



## **EFFECT OF METALS CONCENTRATION FROM AFFLUENTS RIVERS (COATA, ILAVE AND RAMIS) IN THE WATER AND SEDIMENTS QUALITY INTO LAKE TITICACA, PERU**

## **EFFECTO DE LA CONCENTRACIÓN DE METALES DE LOS RÍOS AFLUENTES (COATA, ILAVE Y RAMIS) EN LA CALIDAD DE AGUA Y SEDIMENTO DEL LAGO TITICACA, PERÚ**

**Jonathan Alfaro-Jauchá<sup>1\*</sup> & Jorge Tam-Málaga<sup>1,2</sup>**

<sup>1</sup> Instituto del Mar del Perú, Esq. Gamarra y General Valle s/n Chucuito, Callao, Perú, Apartado 22. Lima, Perú.

<sup>2</sup> Universidad Ricardo Palma, Lima, Perú. [jorge.tam@urp.edu.pe](mailto:jorge.tam@urp.edu.pe)

\* Corresponding author: [jalfaro@imarpe.gob.pe](mailto:jalfaro@imarpe.gob.pe)

Jonathan Alfaro-Jauchá: <https://orcid.org/0000-0001-8481-2740>

Jorge Tam-Málaga: <http://orcid.org/0000-0001-8224-4313>

### **ABSTRACT**

The objective of this study was to evaluate the concentration of trace metals (Arsenic, Aluminum, Barium, and Manganese) contained in the tributary rivers of Titicaca lake and their effect on the water and sediment quality of the lake. The concentrations of metals in the water matrix for the years 2013-2016, published by the National Water Authority (ANA) were compared to the Environmental Quality Standards (EQS) for water; and the concentration of these metals (As, Al, Ba, and Mn) contained in the sediment during the years 2013-2014 were compared to the EQS for the sediment of the Environmental Protection Agency (USEPA). The concentrations of these metals in the water matrix did not exceed the EQS, except for Al and Mn in the waters of tributary rivers; and regarding

Este artículo es publicado por la revista Paideia XXI de la Escuela de posgrado (EPG), Universidad Ricardo Palma, Lima, Perú. Este es un artículo de acceso abierto, distribuido bajo los términos de la licencia Creative Commons Atribución 4.0 Internacional (CC BY 4.0) [<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.es>] que permite el uso, distribución y reproducción en cualquier medio, siempre que la obra original sea debidamente citada de su fuente original.

the lacustrine sediment, As and Ba are the only ones that exceeded the EQS for sediment. Likewise, statistically significant relationships of these metals were found between rivers and lakes, both in water and sediment. Finally, the concentration of these metals was compared during the year 2014 for different periods (dry and wet), and non-statistically significant differences were found for As, Al, Ba, and Mn, contained in the water and sediments lacustrine. This work contributed to understanding the pollution process of a lake caused by its affluent rivers, which will allow taking the necessary actions such as the implementation of monitoring plans to evaluate the water and sediment quality for metals that exceeded the EQS, as well as organizing control and inspection plans with various institutions involved for the proper management of water resources in the Titicaca lake basin.

**Keywords:** Aluminum – Arsenic – Barium – Manganese – Trace Metals – Sediment – Water

### ABSTRACT

El objetivo de este estudio fue evaluar la concentración de metales traza (Arsénico (As), Aluminio (Al), Bario (Ba) y Manganeso (Mn)) contenido en los ríos afluentes del lago Titicaca, Perú, y su efecto en la calidad de agua y sedimento del lago. Las concentraciones de metales en la matriz agua de los años 2013-2016, publicados por la Autoridad Nacional del Agua (ANA) fueron comparados con los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para agua; y la concentración de estos metales (As, Al, Ba y Mn) contenidos en el sedimento durante los años 2013-2014 fueron comparados con el ECA para sedimento de la Agencia de Protección Ambiental (USEPA). Las concentraciones de estos metales en la matriz agua no superaron los ECA a excepción del Al y Mn en aguas de ríos afluentes; y con respecto al sedimento lacustre el As y Ba son los únicos que superaron los ECA para sedimento. Asimismo, se encontraron relaciones estadísticamente significativas de estos metales entre los ríos y el lago, tanto en agua como en sedimento. Finalmente, se comparó la concentración de estos metales durante el año 2014, para diferentes épocas (estiaje y lluvia) no encontrándose diferencias estadísticamente significativas en los metales As, Al, Ba y Mn contenidos en el agua y sedimento lacustre. Este trabajo contribuyó a entender el proceso de contaminación de un lago causado por sus ríos afluentes, lo cual permitirá tomar las acciones necesarias tales como: la implementación de planes de monitoreo para evaluar la calidad de agua y sedimento con respecto a los metales que superaron los ECA, así como organizar planes de control y fiscalización con diversas instituciones involucradas para el buen manejo de los recursos hídricos en la cuenca del lago Titicaca.

**Palabras clave:** Agua – Aluminio – Arsénico – Bario – Manganeso – Metales Traza – Sedimento

## INTRODUCCIÓN

Actualmente el Perú cuenta con una gran cantidad de recursos hídricos, de los cuales 159 son unidades hidrográficas y 53 unidades hidrográficas transfronterizas (ANA, 2012). Sin embargo, el deterioro de la calidad del agua implica que el uso de este recurso cada vez sea menos eficiente logrando afectar negativamente la salud humana y actividades como la pesca, agricultura, ganadería, etc.; así como también la conservación del ambiente (ANA, 2013ab).

Actividades como la agricultura, minería, ganadería, piscicultura, transporte lacustre, etc., las cuales se desarrollan en zonas cercanas a los ríos que son afluentes al lago Titicaca son determinantes en la contaminación por metales pesados. “Los desechos domésticos, agrícolas e industriales constituyen también fuentes principales de contaminación por metales pesados en los cuerpos de agua” (Laino-Guanes *et al.*, 2015).

Se seleccionó el lago Titicaca debido a que desde hace más de 40 años se realizan vertimientos de aguas residuales municipales, crudas, y deficientemente tratadas, así como los constantes drenajes pluviales provenientes de la microcuenca que rodea la ciudad de Puno, arrastrando sedimentos y residuos sólidos en el período de lluvias, que terminan en el cuerpo de agua (ANA, 2013ab).

Debido al permanente incremento de metales traza en el lago Titicaca que da como resultado un riesgo significativo en el ecosistema acuático fue necesario analizar no sólo el

agua, sino también el sedimento del lago Titicaca (Pabón *et al.*, 2020). Los cuatro metales (As, Al, Ba y Mn) tienen información completa y disponible en los informes de evaluación y monitoreo realizados por el ANA (2013a, 2013b, 2014, 2015 y 2016).

En este contexto se plantearon tres hipótesis: (i) la concentración de metales traza no superan los ECA en aguas de los ríos afluentes (Ramis, Coata e Ilave) y aguas superficiales del lago, pero sí superan los ECA en sedimentos lacustre; (ii) hay una relación directa en la concentración de Arsénico, Aluminio, Bario y Manganeso entre: agua y sedimento lacustre; agua fluvial y agua fluvial y lacustre; y sedimento fluvial y sedimento lacustre; y (iii) la concentración de metales traza (As, Al, Ba y Mn) en agua y sedimento del lago Titicaca es mayor en época de estiaje que en época de lluvia.

De esta manera, el objetivo de la presente investigación fue evaluar la presencia de metales traza (As, Al, Ba y Mn) en los ríos afluentes y su efecto en la calidad del agua y sedimento del lago Titicaca.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Diseño del estudio

Se establecieron 30 estaciones de muestreo (Fig.1) dentro del Lago Titicaca, Puno, Perú (Bahía Interior Puno, Bahía de Puno, lago Mayor, y lago Menor) y 12 estaciones de muestreo en ríos afluentes (Ramis, Coata e Ilave) durante cuatro años consecutivos para matriz agua (2013-2016), dos

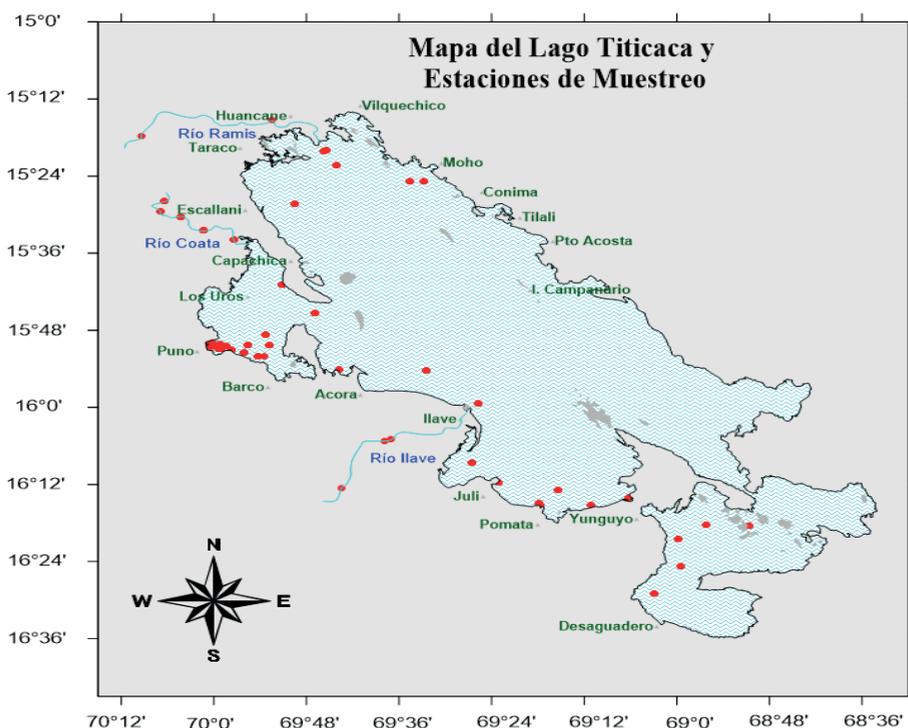
años consecutivos para matriz sedimento (2013 y 2014), y para diferentes épocas (lluvia-estiaje) se consideró un solo año (2014).

### Fuente de Datos

La información recopilada ha sido secundaria, el análisis documental procede de los informes “Evaluación de la calidad del agua de la cuenca del lago Titicaca” (ANA, 2013a, 2013b,

2014, 2015, 2016). Los datos utilizados se presentan en Alfaro (2021).

El contenido de metales traza se comparó con los ECA correspondientes a la Categoría 4: Conservación del ambiente acuático: Sub-Categorías E1: Lagunas y lagos y E2: Ríos (MINAM, 2017b). Asimismo, los metales traza (As, Al, Ba y Mn) contenidos en el sedimento lacustre se compararon con la normativa de USEPA (1977)



**Figura 1.** Estaciones de muestreo (puntos rojos) en el lago Titicaca, Puno, Perú.

### Análisis de datos

Para probar la primera hipótesis se realizaron pruebas t de Student unilaterales; para probar la segunda hipótesis se realizaron análisis de correlación con el coeficiente de Pearson;

y para probar la tercera hipótesis se realizaron pruebas t de Student bilaterales de diferencia de medias.

### Aspectos éticos

Este estudio se llevó a cabo en estricta

conformidad con las recomendaciones de Baird & Bridgewater (2017).

## RESULTADOS

### Metales traza en aguas fluviales

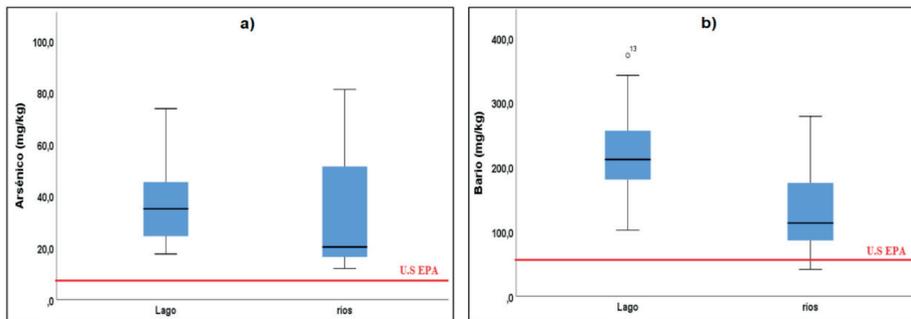
Las pruebas t de Student unilaterales mostraron que la concentración media de metales traza de As y Ba en los ríos Ramis, Coata e Ilave no superaron los ECA para agua ( $p > 0,05$ ). No obstante, el Al y Mn en dichos ríos sí superaron los ECA para agua ( $p < 0,05$ ).

### Metales traza en aguas lacustres

Las pruebas t de Student unilaterales mostraron que los valores de concentración media de metales traza (As, Al, Ba, Mn) presentes en aguas del lago Titicaca no superaron los ECA para agua ( $p > 0,05$ ).

### Metales traza en sedimentos lacustres

Las pruebas t de Student unilaterales mostraron que el sedimento lacustre las concentraciones medias de As y Ba superaron los ECA para sedimento ( $p < 0,05$ , Fig. 2), mientras que el Al y Mn no sobrepasaron los ECA para sedimento ( $p > 0,05$ ).



**Figura 2.** Metales en sedimentos: a) Arsénico y b) Bario. La línea roja indica el ECA para sedimento de la USEPA (1977).

### Relación de metales traza entre agua y sedimento lacustres

Se encontraron coeficientes de correlación Pearson estadísticamente significativos en los metales traza entre agua y sedimento lacustre ( $r > 0,7$ ;  $p < 0,05$ ; Tabla 1), lo que sugiere que conforme fluye el agua del río, los metales se depositan en el sedimento lacustre.

**Tabla 1.** Coeficientes de correlación Pearson significativos ( $p < 0,05$ ) de metales entre el agua y sedimento lacustre del Lago Titicaca

<b>Correlaciones</b>	<b>As en sedimento</b>	<b>Al en sedimento</b>	<b>Ba en sedimento</b>	<b>Mn en sedimento</b>
As en agua	0,91			
Al en agua		0,78		
Ba en agua			0,96	
Mn en agua				0,90

**Relación de metales traza entre agua fluvial y lacustre**

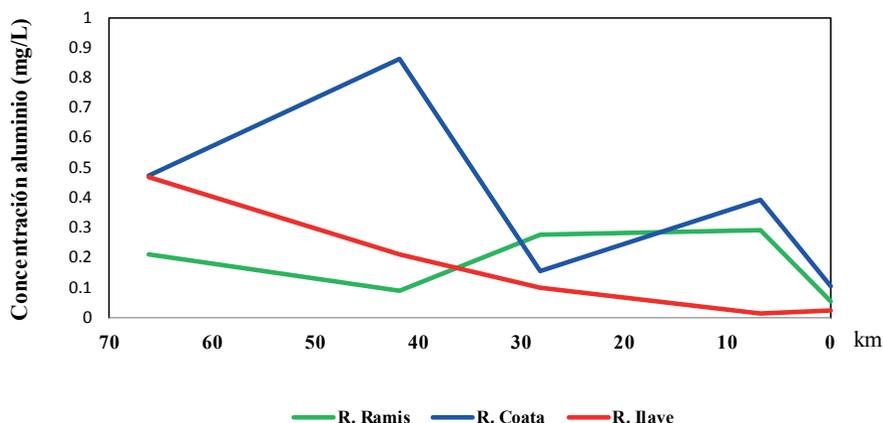
Se encontraron coeficientes de correlación Pearson estadísticamente

significativos entre los metales traza entre aguas fluviales y lacustres ( $r > 0,9$ ,  $p < 0,05$ , Tabla 2).

**Tabla 2.** Coeficientes de correlación Pearson significativos ( $p < 0,05$ ) de metales en agua fluvial y agua lacustre del Lago Titicaca.

<b>Correlaciones</b>	<b>As en río</b>	<b>Al en río</b>	<b>Ba en río</b>	<b>Mn en río</b>
As en lago	0,94			
Al en lago		0,91		
Ba en lago			0,90	
Mn en lago				0,96

La mayor concentración de metales (As, Ba y Mn) en los ríos afluentes al lago Titicaca se encontraron en la desembocadura del río Coata (0,034; 0,0785 y 0,6439  $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ ), a excepción del Al que tiene una mayor concentración (0,865  $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ ) en la zona media del trayecto del río (41,8 km antes de llegar a la desembocadura), por otro lado, el río llave presentó un gradiente de contaminación que disminuye río abajo (Fig. 3).



**Figura 3.** Trayectoria de la concentración de Aluminio en diferentes secciones de los ríos afluentes: arriba, medio, abajo, desembocadura y lago.

### Comparación de metales traza entre épocas de lluvia y estiaje

Las pruebas t de Student bilaterales de diferencia de medias no encontraron diferencias estadísticamente significativas ( $p > 0,05$ ) en las concentraciones de As, Al, Ba y Mn contenidos en el agua y sedimento lacustre del lago Titicaca entre épocas de lluvia y estiaje

Se determinaron las concentraciones medias y la distribución espacial de metales (As, Al, Ba, Mn) en matrices de agua y sedimento lacustre, en dos épocas diferentes (lluvia y estiaje) durante el año 2014.

Las concentraciones medias de As en matriz agua para épocas de lluvia y estiaje fueron  $0,00815 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$  y  $0,00960 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ , respectivamente, mientras que en el sedimento fueron de  $34,4 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$  y  $29,7 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ , respectivamente.

La concentración media de As en matriz agua para dichas épocas no

superó el ECA para agua. Sin embargo, la concentración media de este metal en matriz sedimento sí superó el ECA para sedimento (Fig. 4a).

Además, la distribución superficial de As en aguas del lago Titicaca muestra una mayor concentración cerca a la desembocadura del río Coata para las dos épocas (lluvia y estiaje) (Figs. 5a y 5b). Con respecto a la distribución superficial de As en el sedimento lacustre se observa que las mayores concentraciones se ubican frente a la desembocadura del río Coata (cerca de la Provincia de Capachica) sobre todo en épocas de estiaje (Figs. 6a y 6b).

Las concentraciones medias de Al en matriz agua para épocas de lluvia y estiaje fueron  $0,06050 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$  y  $0,03057 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ , respectivamente, mientras que en matriz sedimento fueron de  $7489,8 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$  y  $7670,5 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ , respectivamente. Las concentraciones de Al en matrices agua y se-

dimento para dichas épocas no superaron los ECAs correspondientes.

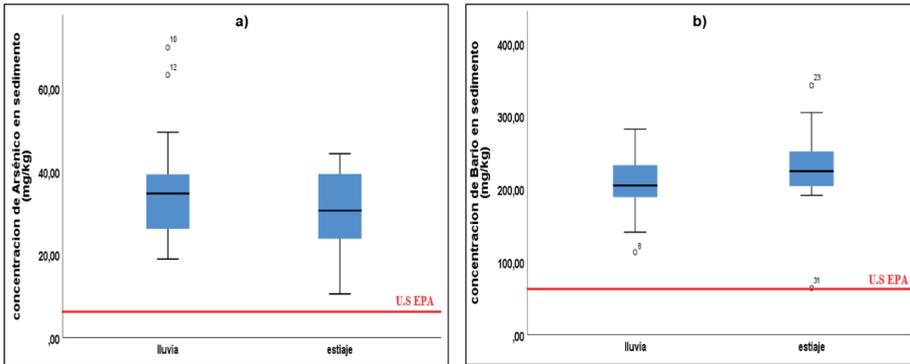
En cuanto a la distribución superficial de Al en aguas del Lago Titicaca, muestra mayores concentraciones cerca a la desembocadura del río Ramis para ambas épocas (Figs. 7a y 7b). Con respecto a la distribución superficial de Al en el sedimento lacustre, las concentraciones más altas están cerca a la desembocadura del río Coata, entre las zonas de Capachica y Escallani, esta distribución es homogénea para las épocas de lluvia y estiaje (Figs 8a y 8b).

Las concentraciones medias de Ba en matriz agua para las épocas de lluvia y estiaje fueron  $0,06545 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$  y  $0,06550 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ , respectivamente, mientras que en el sedimento fueron de  $199,9 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$  y  $226,8 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ , respectivamente. La concentración media de Ba en matriz agua para dichas épocas no superó el ECA para agua. Sin embargo, la concentración media de este metal sí superó el ECA para sedimento (Fig. 4b).

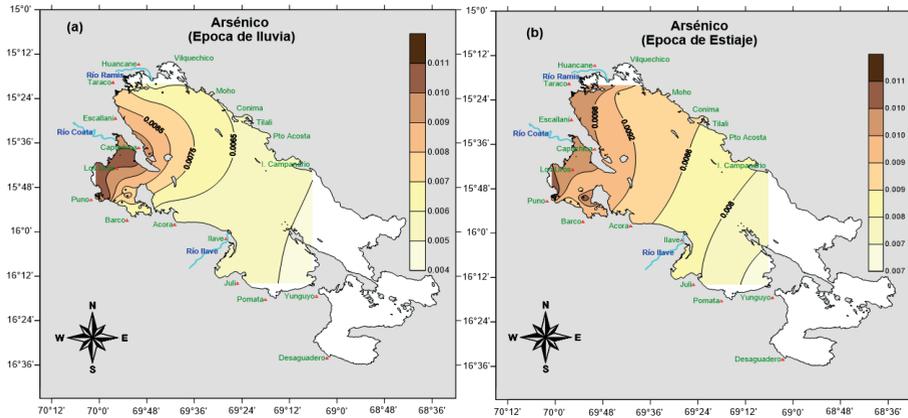
La distribución superficial de Ba en aguas del Lago Titicaca presentó mayores concentraciones en la zona de la provincia de Puno, cerca de la desembocadura del río Coata tanto en épocas de lluvia y estiaje (Figs. 9a y 9b). Con respecto a la distribución superficial de Ba en el sedimento lacustre del lago Titicaca, las mayores concentraciones se presentaron en las provincias de Puno (próxima a la desembocadura del río Coata) y Yunguyo para las dos épocas (lluvia y estiaje) (Figs. 10a y 10b).

Las concentraciones medias de Mn en matriz agua para las épocas de lluvia y estiaje fueron  $0,041725 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$  y  $0,030741 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ , respectivamente, mientras que en el sedimento fueron de  $441,2 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$  y  $400,9 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ , respectivamente. Las concentraciones de Mn en matrices agua y sedimento para dichas épocas no superaron los ECAs correspondientes.

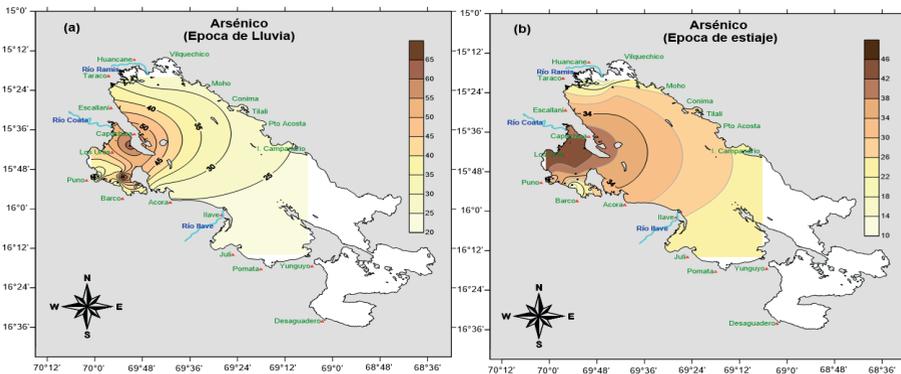
La distribución superficial de Mn en aguas del lago Titicaca presenta las más altas concentraciones hacia la zona de la provincia de Puno, cerca de la desembocadura del río Coata para ambas épocas (Figs. 11a y 11b). Con respecto a la distribución superficial de Mn en el sedimento lacustre del lago Titicaca se observan las mayores concentraciones frente a la desembocadura del río Coata, para ambas épocas del año (Figs. 12a y 12b).



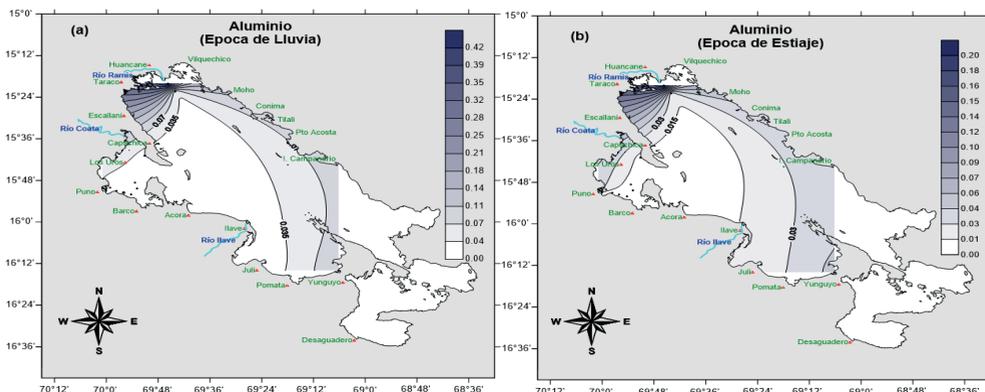
**Figura 4.** Metales en sedimentos para épocas de lluvia-estiaje: **a)** Arsénico y **b)** Bario. La línea roja indica el ECA para sedimento de la USEPA (1977).



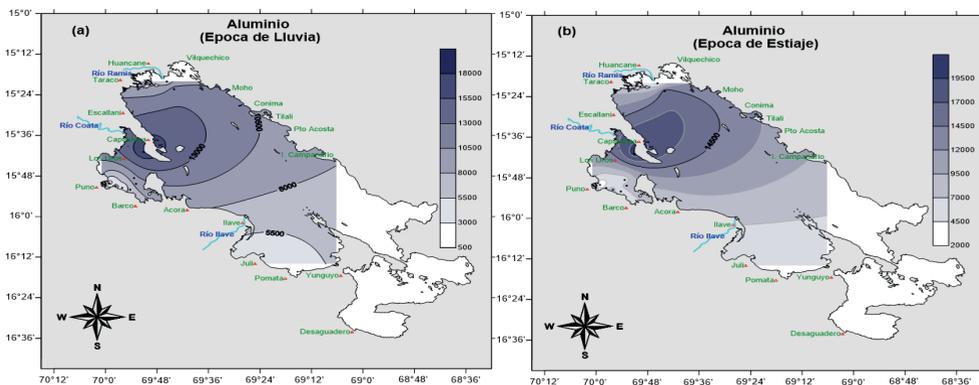
**Figura 5.** Distribución de las concentraciones de Arsénico en agua: **a)** lluvia y **b)** estiaje.



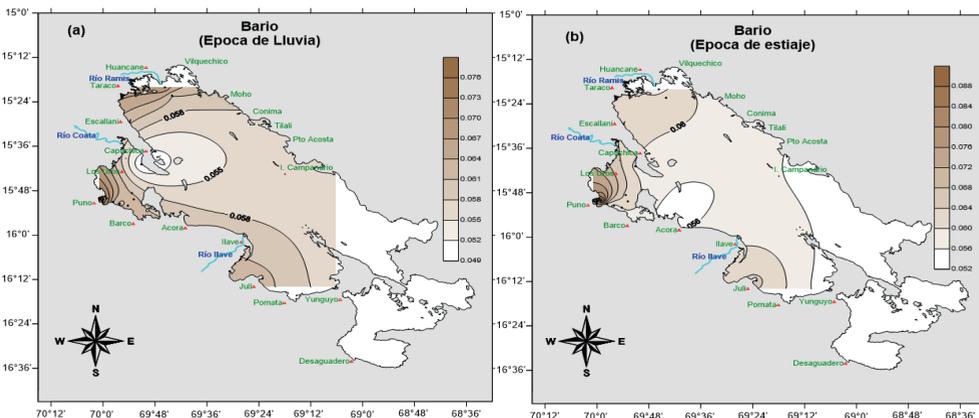
**Figura 6.** Distribución de las concentraciones de Arsénico en sedimento: **a)** lluvia y **b)** estiaje.



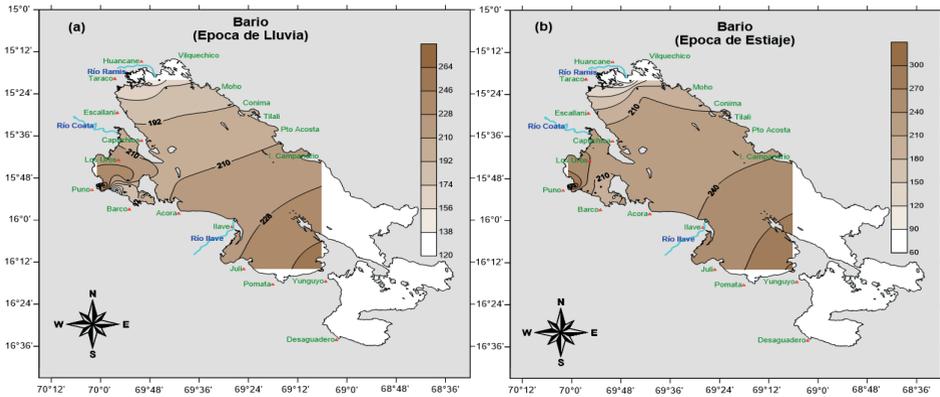
**Figura 7.** Distribución de las concentraciones de Aluminio en agua: a) lluvia y b) estiaje.



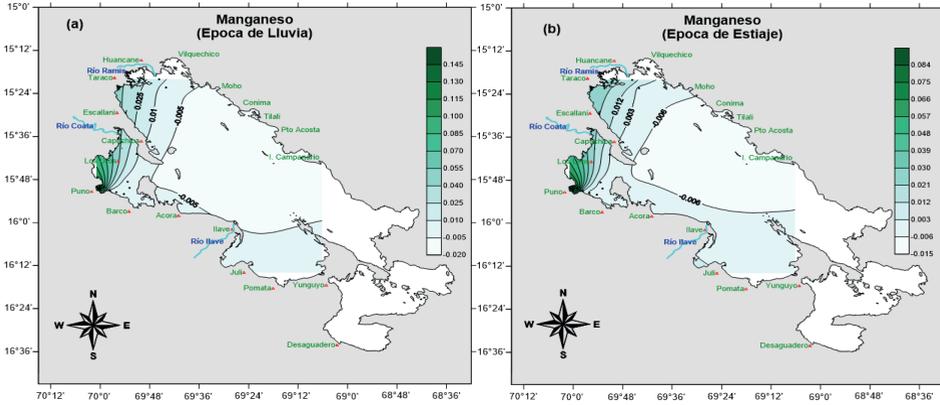
**Figura 8.** Distribución de las concentraciones de Aluminio en sedimento: a) lluvia y b) estiaje.



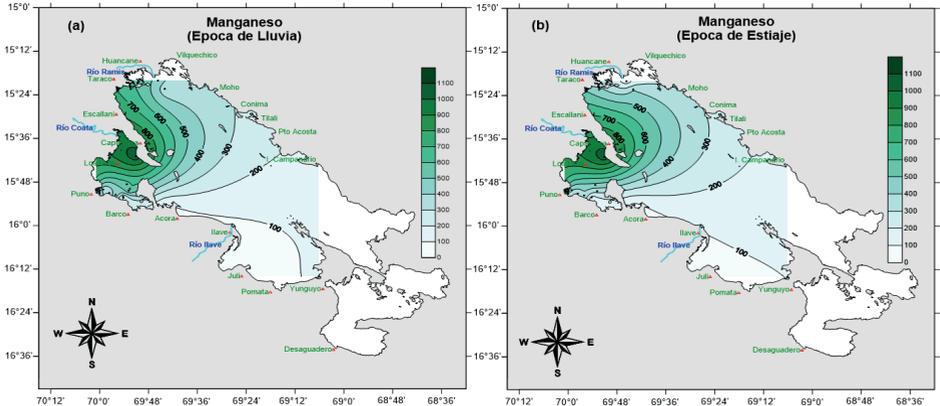
**Figura 9.** Distribución de las concentraciones de Bario en agua: a) lluvia y b) estiaje.



**Figura 10.** Distribución de las concentraciones de Bario en sedimento: a) lluvia y b) estiaje.



**Figura 11.** Distribución de las concentraciones de Manganeso en agua: a) lluvia y b) estiaje.



**Figura 12.** Distribución de las concentraciones de Manganeso en sedimento: a) lluvia y b) estiaje.

## DISCUSIÓN

Las concentraciones medias de metales traza (As, Al, Ba y Mn) en aguas lacustres no superaron los ECAs para agua ( $p > 0,05$ ) decretados por el MINAM (2017a) cuyos valores son: As:  $0,15 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ ; Al:  $0,2 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ ; Ba:  $0,7 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$  y Mn:  $0,1 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ .

Por otro lado, las concentraciones de As y Ba presentes en el sedimento del lago Titicaca superaron los ECAs para sedimento ( $p < 0,05$ ); en cambio las concentraciones medias de Al y Mn no superaron los ECAs para sedimento ( $p > 0,05$ ) cuyos valores son: As:  $8 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ , Al:  $10\,000 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ , Ba:  $60 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ , Mn:  $500 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ .

Las concentraciones medias de As y Mn en aguas del lago Titicaca fueron más elevadas en comparación con otros lagos del mundo (Tabla 3a). Con respecto al Al y Ba, no se encontraron datos de concentración en dichos lagos.

El contenido de As en sedimento del lago Titicaca fue superior con respecto a otros lagos de la Patagonia: Bahía López, Puerto Cisnes, Bahía Llao-Llao, Lago Escondido, Bariloche, Punto Panorámico, Lago Traful y Lago Morenito. Sin embargo, las concentraciones de Ba y Mn fueron inferiores con respecto a dichos lagos (Tabla 3b).

**Tabla 3.** Metales en el Lago Titicaca respecto a otros lagos del mundo (obtenidos de Rizzo *et al.*, 2010): **(a)** Agua ( $\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ ), **(b)** Sedimento ( $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ ).

<b>a) Lago</b>	<b>Arsénico (<math>\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}</math>)</b>	<b>Manganeso (<math>\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}</math>)</b>	
<i>Lago Titicaca (Perú) (presente trabajo)</i>	10,4	37,3	
Lagos del NE EE.UU	0,0 – 0,587		
Lago Uluabat (Turquía)	0 – 0,5		
Lago Jack of clubs (Canadá)	0,2 – 0,41	35	
Reference freshwater	0,5	5	
Lagos de Patagonia (Argentina)	< 1,2	< 1 - < 4	
Promedio mundial de agua dulce	1,7 – 3,0		
<b>b) Lago</b>	<b>As (<math>\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}</math>)</b>	<b>Ba(<math>\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}</math>)</b>	<b>Mn (<math>\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}</math>)</b>
<i>Lago Titicaca (Perú) (presente estudio)</i>	37,12	215	415
Lago Traful (Argentina)	10,14	345	918
Bahía López (Argentina)	6,57	204	931
Bariloche (Argentina)	5,94		
Puerto Cisnes (Chile)	10,95		
Bahía Llao-Llao (Argentina)	9,5	333	931
Punto Panorámico (Argentina)	24,5	348	2760
Lago Escondido (Argentina)	4,77	159	1992
Lago Morenito (Argentina)	4,73	160	

Se encontraron correlaciones significativas ( $p < 0,05$ ) en las concentraciones de metales traza entre agua y sedimentos lacustres, lo que sugiere que los metales contenidos en el agua se acumulan en el sedimento con el paso del tiempo, como lo indican Varol & Şen (2012) citado en Moreno *et al.* (2017) quienes mencionan que los metales en el agua se adsorben fácilmente en los sedimentos, aunque también actúan como una fuente suplementaria de contaminación cuando se resuspenden nuevamente.

Las concentraciones medias de metales traza (As, Al, Ba y Mn) en aguas superficiales del lago Titicaca (zonas próximas a las desembocaduras de los ríos afluentes Ramis, Coata e Ilave) no superaron los ECA para agua ( $p > 0,05$ ). Sin embargo, para el caso del sedimento lacustre las concentraciones medias de As y Ba superaron los ECA para sedimento ( $p < 0,05$ ), lo cual apoya parcialmente la primera hipótesis.

Se encontraron relaciones directas estadísticamente significativas en las concentraciones de traza de metales (As, Al, Ba y Mn) entre aguas fluviales y aguas lacustres ( $p < 0,05$ ), así como entre sedimentos fluviales y sedimentos lacustres ( $p < 0,05$ ), lo cual apoya la segunda hipótesis.

No existieron diferencias estadísticamente significativas en las concentraciones de As, Al, Ba y Mn ( $p > 0,05$ ) contenidos en el agua y sedimento lacustre del lago Titicaca entre épocas de lluvia y estiaje, lo cual indicó que los comportamientos de estos metales son similares en ambos periodos y que el efecto de la remoción ambiental para estos cuatro metales es prácticamente nulo ya que el proceso de transporte de metales del agua hacia el sedimento puede ser lenta. Los metales pueden acumular altas concentraciones en el sedimento lacustre y permanecen durante todo el periodo del año, también se acumulan en animales y plantas, lo que conduce a su biomagnificación (Enamorado-Montes *et al.*, 2022).

El río Ilave presentó una mayor concentración de Al en la zona río arriba, generando un gradiente de contaminación que va disminuyendo a través de su cauce hasta llegar a su desembocadura.

## AGRADECIMIENTOS

Se agradece al ANA por difundir sus informes técnicos, y a René Chura por su apoyo en el asesoramiento y colaboración de la presente investigación.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Alfaro, J. D. 2021. *Efecto de metales traza de los Ríos afluentes (Ramis, Coata e Ilave) sobre la calidad de agua y sedimento del Lago Titicaca*. [Tesis de Maestría de Ecología Gestión Ambiental. Universidad Ricardo Palma]. <https://repositorio.urp.edu.pe/handle/20.500.14138/4291>

- ANA. 2012. *Política y estrategia nacional de recursos hídricos*. Autoridad Nacional Del Agua. [http://www.ana.gob.pe/sites/default/files/default\\_images/politica\\_y\\_estrategia\\_nacional\\_de\\_recursos\\_hidricos\\_ana.pdf](http://www.ana.gob.pe/sites/default/files/default_images/politica_y_estrategia_nacional_de_recursos_hidricos_ana.pdf)
- ANA. 2013a. *Plan nacional de recursos hídricos del Perú: Memoria 2013*. Ediciones Autoridad Nacional Del Agua - Publicaciones . <https://repositorio.ana.gob.pe/handle/20.500.12543/224>.
- ANA. 2013b. *Evaluación integral de la calidad del agua de la cuenca del lago Titicaca - sector peruano (Informe técnico N°0061-2014-ANA-VIG)*. Dirección de Gestión de Calidad de los Recursos Hídricos - Autoridad Nacional del Agua.
- ANA. 2014. *Evaluación de la calidad del agua del lago Titicaca Perú - Bolivia (sector peruano), Informe de Monitoreo marzo 2014 (Informe Técnico No018-2014-ANA-DGCRG-GOCRH)*. Dirección de Gestión de calidad de los Recursos Hídricos - Autoridad Nacional Del Agua., 2014: 113.
- ANA. 2015. *Resultados del monitoreo Binacional (Perú - Bolivia) de la calidad del agua del lago Titicaca*(Informe técnico N° 016-2016-ANA-AAA.SDGCRH.TIT CUT N° 194279-2015). Sub dirección de Gestión de Calidad de los Recursos Hídricos de la Autoridad Administrativa , 83.
- ANA. 2016. *Resultados de monitoreo binacional de la calidad de agua del lago Titicaca, 2016-periodo de avenida* (monitoreo realizado del 19 al 28 de abril de 2016). Informe técnico N° 132-2016-ANA-AAA-SDGCRH.TIT. Subdirección de Gestión de Calidad de los Recursos Hídricos.
- Baird, R. & Bridgewater, L. 2017. *Standard methods for the examination of water and wastewater*. 23<sup>rd</sup> edition. Washington, D.C.: American Public Health Association.
- Enamorado-Montes, G.; Tirado-Montoya, J. & Marrugo-Negrete, J. 2022. Metales pesados (Hg, As, Cd, Zn, Pb, Cu, Mn) en un trayecto del río Cauca impactado por la minería de oro. *Revista EIA*, 19: 37005.
- Laino-Guanes, R. M.; Bello-Mendoza, R.; González-Espinosa, M.; Ramírez-Marcial, N.; Jiménez-Otárola, F. & Musálem-Castillejos, K. 2015. Concentración de metales en agua y sedimentos de la cuenca alta del río Grijalva, frontera México-Guatemala. *Tecnología y Ciencias Del Agua*, 6: 61-74.
- MINAM. 2017a. *Aprueban Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Agua y establecen Disposiciones Complementarias*. MINAM.
- MINAM. 2017b. D.S. N° 004-2017 *Aprueban Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Agua y establecen disposiciones complementarias*. MINAM.
- Moreno, E.; Argota, G.; Alfaro, R.; Aparicio, M.; Atencio, S. & Goyzueta, G. 2017. Determinación interactiva de metales totales en las aguas de la bahía interior del Lago Titicaca - Puno Perú. *Revista de Investigaciones Altoandinas*, 19: 125-134.
- Pabón, S. E.; Benítez, R.; Sarria, R. A.; Gallo, J. A.; Pabón, S. E.; Benítez, R. & Gallo, J. A. 2020. Contaminación del agua por metales pesados, métodos de

- análisis y tecnologías de remoción. Una revisión. *Entre Ciencia e Ingeniería*, 14: 9–18.
- Rizzo, A.; Daga, R.; Arcagni, M.; Catán, S. P.; Bubach, D.; Sánchez, R. & Arribére, M. A. 2010. Concentraciones de metales pesados en distintos compartimentos de lagos andinos de Patagonia Norte. *Ecología Austral*, 20: 155-171.
- USEPA. 1977. *Guidelines for the pollutional classification of great lakes harbor sediments*. USEPA.
- Varol, M. & Şen, B. 2012. Assessment of nutrient and heavy metal contamination in surface water and sediments of the upper Tigris River, Turkey. *Catena*, 92: 1–10.

Received July 7, 2022.  
Accepted September 4, 2022.