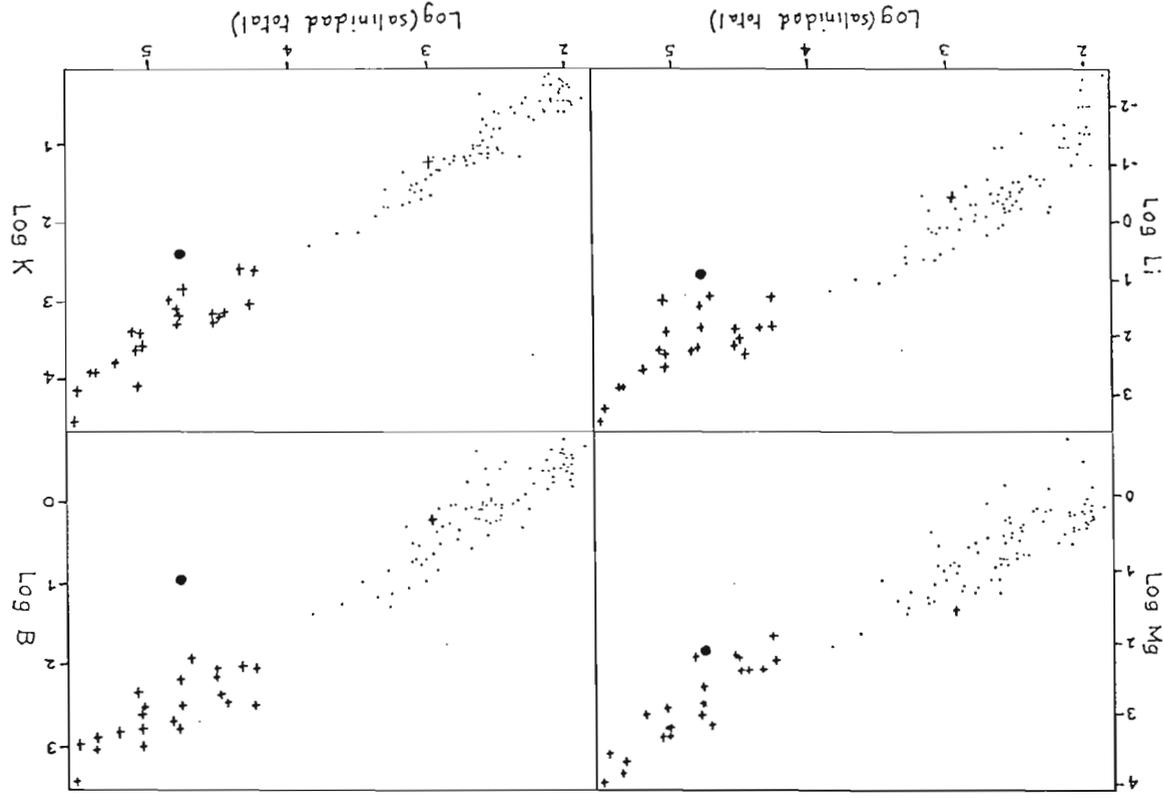


FIG. 4 Comparación de la composición química del lago Tauca con las composiciones de las vertientes, ríos y lagos del Altiplano

• Ríos y vertientes  
 + lagos actuales  
 ● Lago Tauca

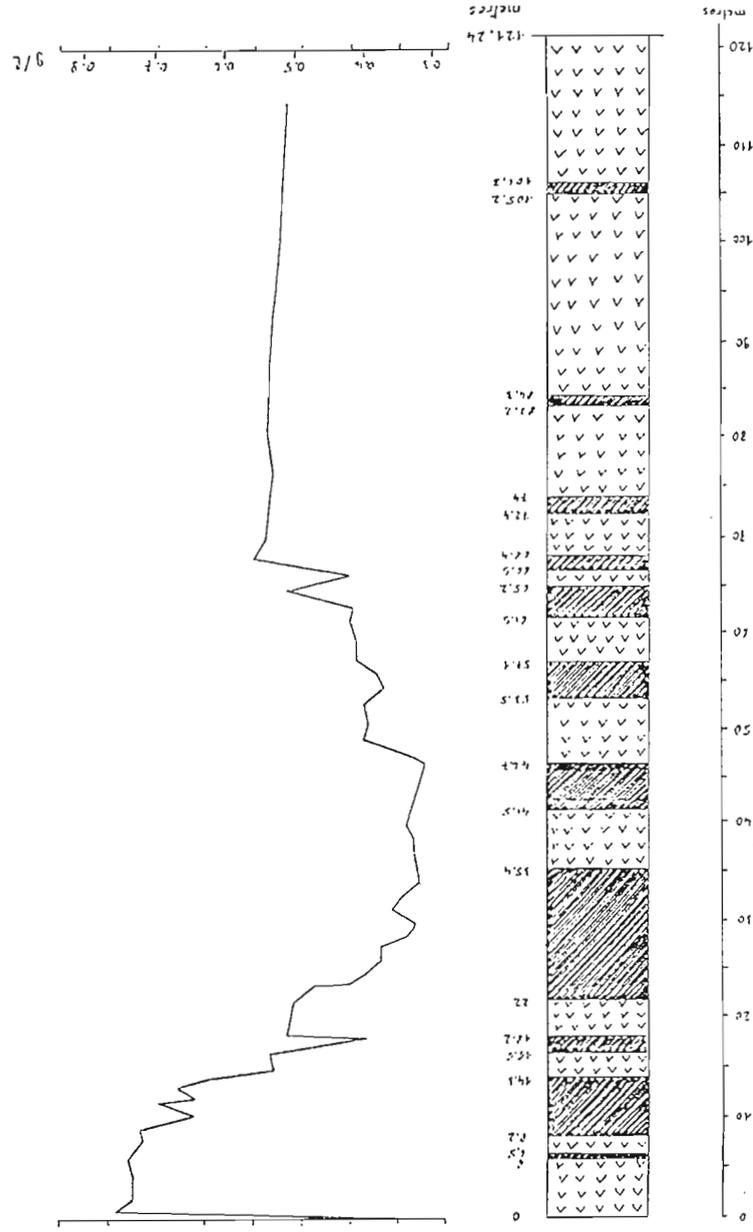


FIG. 5 UYU - PA Perfil del Pozo Central

salmueras. Esto se debe probablemente a neoformaciones arcillosas (9) dentro de los sedimentos que producen esmectitas con cierto contenido de Li. Un balance simple muestra que la disminución en Li (así como en Mg y K) corresponde a una cantidad de arcillas neoformas en una proporción mínima con respecto al porcentaje total de la masa de sedimentos. Es probable que el boro sea utilizado por las illitas y los micas, muy abundantes en la fase detritica de los sedimentos lacustres.

Nos hallamos, por lo tanto, ante un mecanismo que puede explicar la falta de Li, K, B y Mg en las salmueras. Sin embargo, este proceso sólo da cuenta de una pequeña fracción (10%) de lo que teóricamente falta.

Si la hipótesis de una infiltración, anteriormente señalada, fuera válida, deberíamos encontrar concentraciones mucho más elevadas en profundidad, lo que no ocurre. La anomalía que subrayamos al principio refiriéndonos a la costra superficial, es válida para cada una de las demás costras. Por lo tanto, resulta difícil mantener la hipótesis de una infiltración de Li, K, B y Mg; por lo menos en el caso de la zona central del salar.

La nueva hipótesis es que no hay una mayor deficiencia en Li, K, B y Mg en las salmueras, sino un exceso en NaCl. Esto es sugerido por las gruesas capas profundas de halita. Parece que ha entrado mucho más NaCl en la cuenca de Uyuni que en cualquier otro lago del Altiplano. Se supone que hubo una disolución de halita en antiguas evaporitas de la cuenca de drenaje. Existen muchos diapiros de yeso alrededor del salar. Es posible que, hace cientos miles de años, estos diapiros contuvieran también NaCl que fue poco a poco lixiviado. Queda un indicio: las aguas que lixivian cerca de Corocoro (Ulloma) contienen mucha halita que es explotada por los lugareños.

La actual costra de sal ha podido ser redisuelta y reprecipitada varias veces, transmitiendo cada vez, la anomalía inicial. Pero, como ahora entra mucho menos NaCl que antes, las proporciones en Li, K, B y Mg aumentan. Esta puede ser la razón por la cual la última costra es la más concentrada de todas.

#### IV. LA ZONA DE RIO GRANDE

La zona más concentrada en Li, K, B y Mg está ubicada al sud-Este del salar, muy próxima a la desembocadura del Río Grande de Lípez. La figura 6 presenta las curvas de isoconcentración en Li de esta zona del salar (8).

Se han hecho varios pozos en esta zona, manuales y con perforadora. La figura 7 presenta un perfil longitudinal de este sector del salar. La localización de este perfil está indicada en la figura 6.

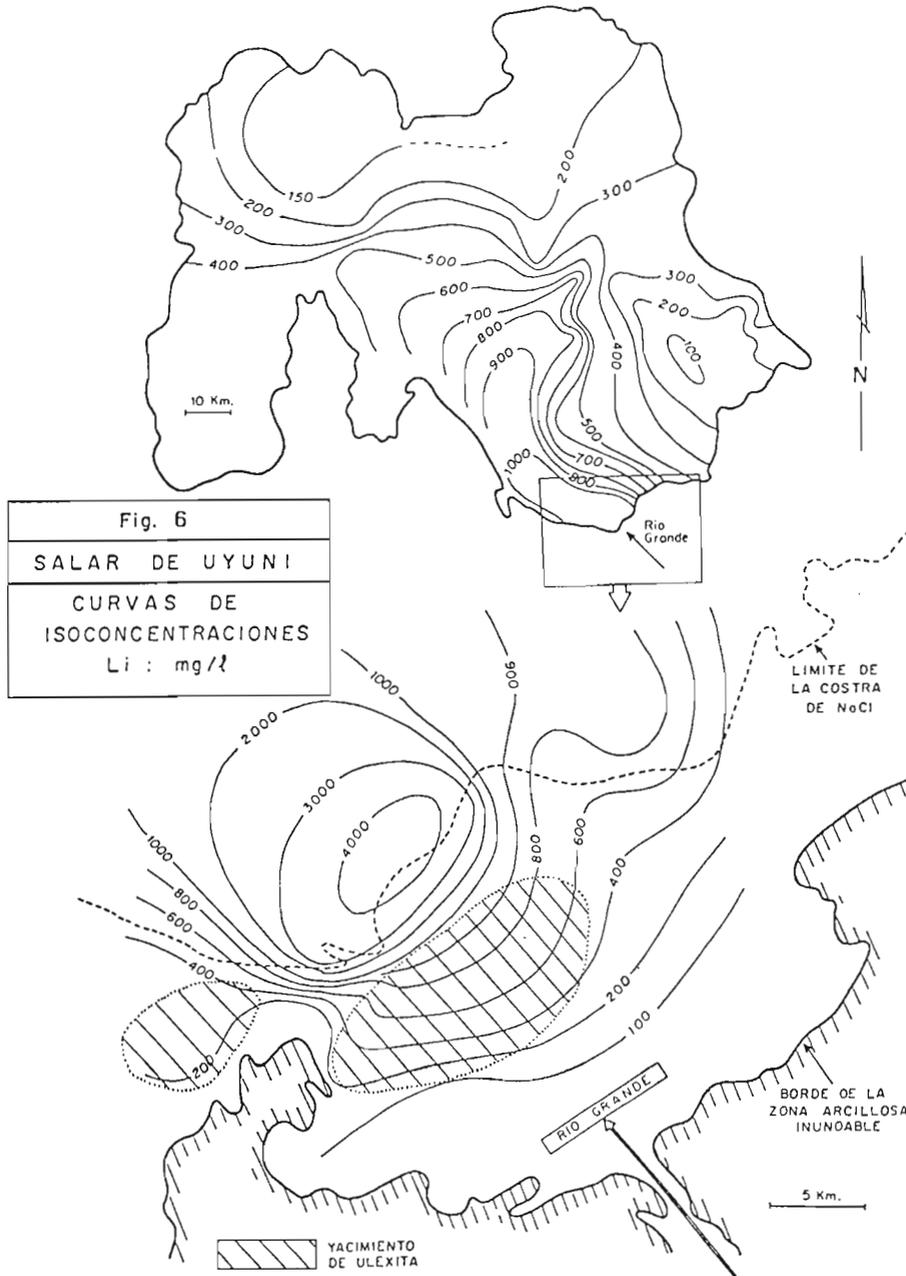


Fig. 6  
SALAR DE UYUNI  
CURVAS DE ISOCONCENTRACIONES  
Li : mg/l

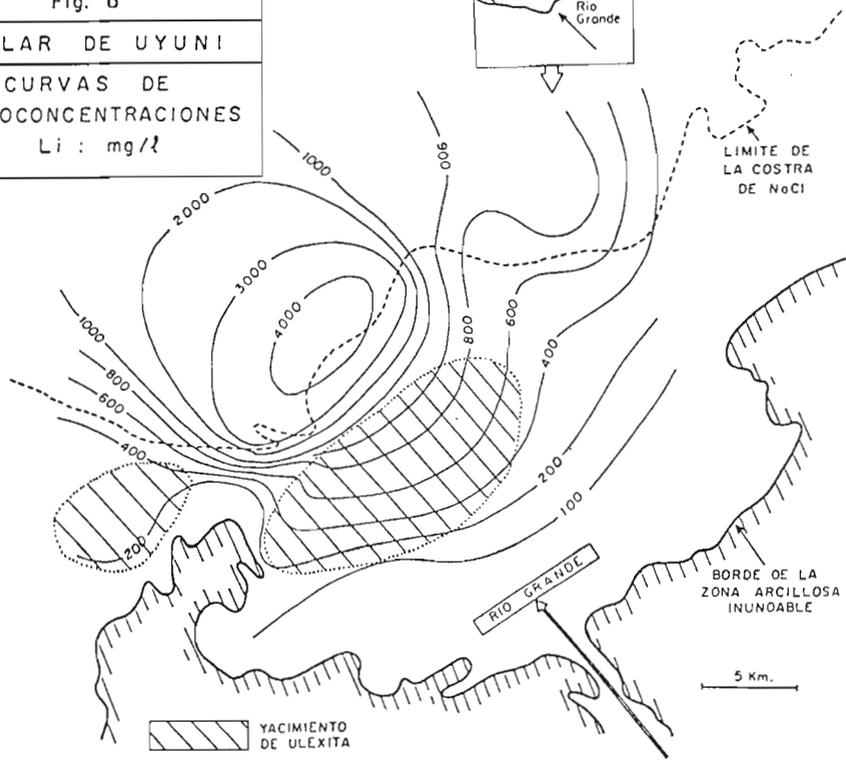
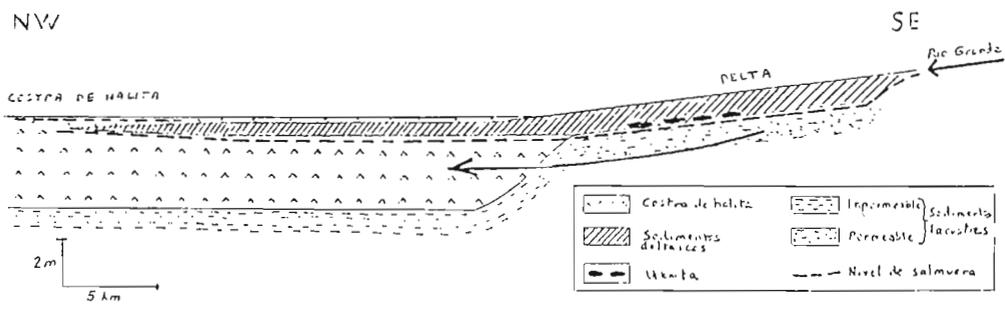
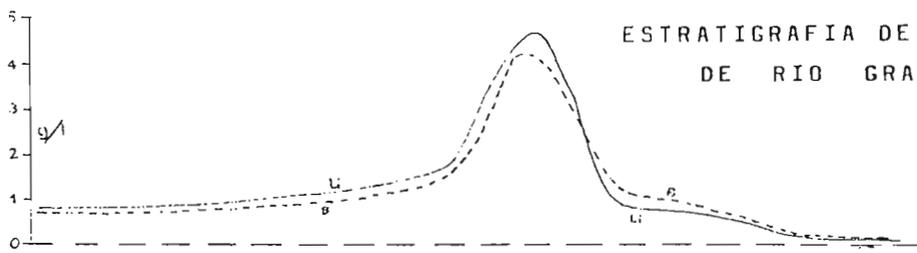


Fig. 7  
ESTRATIGRAFIA DE LA ZONA DE RIO GRANDE



Se observa que existen tres unidades estratigráficas :

- un nivel base de sedimentos lacustres
- la costra de halita
- una capa de sedimentos deltáicos que se intercala en la costra de sal.

El Río Grande alimenta una capa de salmuera subterránea que se mueve hacia la costra de sal, concentrándose progresivamente y depositando lentes de ulexita ( $\text{Na Ca B}_5 \text{O}_9 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$ ) dentro de los sedimentos deltáicos.

Esta salmuera llega ya muy concentrada en Li, K, B y Mg al contacto con la costra de sal donde se estanca. A esto se debe que la zona más concentrada de la costra de sal se encuentre al extremo borde Sud-Este del salar.

Se han podido estimar órdenes de magnitud de las cantidades de Li, K, B y Mg de este sector del salar como también de las cantidades de estos mismos elementos transportados por el Río Grande desde la última sequía del Lago Tauca, hace 10000 años :

	Reservas Salmuera + ulexita	Aportes por el Río Grande desde hace 10.000 años
Li	1	1,5
K	10	12
Mg	15	19
B	3,5	4

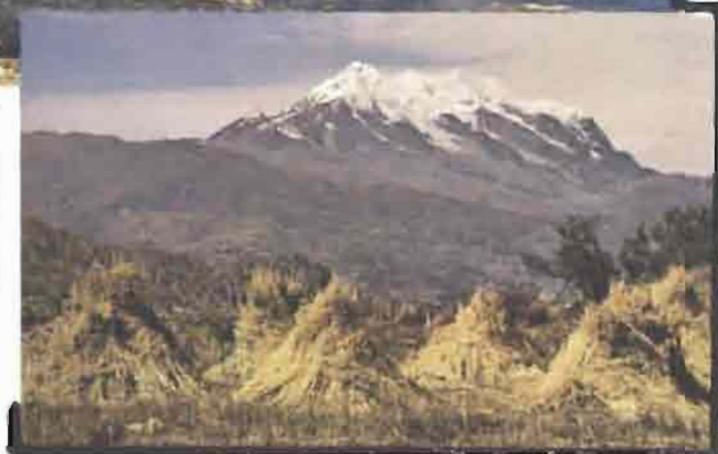
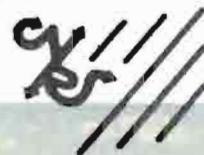
Se observa que los órdenes de magnitud son bastante similares. Eso significa que las fuertes concentraciones en la zona de Río Grande son muy reciente : menos de 10.000 años. Fueron los aportes del Río Grande los que produjeron, hace 10.000 años, estas fuertes anomalías de concentración en la zona Sud-Este del salar de Uyuni.

Cabe señalar un hecho interesante. Si el Río Grande tuviera un caudal más importante que el actual, sus aguas desembocarían directamente encima de la costra de sal y no en los sedimentos del borde. Esto produciría un lago permanente como el lago de Coipasa alimentado por el río Lauca. Los elementos disueltos Li, K, Mg y B se esparcirían en una gran parte del salar, sin concentrarse. Por otra parte, si el Río Grande tuviera un caudal inferior al actual, sus aguas se infiltrarían mucho antes de llegar cerca del salar y tampoco se concentrarían en esta trampa como es la del borde de la costra de sal. El Río Grande tiene justo el caudal necesario para alimentar en Li, K, Mg y B al extremo Sud-este de la costra de sal de Uyuni.

## REFERENCIAS

- (1) SERVANT, M. et FONTES, J.Ch., 1978 - Les lacs qui ont existé sur les hauts plateaux des Andes boliviennes. Premières interprétations paléo-climatiques. Cah. ORSTOM, sér. Géologie, vol. X, n°1, p. 9-23.
  - (2) ERICKSEN, G.E. and VINE J.D., 1976 - Preliminary report on the lithium-rich brines at Salar de Uyuni and nearby salars in South-Western Bolivia. U.S. Geological Survey. Informe inédito, 43 p.
  - (3) RISACHER, F. y MIRANDA, J., 1976 - Indicios de interés económico en los salares del Sud-Liepz. Informe UMSA-ORSTOM, La Paz, Bolivia (inédito), 8 p.
  - (4) RISACHER, F.; MIRANDA, J. y CARLO, L., 1976 - Litio y potasio en las borateras de Río Grande. Informe UMSA-ORSTOM, La Paz, Bolivia (inédito), 3 p.
  - (5) ERICKSEN, G.E.; VINE, J.D. and BALLON, R., 1978 - Chemical composition and distribution of lithium-rich brines in Salar de Uyuni and nearby salars in South-Western, Bolivia. Energy, vol. 3, p. 355-363.
  - (6) REITIG, S.L.; JONES, B.F. and RISACHER, F., 1980 - Geochemical evolution of brines in the Salar of Uyuni, Bolivia. Chem. Geol., 30, p. 57-79.
  - (7) RISACHER, F., 1984 - Origine des concentrations extrêmes en bore et en lithium dans les saumures de l'Altiplano bolivien. C.R. Acad. Sc. Paris, t. 299, série II, n° 11, p. 701-706.
  - (8) BALLIVIAN, O. y RISACHER, F., 1981 - Los salares del Altiplano Boliviano. Métodos de estudio y estimación económica. ORSTOM, Paris, 246 p.
  - (9) BADAUT, D. and RISACHER, F., 1983 - Authigenic smectite on diatom frustules in Bolivian saline lakes. Geochim. Cosmochim. Acta, vol. 47, p. 363-375.
-

# ACTAS DEL SEGUNDO SIMPOSIO DE LA INVESTIGACION FRANCESA EN BOLIVIA



LA PAZ 19-22 de Abril 1988