

## EXISTE MEMORIA DE LOS 10 000 ÚLTIMOS AÑOS EN EL ACUÍFERO DEL ALTIPLANO ?

Anne COUDRAIN-RIBSTEIN<sup>1</sup>, B. García, B. Pouyaud<sup>2</sup>, R. Gallaire<sup>2</sup>, C. Jusserand<sup>3</sup>, J. Quintanilla<sup>4</sup> & D. Cahuaya<sup>5</sup>

<sup>1</sup> Unité de Recherche Associée au CNRS Circulations et transferts hydriques continentaux, Laboratoire de Géologie Appliquée, Univ. Pierre & Marie Curie, 4 place Jussieu, Paris, cédex 5, France. F: 33 1 44 27 51 25 ; coudrain@biogeodis.jussieu.fr

<sup>2</sup> Orstom, Instituto francés de cooperación y de desarrollo, CP 9214, La Paz, Bolivia

<sup>3</sup> Centre de Recherche Géodynamique, UPMC, 47 av. Corzent, BP 510, 74203 Thonon, France

<sup>4</sup> Instituto de investigaciones Químicas, Univ. Mayor San Andrés, CotaCota, calle 27, La Paz, Bolivia

<sup>5</sup> YUNTA, ONG boliviana, C.P. 14 529, La Paz, Bolivia

### RESUMEN

Se ha estudiado el acuífero freático en la parte central del Altiplano boliviano sobre una superficie aproximada de 6000 km<sup>2</sup> centrado en las coordenadas 18°S, 68°O. Este constituye el recurso de agua de la población campesina (Ledezma *et al.*, 1995). El clima actual es semiárido con 80% de los 350 mm anuales de precipitación que precipitan entre noviembre y marzo. La evaporación potencial media es de 1,5 m al año, así que las precipitaciones no participan directamente a la recarga del acuífero. La recarga actual se hace por el escurrimiento de ríos temporales en los pies de los montes en la parte oeste de la zona de estudio. Otra alimentación proviene del Río Desaguadero, único escurrimiento permanente que atraviesa la región.

La velocidad actual de poro fue estimada. Disminuye desde 5 m a<sup>-1</sup> cerca de los montes en el oeste hacia 2 m a<sup>-1</sup> en la planicie más al sur. Es decir que para un trayecto de unos 30 km, el tiempo de recorrido debe variar entre 5 000 y 20 000 años. Además entre la zona de recarga cerca de los montes y unos 30 km aguas abajo, la actividad de <sup>14</sup>C (Coudrain-Ribstein *et al.*, 1995a) varía de 70 a 3 pCm. Las aguas subterráneas de la zona sur de estudio han debido infiltrarse hace unos miles de años.

Además, la composición química varía de aguas arriba a aguas abajo. Por ejemplo, en la zona de recarga, la concentración en cloruros es aproximadamente de un meq l<sup>-1</sup>, y aguas abajo la concentración alcanza los 120 meq l<sup>-1</sup>. Varias hipótesis para explicar este aumento de salinidad pueden ser propuestas.

Una primera hipótesis fue expresada por Guyot & Gumiel (1990) : el escurrimiento superficial de las aguas más al norte podría salinizarse por disolución de los sales del Terciario que afloran a unos kilómetros del Río Desaguadero. Después, en la planicie de inundación de la zona estudiada aquí, se infiltrarían estas aguas salinas. Esto no es incompatible con *i)* los datos de la zona no saturada de la zona donde el acuífero es salado muestran que no ha habido infiltración desde unos mil años, *ii)* las bajas concentraciones del río Desaguadero durante sus crecidas (5 meq l<sup>-1</sup>). Sin embargo, los sales acumulados en la zona no saturada por evaporación de la capa acuífera alcanzan 18 kg m<sup>-2</sup> (Coudrain-Ribstein *et al.*, 1997) y podrían infiltrarse si ocurriera un episodio muy lluvioso. Por las actividades de <sup>14</sup>C y el tiempo requerido para tal acumulación de cloruros, el último evento de infiltración en estas partes donde el acuífero es salado tendría por lo menos dos mil años.

Una segunda hipótesis es la relacionada a la fase lacustre Tauca (8000 a 12 000 años). Según los últimos trabajos de datación (Rondeau, 1990 y Servant *et al.*, 1995), el lago Tauca alcanzó la altura de

3800 m es decir que cubría la zona estudiada. Es muy probable que este lago que cubría los actuales salares del sur presentase aguas bastante saladas. Risacher & Fritz (1991), tomando un cota máxima de este lago un poco menor propusieron una salinidad de  $80 \text{ g l}^{-1}$ . Hemos efectuado simulaciones de transporte de cloruros desde 10 000 años, tomando en cuenta una fase muy árida (Risacher & Fritz, 1992) y la condición inicial de concentración en el acuífero de  $200 \text{ meq l}^{-1}$ . Las concentraciones calculadas al final de la simulación son parecidas a las medidas de hoy.

Por otra parte, existe al este de la zona de estudio una explotación de oro desde hace unos cinco años. Esta bombea millones de metros cúbicos al año desde el acuífero es decir del orden de los principales términos de balance actual del acuífero (Coudrain *et al.*, 1995b). Se ha simulado tal bombeo por un periodo de 20 años. Los resultados muestran que el bombeo afecta el nivel piezométrico esta afectado hasta unos 10 km al oeste y cambia la dirección de los flujos subterráneos.

En conclusión, el estudio de la variación espacial de la composición química de las aguas del acuífero da información sobre la variación temporal de su régimen hidráulico desde unos 10 000 años. Toda explotación importante del orden de millón de metros cúbicos al año tiene consecuencias importantes en cuanto a la profundidad del nivel piezométrico y a la calidad del agua que puede ser modificada por los cambios de los flujos subterráneos.

## Referencias

- Coudrain-Ribstein A., Olive Ph., Quintanilla J., Sondag F. & Cahuaya, D. (1995a) Salinity and isotopic dynamics of the groundwater resources on the Bolivian Altiplano. AISH Publ. **232** *Application of Tracers in Arid Zone Hydrology*, E. M. Adar & Ch. Leibundgut (eds), 267-76.
- Coudrain-Ribstein A., Pratz B., Jusserand Cl., Quintanilla J., & Cahuaya D. (1997) Bilan et évaporation d'un aquifère en zone aride, Altiplano central bolivien. Publ. AISH *Hydrochemistry*, N. J. Peters & A. Coudrain-Ribstein (eds), 9 p.
- Coudrain-Ribstein A., Pratz B., Quintanilla J., Zuppi G., Jusserand Cl. & Cahuaya D. (1995b) Salinidad del recurso hídrico subterráneo del Altiplano central. *Bull. Inst. Français Etudes Andines* **24**, in: *Eaux, glaciers & changements climatiques dans les Andes tropicales*, P. Ribstein *et al.* (eds), 483-93.
- Guyot J.L. & Gumiel D. (1990) Premières données sur l'hydrogéologie et l'hydrogéochimie du Nord de l'Altiplano bolivien. *Hydrogéologie* **3**, 159-64.
- Ledezma R.D., Jiménez A., Moreau S. & Coudrain-Ribstein A. (1995) Recursos hídricos para riego en la provincia Villarroel, Altiplano boliviano. *Bull. Inst. Français Etudes Andines* **24**, in: *Eaux, glaciers & changements climatiques dans les Andes tropicales*, P. Ribstein *et al.* (eds), 473-82.
- Risacher Fr. & Fritz B. (1991) Quaternary geochemical evolution of the salars of Uyuni and Coipasa, Central Altiplano, Bolivia. *Chemical Geology* **90**, 211-31.
- Risacher Fr. & Fritz B. (1992) Mise en évidence d'une phase climatique holocène extrêmement aride dans l'Altiplano central, par la présence de la polyhalite dans le salar de Uyuni (Bolivie). *C.R. Acad. Sci. Paris* **314(II)**, 1371-7.
- Rondeau B. (1990) Géochimie isotopique et géochronologie des stromatolites lacustres quaternaires de l'Altiplano bolivien. *Mém. maîtrise, univ. Québec*, Montréal.
- Servant M., Fournier M., Argollo J., Servant-Vildary S., Sylvestre Fl., Wirrmann D. & Ybert J.-P. (1995) La dernière transition glaciaire/interglaciaire des Andes tropicales sud (Bolivie) d'après l'étude des variations des niveaux lacustres et des fluctuations glaciaires. *C. R. Acad. Sc. Paris* **320(IIa)**, 729-36.