

CONTAMINACIÓN DE AGUAS Y SEDIMENTOS POR As, Pb y Hg DE LA CUENCA DEL RIO RAMIS, PUNO - PERU.

WATER AND SEDIMENT POLLUTION OF THE BASIN OF THE RIVER RAMIS BY AS, PB AND HG. PUNO-PERU

Dalmiro A. Cornejo Olarte¹ & Myrian E. Pacheco Tanaka²

¹Escuela Profesional de Ing. Metalúrgica UNA-Puno, C.E. dalmirocorolarte@gmail.com

²Escuela Profesional de Ing. Química UNA-Puno, C.E. mpachecotanaka@yahoo.es

RESUMEN

La actividad minera mediana y artesanal en las cabeceras de la cuenca del Ramis, ocasiona el deterioro y alteración progresiva de la flora y fauna ribereña, generando un efecto negativo en la actividad socioeconómica de la población, además de dañar las funciones hidrológicas de la cuenca del Ramis. Para el estudio se seleccionó 13 puntos de muestreo, dividido en tres sub cuencas: Azángaro (seis puntos), Ayaviri (cuatro puntos) y Ramis (tres puntos). El monitoreo se realizó en cuatro épocas del año 2009, para evaluar la variación estacional de los parámetros elegidos (As, Hg y Pb). En cada punto se colectó muestras de aguas y sedimentos, realizando determinaciones analíticas *in situ* (pH, T° y Conductividad) y determinaciones analíticas en el laboratorio de calidad ambiental de la UMSA. Los análisis de agua reportaron concentraciones por encima de los Estandares de Calidad Ambiental para el agua (ECA-Peru): arsénico (*máx* 0.080mg/L); y plomo (*máx* 0.076mg/L). Así mismo, en sedimentos se reportó concentraciones por encima de los límites permitidos (USEPA-USA): arsénico (*máx* 152mg/Kg), mercurio (*máx* 0.140mg/Kg) y plomo (*máx* 55mg/Kg), Estas variaciones son producto del uso desmedido de mercurio en recuperación del oro en La Rinconada y Ananea, que generan además, grandes cantidades de sólidos en suspensión y como consecuencia sedimentos superficiales. Los pasivos mineros de la mina Cecilia (plomo-zinc), San Rafael y Arasi estarían contribuyendo a los procesos de contaminación registrados.

Palabras clave: Contaminación, Minería, Ramis, Aguas y Sedimentos.

ABSTRACT

The median and artisanal mining at the headwaters of the basin Ramis, causes progressive deterioration and alteration of riparian flora and wildlife, creating a negative effect on the socioeconomic activity of the population, in addition it damages the hydrological functions of the basin Ramis. For the study 13 sampling points, divided into three sub basins: Ayaviri (six sampling points), Azángaro (four points) and Ramis (three points) were selected. The monitoring was conducted in four times in 2009, to evaluate the seasonal variation of the chosen parameters (As, Hg and Pb). At each point, water and sediment samples were collected, performing *in situ* analytical determinations (pH, conductivity and T °) and analytical determinations in the laboratory of environmental quality of the UMSA. Water analyzes reported concentrations above the environmental quality standards for water-Peru (ECA-Peru): arsenic (up to 0.080mg/L); and plumb (up to 0.076mg/L). Also in sediment we found concentrations above the permitted limits (USEPA-USA): Arsenic (max 152mg/Kg), mercury (max 0.140mg/Kg) and plumb (max 55mg/Kg). These variations are the result of excessive use of mercury in gold recovery in La Rinconada and Ananea, which also as a result this variations generate large amounts of suspended solids and surface sediments.

Keywords: Pollution, Mining, Ramis, Water and Sediments

INTRODUCCION

La situación ambiental de entornos geofísicos, como son las cuencas de los ríos, es un asunto prioritario debido a su importante repercusión social y económica, particularmente en el Perú, donde hay una alta presencia de minería legal e ilegal. La región Puno, es una zona crítica en el que la contaminación por metales pesados es una fuerte amenaza para los recursos hídricos. Es por ello que se hizo estudio en la cuenca del Ramis, ubicada en el sector Norte de la vertiente del Titicaca, en el que existe dos zonas mineras representativas: Norte (Cerro Lunar, La Rinconada, Ananea y Crucero), Centro y Sur (Azángaro, Juliaca y Puno), con contaminación de minería tipo metálico (Mina San Rafael, Minera Arasi, La Rinconada, Ananea, entre otras). Estas minas, situados en la parte alta de la cuenca, vierten sus aguas directamente al río. Además, en la misma cuenca existe pasivos ambientales de las minas Cecilia, Ana María, Cerro Inca Azul y lavaderos de oro) (MINEM 2013). En forma adicional, hay una contribución natural de metales pesados por erosión fluvial litogénica.

Los metales pesados pueden clasificarse en dos grupos; primero elementos como Cu, Zn y Cr^{3+} , segundo constituido por metales que no tienen un rol biológico conocido, pero sí una clara toxicidad (As, Cd, Hg y Pb), que tienen origen natural, doméstico, antropogénico, industrial, agropecuario, minero o de acuerdo a determinantes geológico mineros. Los efectos toxicológicos constituyen un serio riesgo para la salud humana y la ecología. (Barbour

2000).

La contaminación del agua puede provenir de la degradación de sustancias inorgánicas y orgánicas que se encuentran como componentes del suelo o como desechos de relaves metalúrgicos (López 1981; Liu *et al.* 2008; Cornejo *et al.* 2010). El *Arsénico*, se encuentra en aguas superficiales en forma de arseniato. La eliminación natural de arsénico de las aguas, generalmente se produce por adsorción sobre óxidos de Fe y Al (Foster 2011) y partículas arcillosas. También puede precipitar como arseniato de hierro $FeAsO_4$. Para las aguas de superficie y subterráneas el límite es hasta 1000ppb. El *Mercurio* se pierde con facilidad de las soluciones acuosas diluidas, debido a la reducción de las mismas por residuos de materiales reductores (Veiga *et al.* 2011) y por la desproporción del catión Hg^{2+} . El mercurio liberado en el medio ambiente como metal se convierte en CH_3Hg^+ por una metilación biológica. El *Plomo* en medio acuático a pH 7 - 9, se encuentra como ion libre divalente y como carbonato disuelto. En condiciones normales el plomo no reacciona con el agua, pero si se pone en contacto con el aire húmedo, la reactividad con el agua aumenta, formándose una capa de óxido de plomo (PbO), en presencia de oxígeno y agua, el plomo metálico se convierte en hidróxido de plomo. Los sedimentos pueden actuar como portadores y posibles fuentes de contaminación en razón de que son movilizados y liberados a la columna del agua por cambios en las condiciones ambientales como: pH, potencial redox,

oxígeno disuelto o la presencia de quelatos orgánicos (Förstner 1993). El área superficial específica es una propiedad particular que controla la capacidad de adsorción. Éste es inversamente proporcional al tamaño de las partículas y disminuye de magnitud a partir del tamaño de las partículas de arcilla ($10\text{m}^2/\text{g}$) a los granos de arena ($0.01\text{m}^2/\text{g}$). Por lo tanto, las partículas más finas son generalmente más ricas en elementos traza.

Cuando se considera el material particulado total, el contenido de elementos traza es generalmente directamente proporcional a la cantidad de la fracción fina (Salomons y De Groot 1977). *Arsénico*, a pH 6 a 8 se precipita (Kumar 2004), en ambientes anóxicos y en presencia de iones S^{2-} , el arsénico se puede transformar a sulfuro de Arsenio (III), el cual precipita en los sedimentos. Su concentración puede variar de 1 a 40ppm. Por otro parte, las concentraciones de mercurio en sedimentos no contaminados son sumamente bajas, y sus niveles van de $0.03\text{mg}/\text{Kg}$ a $0.2\text{mg}/\text{Kg}$ (Bryan & Langston 1992; Salomons & Forstner 1984). El *Plomo* en sedimentos no contaminados van aproximadamente de $<10\text{mg}/\text{Kg}$ a $50\text{mg}/\text{Kg}$. (Salomons & Forstner 1984; WHO 1995). Pese a que el plomo no se considera uno de los metales más móviles en el medio ambiente, a menudo está unido fuertemente a las partículas en suspensión y a los sedimentos (Berg *et al.* 1995), los hidróxidos de Fe y Mn precipita el Pb en los sedimentos. La partición química reducible de plomo es de (50.6%) y en fracción residual (32.8%). El porcentaje de

Pb en la distribución espacial es del orden: reducible>residual>intercambiable y enlace carbonatos > oxidable.

Los objetivos fueron: 1) Determinar el nivel de pH, T° , Conductividad y las concentraciones de As, Hg y Pb en aguas de la cuenca Ramis; y 2) Analizar y evaluar las concentraciones de As, Hg y Pb en sedimentos superficiales producidos por la minería artesanal de Ananea.

METODOS

Área de estudio

La cuenca del Ramis se ubica en la región sureste del Perú, sector Norte de la vertiente del Titicaca ($14^\circ 03' - 15^\circ 24' \text{S}$ y $71^\circ 07' - 69^\circ 34' \text{O}$). Aporta el 23.8% de agua al lago Titicaca (Carmouze & Aquize 1981). Tiene un área aproximada de $14,706\text{Km}^2$, su altitud máxima es de 5828msnm en el nevado de Ananea y la mínima es 3815msnm en la estación hidrométrica del puente Ramis. Está conformada por las siguientes subcuencas: río Grande, río Azángaro, río Ayaviri, río San José y laguna de Arapa (Geo Titicaca 2011).

Para determinar las fuentes de contaminación de la cuenca; se dividió en tres sub cuencas (Cuadro 1), y se seleccionaron 13 puntos de muestreo, tomándose muestras a 100m río abajo de la unión de dos ríos. Se muestreó durante abril, julio, octubre y diciembre del 2009.

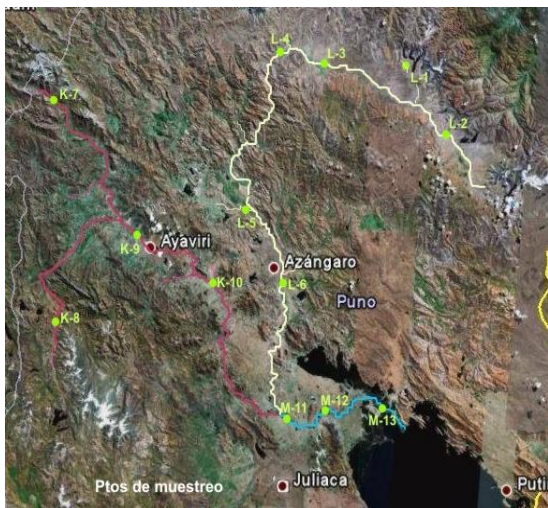


Figura 1. Ubicación de puntos de muestreo y sub cuencas en estudio

Técnicas de muestreo de aguas

Siguiendo el protocolo de toma de muestras (muestreo simple), se colectó muestras de agua por duplicado en cada punto seleccionado, en envases de polietileno de alta densidad (500mL), lavados previamente en el laboratorio con ácido nítrico al 1%. Las muestras fueron tomadas de lugares más próximos al centro del cauce del río. A todas las muestras colectadas se adicionó ácido nítrico al 1% para evitar el intercambio de iones y precipitación de hidróxidos (Berg *et al.* 1995). Las muestras fueron almacenadas en los envases cerrados herméticamente, resguardados de la luz y evitando que la muestra se caliente, por lo que fueron refrigeradas hasta su transporte y entrega a los laboratorios. Cada muestra se rotuló con un código, el mismo que se registró en la cadena de custodia.

Técnicas de muestreo de sedimentos

Se colectó muestras de sedimento por duplicado en cada uno de los seis puntos de muestreo de la sub cuenca Azángaro. Para

ello, se utilizó una pala pequeña para colectar muestras de varias partes del punto de muestreo, los que fueron mezclados en un recipiente de polietileno de 20L y se cuarteó a 500g aproximadamente, almacenándose en un envase de polietileno (Bubb *et al.* 1993). Estas muestras fueron almacenadas en bolsas ziploc y protegidas en bolsas plásticas negras y mantenidas en refrigeración hasta su entrega a los laboratorios. Cada muestra se rotuló con un código, el mismo que se registró en la cadena de custodia.

Determinaciones analíticas

Las determinaciones *in situ* se realizaron siguiendo el protocolo de muestreo de aguas, en el instante de la toma de muestra en cada punto de muestreo. Los parámetros físico-químicos fueron: temperatura, pH y CND. Las determinaciones en laboratorio para el análisis químico de todas las muestras se realizaron en el Laboratorio de Calidad Ambiental del Instituto de Ecología de la UMSA de La Paz-Bolivia, mediante los siguientes métodos: a) *Método EPA 206,2 en $\mu\text{g/l}$* aprobado por National Pollutant Discharge Elimination System (NPDES) y Safe Drinking Water Act (SDWA) (Issued, 1978): Arsénico (AA, Furnace Technique: 7440-38-2); b) *Método EPA 245,1 en $\mu\text{g/l}$* Approved for NPDES and SDWA (Issued, 1974): Mercurio (Manual Cold Vapor Technique: 7439-97-6 AA); y c) *Método EPA 239,2 en $\mu\text{g/l}$* Approved for NPDES and SDWA (Issued, 1978): plomo (AA, Furnace Technique: 7439-92-1).

Cuadro 1. Códigos de identificación de puntos de muestreo

Ríos y tributarios de cada sub cuenca	Sub Cuencas	Punto de muestreo Código
Rio Grande Rio Quenamari Rio Azángaro	Sub Cuenca Río Azángaro	L-1 L-2 L-3 L-4 L-5 L-6
Rio Santa Rosa Rio Ocuviuri-Umachiri Rio Pichacani Rio Ventilla	Sub Cuenca Río Ayaviri	K-7 K-8 K-9 K-10
Rio Ramis	Sub Cuenca Río Ramis	M-11 M-12 M-13

RESULTADOS Y DISCUSION

Concentraciones químicas en agua

Arsénico: las concentraciones de As en aguas estuvieron por encima de los ECAs ya que el máximo fue 0.08mg/L (Figuras 2 y 3).

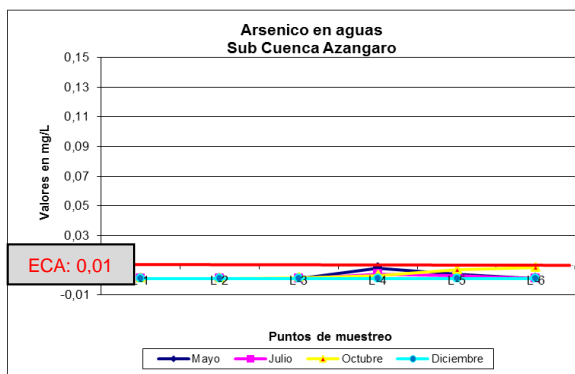


Figura 2. Concentraciones de As en aguas de la Sub Cuenca Azángaro.

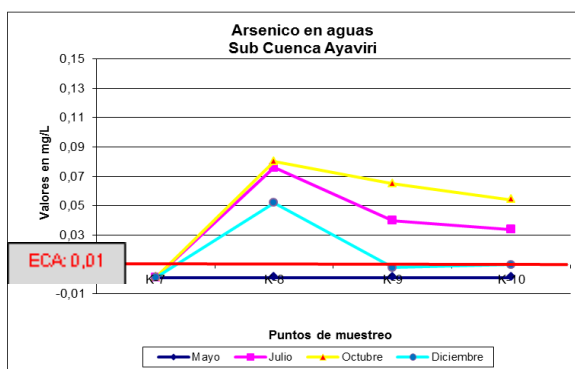


Figura 3. Concentraciones de As en aguas de la Sub Cuenca Ayaviri.

Estos resultados son mayores al reportado en la categoría de crítico en el lago Titicaca, principalmente del tributario hidrográfico del Ramis (Geo Titicaca 2011) y 36.00µg/L en agua de mina (Gómez 2012). La alta presencia de As en los cuerpos d agua, podría tener efectos negativos sobre la población aguas abajo ya que el agua es utilizado para diferentes fines (doméstico, agropecuario). Por ejemplo, se ha documentado el aumento de los riesgos de cáncer de pulmón y vejiga, y de lesiones de la piel, los mismos que estuvieron asociados a la ingestión de agua con concentraciones de As por debajo de 50µg/L (WHO 2011).

Mercurio: En el medio ambiente acuático, el mercurio elemental probablemente quedará unido al sedimento y luego será trasportado por las corrientes marinas o fluviales. Una parte del mercurio permanece disuelto en la columna de agua y afecta las cadenas tróficas. En los sistemas acuáticos, los microorganismos presentes allí de manera natural pueden transformar el Hg en

metilmercurio, un compuesto organometálico que es más tóxico a dosis bajas que el mercurio en estado puro (Weinberg 2010). En el Sistema TDPS, se registraron concentraciones superiores a las normales, para consumo humano de Hg y As. En individuos de pejerrey capturados en la bahía de Puno se encontraron concentraciones de 0.4ppm de Hg (Geo Titicaca 2011). Los resultados reportados del análisis de Hg en aguas, muestran niveles por debajo del ECA para el agua (0.001mg/L), por lo que por el momento no representa una amenaza para el ecosistema y población humana.

Plomo: Los resultados reportaron altas concentraciones con respecto al ECA (máx. 0.08mg/L), que corresponden a las zonas comprendidas entre la unión del río Carabaya (Crucero o Grande) y el río proveniente del valle de la mina Cecilia (Río Cecilia), lugar donde existen pasivos mineros de plomo-zinc-cobre (Figura 4). En la sub cuenca Ayaviri, las concentraciones se encuentran dentro de los límites de ECA (Figura 5) y el reporte es similar para la sub cuenca Ramas hasta desembocar en el lago Titicaca.

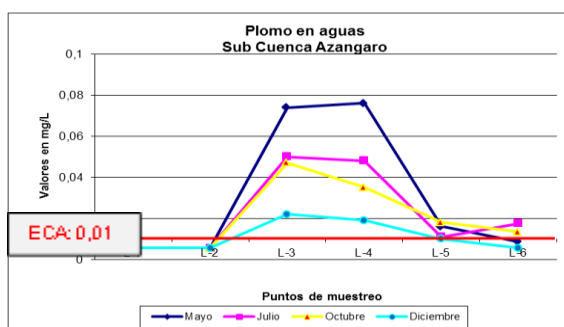


Figura 4. Concentraciones de Pb en aguas de la Sub Cuenca Azángaro.

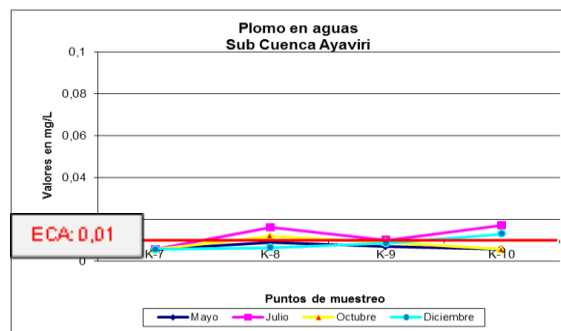


Figura 5. Concentraciones de Pb en aguas de la Sub Cuenca Ayaviri.

Las concentraciones de Pb reportadas en la sub cuenca Azángaro son mayores al promedio de Pb en el agua en una semana de muestreo (Ontario Canadá), con un nivel medio de 4.8 μ g/L (DNGW 1992). En el Reino Unido entre 1975-76, los niveles de Pb estaban por encima de 50 μ g/L, 10% de hogares en Inglaterra y 33% en Escocia (Quinen & Sherlock 1990). En Glasgow (Escocia), se reportó que el agua contiene Pb y en 40% de las muestras excede 100 μ g/L (WHO 2011).

Concentraciones químicas en sedimentos

La sub cuenca Azángaro en estudio, mostró un alto contenido de sedimento superficial (arcilla) ocasionado por el lavado de chutes para concentrar oro en la zona de trabajo minero artesanal de Ananea. Se encontró capas de hasta 15cm de espesor (parte superior del río Crucero o Carabaya) a 3 o 5cm de espesor (río abajo hasta la unión con el río Asillo), que en tiempo de lluvias son arrastrados a las partes más bajas con su carga de iones, metaloides, metales tóxicos y materia orgánica.

Cuadro 2. Estándares de calidad para suelos y sedimentos

USA (USEPA)	As	Cu	Hg	Pb
ER-L (Effects range-low)	8.2	34	0.15	46.7
ER-M (Effects range-median)	70	270	0.71	218
AET-L (Apparent effects threshold-low)	50	390	0.59	450
AET-H (Apparent effects threshold-high)	700	1300	2.1	660
PEL (Probable effects levels)	4.21	108	0.7	112

Fuente: Malpartida, Universidad Tecnológica Nacional (UTN) Argentina- Multimedia ambiente ecológico

Arsénico: Se encontró altas concentraciones de As llegando hasta 150mg/Kg (Figura 7), que están por encima de los estándares para sedimentos (Cuadro 2: ER-L). Los sedimentos son almacenes naturales de trazas de elementos metálicos y no metálicos, como el As, que con el aumento de caudal del río en tiempo de lluvias, son movilizados río abajo hasta concentrar estos elementos en el lago Titicaca.

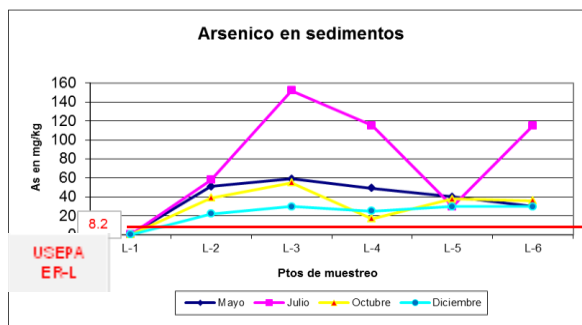


Figura 7. Concentraciones de As en sedimentos de la Sub Cuenca Azángaro.

Las concentraciones de As fueron superiores a los reportado por Monroy (2002) y Díaz *et al.* (2008), en sedimentos de arroyo del Área de Villa de la Paz-Matehuala y de la zona costera de la bahía de San Antonio en las

proximidades a la desembocadura del río Maipo respectivamente. También se han detectado altas concentraciones de As, en la mayor parte de sedimentos del lago Titicaca, considerándose como crítica (Geo Titicaca, 2011). Entonces, la subcuenca Azángaro está siendo fuertemente contaminada por As, debido a la actividad minera ilegal principalmente, ya que los lixiviados que generan no son tratados adecuadamente.

Mercurio: Los resultados reportaron altas concentraciones de Hg, con una máxima de 0.15mg/Kg (Figura 8), superando los valores máximos permisibles (Cuadro 2: ER-L); es decir, existe una acumulación de Hg en los sedimentos superficiales a lo largo del cauce del río Ramis. Esta alta concentración se traduce en muy peligrosa para el ambiente ecológico en el futuro. Este metal puede permanecer en el suelo y liberarse a las aguas de superficie y otros medios, durante largos períodos de tiempo, posiblemente cientos de años (Pirrone *et al.* 2001). La minería del oro es un proceso extractivo que genera muchos problemas ambientales, algunos de ellos como consecuencia del uso del mercurio y cianuro (Cornejo 2012). Se estima que por 1Kg de oro, se desechan 5Kg de Hg en el medio ambiente, de los cuales una gran cantidad llega a las fuentes de agua. El uso inadecuado del mercurio, principalmente en la minería, produce una contaminación que afecta el aire, agua, suelo, plantas, animales y, finalmente, la salud humana (OPS/OMS 2011).

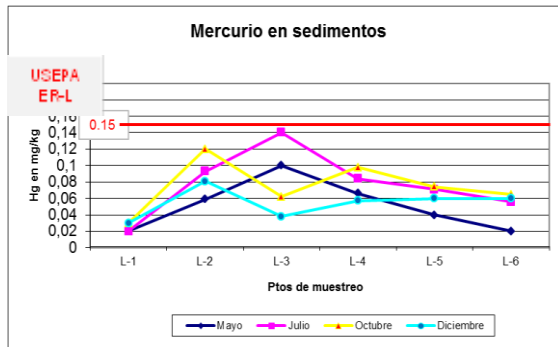


Figura 8. Concentraciones de Hg en sedimentos de la Sub Cuenca Azángaro.

Las concentraciones de Hg reportadas en la subcuenca Azángaro son superiores a lo reportado en Bahía del lago Graneberg (Häkanson & Jansson 1983; Thomas 1988), lago Turekian y Wedepohl reportaron (1.5mg/Kg de Hg en peso seco) (Förstner & Whitman 1981). También se detectaron altas concentraciones en la mayor parte del lago Titicaca y en varios de sus tributarios (Geo Titicaca 2011).

Plomo: Las muestras reportaron altas concentraciones con una máxima de 55mg/Kg. Considerando los estándares de sedimentos (Cuadro 2: ER-L) esta acumulación de Pb en sedimentos, también es una preocupación por razones medio ambientales, puesto que el metal acumulado en sedimentos puede ser liberado hacia el agua y esta es utilizada en riego de pastizales y para uso doméstico.

Varios autores reportan resultados similares a lo reportado en nuestro estudio (Jones & Turki 1997; Li *et al.* 2001; Fan *et al.* 2002; Fytianos & Lorantou 2004; Morillo *et al.* 2004; Peng *et al.* 2004; López-González *et al.* 2006; Wong *et al.* 2007). En el lago Titicaca y en varios puntos de sus tributarios

se ha reportado concentraciones preocupantes de este metal (Geo Titicaca 2011).

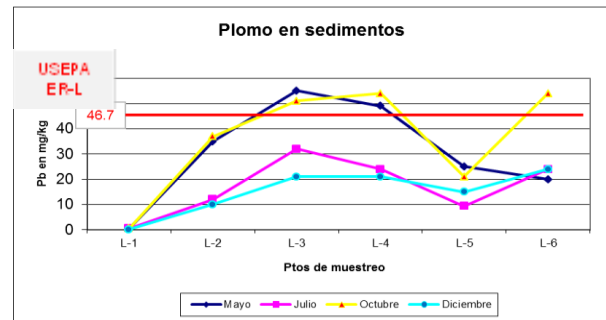


Figura 9. Concentraciones de Pb en sedimentos de la Sub Cuenca Azángaro.

Parámetros Físico-Químicos

pH: El estudio realizado reportó mínimas de 7.1 (agua de deshielo) y máximas de 9.5 en las partes bajas del río Azángaro (Figuras 10 y 11). A partir de la unión de los ríos Ayaviri y Azángaro el pH reportado fue 8.5 a 9.5 (subcuenca Ramis), hasta desembocar en el lago Titicaca, muy preocupante por ser mayor al ECA del agua.

El pH en aguas naturales está entre 6.0 y 8.5, aunque los valores más bajos pueden ocurrir en aguas diluidas con alto contenido de materia orgánica, y valores más altos en aguas eutróficas, salmueras subterráneas y lagos salados (Chapman 1996; WHO 2011). El pH es influido por el contenido de sales y los cambios de volumen de agua. En la época de seca aumenta por la concentración de las sales y disminuye en la época de lluvias (Ruiz 2012).

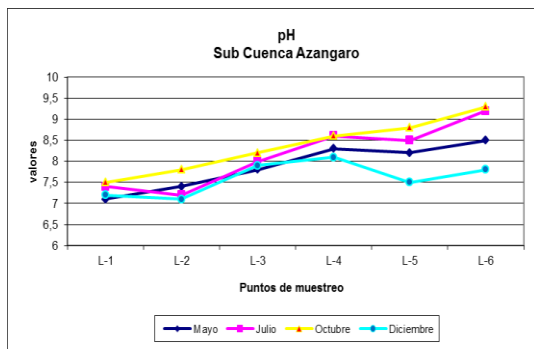


Figura 10. pH medido en la Sub cuenca Azángaro.

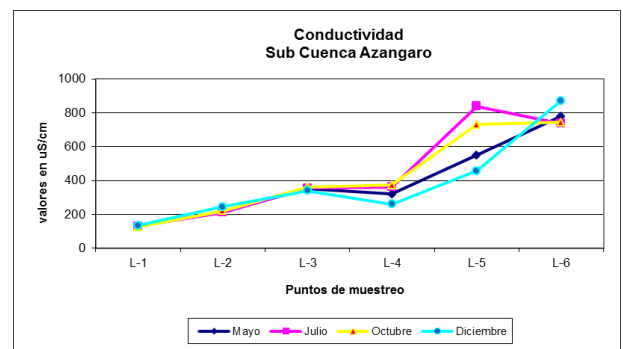


Figura 12. CND medido en la Sub cuenca Azángaro.

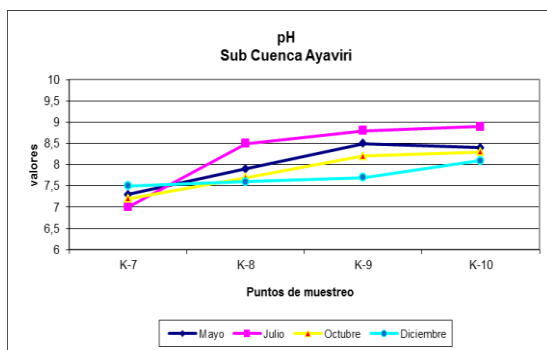


Figura 11. pH medido en la Sub cuenca Ayaviri.

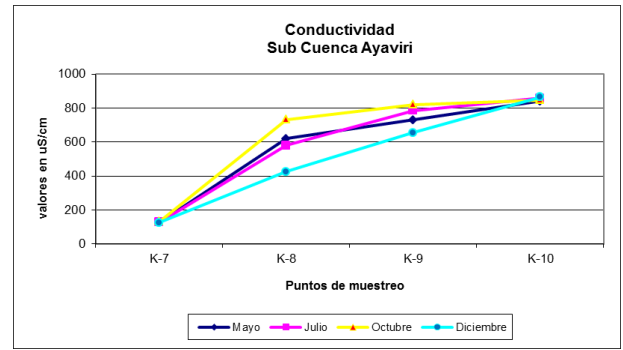


Figura 13. CND medido en la Sub cuenca Ayaviri.

Conductividad (CND en $\mu\text{S/cm}$): Los valores fueron desde $100\mu\text{S/cm}$ (agua de deshielo), hasta $900\mu\text{S/cm}$ en la unión de los ríos Ayaviri y Azángaro, y se mantiene entre 700 a $800\mu\text{S/cm}$ (sub cuenca Ramis) hasta desembocar al lago Titicaca (Figuras 12 y 13). Los reportes en la cuenca del Ramis, muestran un aumento de la conductividad por presencia de sales, iones disueltos y materia orgánica disuelta. La conductividad pudo haber sido influida por el pH encontrado, ya que son condiciones adecuadas para generar eutrofización en las partes bajas de la cuenca y el lago Titicaca.

La conductividad de la mayoría de las aguas dulces es de 10 a $1000\mu\text{S/cm}$, pero puede exceder los $1000\mu\text{S/cm}$, especialmente en aguas contaminadas, o aquellos que reciben grandes cantidades de afluentes (Chapman 1996). Se reportó valores desde 362 hasta $406\mu\text{mhos/cm}$ en época de lluvias y valores de 436 a $494\mu\text{mhos/cm}$, para estación seca en el río Santa Cruz de México (Solis *et al.* 2009).

Temperatura ($^{\circ}\text{C}$): Las temperaturas fluctuaron entre 11°C y 20°C . La temperatura del agua influye en la velocidad de los procesos fisiológicos de organismos, tales como la respiración microbiana que es responsable de gran parte de la autopurificación que se produce en los cuerpos de agua. Altas temperaturas soportan tasas de

crecimiento más rápidas y permiten cierta biota para obtener poblaciones significativas. En condiciones naturales la temperatura del agua varía entre 0°C y 30°C (Chapman 1996).

CONCLUSIONES

En las partes altas de la cuenca del Ramis el reporte del pH y CND están dentro de los límites del ECA del agua, en las partes bajas (unión de los ríos Azángaro y Ayaviri hasta desembocar al lago Titicaca) se reportó un aumento del pH y CND.

Los resultados del análisis de aguas muestran contaminación por As y Pb respecto al ECA del agua, producto de la actividad minera, pasivos mineros y erosión litogénica en las cabeceras de la cuenca del río Ramis.

Siendo los sedimentos concentradores de material particulado muy fino y concentrar elementos traza que son fuentes de contaminación, se reporta altas concentraciones de As, Hg y Pb respecto a estándares USEPA para sedimentos. Estas concentraciones son preocupantes porque son mayores a los reportados en trabajos afines.

Las altas concentraciones de metales tóxicos reportados y la presencia de la actividad minera en las cabeceras de la cuenca del Ramis (sub cuencas Azángaro y Ayaviri), pueden estar teniendo un efecto negativo en las funciones hidrológicas de la Cuenca y en la actividad socioeconómica de los pobladores que tienen como actividad principal la ganadería y la agricultura.

AGRADECIMIENTOS

Especial reconocimiento y agradecimiento a la Universidad Nacional del Altiplano de Puno, por financiar y habernos permitido el desarrollo del trabajo de Investigación "Estudio Integral de la Contaminación en la Cuenca del Ramis".

LITERATURA CITADA

- ATSDR. 1999. Toxicological Profile for Lead. Washington, DC: U.S. Department of Health and Human Services, Agency for Toxic Substances and Disease Registry. 1600 Clifton Road NE Mailstop F-32 Atlanta, Georgia 30333.
- ATSDR. 1999. Toxicological Profile for Mercury. Washington, DC: U.S. Department of Health and Human Services, Agency for Toxic Substances and Disease Registry, 1600 Clifton Road NE, E-29 Atlanta, Georgia 30333.
- BARBOUR, A. & SHAWI, C. 2000. Ecotoxicological impacts of the extractive industries Environmental Policy in Mining. Londres. Lewis, Publishers. 57-80.
- BERG, H.; KIBUS, M. & KAUTSKY, N. 1995. Heavy metals in tropical Lake Kariba. Zimbabwe, Water, Air and Soil Pollution, 83: 237-252.
- BUBB, J. M.; WILLIAMS, T. P. & LESTER, J. N. 1993. The behavior of mercury within a contaminated Tidal river

- system. *Water Science Technology*, 28 (8-9): 329-338.
- CARMOUZE, J. P. & AQUIZE, J. E. 1981. La regulation hydrique du Lac Titicaca et l'hydrologie de ses tributaires. *Rev. Hydrobiol. Trop.*, 4(14): 311-328.
- CASTRO, J. & MONROY, M. 2002. Parámetros Geológicos de Protección Ambiental, Geoquímica, Minería y Medio Ambiente. San Luis de Potosí, México. UNESCO-INGEMMET-Perú.
- CHAPMAN, D. 1996. *Water Quality Assessments. A Guide to Use of Biota, Sediments and Water in Environmental Monitoring* UNESCO/WHO/UNEP. Printed in Great Britain at the University Press, Cambridge.
- CORNEJO, D.; AGUILAR, T.; ARIZACA, J.; HUANQUI, R.; MEDINA, R.; PACHECO, M.; PEREZ, M.; PIMENTEL, J.; ROQUE, W. & TITO, S. 2010. Estudio integral de la contaminación en la cuenca del Ramis. Informe, Oficina de Investigación. Universidad Nacional del Altiplano. C.U. Puno Peru.
- CORNEJO, D. 2012. *El Oro*. Primera Edic. Editorial y Distribuidora San Marcos S.R.L. Puno Perú. 156 pp.
- DNGW (Department of National Health and Welfare), 1992. *Guidelines for Canadian drinking water quality: supporting documentation*. Lead. Ottawa, Canada.
- DIAZ, O.; ENCINA, F.; RECABARREN, E.; DEL VALLE, S. & PASTENE, R. 2008. Estudio de la concentración de Ag, Pb, Hg y fenantreno en la mancha (*Mesodesma donacium*) implicancias alimentarias y toxicológicas. Departamento de Biología. Universidad de Santiago de Chile. Chile.
- D'ITRI, F. 1991. Mercury contamination. What we have learned since Minamata. *Environmental Monitoring and Assessment*, 19:165-182.
- EPA (Environmental Protection Agency), 1982. *Handbook for sampling and sample preservation of water and wastewater*. 415 pp.
- EPA, 1983. *Methods for chemical analysis of water and wastes*. 544 pp.
- FAN, W.; WANG, W.; CHEN, J.; LI, X. & YEN Y. 2002. Cu, Ni and Pb speciation in surface sediments from a contaminated bay of northern China, *Mar. Pollut. Bull*, 44: 81-83.
- FLORES, V. H. 2008. Informe Inspeccion del Rio Ramis. Núcleo de afirmación del Saber Andino. Puno.
- FÖRSTNER, U. & WHITMAN, G. 1981. *Metal Pollution in the Aquatic Environment*. Editorial Springer Verlag, Berlin, 486 pp.
- FORSTNER, U. 1993. Metals speciation general concept and application. In *proceeding of the workshop on the sequential extraction of trace metals in*

- soils and sediments. *Ins. J. Environ. Anal. Chem*, 51: 5-23.
- FOSTER, A; ASHLEY, R & RYTUBA, J 2011. Arsenic species in weathering mine tailings and biogenic solids at the Lava Cap Mine Superfund Site. Nevada City, CA. *Geochemical Transactions*: 1-21.
- FYTIANOS, K. & LORANTOU, N. 2004. Speciation of elements in sediment samples collected at lakes Volvi and Koronia, N. Greece. *Environ, Internat.*, 20: 11-17.
- GEO Titicaca. 2011. Apoyo a la gestión integrada y participativa del agua en el sistema hídrico Titicaca-Desaguadero-Poopó-Salar de Coipasa (TDPS). PNUMA. Editorial Novo Art, S.A. Panamá, Panamá.
- GOMEZ, A.; LINARES, J. & CALDERON, C. 2012. Remoción de metales pesados en agua mediante membranas destinadas al ablandamiento de aguas. Instituto mexicano de tecnología del agua. XIII Congreso Nacional de Hidráulica. Acapulco-Mexico. 4pp.
- GUERRERO, C.; & ZAVALA, B. 2005. Influencia de la actividad minera en la cuenca del río Ramis – Puno.
- GOYER, R. A. 1996. Results of lead research: Prenatal exposure and neurological consequences. *Environ Health Perspect*, 104:1050–1054.
- HÄKANSON, L. & JANSSON, M. 1983. *Principles of Lake Sedimentology*. Springer Verlag, Heidelberg. 316 pp.
- JONES, B. & TURKI, A. 1997. Distribution and speciation of heavy metals in surficial sediments from the Tees Estuary, north-east England, Mar. *Pollut. Bull*, 34: 768-779.
- KUMAR, P.; CHAUDHARI, S.; KHILAR, K. & MAHAJAN, S. 2004. Removal of arsenic from water by electrocoagulation. *Chemosphere*, 55 (9): 1245–1252.
- LI, X. D.; SHEN, Z. G.; WAI, W. H. & LI, Y. S. 2001. Chemical forms of Pb, Zn and Cu in the sediment profile of the Pearl River Estuary, Mar. *Pollut. Bull*, 42(3): 215-223.
- LIU, J.; GOYER, R. A. & WAALKES, M. P. 2008. *Toxic Effects of Metals*. CD, Editor, Cassarett and Doull's Toxicology. The basic science of poisons. 7ma edición. Editorial Mac Graw-Hill., New York-EEUU. 456 pp.
- LÓPEZ, N.; BORREGO J.; MORALES, J. A.; CARRO, O. & LOZANO-SORIA, O. 2006. Metal fractionation in oxic sediments of an estuary affected by acid mine drainage (southwestern Spain). *Estuar. Coast. and Shelf Sci.*, 68: 297-304.
- LOPE, M.V. 1981. *Tratamiento Biológico de Aguas Residuales en Prospectiva de la Biotecnología*. México: Ed. CONACYT.
- MALPARTIDA, A. 2003. *La Cuenca del río Matanza. Revisión de Recursos naturales, Compuestos xenobioticos y*

- otros polutantes en la cuenca. Univ. Tecnológica Nacional Rep. Argentina.
- MINISTERIO DE ENERGÍA Y MINAS (MINEM). 2013. Línea base ambiental de la cuenca del Lago Titicaca. Vice ministerio de gestión ambiental. Dirección Gral Calidad Ambiental, San Isidro - Lima Perú.
- MONROY, M. 2002. Evaluación de la contaminación por As y metales pesados (Pb, Cu y Zn) y análisis de riesgo en salud en Villa de la Paz-Matehuala. Instituto de Metalúrgia San Luis de Potosí S. L. P. Nota informativa CIEP Facultad de Ingenierías UASLP. Matehuala
- MORILLO, J.; USERO, J. & GARCIA, I. 2004. Heavy metals distribution in marine sediments from the southwest coast of Spain. *Chemosphere*, 55: 431-442.
- OPS/OMS, 2011. Teoría y Práctica para el Fortalecimiento de la Vigilancia de la Salud de Poblaciones Expuestas a Mercurio. Coop. técnica Brasil-Bolivia-Colombia. 1ra Edic. Impreso en Bolivia. Editorial. Barcelona. La Paz- Bolivia. 300 pp.
- PENG, H.; WANG, X., LI, D. & YEN, Y. F. 2004. Metal partitioning in river sediments measured by sequential extraction and biomimetic approaches. *Chemosphere*, 57: 839-851.
- PGAS (PROGRAMA DE GESTIÓN AMBIENTAL DEL SISTEMA TDPS), 1996. Diagnostico Ambiental del Sistema Titicaca-Desaguadero-Poopo-Salar de Coipasa (Sistema TDPS) Bolivia-Perú. UNEP - División de Aguas Continentales Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente. Departamento de Desarrollo Regional y Medio Ambiente Secretaría General de la Organización de los Estados Americanos Washington, D.C.
- QUINN, M. & SHERLOCK, J. 1990. The correspondence between U.K. 'action levels' for lead in blood and in water. *Food additives and contaminants*, 7:387-424.
- RAMOS, W.; MUNIVE, L.; ALFARO, M. & CALDERON, M. 2009. Intoxicación plúmbica crónica en el Perú. *Rev. Peru. Epidemiol.*, 13(2): 17-25.
- RUIZ, A. 2012. Catálogo de peces dulce acuícolas de Baja California Sur Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales Primera edición. C.P. 14210. Delegación Tlalpan, México: 29-30.
- SALOMONS, W. & DE GROOT, A. J. 1977. Pollution History of Trace Metals in Sediments as Affected by the Rhine River. 3rd Int. Symp. Environmental Biogeochemistry, Wolfenbüttel. 184, 20 pp.
- SOLIS, G.; VILLALBA, A.; NUBES, G.; CASTILLO, J. & MERAZ, F. 2009. Físico-química del agua superficial y sedimento en el río Santa Cruz, Sonora, México. *Revista de Ciencias Biológicas y de la Salud*. México, 8 (1): 3-9.

- TINSLEY, H.; FAUCI, R.; BRAUNWALD, A. & KASPER, E. 2005. Intoxicaciones, sobredosis medicamentosas y envenenamientos. Intoxicación por metales pesados. 16 Edición. Editorial: McGraw-Hill / Interamericana de España, S.A. 456 pp.
- THOMAS, R. L. 1988. Lake sediments as indicators of changes in land erosion rates. In: A. Lerman and M. Meybeck. Physical and Chemical Weathering in Geochemical Cycles, Kluwer, Dordrecht: 143-164.
- VEIGA, M.; SIEGEL, S.; SALIH, S.; AL-SAAD, S.; CONSOLE, S.; CORDY, P.; GARCIA, O.; MESAS, L.A. & ROESER, M. 2011. Preventing the Next Minamata: Mercury Contamination from Semi-Industrial Gold Mining in Antioquia, Colombia—the World's Highest Per Capita Mercury Polluter. Proc. 10th International Conference of Mercury as a Global Pollutant. Halifax, 2011.
- WEINBERG, J. 2010. International POPs Elimination Network (IPEN), en Cooperación con Agencia Sueca de Protección Ambiental y a la Oficina Federal Suiza para el Medio Ambiente y a otros donantes de IPEN.
- WONG, C.; WU, C.; DUZGOREN, S.; AYDIN, A. & WONG, H. 2007. Trace metals contamination of sediments in an e-waste processing village in China, Environ. Pollut, 145: 434-442.
- WHO (World Health Organization). 1995. IPCS Environmental Health Criteria for Inorganic Lead. Geneva: World Health Organization.