

HIDROQUÍMICA DE LAS AGUAS DEL ALTIPLANO DE BOLIVIA

Jorge Quintanilla *, Anne Coudrain-Ribstein **,
Johnny Martinez *, Vladimiro Camacho *

Resumen

Se muestrearon 36 lugares de agua superficial en la cuenca que incluye el lago Titicaca, río Desaguadero y los lagos Uru-Uru y Poopó (Sistema TDPS). En agua subterránea se analizaron 37 pozos del sistema TDPS y 33 pozos en la provincia Aroma. La presente evaluación se refiere a un período de déficit pluviométrico entre 1989 y 1993. El contenido en sales aumenta de norte a sur y es grave en los lagos Uru-Uru y Poopó. Al sur de la cuenca, se nota una contaminación natural por arsénico, sílice, cloruros, sulfatos, sodio, calcio y boro. La contaminación antrópica está al origen de una polución de tipo bacteriológico en el área de Oruro y con wolfram, estaño, cobalto, cadmio, níquel, antimonio y plomo en el área rural. En general, las aguas superficiales presentan riesgos para el consumo humano, animal y para riego. En cambio, las aguas subterráneas muestran mejores características fisicoquímicas.

Palabras claves: *Hidroquímica, contaminación, Altiplano, Bolivia.*

HYDROCHIMIE DES EAUX DE L'ALTIPLANO BOLIVIEN

Résumé

Les eaux de surface ont été échantillonnées sur 36 points de mesure du bassin endoreïque qui inclut le lac Titicaca, le rio Desaguadero et les lacs Uru-Uru et Poopó (bassin TDPS). Pour les eaux souterraines, des échantillons ont été prélevés dans 37 puits du bassin TDPS et dans 33 puits de la province Aroma. La présente étude concerne la période de 1989 à 1993 qui est déficitaire en précipitation. La salinité augmente du nord au sud ; c'est un problème grave pour les lacs Uru-Uru et Poopó. Au sud du bassin versant, il y a une pollution naturelle par arsenic, silice, chlorures, sulfates, sodium, calcium et bore. L'influence anthropique est à l'origine d'une pollution bactériologique dans la région d'Oruro et aussi d'une pollution par le wolfram, l'étain, le cobalt, le cadmium, le nickel, l'antimoine et le plomb dans les zones rurales. En général, les eaux de surface présentent un risque pour les populations ainsi que pour les animaux et l'irrigation. En revanche les eaux souterraines montrent de meilleures caractéristiques physico-chimiques.

Mots-clés : *Hydrochimie, pollution, Altiplano, Bolivie.*

* Instituto de Investigaciones Químicas-Universidad Mayor de San Andrés (UMSA), C.P. 303 La Paz Bolivia.

** ORSTOM y URA 1367, Lab. Géol. Appl, Univ. P. M. Curie, 4 place Jussieu, Paris, Francia.

CHEMICAL COMPOSITION OF THE WATERS IN THE BOLIVIAN ALTIPLANO

Abstract

Surface waters were sampled from 36 points in the basin that includes Lake Titicaca, Desaguadero river and lakes Uru-Uru and Poopo (TDPS basin). Groundwaters were sampled from 37 wells in the TDPS basin and from 33 wells in the Aroma province. The present evaluation refers to a period of precipitation deficit, between 1989 and 1993. The salinity increases from north to south, being very serious in the lakes Uru-Uru and Poopo. In the southern part, there is a natural pollution by arsenic, silica, chloride, sulfate, sodium, calcium and bore. Human influence is related to a bacteriological contamination in the area of Oruro and also to a contamination by wolfram, tin, cobalt, cadmium, nickel, antimony and lead in the rural area. In general, groundwaters present better physico-chemical characteristics than surface waters which present risks for human and animal consumption and for irrigation.

Key words: *Hydrochemistry, contamination, Altiplano, Bolivia.*

INTRODUCCIÓN

La región del Titicaca hasta el salar de Coipasa (Fig.1), que ha sido denominada Sistema TDPS, tiene una superficie de 143 900 km². La pluviometría media anual varía de 800 mm año⁻¹ en el lago Titicaca a menos de 300 mm año⁻¹ en el salar de Coipasa (Mariaca, 1985). El presente artículo muestra resultados de un estudio que tiene como meta final la elaboración de un Plan Director Global Binacional de Protección - Prevención de inundaciones y aprovechamiento de los recursos del Sistema TDPS (Quintanilla *et al.*, 1993). Además, son discutidos los análisis de agua de 33 pozos de la provincia Aroma en Bolivia (Camacho & Quintanilla, 1994).

Los análisis químicos de las muestras de agua se efectuaron mediante espectrometría UV-Visible, colorimetría, electrometría, espectrometría de absorción atómica y con generador de hidruros, además de un espectrofotómetro HACH-DREL 2000 para los análisis de campo (Golterman, 1969; Mackereth *et al.*, 1978).

1. DATOS FISICOQUÍMICOS DE PARÁMETROS REPRESENTATIVOS

Los resultados comprenden el período 1989 - 1993 (Quintanilla & Lorini, 1994 y Quintanilla *et al.*, 1993).

1. 1. Aguas Superficiales

Se realizaron 648 muestras y más de 21 000 análisis en 36 puntos de muestreo (Fig. 1 y Tabla 1), con una frecuencia bimensual.

1. 1. 1. Salinidad, TDS

Se observan bajas concentraciones de TDS en afluentes al lago Titicaca, Puente Internacional y río Mauri (0,3 a 0,9 g l⁻¹). Hay un incremento hacia el sur desde Calacoto (1,8 g l⁻¹), hasta el lago Poopó con valores extremos de 107 g l⁻¹ en primavera.

1. 1. 2. Ión Sodio

En los afluentes del Titicaca, en el Desaguadero a la salida del lago y en el Mauri, las concentraciones están entre 40 a 240 mg l⁻¹. En el lago Poopó, la concentración varía de 4,1 a

30 g l⁻¹, sin embargo se nota una ligera disminución a la salida del lago Poopó (río Lacajahuira).

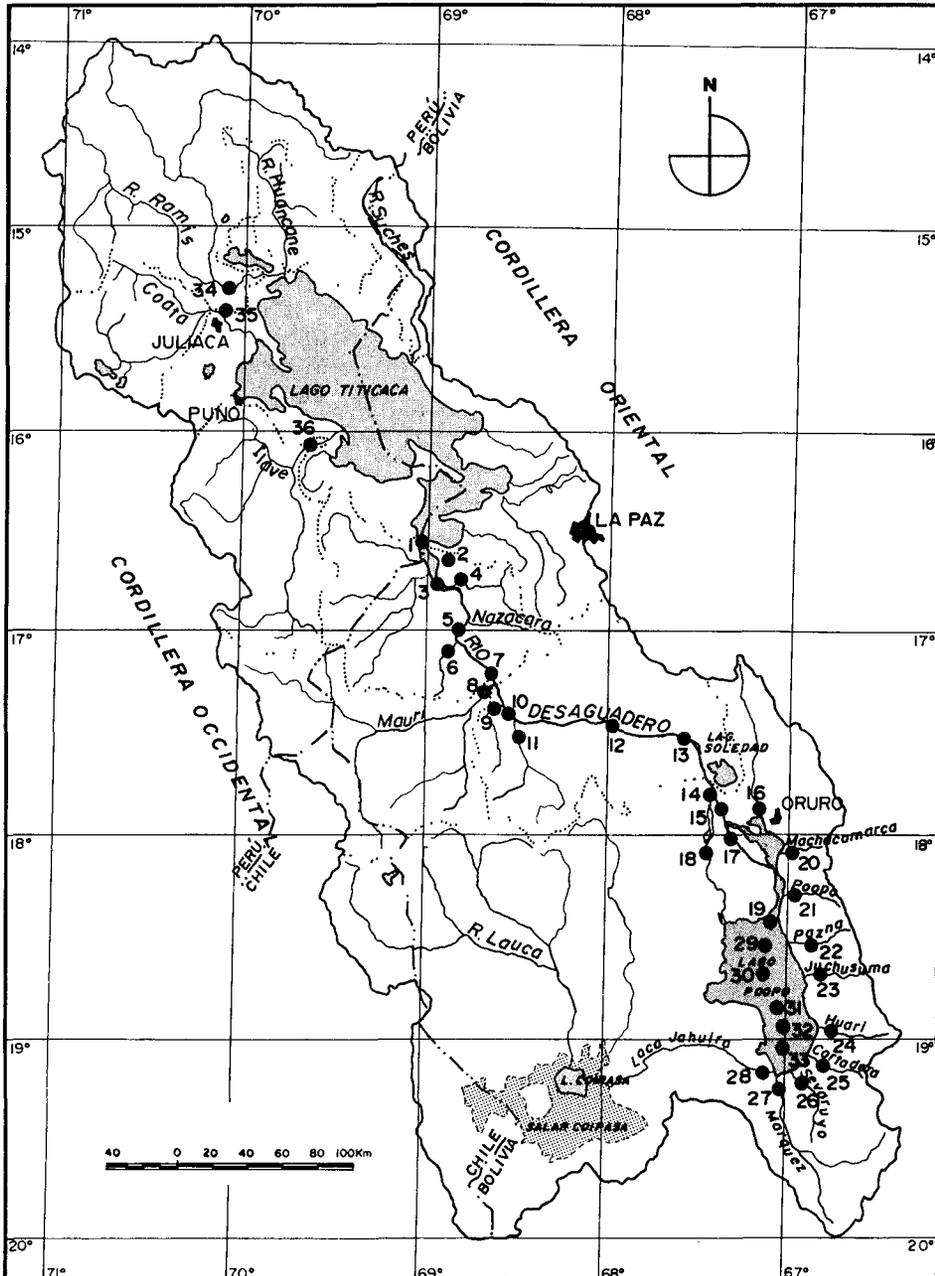


Fig. 1 - Ubicación de puntos de muestreo de aguas superficiales.

Tabla 1 - Puntos de muestreo de aguas superficiales.

Punto de Muestreo	Región o Zona de Ubicación	Nombre del Río y / o Lago
1	PUENTE INTERNACIONAL	DESAGUADERO
2	VADO	LUCUCHATA
3	AGUALLAMAYA	DESAGUADERO
4	CHUTOKHOLLO	JACHA JAHUIRA
5	NAZACARA	DESAGUADERO
6	COPA PUJO PAMPA	KHILLHUIRI
7	CALACOTO-DESAGUADERO	DESAGUADERO
8	CALACOTO-MAURI	MAURI
9	VHITIPAMPA	CAÑUMA
10	ULLOMA	DESAGUADERO
11	ULLOMA	CARANGUILLA
12	CALLAMPA(PUENTE JAPONES)	DESAGUADERO
13	EUCALIPTUS	DESAGUADERO
14	CHUQUIÑA	DESAGUADERO
15	LA JOYA	DESAGUADERO
16	PUENTE ESPAÑOL	DESAGUADERO
17	SIRCA PATA	DESAGUADER (PUENTE DESAGUADERO)
18	TOLEDO DESAGUADERO	
19	POOPO	DESAGUADERO
20	MACHACAMARCA	HUANUNI
21	POOPO	POOPO
22	PAZÑA	ANTEQUERA
23	HUAÑA KHAVA	JUCHUSUMA
24	HUARI	AZANAQUES
25	JALANTAÑA PAMPA	CORTADERA
26	QUILLACAS	SEVARUYO
27	QUILLACAS	MARQUES
28	SAN MIGUEL DE PAMPA	LACAJAHUIRA AULLAGAS
29	PAZÑA-CHACAKOLLO	LAGO POOPO
30	HUANCANE-PENINSULA	LAGO POOPO
31	HUAÑA KAWA-CERRO	LAGO POOPO GLORIA PATA
32	CHALLAPATA-PATAMANTA	LAGO POOPO
33	HUARI-HUAÑA PAMPA	LAGO POOPO
34	PERU 1	RAMIS
35	PERU 2	COATA
36	PERU 3	ILAVE

1. 1. 3. Ión Cloruro

En los afluentes del Titicaca se hallan concentraciones que en promedio se sitúan entre 25 a 350 mg l⁻¹. Sin embargo, en el río Desaguadero los valores se incrementan aguas abajo del Puente Internacional, alcanzando en primavera sus máximas concentraciones en el lago

Poopó (20 a 30 g l⁻¹); notándose también una disminución a la salida del Poopó, por el río Lacajahuira, debido posiblemente a una sedimentación en el lago de este elemento (sus concentraciones varían en función del tiempo desde 7 a 18 g l⁻¹) según Carmouze *et al.* (1978).

1. 1. 4. *Ión Sulfato*

En los afluentes al Titicaca, y en los puntos del Puente Internacional, río Mauri, Puente Japonés, Chuquiña y Puente Español se presentan valores entre 40 y 300 mg l⁻¹. En el lago Poopó la concentración es 10 veces mayor que en el río Desaguadero, alcanzando en primavera y verano sus máximas concentraciones (8 a 19 g l⁻¹); evolucionando desde 2 a 6 g l⁻¹ en su composición media.

1. 1. 5. *Otros Iones*

La evolución del sistema tiende al incremento en las concentraciones de norte a sur de la cuenca, especialmente en la región del Poopó, con valores superiores a los límites permisibles, en los siguientes iones: calcio, magnesio, potasio y boratos.

1. 1. 6. *Hierro y Manganeso*

Al norte de la cuenca los valores están dentro de los rangos normales (en promedio de 0,1 mg l⁻¹). Hay contaminación por estos elementos en la mayoría de los afluentes del lago Poopó, pero en el mismo hay una disminución sensible en sus concentraciones.

1. 1. 7. *Zinc, Cobre, Plata, Cianuros y Níquel*

No hay contaminación por estos elementos.

1. 1. 8. *Estaño*

Todos los valores en el área de estudio (0,1 a 0,8 mg l⁻¹) se hallan por encima del límite apto para consumo humano que es de 0,02 mg l⁻¹, según OPS/OMS (1984).

1. 1. 9. *Wolfram*

En todos los puntos muestreados se registraron valores superiores al límite permisible para consumo humano (0,05 mg l⁻¹). Los valores van de 0,3 a 7,2 mg l⁻¹, y aparentemente su presencia se considera natural en el sistema TDPS.

1. 1. 10. *Plomo*

Los valores al norte de la cuenca, río Desaguadero, Calacoto, Puente Japonés, Chuquiña, Puente Español al sur de la ciudad de Oruro y el río Mauri están normales (0,02 - 0,03 mg l⁻¹). Pero las cuencas de los lagos Uru-Uru y Poopó registran valores superiores para cualquier consumo de 0,15 a 0,30 mg l⁻¹, sin presentar riesgo para riego.

1. 1. 11. *Antimonio*

Sólo el lago Poopó presenta concentraciones ligeramente superiores a los límites para consumo humano (0,5 mg l⁻¹) con valores que se sitúan entre 0,7 a 0,8 mg l⁻¹.

1. 1. 12. Bismuto

No se encontró información referente a los límites permisibles para cualquier uso, los valores se encuentran entre 0,3 a 0,4 mg l⁻¹.

1. 1. 13. Arsénico

En los puntos de Eucaliptus, Chuquiña, Puente Español y en los lagos Uru-Uru y Poopó, las concentraciones elevadas (0,6-0,8 mg l⁻¹) hacen que el agua no sea apta para ningún consumo (Quintanilla *et al.*, 1994).

1. 1. 14. Cadmio

En la parte norte hasta La Joya, incluido el río Mauri, registran valores inferiores a 0,009 mg l⁻¹. Pero al sur del Puente Español en los lagos Uru-Uru y Poopó, las concentraciones son altas llegando a niveles de 0,20 mg l⁻¹, que inhabilitan las aguas superficiales para cualquier uso.

1. 1. 15. Cobalto

Tiene el mismo comportamiento que el cadmio, desde el norte de la cuenca hasta La Joya. En cambio las concentraciones en los lagos Uru-Uru y Poopó son elevadas, llegando a niveles de 0,50 mg l⁻¹, que hacen el agua no apta para ningún uso, según los límites de la OPS (1985), Ayers & Westcot (1984) y OPS (1987).

1. 2. Aguas Subterráneas

Se analizaron 37 muestras distribuidas en el Perú y Bolivia (Fig. 2 y Tabla 2) dentro del proyecto binacional (Quintanilla *et al.*, 1993). Además son discutidos los análisis de 33 pozos (perforados y excavados) de la provincia Aroma del departamento de La Paz (Camacho & Quintanilla, 1994), de los cuales son citados tres en la tabla 2.

1. 2. 1. Conductividad y TDS

De los 37 puntos muestreados, sólo en el río Coata, Illpa y San Miguel de Llanga, se observan valores elevados que hacen que las aguas no sean aptas para cualquier uso.

En el sector de Aroma sólo los pozos de Kollpa Pampa, Umala y río Kheto tienen aguas no aptas para ningún uso.

1. 2. 2. pH

Los pozos están dentro del rango normal para todo uso (6,6-8,6).

1. 2. 3. Dureza

Las aguas muestreadas son blandas o semiduras con valores inferiores a 30 °d, salvo en las cuencas de los ríos Coata e Illpa donde las aguas son duras.

1. 2. 4. *Alcalinidad Total*

Considerando el valor límite para todo uso de 610 mg l⁻¹, la mayoría de los puntos de muestreo están por debajo del mismo, excepto en las cuencas de Coata e Illpa y para Aroma en algunos pozos.

1. 2. 5. *Sulfatos*

De toda la cuenca, incluyendo Aroma, sólo en 2 pozos (Illpa y Coata, en Perú) presentan valores superiores al límite para consumo humano (400 mg l⁻¹).

1. 2. 6. *Cloruros*

Sólo siete pozos de toda el área de estudio presentan valores superiores al límite permisible para agua potable (250 mg l⁻¹), uno en la cuenca de Illpa, dos en Aroma (Kollpa Pampa y Quebrada Sevencani). Los otros cuatro con valores superiores al límite para riego (400 mg l⁻¹) están en Illpa, Coata, San Miguel de Llanga y Sora Sora.

1. 2. 7. *Boratos*

Sólo 5 pozos de los 37 superan el límite para cualquier uso (11 mg l⁻¹). Tres en la cuenca del río Ramis, uno en la del río Coata y uno en la del río Desaguadero (San Miguel de Llanga). En Aroma cuatro pozos no son aptos para ningún uso, uno de los cuales es Kollpa Pampa.

1. 2. 8. *Calcio*

Sólo dos análisis presentan concentraciones superiores al límite para consumo humano (200 mg l⁻¹), uno en Coata y otro en Aroma.

1. 2. 9. *Magnesio*

De los 37 pozos (TDPS), sólo uno en la cuenca de Coata presenta valores superiores al límite de consumo y riego (200 mg l⁻¹).

1. 2. 10. *Sodio*

En 7 muestras se encontraron valores superiores a la norma para consumo humano (120 mg l⁻¹). Dos en el área de Illpa, uno en Coata, San Miguel de Llanga y Javita Pampa. Dos están en Aroma incluyendo el de Quebrada Sevencani. De éstas, por sus elevadas concentraciones, cuatro no son aptas para ningún uso.

1. 2. 11. *Potasio*

En todos los pozos muestreados, el potasio está por debajo de 1000 mg l⁻¹ (límite para consumo humano).

1. 2. 12. *Hierro*

Su concentración se encuentra por encima de la norma para agua potable (0,30 mg l⁻¹) en pozos tanto en Perú como en Bolivia (cuenca río Ilave e Illpa, Achacachi ,

Punto de Muestreo	Nombre	Ordenados por Cuenca / sector
1	SUCAPAYA	RAMIS
11	SAN PEDRO DE CALLAMPA	RAMIS
13	COLLANA	RAMIS
15	SACASO	RAMIS
16	CAMINACA	RAMIS
2	JULIACA	COATA
8	CORISUYO	COATA
10	COATA	COATA
14	RANCHO	COATA
3	MULLACANI	ILAVE
4	LUPACA	ILAVE
5	JAYU-JAYU	ILAVE
6	ANCCACA	ILAVE
12	CALLAMPA	ILAVE
17	ROSACANI	ILAVE
18	CALLATA	ILAVE
19	CHIJICHAVA	ILAVE
36	JAYU-JAYU	ILAVE
7	ILLPA-ATUNCOLLA-I	ILLPA
9	ILLPA-ATUNCOLLA-II	ILLPA
20	PARIRI	KEKA
23	ESTACION BELEN	ACHACACHI
24	ACHACACHI NORTE	ACHACACHI
21	ILATA CENTRO CATARI	CATARI
22	SAN ANTONIO	CATARI
25	LACAYA	CATARI
37	TILATA	CATARI
26	P.C. JAHUIRA PAMPA	TIWUANACU
27	P.C. JAHUIRA PAMPA	TIWUANACU
28	KHASA ACHUTA	TIWUANACU
29	ESTRODI	DESAGUADERO
30	JESUS DE MACHACA	DESAGUADERO
31	SAN MIGUEL DE LLANGA	DESAGUADERO
32	SANTA CRUZ DE CUMI	DESAGUADERO
34	PUERTO CHILA HUALA	DESAGUADERO
35	ESTANCIA HUMACHUCO	DESAGUADERO
33	JAVITA PAMPA	DESAGUADERO
A1	QUEBRADA SEVENCANI	AROMA
A2	KOLLPA PAMPA	AROMA
A3	SORA SORA	AROMA

Tabla 2 - Puntos de muestreo de aguas subterráneas.

El análisis de la conductividad de las aguas superficiales se realizó durante el período 1976-1992 que incluye una época con poca lluvia (1976-1979), una época con lluvia abundante

(1983 a 1986) y una época de sequía (1988 a 1992). De esto se puede concluir que las concentraciones tienen un comportamiento inverso respecto a la pluviometría (Illtis, 1987; Beveridge, 1983; Quintanilla, 1987; Quintanilla & Lorini, 1994).

Los siguientes puntos no son aptos para riego ya que sus aguas evolucionan de C3 S3 a C4 S4: ríos Jacha Jahuirá y Cañuma (afuentes al río Desaguadero norte), río Desaguadero aguas abajo de Calacoto. Y más aún los lagos Uru-Uru y Poopó en sus afuentes: ríos Poopó y Cortadera.

En función de la evolución de la conductividad y TDS es importante subrayar el papel regulador del río Mauri sobre la evolución de la salinidad de la cuenca sur del sistema TDPS.

Hay contaminación por wolfram y estaño en toda la cuenca TDPS, por arsénico, cobalto y níquel desde Chuquiña hasta los lagos Uru-Uru y Poopó. También por plomo, antimonio, manganeso y cromo desde Eucaliptus al sur y ésta se torna dramática en la región de los lagos Uru-Uru y Poopó. En las aguas superficiales no se observan concentraciones elevadas (contaminación) por cianuros, hierro, cobre, mercurio, plata o zinc.

En el Puente Internacional se observa una disminución en las concentraciones de oxígeno disuelto, si se las compara con valores tomados en la misma época en años anteriores.

Esto se debe a un incremento de la contaminación doméstica provocada por el hombre (aumento de la población estable y flotante en las cercanías del río Desaguadero) que provocan el desarrollo de la flora saprófita anormal que consume una mayor cantidad de oxígeno disuelto por la degradación bacteriana del material orgánico. En los lagos Uru-Uru y Poopó existe una deficiencia permanente de oxígeno disuelto que se está incrementando a causa de la disminución progresiva del espejo de agua. La región que presenta mayor transporte de sedimentos está situada entre el Puente Japonés y Chuquiña, sobre el río Desaguadero. El río Mauri es el principal aportador de sílice disuelta a la cuenca sur del Desaguadero hasta 81 mg l⁻¹. Esto se explica por la presencia de series eruptivas en la cabecera de la cuenca del río.

Existen bajas concentraciones de fosfatos y nitratos, debido posiblemente a la pobreza de estos elementos en los suelos (Salm & Gehler, 1989) y al déficit pluviométrico, ya que la lluvia es el principal aportador de nitrógeno (Carmouze *et al.*, 1984).

Las aguas superficiales del sistema TDPS no son aptas para consumo humano desde un punto de vista fisicoquímico. Las aguas de los lagos Poopó y Uru-Uru no son aptas para ningún uso. Para consumo animal sólo es aconsejable el río Ilave. Las aguas de mejor calidad se encuentran en Huari, sobre el río Azanaques.

2. 2. Aguas Subterráneas

Los pozos no aptos para riego son los de Illpa, Coata, San Miguel de Llanga en el sistema TDPS y los de Quebrada Sevencani, Kollpa Pampa y Sora Sora en Aroma.

En la parte boliviana, de 17 pozos muestreados, 16 son aptos para consumo general y sólo uno no es apto para ningún consumo: San Miguel de Llanga. En la parte peruana, de 20 pozos muestreados 17 son aptos para este fin. Tres pozos no son aptos para ningún uso en las regiones de Illpa y Coata. Los tipos de aguas subterráneas predominantes son

cálcicas-magnésicas-sódicas sulfatadas y/o cloruradas; cálcicas y/o magnésicas cloruradas y/o sulfatadas sódicas.

La mayoría de los pozos de la provincia Aroma estuvieron dentro de las categorías de salinidad media con peligro de adsorción de sodio bajo (C2S1) y salinidad alta con bajo peligro de adsorción de sodio (C3S1). Sin embargo, se nota un incremento en la concentración de sales disueltas en las aguas hacia el sur de la provincia, llegando a niveles de salinidad alta o muy alta y peligro de adsorción de sodio alto o muy alto (C3S3 a C4S4).

Referencias citadas

- AYERS, R.S. & WESTCOT, D.W., 1984 - *Calidad del agua para la agricultura*, 85p., Roma-Italia: estudio FAO de riego y drenaje N°29, Agricultura y Alimentación.
- BEVERIDGE, M., 1983 - Un estudio de los niveles de metales pesados en el lago Poopó, Bolivia, 40p., University of Stirling, Escocia, Stirling, K94LA: Institute of Aquaculture.
- CAMACHO, V. & QUINTANILLA, J., 1994 - Estudio Preliminar de las Aguas Subterráneas de la Provincia Aroma del Departamento de La Paz, 83p., La Paz: Informe Final IIQ-UMSA.
- CARMOUZE, J., ARCE, C. & QUINTANILLA, J., 1978 - Circulación de materia (agua y sales disueltas) a través del sistema fluvio-lacustre del Altiplano. *Cahiers ORSTOM, Série Géologie*, X (1): 49-68.
- GOLTERMAN, H.L., 1959 - *Methods of chemical analysis of freshwaters*, 165p., IBP Handbook 8, Blackwell Scientific Publication Oxford and Edinburgh.
- ILTIS, A., 1987 - Datos sobre la temperatura, pH, conductividad eléctrica y la transparencia de las aguas superficiales del lago Titicaca, Bolivia, 1985-1986, 19p., La Paz - Bolivia: Informe Convenio UMSA - ORSTOM N°3.
- MACKERETH, F.J.H., HERON, J. & TALLING, J.F., 1978 - *Water Analysis, some revised methods form limnologists*, 120p., Ambleside - Cumbria, LA 220LP Inglaterra: Freshwater Biological Association, Scientific Publication 36.
- MARIACA CARRASCO, J., 1985 - Balance hídrico de la cuenca del lago Poopó y los salares Uyuni y Coipasa, 203p., La Paz: Informe PHICAB.
- ORGANIZACIÓN PANAMERICANA DE LA SALUD, OPS, 1984 - *Estañó y Compuestos Orgánicos del Estañó*, 119p., Washington, EUA: Publ. Cient. 467 OPS/OMS/PNUMA, Criterios de Salud Ambiental 15.
- OPS, 1985 - *Guías para la calidad del agua potable 1; recomendaciones*, 136p., Washington, EUA: Publicación Científica 481.
- OPS, 1987 - *Guías para la calidad del agua potable 2; criterios relativos a la Salud y otra información de base*, 350p., Washington, EUA: Publ. Cient. 506.
- QUINTANILLA, J. & LORINI, J. (Editores), 1994 - *Altiplano Hydrological System*, Tomo I, 174p., CIID-U. LAVAL (Canadá), IIQ-UMSA (Bolivia) La Paz: documento técnico de Hidroquímica y Contaminación.
- QUINTANILLA, J., SALM, H. & ESPINOZA I., 1993 - *Estudio de Hidroquímica y contaminación*, 130p., La Paz: Consorcio Intecsa-AIC Progetti-CNR, informe final 8.
- QUINTANILLA, J., 1987 - *La Química del Lago Titicaca y su Relación con el Plancton*, 321p., Lima Perú: Documento de pesca N° 004, Oldepesca, convenio CAF/UMSA/IMARPE.
- CARMOUZE, J.P., ARCE, C. & QUINTANILLA, J., 1984 - Le lac Titicaca: Stratification Physique et Métabolisme Associé, *Rev. Hydrobiol. Trop.*, 17(1): 3-12.
- SALM, H. & GEHLER, E., 1989 - Suelos Salinos en el Altiplano Central de Bolivia y su relación con el Crecimiento de las Plantas. *Revista Boliviana de Química*, 8(1): 3-10, La Paz-Bolivia.