

VI CONGRESO BOLIVIANO DE QUIMICA

El gas natural: primero para el bienestar de los bolivianos.



MEMORIA

Potosí - Bolivia, del 9 al 14 de Noviembre 2003
SOCIEDAD BOLIVIANA DE QUIMICA

DISTRIBUCIÓN DE METALES PESADOS EN AGUAS SUPERFICIALES Y SEDIMENTOS EN LA SUBCUENCA DE LOS LAGOS POOPO Y URU- URU, BOLIVIA

Jorge Quintanilla¹, Oswaldo Ramos¹, Maria Eugenia Garcia¹, Lars Bengtsson², R. Berndtsson², Kennett. Persson²

¹ Instituto de Investigaciones Químicas de la Universidad Mayor de San Andrés, La Paz – Bolivia

² Department of Water Resources Lund University - Sweden

Resumen

El estudio hidroquímico de contaminación se desarrolló en la subcuenca de los lagos Poopó y Uru-Uru con el objeto de evaluar las características físicoquímicas de las aguas superficiales y sedimentos, con especial atención en la zonas críticas de contaminación. Se observa una contaminación natural por arsénico, cuyos valores elevados se detectaron desde Eucaliptus hasta la salida del lago Poopó (río Lacajahuira); en general se puede concluir que las aguas superficiales (ríos y lagos) no son aptas para ningún consumo, pero si para riego con restricciones dependiendo del tipo de cultivo a ser implementado; exceptuando el zinc que muestra bajas concentraciones de este elemento.

La vertiente de la población de Huari (río Huaya Pajchi), presenta valores por debajo de los límites permisibles en todos los metales pesados estudiados (Cd, Zn, As, Pb y Fe) , siendo la única que puede ser consumida por el humano, sin previo tratamiento en forma directa, para consumo de ganado y riego (sin restricciones) desde el punto de vista físicoquímico

En lo referente a los sedimentos todos los metales pesados estudiados (Cd, Zn, As, Pb y Fe) presentan elevadas concentraciones, comparando los mismos con los límites de FAO-OMS/OPS (1992), esto se puede deberse a: precipitación, coprecipitación y/o sedimentación de estos elementos en los diferentes periodos climáticos y geológicos.

Introducción

El lago Poopó se encuentra situado en el Altiplano boliviano (Cross, 2001), planicie a gran altura, comprendida entre los 3600 y 3900msnm (PPO-3, 1996), cercada por la Cordillera Occidental en el oeste y la Cordillera Oriental en el este. El lago forma parte del sistema llamado TDPS, conformado por las subcuencas hidrográficas del Lago Titicaca, Río Desaguadero, Lago Poopó y Salares (Fig.1), las cuales constituyen la gran cuenca endorreica enmarcada aproximadamente entre las coordenadas 14° y 22° de latitud sur y 66° y 71° de longitud oeste (Argollo 2001). PELT (1993), describe al clima en el área del Poopó como semiárido y frío (8-10°C promedio anual), con una distribución estacional de lluvia típicamente monomodal con una época lluviosa de diciembre a marzo y una seca de mayo a agosto. La precipitación anual promedio en los últimos cincuenta años es de 364 mm, (PPO-3, 1996), presentándose también granizadas y heladas con mucha frecuencia; son usuales las sequías e inundaciones, las mismas que están relacionadas directamente con los regímenes naturales de lluvias, constituyéndose en los riesgos naturales de mayor impacto ambiental, social y económico.



Figura 1, mapa esquemático del altiplano, sistema TDPS (Risacher, 2000)

Diversas investigaciones de secciones de sedimentos y registros históricos han revelado que el lago Poopó es intermitente y de existencia periódica, su tamaño es dependiente del flujo del

El lago Poopó representa un virtual sumidero para todos los metales que le llegan tanto de fuentes naturales provenientes de fenómenos geológicos normales tales como la formación de menas, meteorización y erosión de las rocas, la lixiviación y fenómenos volcánicos, como de fuentes antropogénicas; por ejemplo el 85% del arsénico transportado en aguas superficiales (PPO-10, 1996) es de origen natural, otra parte proviene principalmente del centro minero de San José; el antimonio no antropogénico (12%) deriva del cinturón de rocas sedimentarias del Paleozoico (Risacher, 2000) que hospedan mineralización de oro-antimonio; el plomo de origen natural supera con creces a la fracción antropogénica que llega a un aporte total de plomo del 75% siendo la fuente dominante las vulcanitas.

Por tanto, las condiciones climáticas irregulares (Talbi, 1999), unidas a la gran altitud y la contaminación de la zona, determinan que los resultados productivos del sector sean muy inestables, lo que vuelve extremadamente difíciles las condiciones de vida de la población que vive principalmente de la ganadería, por la falta de tierras apropiadas para el cultivo.

Parte experimental

Las muestras fueron tomadas en época seca, intermedia y de lluvias desde el año 2000 al 2003, en los ríos afluentes (20 puntos) y en el interior del lago. Las muestras fueron colectadas en botellas de plástico de 500 mL, filtradas a través de un filtro de 0.45 μm , las cuales fueron preservadas para análisis: metales pesados con ácido nítrico concentrado (Reactivo de alta calidad, ACS), nutrientes con ácido sulfúrico concentrado

rio Desaguadero que a su vez depende del nivel de agua del Lago Titicaca, regulado por la oscilación sud del fenómeno de "El Niño", cuando bajan sus niveles de agua, la salida del Desaguadero se vuelve tan baja que el ingreso al lago Poopó (Cross, 2001) no puede compensar las pérdidas por infiltración y por evaporación de la superficie del lago.

Además de estos factores, la zona de estudio tiene una degradación de los recursos hídricos, ocasionada particularmente por la contaminación orgánica y bacteriológica generada por las aguas negras provenientes de los centros urbanos del sistema (ALT, 1999), por la contaminación de metales pesados proveniente de fuentes naturales, de la minería y la industria metalúrgica y por los elevados niveles de salinidad de ciertos cuerpos de agua (Risacher, 2000) que pueden variar entre los 2 y los 100 g/L.

(ACS). Se realizaron determinaciones de campo: pH, conductividad, sólidos totales disueltos (TDS), alcalinidad total; además de nitratos y fosfatos, determinados con un espectrofotómetro de campo HACH DRELL 2000, los cuales fueron verificados en el laboratorio en un espectrofotómetro UV-VIS HITACHI.

Las muestras de sedimentos fueron colectadas en bolsas de polietileno de los ríos y los lagos Poopó y Uru-Uru, las que fueron secadas a temperatura ambiente y disgregadas en digestión ácida (nitrato:clorhídrico; 3:1); los metales pesados de aguas y sedimentos fueron determinados por espectrofotometría de absorción atómica con horno de grafito.

Resultados y Discusión

En los ríos de San Juan de Sora Sora (Subcuenca de Huanuni) y Antequera (Subcuenca del río Antequera, Pazña) se encuentran aguas superficiales con valores de pH bajos, los cuales provienen de los drenajes ácidos de las minas, en el primero existe cierta diferencia entre el valor determinado en época seca (2,58) y el correspondiente a la época de lluvias (4,11) por efecto de dilución; sin embargo en Antequera es lo opuesto ya que el pH en el periodo seco es ligeramente mayor, debido posiblemente a que sus colas y desmontes son lixiviados por las aguas de lluvia. En la subcuenca del río Poopó los valores de pH son alcalinos, principalmente en la época seca (9,36), debido a que estas aguas están afectadas por las vertientes termales localizadas justo aguas arriba del pueblo con elevadas concentraciones de sal, mientras que en época de lluvias tiende a disminuir debido a la dilución por las aguas de lluvia (7,40).

La muestra del lago Uru Uru presenta un pH alcalino principalmente en época húmeda (10,30) que se debería a las emisiones gaseosas de fundidoras, fábricas de ladrillo y cemento, descargas domésticas de la ciudad de Oruro y residuos de la mina San José.

Las aguas del lago Poopó, presentan pH en el orden de 8,30 siendo los valores ligeramente mayores en las muestras de la época de lluvias que coincide con los altos valores de alcalinidad total que se encuentran en el rango de 212-300 mg/L.

El punto que corresponde a la salida del lago Poopó (río Lacajahuira) cambia de un pH neutro (6,80) en época seca a uno alcalino (9,37), que concuerda con la evolución del pH del lago Poopó de norte a sur, mostrando la tendencia a pH alcalinos (8,60).

En relación a los metales pesados, los puntos donde se observa mayor concentración de cadmio son los afluentes que provienen de fuentes mineras; los ríos San Juan de Sora Sora y Antequera muestran los rangos más altos 0,163-0,872 mg/L y 0,171-0,496 mg/L respectivamente, los valores de concentración se van incrementando en el periodo de lluvias; en cambio los otros ríos presentan valores por debajo del límite de detección (10,00 µg/L) en ambas épocas. El lago Poopó también presenta valores relativamente altos que alcanzan concentraciones de 0,042 mg/L en los puntos muestreados, en el lago Uru-Uru los valores se encuentran por debajo del límite de detección en ambas épocas.

En los puntos de muestreo de los ríos San Juan de Sora Sora, Poopó y Antequera los rangos de zinc son 3,76-24,1; 0,109-0,535 y 0,171-0,496 mg/L respectivamente, en todos los casos se observa el aumento de la concentración en la época de lluvias; mientras en el río Lacajahuira (salida del lago Poopó) se observan valores menores a 0,200 mg/L. Las muestras del lago Poopó presentan valores por debajo de 0,150 mg/L, lo que demuestra que la concentración de este metal puede disminuir por sedimentación favorecido este proceso por la poca pendiente y movimiento de aguas.

Las concentraciones de plomo en los ríos afluentes al lago Poopó muestran concentraciones por debajo de 0,070 mg/L, presentándose algunos valores que se desvían de ese comportamiento, Chuquiña (0,025-0,498 mg/L), San Juan de Sora Sora (0,019-0,273 mg/L), Puente Español (0,019-0,108 mg/L), Huancane con valores que alcanzan 0,095 mg/L, Antequera (0,019-0,061 mg/L), Poopó (0,017-0,050 mg/L) y en la salida del Poopó (río Lacajahuira) con rangos entre 0,046-0,117 mg/L; que corresponde a la tercera campaña de muestreo (marzo 2002) en plena época de lluvias. Los puntos que corresponden al interior del lago Poopó muestran rangos de 0,210-0,632 mg/L, que demuestra que el lago Poopó es un reservorio de metales pesados, tanto en fase líquida como sólida.

Los ríos que aportan más hierro hacia los lagos Poopó y Uru Uru son: Huanuni (3,7-53,0 mg/L), Antequera con un valor máximo de 8,5 mg/l, Poopó (0,028-0,960 mg/L); mientras en la salida, río Lacajahuira los valores están dentro del rango 0,029-0,096 mg/L y las muestras de los lago Poopó y Uru-Uru muestran valores por debajo de 0,200 y 0,050 mg/L respectivamente.

Arsénico; este elemento se encontró en los subsuelos desde Eucaliptus hacia el sur de la cuenca, en yacimientos naturales y debido a la salinidad de las aguas y al nivel freático muy variable, éste es lixiviado hacia las aguas superficiales de la cuenca, siendo los ríos Chuquiña (0,16-1000 mg/L), Puente Español (0,24-5,5 mg/L), Antequera (0,074-0,16 mg/L) y Poopó (0,70-4,7 mg/L) los más importantes, además la salida del Poopó (Lacajahuira) presenta un valor máximo de 4,0 mg/L. Los valores que corresponden a las muestras dentro del lago están en el orden de 8,0 a 32,0 mg/L, mientras en el Uru-Uru los valores están en el orden de 0,230-0,570 mg/L; además se observa una dilución en la época de lluvia pero pese a este factor sus valores son aun elevados, tal como sucede en las muestras en los lagos.

En las muestras de sedimentos se han determinado los mismos metales pesados comparando también entre la época seca y de lluvias, en estos resultados se puede observar nuevamente la influencia de la minería en la subcuenca del lago Poopó, principalmente en el río Poopó que es el punto donde existe la mayor concentración de metales pesados. Los valores más altos en el caso del plomo corresponden a las muestras tomadas en la época seca del río Poopó (456 mg/Kg) juntamente con el de Huanuni (279 mg/Kg), sin embargo en el Antequera (Pazña), el mayor valor se encuentra en el período húmedo (278 mg/Kg), el mismo comportamiento se observa en el río Lacajahuira, pero con concentraciones menores en el rango de 17,95 y 37,78 mg/Kg. Otro punto interesante es el sedimento de la orilla del sur (altura de población de Huari) del lago Poopó que se encuentra en el rango de 32-56 mg/Kg. En la mayor parte de los puntos, los valores de cadmio son menores al límite de detección, sin embargo en la muestra del río Poopó, se determinaron concentraciones de 117,50 mg/Kg. en la época seca y 31,70 mg/Kg en la época de lluvias, que son las concentraciones más altas de este elemento en todas las muestras tomadas, el siguiente punto que llama la atención además del río Poopó es la muestra que corresponde al sedimento de la orilla sur del lago que en promedio está alrededor de los 20,00 mg/Kg. En la mayoría de las muestras se encontraron bajas concentraciones de zinc, en especial en la parte sur de las subcuencas de los ríos Sevaruyo 60,52-78,82 mg/Kg, Márquez 66,80-124,25 mg/Kg, siendo estas menores en la época de lluvias, mientras que en el río Poopó se tiene la mayor concentración de este elemento 16 900 mg/Kg.

El arsénico tiene concentraciones muy elevadas en todas las muestras de sedimentos de la subcuenca y al igual que los otros metales la mayor concentración es la del río Poopó 639 mg/Kg, siendo estos valores, mayores en la época seca.

En la zona de estudio existen muchos minerales con contenido de hierro, esto se puede verificar con el elevado contenido de este elemento en prácticamente todas las muestras de sedimento tomadas en la subcuenca, las más elevadas al igual que los otros metales pertenecen a la parte norte, del orden de 55 200 mg/Kg y las más bajas al sur, puntualmente en el río Sevaruyo 7 637 mg/Kg.

Conclusiones

Los lagos Poopó y Uru Uru reciben cargas de contaminantes mineros y domésticos que son los responsables de la formación de afluentes ácidos y básicos; por los valores de pH encontrados no son aptos para consumo (humano y animal) ni riego, excepto en la vertiente Huari (río Huaya Pajchi).

Los afluentes de fuentes mineras en cadmio superan en 210% la concentración límite permisible (0,01-0,05 mg/L) para cualquier uso (OPS/OMS, 1985), en cambio el Lago Poopó la concentración llega a 0,042 mg/L, lo que demuestra que la disminución de la concentración de debería a la precipitación , co-precipitación o sedimentación.

La influencia de la actividad minera en la carga de zinc en el río San Juan de Sora Sora se debe a la mina Huanuni, superando en 20% el límite máximo permisible (5,0 mg/L) para cualquier uso del cuerpo de agua (OPS/OMS, 1985).

Las concentraciones de plomo en los afluentes superan los límites máximos permisibles para consumo humano (0,05 mg/L, OPS/OMS, 1985), excepto en la vertiente Huari (río Huaya Pajchi), similar situación de alta concentración sucede al interior del lago.

Los ríos de las subcuencas mineras en lo referente a hierro superan en 170 % el límite máximo permisible para consumo humano (0,3 mg/L) en los ríos San Juan de Sora Sora y Antequera, mientras que en el río Poopó por sus concentraciones son aptas solo para riego. En los lagos las concentraciones superan los límites para cualquier uso, excepto riego.

En general las aguas superficiales de las subcuenca del lago Poopó y Uru-Uru están contaminadas naturalmente con arsénico, este elemento tiene un límite máximo permisible de 0,05 mg/L.

Podemos concluir que las aguas superficiales no son aptas para ningún consumo, pero si para riego con restricciones dependiendo del tipo de cultivo a ser implementado; también se observa que no hay contaminación por zinc.

La vertiente de la población de Huari (río Huaya Pajchi), presenta valores por debajo de los límites permisibles en todos los metales pesados estudiados, siendo la única que puede ser consumida por el humano, sin previo tratamiento en forma directa, desde el punto de vista fisicoquímico, para consumo de ganado y riego (sin restricciones).

En lo referente a los sedimentos todos los metales pesados estudiados presentan elevadas concentraciones, comparando los mismos con los límites de FAO-OMS/OPS (1992), esto se puede deberse a: precipitación, coprecipitación y/o sedimentación.

Agradecimientos

A la Agencia de Cooperación Sueca, ASDI-SAREC, por el apoyo económico para el desarrollo del presente proyecto.

A la Universidad de Lund y la Universidad Mayor de San Andrés, por la supervisión y colaboración en el desarrollo del proyecto

A todas las personas que ayudaron para el buen desarrollo del mismo

Referencias

- Agency for Toxic Substances and Disease Registry (ATSDR), 1997. Toxicological Profile for Lead". US Department of Health and Human Service.
- Argollo J., Philippe M., 2001 Late quaternary climate history of the Bolivian Altiplano, *Quaternary International*. 72, 37-51.
- Autoridad Autónoma del Sistema hídrico del TDPS, (ALT), 1999. Macrozonificación Ambiental del Sistema TDPS, La Paz, Bolivia, 59pp.
- Beveridge M., 1983. Un estudio de los niveles de metales pesados en el Lago Poopo, Bolivia, Institute of Aquaculture, University of Stirling, Scotland, 41p.
- Carrasco, J.J., 1985. Balance Hídrico Superficial de la Cuenca del Lago Poopo y los Salares de Uyuni y Coipasa, PHICAB, Bolivia.
- Cross S.L., Baker P.A., Seltzer G.O., Sherilyn C.F., Dunbar R.B. (2001). Lake Quaternary Climate and Hydrology of Tropical South America Inferred from an Isotopic and Chemical Model old Lake Titicaca, Bolivia and Peru, *Quaternary Research* 56, 1-9.
- Quintanilla, J., Niura A., Martínez, J., 2001. Hidroquímica y contaminación de la cuenca Endorreica del Altiplano, Memorias del Simposio Internacional sobre el Sistema de la lago Titicaca, pag.181-194
- PELT (1993), Estudio de Hidrología, Estudio de Climatología, Proyecto Especial Lago Titicaca, La Paz, Bolivia, 256pp.
- Plan Piloto Oruro – 003, (PPO-3), Ministerio de Desarrollo Sostenible y Medio Ambiente, Swedish Geological, 1996, Hidrología del área del PPO, La Paz, Bolivia, 35pp.
- Plan Piloto Oruro – 010, (PPO-10), Ministerio de Desarrollo Sostenible y Medio Ambiente, Swedish Geological, 1996, Aspectos ambientales de los metales y metaloides en el sistema hidrológico del Desaguadero, La Paz, Bolivia, 97pp.
- Risacher F., Fritz B., Bromine geochemistry of Salar de Uyuni and deeper salt crusts, Central Altiplano, Bolivia. (2000) *Chemical Geology*, 167, 373-392.
- Talbi A., Coudrain A., Ribstein P., Poyaund B., Calcul de la pluie sur le bassin versant du lac Titicaca pendant l' Holocene. Computation of the rainfall on Lake Titicaca catchment during the Holocene, C.R. Acad. Sci. Paris, Sciences de la terre et des planets/ Earth & Planetary Sciences, 329, 197-203.
- US Environmental Protection Agency (1983) Methods for Chemical Analysis of water and Wastes. US Environmental Protection Agency, Office of Research and Development Document # EPA/ 600/4-79/020, Washington, DC
- US Environmental Protection Agency (1983). Methods for the determination of metals in environmental samples. US Environmental Protection Agency, Office of Research and development Document # EPA/ 600/4-91/010, Washington DC