

Niveles de concentración de metales pesados en sedimentos de zona alta del río Locumba, Perú¹

Renée Mauricio Condori Apaza², Larceny Fabiela Alviz Gonzales³, Sheda Méndez Ancca⁴

Resumen

Introducción: el ecosistema acuático como destinatario final de los residuos producidos por los procesos antropogénicos y naturales es un problema creciente de contaminación en nuestro planeta y actualmente la presencia de metales pesados que presentan es un índice alarmante. Esta investigación es importante porque el distrito de Ite utiliza para sus actividades diarias y consumo como líquido elemental el agua del río. La subcuenca del río Locumba se encuentra dentro del distrito de Ite y se caracteriza por actividades mineras y agrícolas. **Objetivo:** determinar la calidad de los sedimentos del río mediante las concentraciones de metales pesados (As, B, Cd, Cr, Cu, Fe, Mn y Pb) en la zona alta del río Locumba. **Materiales y métodos:** en

los meses de enero y marzo se realizó la toma de muestras en un rango altitudinal entre 350 y 800 msnm, en época seca y lluviosa. Se utilizó la guía para muestreo de sedimentos (LSASDPROC-200-R4), estándares de calidad de USEPA. Los análisis se realizaron por espectroscopia de plasma ICP-OES. **Resultados:** los niveles de concentración nos muestran que los metales pesados están presentes, como el arsénico que superó estándares de 58 ppm en promedio; boro con 8,2 ppm; cobre con 372 ppm y plomo con 121 ppm. **Conclusiones:** la calidad de sedimento del río Locumba por presencia de metales pesados no es adecuada y trae consigo riesgos ambientales, afectando la biota y los ecosistemas.

Palabras clave: metales pesados; sedimento; río; calidad; locumba.

- 1 Artículo original resultado del proyecto de investigación *Análisis comparativo en los niveles de concentración de metales pesados (As, B, Cd, Cr, Cu, Fe, Mn y Pb) en sedimentos, entre la zona alta y zona baja del río Locumba, región Tacna, Perú*, ejecutado entre octubre de 2021 y agosto de 2022. Financiado por los autores.
- 2 Magíster en Gestión Minera y Ambiental. Docente de la Escuela de Ingeniería Ambiental de la Facultad de Ingenierías y Arquitectura, Universidad Nacional de Moquegua, docente investigador y miembro del grupo de Ciencia y Tecnología del Agua. Correo: rcondoria@unam.edu.pe. Orcid: 0000-0002-1097-5026.
- 3 Bachiller de la Escuela de Ingeniería Ambiental de la Universidad Nacional de Moquegua, investigador y miembro del grupo de Ciencia y Tecnología del Agua. Correo: Larcenyfmg1@gmail.com. Orcid: 0009-0005-0035-4903.
- 4 Doctor en Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente. Docente titular de la Facultad de Ingenierías y Arquitectura, Universidad Nacional de Moquegua. Correo: smendeza@unam.edu.pe. Orcid: 0000-0002-3797-1316.

Autor para Correspondencia: renee.condori@yahoo.com.pe
Recibido: 02/06/2023 Aceptado: 11/10/2023

*Los autores declaran que no tienen conflicto de interés

Concentration of Heavy Metals Levels in Sediments from the Upper Zone of the Locumba River, Peru

Abstract

Introduction. The aquatic ecosystem as the final recipient of waste produced by anthropogenic and natural processes is a growing pollution problem on our planet and currently the presence of heavy metals, they present is an alarming index. This research is important because the Ite district uses river water as an elemental liquid for its daily activities and consumption. The Locumba River sub-basin is located within the Ite district and is characterized by mining and agricultural activities. **Objective.** Determine the quality of the river sediments through the concentrations of heavy metals (As, B, Cd, Cr, Cu, Fe, Mn and Pb) in the upper area of

the Locumba river. **Materials and methods.** In the months of January and March, sampling was carried out in an altitudinal range between 350 and 800 meters above sea level, in the dry and rainy season. The guide for sediment sampling (LSASDPROC-200-R4), USEPA quality standards, was used. The analyzes were performed by ICP-OES Plasma Spectroscopy. **Results.** The concentration levels show us that heavy metals are present as; Arsenic exceeded standards of 58 ppm on average, Boron with 8.2 ppm, Copper with 372 ppm and Lead with 121 ppm. **Conclusions.** The sediment quality of the Locumba River due to the presence of heavy metals is not adequate and brings with it environmental risks, affecting the biota and ecosystems.

Keywords: heavy metals; sediment; river; quality; Locumba.

Níveis de Concentração de Metais Pesados em Sedimentos da Zona Alta do Rio Locumba, Perú

Resumo

Introdução: O ecossistema aquático como destinatário final dos resíduos produzidos por processos antrópicos e naturais é um problema crescente de poluição em nosso planeta e atualmente a presença de metais pesados que eles apresentam é um índice alarmante. Esta investigação é importante porque o distrito de Ite utiliza a água do rio como líquido elementar para as suas atividades e consumo diário. A sub-bacia do rio Locumba está localizada no distrito

de Ite e é caracterizada por atividades mineiras e agrícolas. **Objetivo:** Determinar a qualidade dos sedimentos fluviais através das concentrações de metais pesados (As, B, Cd, Cr, Cu, Fe, Mn e Pb) na parte alta do rio Locumba. **Materiais e métodos:** Nos meses de janeiro e março a amostragem foi realizada na faixa altitudinal entre 350 e 800 metros acima do nível do mar, no período seco e chuvoso. Foi utilizado o guia para amostragem de sedimentos (LSASDPROC-200-R4), padrões de qualidade da USEPA. As análises foram realizadas por Espectroscopia Plasmática ICP-OES. **Resultados.** Os níveis de concentração nos mostram que os metais pesados estão presentes como; O Arsênico superou os padrões de 58 ppm em média,

o Boro com 8,2 ppm, o Cobre com 372 ppm e o Chumbo com 121 ppm. **Conclusões:** A qualidade dos sedimentos do rio Locumba devido à presença de metais pesados não é

adequada e traz consigo riscos ambientais, afetando a biota e os ecossistemas.

Palavras-chave: metais pesados; sedimento; rio; qualidade; Locumba.

Introducción

Los ecosistemas acuáticos en la actualidad vienen siendo contaminados y una forma de comprobarlo es través de los sedimentos que provienen de aguas residuales urbanas, de industrias y agricultura, y son fuentes principales de contaminación en sedimentos (Asadi *et al.*, 2017). Por lo tanto, es una amenaza inmediata para el ecosistema y la vida humana la bioacumulación de metales pesados. En los ecosistemas acuáticos el ingreso de los metales pesados es muy dañino y llegan a un punto en el que no son biodegradables, pudiendo contaminar aguas subterráneas y superficiales (Attah *et al.*, 2021). La gran demanda del recurso hídrico y la escasez de suministros de agua —sumadas a las actividades humanas que contaminan el ambiente— nos indica la importancia de monitorear la calidad de agua mediante sedimentos del río, particularmente para gestionar el uso de agua (Priti and Biswajit, 2016).

En Perú, el problema del uso y cuidado de ecosistemas acuáticos es similar al de otros países en los que aún no se ha realizado la gestión y normativa adecuadas para el recurso del agua estableciendo protocolos de muestreo y estándar de calidad para sedimentos, solo existe un protocolo para monitoreo de la calidad de los recursos

hídricos superficiales, aprobada por Resolución Jefatural 010-2016-ANA.

El Perú tiene cuencas hidrográficas de aproximadamente 106, entre lagunas de aproximadamente 12200 y con ríos de más de 1007 respectivamente, lo que indica que se dispone de 2 458 millones de metros cúbicos del recurso hídrico, principalmente en la región de nuestra Amazonía y en zona de estudio es escaso el recurso agua (Autoridad Nacional del Agua [ANA], 2018). También se conoce sobre la disponibilidad del agua en nuestro país que es muy variado, donde aproximadamente el 70 % del recurso hídrico proviene de lluvias que se dan en los meses de diciembre a marzo. Locumba cuenta con una cuenca de 170 km de longitud y se encuentra entre las provincias de Jorge Basadre y Candarave, también está dividida en cinco subcuencas y entre ellas se tiene a Locumba, esta subcuenca brinda agua natural a la población, para la industria y agricultura (MIDAGRI, 2016). La cuenca de Locumba brinda agua para el riego de aproximadamente 7.162 hectáreas de suelo agrícola para nueve distritos en la región de Tacna y para el uso de la población (35.652 habitantes). Los cultivos que más se desarrollan en la zona son los de higuera, cebolla, maíz, pimentón, algodón y alfalfa; también la ganadería (ANA, 2018).

Esta investigación tiene como objetivo determinar la calidad de los sedimentos del río mediante el análisis de estándares en metales pesados de la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos para su efectivo tratamiento y velar por el buen uso y calidad del agua para la población mediante el análisis de las muestras de sedimentos del río Locumba de la zona alta. Se busca realizar el estudio indirecto de calidad del agua del río y brindar una información actualizada para una mejor gestión del recurso hídrico mediante la prevención o tratamiento respectivo del agua antes del uso por la población.

La importancia del estudio de la calidad ambiental de los sedimentos en el ecosistema acuático se ve reflejada en organismos acuáticos, la biota se encuentra en contacto directo con la contaminación de sedimentos donde los organismos bentónicos tienen su hábitat y alimentación (Mokarram & Sheykhi, 2020), se tiene un sedimento tóxico y la bioacumulación de estos contaminantes, en estas condiciones se da la transferencia potencial dentro de la cadena alimenticia y, eventualmente, daño a la salud humana (Tshibanda *et al.*, 2021).

El río Locumba brinda agua superficial que abastece directamente a la población para diversos usos, el problema es que la presencia de una geología especial y la industria minera tienen influencia directa en estas aguas que contienen metales pesados que alteran la composición del agua (Liu *et al.*, 2021). Se cuenta con información geológica proporcionada por el Instituto Geológico Minero y Metalúrgico del Perú.

Fisiografía

Según clasificación bioclimática de Holdridge, la cuenca de Locumba es un desierto subtropical tiene un clima seco y semicálido por sus diferentes formaciones que se dan por parámetros de altitud, clima y vegetación; tiene suelos diversos, desde litosólicos hasta rocosos, eólicos y aluviales. Su relieve va de plano a ondulatorio, sin presencia de vegetación en algunos casos, en otros casos hay presencia de vegetación estacional y una producción agrícola intensa y diversificada. Dentro de esta unidad fisiográfica se tiene los siguientes sectores: agrícola costero, las lomas, pampas baldías, serranía y laderas faltas de vegetación. Dentro de los 0 a 1.900 msnm se halla esta formación y tiene una variación de temperaturas entre los 15 y 22 °C, y precipitaciones de 2 a 15 mm/año en las pampas Sitana, Ite y Cinto (Cotrina *et al.*, 2009).

Geología

La diversidad del clima actual y la fisiografía modificada en el pasado geológico dieron las geoformas resultantes por la compleja red del flujo de agua subterránea en la cuenca del Locumba. La cuenca del río Locumba tiene formaciones rocosas que varían del jurásico al cuaternario reciente.

- **Formación jurásica chocolate (Ji-cho):** la secuencia de lavas andesíticas que va del color verde a chocolate conforma la cuenca del río Locumba, con una textura porfídica o afanítica. La estructura amigdalina

tiene dacita de un color gris claro, en la parte superior la formación tiene caliza y la base está constituida por granodiorita. Estas exposiciones son visibles en cerro Papal y Airampal, dentro del cuadrilátero de Ilo; en el cerro Meca Grande se observa afloramientos del cuadrángulo de Locumba (Cotrina *et al.*, 2009).

- **Formación Matalaque del cretácico (Ki-ma):** constituido por rocas volcánicas tobáceas que afloran en los ríos Curibaya e Ilabaya, litológicamente por tobas líticas masivas y compactas. Las tobas litocristalinas entre el río Ilabaya y el arroyo Huanuara se diferencian de las anteriores por tener menos compactación y contener menos líticas y abundancia de cuarzo en cristales, plagioclasas, lítica volcánica afanítica, poco de feldespato potásico y epidota en cristales, débilmente argilizados. En base a sus relaciones estratigráficas con el tope de la formación del cretácico inferior se estableció en que subyace a rocas volcánicas del grupo Toquepala, cretácico superior (Cotrina *et al.*, 2009).
- **Formación Sotillo paleozoico (P-so):** se encuentra sobre rocas volcánicas del jurásico e intrusivos del cretácico en forma de areniscas volcanoclásticas. Predominan las lutitas en niveles superiores, también capas de yeso, aumentando en su tercio superior la estratificación paralela. La formación Moquegua es transitoria y está marcada por un

vano de yeso que oscila de 15 a 20 centímetros. En cercanías del valle de Locumba aflora esta formación (Cotrina *et al.*, 2009).

- **Formación Huaylillas neógeno (Nm-hu):** afloramiento expuesto de superficie semiplana y acantilados en el corte de los ríos, con flujos de tobas líticas y piroclastos de arena y cenizas casi soldadas. Se encuentran biotitas débilmente oxidadas en las tobas macizas por la carretera Cairani-Candarave. En cerro Huarmiaque y en las pampas de Pagrilaca se halla la formación Tarata Inferior, Chuquiananta, Tutupaca, y los volcanes Nazaparco y Yucamane, en ellos subyacen los piroclastos (Cotrina *et al.*, 2009).
- **Depósitos cuaternarios:** matriz de arenas y arcillas bien consolidadas por bloques erráticos conformada por una mezcla de gravas angulares, proviene de la naturaleza volcánica las llamadas morrenas, esta litología se debe a depósitos fluvio-glaciales. Se encuentran a nivel superficial en pendientes bajas de volcanes formando pequeñas penillanuras y están expuestas en formas planas. Conformado por bloques muy grandes de tobas riolíticas y mezcla caótica de una variedad de bloques y cementado por limo y arena. La conformación por bloques, limo, arena y material regolítico es la constitución eluvial, la composición de ceniza volcánica suelta, de color gris muy claro con fragmentos de piedra pómez son

depósitos de ceniza. Compuestos de ceniza, arena y arcilla son depósitos de humedales (Cotrina *et al.*, 2009).

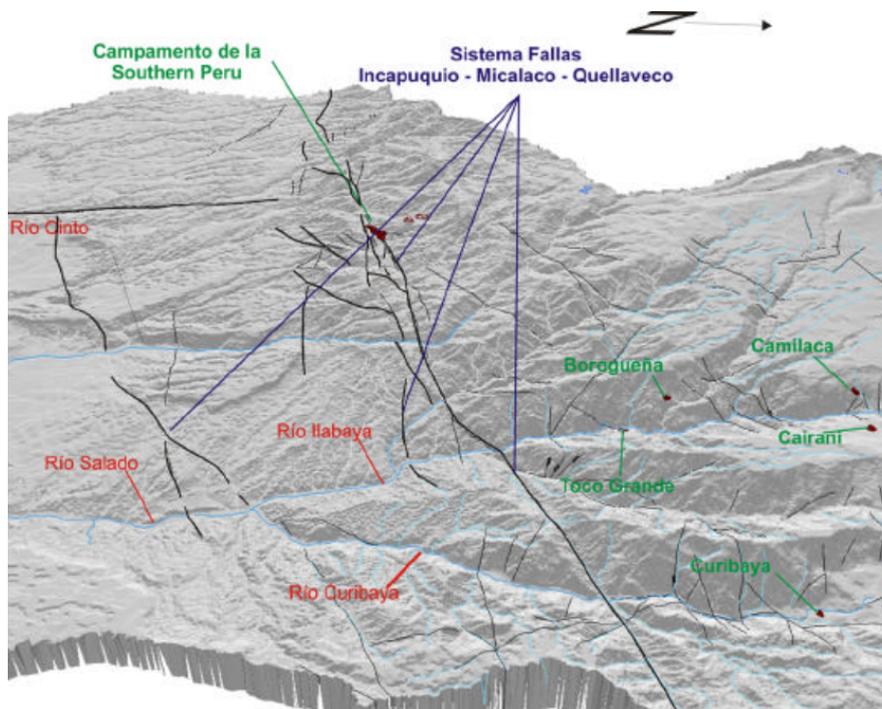
Geología estructural

Las características estructurales son complejas en esta región sur. Sus efectos se superponen a por lo menos cinco eventos distróficos en sus grados de formación, con sus variaciones en sus unidades morfoestructurales y litológicas. Las secuencias volcánicas sedimentarias

del grupo Toquepala son pliegues y está constituida por dos zonas estructurales bien marcadas: la cuenca Moquegua se ubica en la parte occidental, donde podemos encontrar las formaciones de Sotillo y Moquegua con depósitos de limos, areniscas y sedimentos conglomerados por el levantamiento y la degradación del frente oriental montañoso; y la conformación secuencial volcánica e intrusiva en la zona oriental, por el noroeste-sur conformado por Micalaco, Capillune y Quellaveco a los que afecta por conjunto de fallas (Cotrina *et al.*, 2009).

Figura 1.

Ubicación de cuenca alta del río Locumba y sus fallas geológicas



Nota. Cotrina *et al.* (2009).

Materiales y métodos

La toma de muestras de los sedimentos se desarrolló durante los meses de enero y marzo de 2021 (época seca y lluviosa) en cinco sectores de muestreo ubicados a lo largo de la parte alta del río Locumba, distrito de Ite, distribuidos como se aprecia en la **tabla 1**. Según las zonas de trabajo se realizaron submuestras siguiendo una distribución aleatoria. Las muestras

recolectadas se almacenaron en bolsas plásticas selladas herméticamente y protegidas del sol en un *cooler* a 4 °C con *ice-pack*. Los sedimentos se llevaron a secar en estufa Thermo scientific a temperatura de 104,5 °C para luego proceder al ataque de digestión ácida y luego se procedió a la detección analítica de metales pesados con el espectroscopio de plasma de la marca Thermo®, modelo: iCAP 6000, ICP-OES.

Tabla 1.

Ubicación de zonas del muestreo de sedimentos

Código	Puntos de muestreo	Coordenadas UTM	
		Latitud (S)	Longitud (E)
PM006	RioL-06	8040728.00 m	302929.00 m
PM007	RioL-07	8041714.00 m	303781.00 m
PM008	RioL-08	8042868.00 m	304520.00 m
PM009	RioL-09	8044043.00 m	305475.00 m
PM010	RioL-10	8045369.00 m	306457.00 m

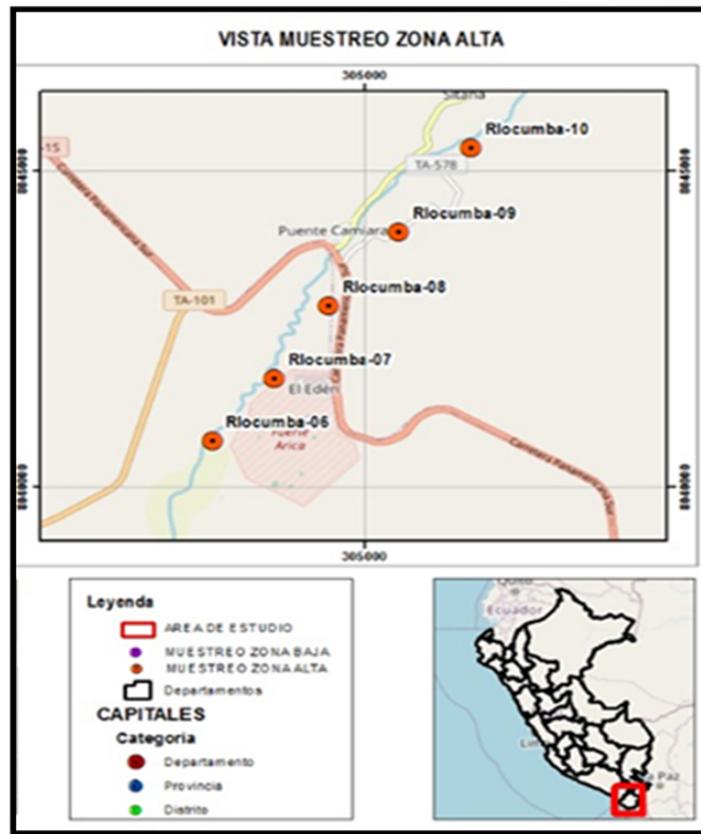
Área de estudio

El estudio se realizó en la parte alta el río Locumba, de la subcuenca Locumba, ubicada en el distrito de Ite, provincia de Jorge Basadre de Tacna, al sur de la costa peruana, y podemos encontrar la distribución

del muestreo en la **tabla 1**, los puntos se encuentran próximos al puente Camiara, logrando asegurar en los cinco puntos una muestra representativa a lo largo del área de estudio como podemos ver en la **figura 2**, además por ser puntos donde hay algún impacto antrópico.

Figura 2.

Ubicación de puntos de muestreo en la zona alta



Metodología

Para toma de muestras de sedimentos se utilizó el protocolo Sediment Sampling LSASDPROC-200-R4 (U. S. Environmental Protection Agency [USEPA], 2020). En el caso del análisis químico de sedimentos, primero se llevaron las muestras de sedimento a secar con temperatura de 104,5 °C en estufa Thermo scientific, luego se realizó una digestión ácida con agua regia

y finalmente se detectaron las diferentes concentraciones de metales pesados en el equipo de espectroscopia de plasma ICP-OES de marca Thermo®, modelo: iCAP 6000, mediante el método establecido por EPA 200.7, Rev.4.4. EMMC para oligoelementos y metales en sedimento. Para los límites máximos permisibles de metales pesados, se utilizaron estándares de calidad para sedimento marino según USEPA, estándares de manejo de sedimentos, capítulo 173-204 WAC.

Resultados

Concentraciones de metales pesados en sedimento para zona alta del río Locumba

A continuación, se presentan los diferentes niveles de concentración de

metales pesados como arsénico (As), cadmio (Cd), plomo (Pb), cobre (Cu), hierro (Fe), bario (Ba), manganeso (Mn) y cromo (Cr) en los meses de enero y marzo, como se aprecia en la **tabla 2**.

Tabla 2.

Parámetros químicos en sedimentos del río Locumba

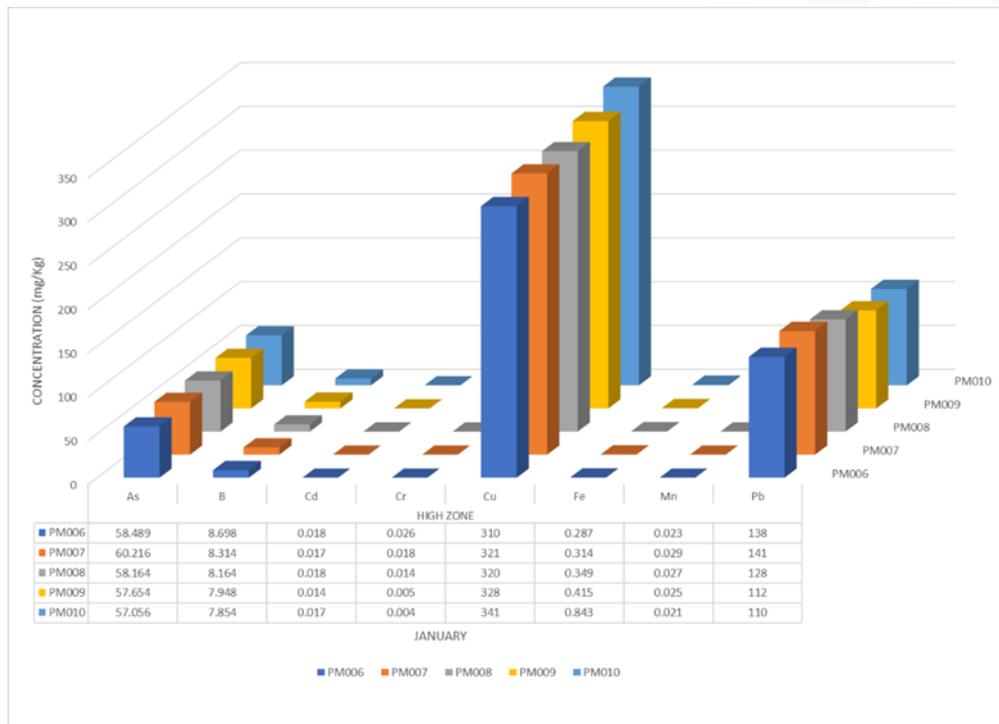
Código	Meses	Metal pesado (mg/kg)							
		As	B	Cd	Cr	Cu	Fe	Mn	Pb
PM006	Enero	58.489	8.698	0.018	0.026	310.0	0.287	0.023	138.0
	Marzo	58.176	8.834	0.021	0.032	403.0	0.353	0.026	127.0
PM007	Enero	60.216	8.314	0.017	0.018	321.0	0.314	0.029	141.0
	Marzo	59.893	8.444	0.019	0.022	417.0	0.386	0.032	130.0
PM008	Enero	58.164	8.164	0.018	0.014	320.0	0.349	0.027	128.0
	Marzo	57.852	8.291	0.020	0.017	416.0	0.429	0.029	118.0
PM009	Enero	57.654	7.948	0.014	0.005	328.0	0.415	0.025	112.0
	Marzo	57.345	8.072	0.015	0.006	426.0	0.510	0.027	103.0
PM010	Enero	57.056	7.854	0.017	0.004	341.0	0.843	0.021	110.0
	Marzo	56.750	7.977	0.020	0.005	443.0	1.037	0.023	101.0
USEPA		10.00	1.00	5.10	37.30	32.00	---	---	35.00

Las diferentes concentraciones de metales pesados encontrados en los sedimentos varían notablemente en la cuenca del río Locumba en la zona alta de estudio. Su presencia es posible por la influencia antrópica y por las interacciones del agua con los sedimentos y el material particulado en el aire que circula en el entorno, produciendo así fluctuaciones en los niveles de concentración en los sedimentos

del río Locumba, según Razo *et al.* (2004), quienes realizaron un trabajo similar en México sobre contaminación por metales en agua. Aguas arriba del río Locumba se puede verificar con los resultados obtenidos un posible impacto antropogénico de la actividad minera en el río como se puede apreciar en las figuras 3 y 4 respectivamente porque sobrepasan los estándares de calidad (USEPA, 2020 & 1987) (CEQGs., 1999).

Figura 3.

Concentraciones en sedimentos de metales pesados en zona alta del río Locumba, Ite para enero

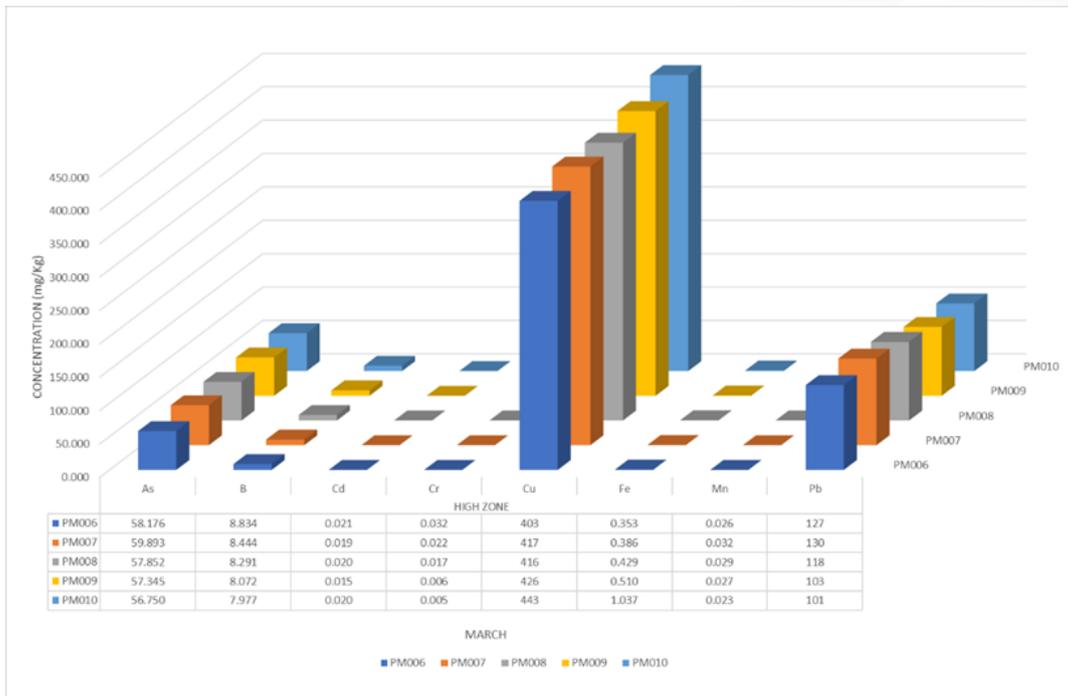


Según resultados, se verifica que los sedimentos del río contienen arsénico (As) y superan los estándares de calidad según la USEPA que es 10 ppm y el promedio obtenido para los meses de enero y marzo

es 58 ppm. El boro (B) también supera los estándares establecidos por la Organización Mundial de la Salud que es 1 ppm, y en los resultados se tiene una concentración promedio es de 8 ppm.

Figura 4.

Concentraciones en sedimentos de metales pesados en zona alta del río Locumba, Ite para marzo



Las concentraciones de cadmio (Cd) en el río Locumba no superan los estándares para sedimentos según USEPA, que es de 5,1 ppm y para el cromo (Cr) no superan los estándares de 37,3 ppm.

La concentración de cobre (Cu) en sedimentos de la zona de investigación sobrepasan los estándares para sedimentos de USEPA que es 32 ppm y en nuestros resultados tiene concentración promedio de 372 ppm. El plomo (Pb) en los resultados tiene promedio de 120 ppm y sobrepasan los 35 ppm establecido.

La concentración de hierro (Fe) se tiene en promedio 0,9 ppm y no se tiene estándar de calidad para sedimentos por USEPA, otras organizaciones establecen un promedio

tolerable de 35.900 ppm, el manganeso (Mn) presenta en promedio 0,23 ppm, otras organizaciones establecen rango de toxicidad entre 5 a 3.350 ppm.

Discusión

La contaminación en estos ecosistemas acuáticos se da por influencia antropogénica y natural y se puede identificar por sedimentos, la demanda de agua y la disminución de los suministros de agua, combinados con actividades de contaminación ambiental, lo que indica la importancia de estudiar la calidad de sedimentos (Priti and Biswajit, 2016) (Hashimuna *et al.*, 2021). Como se contempla en esta investigación, la presencia de metales pesados en los

sedimentos analizados sobrepasa los estándares según USEPA.

Según Razo *et al.* (2004) tanto Fe y Mn en el agua provienen de efluentes industriales, drenajes ácidos de minas, aguas residuales y lixiviados de vertederos, por tanto, para el estudio son promedios por debajo de los estándares al igual que Cd y Cr para el presente estudio y para el Cu y Pb se tiene 372 y 120 ppm respectivamente los que sobrepasa estándares para sedimentos según USEPA.

Conclusiones

La presencia y los niveles de concentración en sedimento de metales pesados en la parte alta del río Locumba supera los estándares de calidad para sedimento según USEPA, el arsénico con promedio máximo de 58 ppm, boro en 8 ppm, cobre en 372 ppm y plomo con 120 ppm.

Investigaciones sobre metales pesados en sedimentos de ríos es notorio a nivel internacional, evaluando su origen o procedencia, para controlar fuentes de contaminación y realizar el cuidado ambiental, en el país no es así, por ahora queda hacer un trabajo grande mediante la gestión en educación y cultura ambiental a la población y proteger nuestros ecosistemas acuáticos de intervenciones antrópicas.

Referencias

Asadi, A., Talebbeydokhti, N., & Massah, A. (2017). Assessing the impacts of climate and land use change on streamflow, water quality and

suspended sediment in the Kor River Basin, Southwest of Iran. *Environmental Earth Sciences*, 20.

Attah, U., Chinwendu, O., Chieze, C., Obiahu, O., & Yan, Z. (2021). Evaluating the spatial distribution of soil physicochemical characteristics and heavy metal toxicity potential in sediments of Nworie river micro-watershed Imo state, southeastern Nigeria. *Environmental Chemistry and Ecotoxicology*, 7.

Autoridad Nacional del Agua [ANA]. (2018). *Página de inicio*. <https://www.gob.pe/institucion/ana/organizacion>.

Cotrina, G.; Olarte, Y.; Peña, F.; Vargas, V.; Sánchez, M. y Pari, W. (2009). Hidrogeología de la cuenca del río Locumba. *Ingemmet*, (2).

CEQGs. (1999). Canadian Sediment Quality Guidelines for the Protection of Aquatic Life.

Hashimuna, O., Chibesa, M., Ellender, B., & Maulu, S. (2021). Variability of selected heavy metals in surface sediments and ecological risks in the Solwezi and Kifubwa Rivers, Northwestern province, Zambia. *Scientific African*, 10.

Liu, B., Luo, J., Jiang, S., Wang, Y., Li, Y., Zhang, X., & Zhou, S. (2021). Geochemical fractionation, bioavailability, and potential risk of heavy metals in sediments of the largest influent river into Chaohu Lake, China. *Environmental Pollution*, 15.

- Mokarram, M., Saber, A., & Sheykhi, V. (2020). Effects of heavy metal contamination on river water quality due to release of industrial effluents. *Journal of Cleaner Production*, 20.
- Priti, S. and Biswajit, P. (2016). Assessment of Heavy Metal Pollution in Water Resources and their Impacts: A Review. *Journal of Basic and Applied Engineering Research*, 3(8), 671-675.
- Razo, I.; Carrizales, L.; Castro, J.; Barriga, F. D. and Manroy, M. (2004). Arsenic and heavy metal pollution of soil, water and sediments in a semi-arid climate mining area in Mexico. *Water, Air, and Soil Pollution*, 152, 129-152.
- USEPA, U.S. Environmental Protection Agency. (2020). *LSASDPROC-200-R4 Sediment Sampling Protocol*. Laboratory Services and Applied Science Division Athens, Georgia.
- USEPA, Environmental Protection Agency (1987). An overview of sediment quality in the United States. EPA 905/9-88-002. Office of Water Regulations and Standards, Washington, DC, and EPA Region 5, Chicago.
- MIDAGRI, Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego. (2016). *Protocolo Nacional para el Monitoreo de la Calidad de los Recursos Hídricos Superficiales*. Lima: Biblioteca Nacional del Perú.
- Razo, I., Carrizales, L., Castro, J., et al. (2004) Arsenic and Heavy Metal Pollution of Soil, Water and Sediments in a Semi-Arid Climate Mining Area in Mexico. *Water Air and Soil Pollution*, 152, 129-152.
- Tshibanda, J., Malumba, A., Mpiana, P., Mulaji, C., Otamonga, J., & Poté, J. (2021). Influence of watershed on the accumulation of heavy metals in sediments of urban rivers under tropical conditions: Case of N'djili and Lukaya rivers in Kinshasa Democratic Republic of the Congo. *Watershed Ecology and the Environment*, 7.