

# EVALUACION PRELIMINAR DE LA HIDROGEOLOGIA E HIDROGEOQUIMICA DEL NORTE DEL ALTIPLANO BOLIVIANO

\* Jorge Quintanilla Aguirre  
\*\* D. Gumiel  
\*\*\* J. L. Guyot

## RESUMEN

A partir de una campaña de inventariación de puntos de agua y de medidas piezométricas realizadas, en período de aguas bajas (Junio a Agosto de 1988), las principales formaciones acuíferas explotadas del Norte del Altiplano Boliviano fueron identificadas, se trata de series sedimentarias del Cuaternario drenadas principalmente por los ríos Kheto y Desaguadero. Medidas de conductividad eléctrica de aguas subterráneas y superficiales; así como resultados de un centenar de análisis físico-químicos, permitieron definir distintas áreas hidrogeoquímicas. Las aguas que provienen del Lago Titicaca (Río Desaguadero) y de la zona de diapiros (afluentes de la ribera izquierda) son del tipo "clorurada sódica" presentando concentraciones elevadas. En temporada de aguas altas, estas corrientes transportan su salinidad a las planicies de inundación de la región de Oruro, donde las sales se concentran por evaporación. Del mismo modo, las aguas subterráneas de las zonas de inundación presentan fuertes mineralizaciones; contrariamente a las aguas subterráneas de las partes altas de los sistemas hidrológicos.

Las aguas de facies "bicarbonatada y carbonatada" están sobre todo presentes al pie de los relieves del Paleozoico y conciernen a mineralizaciones débiles. Las aguas sulfatadas fueron observadas principalmente en las series Cenozoicas, donde afloran depósitos de yeso o están asociadas al termalismo.

## ABSTRACT

Starting from an inventory campaign to register water points and piezometric measures, undertaken in low water periods (from June to August, 1988), the main aquiferous formations exploited in the Northern Bolivian Altiplano were identified. It consists of sedimentary series of the Quaternary period, drained mainly from the Kheto and Desaguadero Rivers. Measures for electric conductivity of underground and superficial waters, as well as the results of hundreds of physico-chemical analyses, allowed the definition of different hydrogeochemical areas. Waters from the Titicaca Lake (Desaguadero River) and from diapiros area (affluents of the left bank) area of sodium-Chloride type and show high concentrations. In the high waters season, these rivers transport its salinity to flood plains in the Oruro area, where salt is concentrated by evaporation. Likewise, underground waters in flood areas present strong mineral contents, in opposition to underground waters in high spots of the hydrologic systems.

Facies Bicarbonated and Carbonated waters are currently at the bottom of the Paleozoic relieves and are relative to weak mineralizations. Sulphated waters were observed in the Cenozoic series where gypsum deposits outcrop, or are related to thermalism.

\* INSTITUTO DE INVESTIGACIONES QUIMICAS  
\*\* HIDROGEOLOGO CONSULTOR - C. P. 8130, LA PAZ-BOLIVIA  
\*\*\* ORSTOM - C. P. 9274, LA PAZ-BOLIVIA  
Rev. Bol. Quím. Vol. 10, Nº 1, 1991

## INTRODUCCION

El altiplano es tradicionalmente la región más poblada de Bolivia (I. Montes de Oca, 1983) /8/, con una pluviometría promedio de 420 mm/año (J. Mariaca, 1985) /6/, con un clima semiárido. Exceptuando el río Desaguadero, exutorio del lago Titicaca, los cursos de agua del Altiplano son temporales o presentan caudales de estiaje muy débiles. También, los recursos en agua subterránea son cada vez más solicitados para uso doméstico y agrícola, lo que ocasiona problemas en razón de la existencia de zonas de fuerte salinidad.

De Junio a Agosto de 1988, un inventario de 350 puntos de agua de una parte del Altiplano boliviano ha sido realizado en el marco de un acuerdo entre la Comunidad Económica Europea (CEE) y la Corporación de Desarrollo del Departamento de La Paz (CORDEPAZ).

Este estudio ha permitido la realización de una campaña de medidas de terreno (piezometría, temperatura, conductividad eléctrica) concernientes a 195 pozos, 66 fuentes y 89 cursos de agua. Análisis físico-químicos se efectuaron sobre 115 de estos puntos de agua, en los laboratorios del Instituto Nacional de Salud Ocupacional (INSO) de La Paz, (D. Gumiel, 1988) /3/ y el Instituto de Investigaciones Químicas de la Universidad Mayor de San Andrés (UMSA).

## LA ZONA DE ESTUDIO

La cuenca Endorréica del Altiplano

ORSTOM Fonds Documentaire

Nº : 36.176 ex 1

Cote : B p28 M

23 NOV. 1992

cubre una superficie de 191 000 km<sup>2</sup> y se extiende sobre 3 países: Bolivia (69%), Perú (27%) y Chile (4%). Se trata de una vasta depresión alargada, de una anchura media de 200 km por una longitud total aproximadamente 1 000 km, encerrada entre las cordilleras Oriental y Occidental de los Andes.

La zona estudiada (figura Nº 1), situada entre La Paz (16,5° Latitud Sur) y Oruro (18° Latitud Sur), se extiende sobre alrededor de 15 000 km<sup>2</sup>, correspondientes a las provincias del Departamento de La Paz; Aroma, Ingavi, Pacajes y Villaruel. Esta región es drenada por el río Desaguadero, exutorio del lago Titicaca (3810 m) y tributario del lago Poopó (3686 m) situado al sur de Oruro. La parte Sud-Este de la cuenca está sometida a inundaciones durante la estación de lluvias, en razón de la débil pendiente (0,02%) de este sistema fluvio-lacustre.

Con un clima frío, semi-árido, con una pluviometría, que va del Norte al Sur; de 500 a 300 mm/año (M. A. Roche et al., 1985) /10/. El régimen de precipitaciones es el mismo sobre el conjunto de la cuenca, con una estación de lluvias bien marcada de Diciembre a Marzo, totalizando el 80% de las precipitaciones anuales (J. Mariaca, 1985) /6/. Así, los cursos de agua del Altiplano, nacidos en los Andes, presentan crecidas importantes de Enero a Marzo, luego de un largo período de estiaje pronunciado. Sólo el río Desaguadero presenta un caudal sostenido y poco variable durante el transcurso del ciclo hidrológico, sin embargo con un máximo en Marzo-Abril que

corresponde a las más altas aguas del lago Titicaca (J. L. Guryot et al., en prensa) /5/. En Ulloma, después de su confluencia con el río Mauri, el río Desaguadero presenta un régimen mixto (figura Nº 2) con los puntos de crecida del río Mauri de Enero a Marzo, luego una lenta disminución del caudal debido a los aportes del lago Titicaca.

La geología de esta región está caracterizada por las series sedimentarias continentales del Terciario y del Cuaternario en las cuales están situados la mayoría de los pozos inventariados (figura Nº 3). Al Nor-Este, los relieves de la cordillera Occidental formando el límite del Altiplano, están constituidos de series detríticas del Primario. Los diapiros de sal afloran al Norte del río Desaguadero, en la región de Corocoro.

#### HIDROGEOLOGIA

Según el inventario de los pozos (figura Nº 3), parece que los acuíferos más solicitados, son aquellos de la cobertura Cuaternaria. A partir de las medidas realizadas de Junio a Agosto de 1988 (período de aguas bajas), una piezometría sumaria en el Cuaternario ha podido ser trazada (figura Nº 3). Los ejes de drenaje corresponden a los cursos de agua superficiales (ríos Desaguadero, Kheto y Catari).

Numerosos pozos han sido igualmente excavados en la espesa serie sedimentaria Terciaria. La topografía accidentada así como la presencia de facies diferentes no permiten de evidenciar un acuífero continuo de gran extensión,

exceptuando en los bordes del río Desaguadero.

#### HIDROGEOQUIMICA

La mineralización de las aguas subterráneas ha podido ser estimada a partir de las medidas de conductividad eléctrica sobre 195 pozos y 66 fuentes (figura Nº 4). Las aguas menos mineralizadas son observadas en la parte superior de los sistemas hidrológicos y más particularmente en el borde del Paleozoico. Las aguas más mineralizadas están situadas en las zonas de inundaciones, al Sur-Este de la cuenca. Las aguas subterráneas de la zona de los diapiros presentan concentraciones medias.

Las medidas de conductividad eléctrica sobre 89 cursos de agua (figura Nº 5) muestran claramente que las aguas superficiales más mineralizadas son las nacidas en la zona de los diapiros. Los formadores de los ríos Catari y Kheto presentan sobre todo mineralizaciones débiles, generalmente, la evolución de las mineralizaciones de río arriba hacia abajo se traduce por un aumento en su contenido. Este aumento es muy sensible en la zona de las inundaciones (río Kheto). Ninguna variación apreciable de la conductividad es registrada a lo largo del río Desaguadero en razón de los débiles aportes correspondientes a este período de estiaje. En período de aguas altas, los aportes de los afluentes del río Desaguadero ocasionan un neto aumento de la mineralización de este curso de agua, desde el lago Titicaca, hasta las planicies de inundaciones de la región

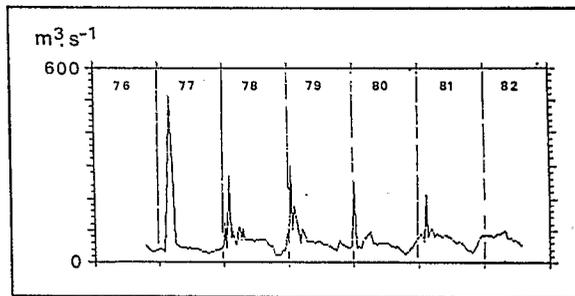
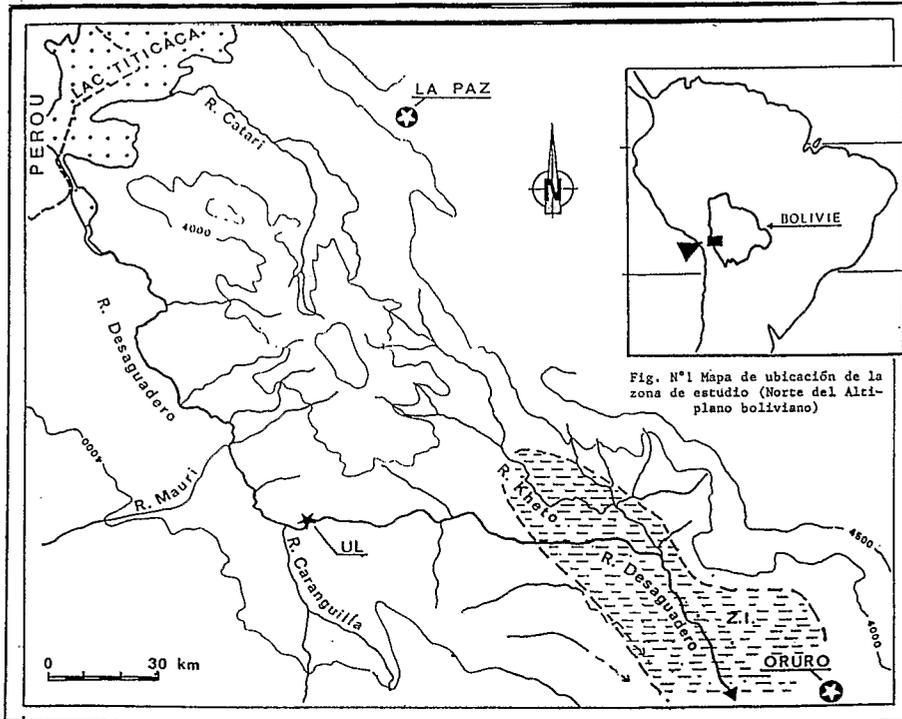
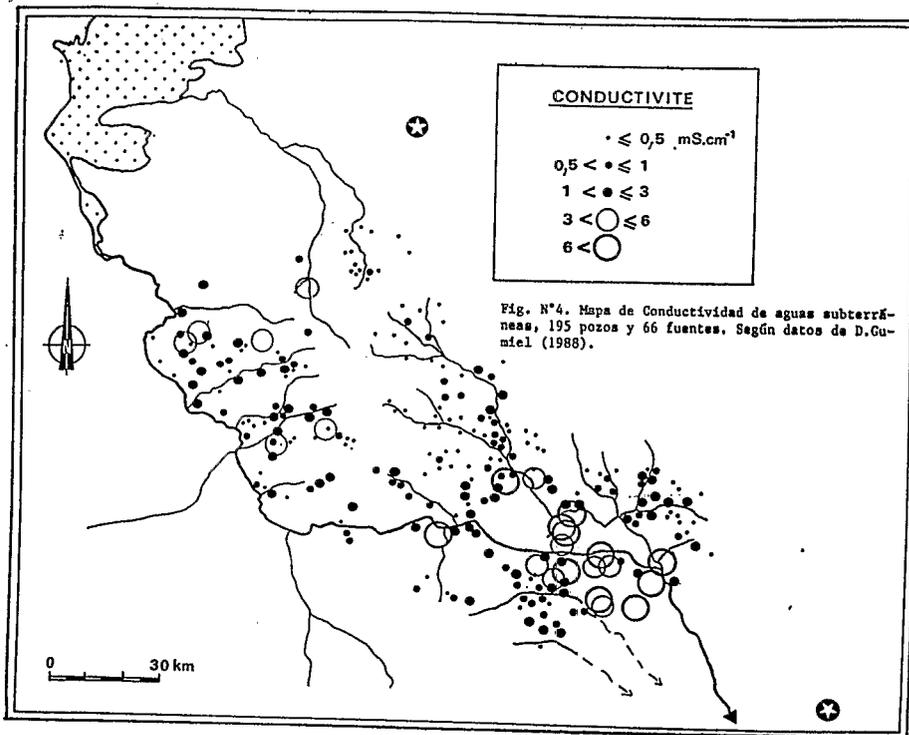
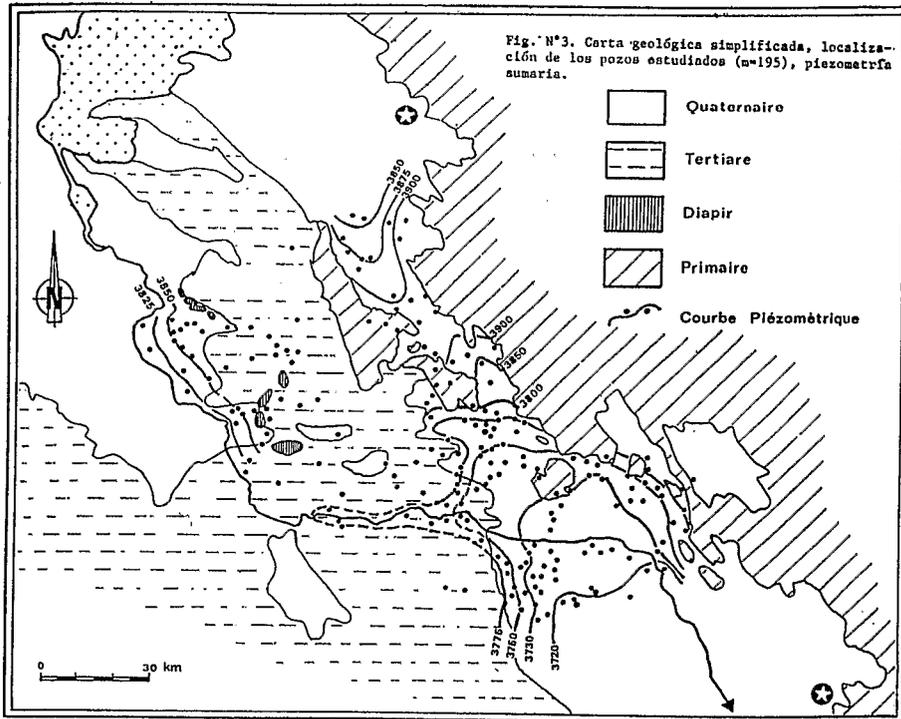


Fig. N°2. Régimen hidrológico del río Desaguadero en Ulloma, de 1976 a 1982, según datos de SENAMHI - Bolivia.



de Oruro (J. L. Guyot et al., 1989) /4/.

Los análisis químicos efectuados sobre 115 puntos de agua, muestran que las aguas bicarbonatadas y carbonatadas (16% de las observaciones) corresponden a las aguas menos mineralizadas (figura Nº 6). Las aguas cloruradas (35% de las observaciones) son al contrario, responsables de las más fuertes concentraciones. Las aguas sulfatadas se observan en un mayor número (49%) y conciernen a las aguas de contenidos medios. La repartición espacial de estos tipos de agua (figura Nº 7), indica que las aguas bicarbonatadas y carbonatadas se notan sobre todo al borde del Paleozoico. Las aguas de tipo cloruradas, generalmente sódicas, fueron observadas sobre casi todos los cursos de agua superficiales, así como en los pozos de la zona de los diapiros y en la planicie de inundación. Las aguas sulfatadas están presentes sobre el conjunto de la cuenca, pero más particularmente en las series del Cenozoico y su borde, probablemente en relación con los depósitos de Yeso. Aguas sulfato-magnesianas nacidas de fuentes termales fueron igualmente observadas en los bordes del Paleozoico. El río Desaguadero presenta generalmente una facies cloruro-sódica idéntica a la del lago Titicaca.

En período de aguas altas, el río Desaguadero y sus tributarios de la orilla izquierda aportan a las planicies de inundación de la región de Oruro, aguas del tipo cloruro-sódico; de mediana a fuertemente mineralizadas (zona de diapiros). Estas aguas se

concentran en razón de la fuerte evaporación observada sobre el Altiplano (Carmouze et al., 1978 /2/. Así, contrariamente a las aguas de superficie, las aguas subterráneas más mineralizadas serán las de las planicies de inundación. Sin embargo, parece posible encontrar aguas de menos salinidad en profundidad.

### CONCLUSIONES

Un rápido reconocimiento hidrogeológico del Norte del Altiplano boliviano ha permitido poner en evidencia zonas donde los recursos en agua subterránea son bastante explotados, especialmente en las series sedimentarias cuaternarias.

La presencia de series salíferas en la cabeza de la cuenca asociada a las zonas de inundación río abajo, entraña un fuerte aumento de la salinidad de las aguas subterráneas en la parte Sur-Este de la cuenca.

Recursos de agua subterránea de buena calidad parecen existir generalmente en las series del Cuaternario, en la parte superior de las zonas de inundación, notablemente en la región de Patacamaya (río Kheto). Estos resultados, bien que suscintos, son los primeros datos sobre los recursos en agua subterránea de esta parte del Altiplano boliviano y van a permitir orientar las futuras investigaciones hidrogeológicas en la región.

### BIBLIOGRAFIA

1. AHLFELD, F. , BRANISA L. **Geología en Bolivia**, La Paz, Don Bosco, 245 pp. (1960).

2. CARMOUZE, J. P. , ARZE, C. , QUINTANILLA, J. **Circulación de materia (agua-sales disueltas) a través del sistema fluvio-lacustre del Altiplano: la regulación hídrica e hidroquímica de los lagos Titicaca y Poopó**, Cah. ORSTOM. Ser. Geologie, Vol. X, Nº 1, 49-68 pp. (1978)
3. GUMIEL, D. **Prospección hidrogeológica del área altiplánica del PMPR II**, La Paz, CEE-CORDEPAZ, 92 pp. (1988).
4. GUYOT, L. L. , ROCHE, M. A. , NORIEGA, L. , CALLE, H. , CORTEZ, J. , QUINTANILLA, J. , CALLICONDE, M. **Cargas en suspensión, salinidades y transportes de materia sobre el Altiplano boliviano**, La Paz, Phicab, 20 pp. (1989)
5. GUYOT, J. L. , ROCHE, M. A. , QUINTANILLA, J. , NORIEGA, L. , CALLE, H. (Inpress) **Salinities and sediment transport in the bolivian highlands**, Journal of Hydrology
6. MARIACA, J. **Balance hídrico superficial de la cuenca del lago Poopó y los salares de Uyuni y Coipasa**, Bolivia, La Paz, Tesis de Grado, UMSA-PHICAB, 203 pp. (1985).
7. MARTINEZ, C. **Structure et evolution de la chaîne Hercynienne et de la chaîne Andine dans le Nord de la cordillere des Andes de Bolivie**, Trav. et doc. ORSTOM, Nº 119, 352 pp. (1980).
8. MONTES DE OCA, I. **Geografía y recursos Naturales de Bolivia**, La Paz, 628 pp. (1983).
9. PAREJA, J. , VARGAS, C. , SUAREZ, R. , BALLON, R. , CARRASCO, R. , VILLARROEL, C. **Mapa geológico de Bolivia**,

Memoria explicativa, La Paz, YPFB-GEOBOL, 1 carte 1:1 000 000. 27 pp.

10. ROCHE, M. A., ROCHA, N. Mapa pluviométrico de Bolivia y regiones vecinas, La Paz, PHICAB, 1 carte 1:4.000.000. (1985).

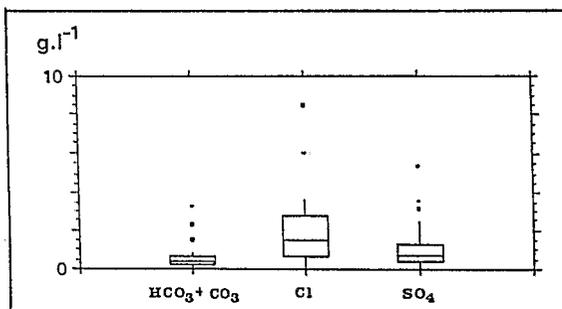
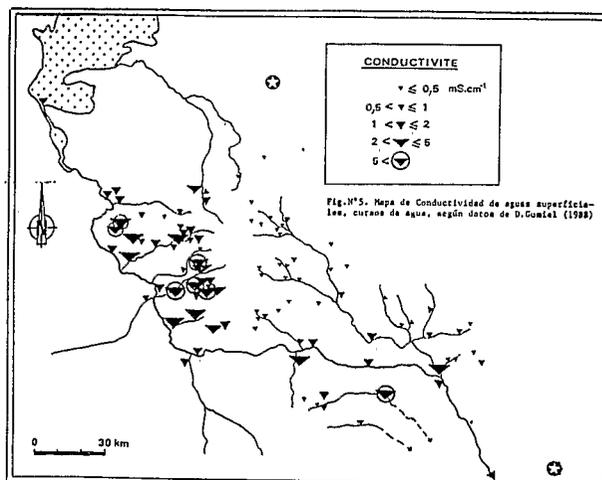


Fig. Nº6. Distribución de Salinidades (mediana, cuartiles) de 115 puntos de agua en función de los aniones dominantes.

