

Contaminación por metales pesados (As, B, Cd, Cr, Cu, Fe, y Pb) en sedimentos superficiales del estuario Boca del Río, Ilo, Moquegua, Perú 2021



Heavy metal contamination (As, B, Cd, Cr, Cu, Fe, and Pb) in surface sediments of the Boca del Río estuary, Ilo, Moquegua, Peru 2021

Jackeline Incahuanaco Naveros
Universidad Nacional de Moquegua
Moquegua, Perú
jnaveros1624@gmail.com

Romy Montalván Vasquez
Universidad Nacional de Moquegua
Moquegua, Perú
romy.montalvan26@gmail.com

Yordy Dávila Lima
Universidad Nacional de Moquegua
Moquegua, Perú
yordy.davila@gmail.com

Abstract—Estuary sediments are an important contaminant enrichment medium and constitute an important biological habitat. These sediments have attracted the attention of marine scientists because they are a more stable and effective medium than water for monitoring regional environmental quality conditions and trends. Based on a large amount of measurement data, we analyzed the concentrations of seven heavy metals (As, B, Cd, Cr, Cu, Fe, and Pb) in the surface sediments of the Boca del Río estuary, located in the Province of Ilo, which flows into the sea of the Pacific Ocean. The concentrations of heavy metals in the sediments vary considerably. The sediments of the Boca del Río estuary contain elevated levels of Arsenic (62,451 mg/kg), which exceed the EPA Sediment Quality Standards (2014). Regarding heavy metal contamination in sediments in the province of Ilo, the necessary measures should be taken to protect the ecosystems belonging to the rivers in the south of the country.

Key words—Estuary, surface sediment, heavy metals, environmental quality assessment, human activity.

Resumen—Los sedimentos de los estuarios son un importante medio de enriquecimiento de contaminantes y constituyen un importante hábitat biológico. Estos sedimentos han atraído la atención de los científicos del medio marino porque son un medio más estable y eficaz que el agua para controlar las condiciones y tendencias de la calidad ambiental regional. Basándonos en una gran cantidad de datos de medición, analizamos las concentraciones de siete metales pesados (As, B, Cd, Cr, Cu, Fe, y Pb) en los sedimentos superficiales del estuario Boca del Río, ubicado en la Provincia de Ilo, que desembocan en el mar del Océano Pacífico. Las concentraciones de metales pesados en los sedimentos varían considerablemente. Los sedimentos del estuario Boca del Río contienen niveles elevados de Arsénico (62.451 mg/kg), que sobrepasan los Estándares de Calidad de Sedimentos de la EPA (2014). En lo que respecta a la contaminación por metales pesados en sedimentos de la provincia de Ilo, deberían adoptarse las medidas necesarias para proteger los ecosistemas pertenecientes a los ríos del sur del país.

Palabras Clave—Estuario, sedimento superficial, metales pesados, evaluación de la calidad del medio ambiente, actividad humana.

I. INTRODUCCIÓN

Es bien sabido que los ríos no solo producen vida, sino que también se multiplican y generan cultura humana [1]. Los ríos desempeñan un conjunto de funciones ecológicas, como el transporte de agua, la acuicultura, el hábitat y los efectos de blindaje [2]. Sin embargo, debido a la rápida industrialización, se han vertido metales pesados en los ríos sin una depuración eficaz [3]. Los metales pesados han atraído mucha más atención debido a su toxicidad inherente, sus vastas fuentes, su falta de degradabilidad, su bioacumulación y su persistencia en el medio acuático [4]. Tras el vertido de metales pesados en los ríos, la contaminación puede distribuirse entre diferentes componentes de estos sistemas acuáticos como el agua, los sedimentos y la biota [5]. En consecuencia, solo una pequeña cantidad de los metales pesados permanece en la columna de agua y la mayor parte se deposita en los sedimentos [6]. Más concretamente, los metales pesados se unen a los sedimentos a través de múltiples mecanismos como la adsorción en la superficie de las partículas, el intercambio de iones, la coprecipitación y la complejación con la materia orgánica [7]. Los sedimentos fluviales sirven de depósito o sumidero de metales pesados para los organismos acuáticos [8]. Además, varios de los metales ligados a los sedimentos pueden ser liberados a la columna de agua a través de la resuspensión de los sedimentos, reacciones de desorción, reducción o reacciones de oxidación [9]; esta liberación puede ser más peligrosa para la vida animal y humana a través de la cadena alimentaria. De esta forma, los sedimentos del medio acuático pueden desempeñar un papel importante en la deposición y transmisión de metales pesados [10].

Los metales pesados en los sedimentos pueden proceder tanto de fuentes naturales (por ejemplo, la meteorización

geológica, las precipitaciones atmosféricas y la erosión por el viento, las olas, las tormentas y la bioturbación), como de actividades antropogénicas (por ejemplo, los vertidos industriales, la minería, el transporte, las actividades agrícolas y urbanas) [11]. Así pues, la calidad de los sedimentos sirve como parámetro útil para caracterizar la influencia de las fuentes naturales y las actividades antropogénicas; además, la calidad de los sedimentos puede aportar pruebas de los efectos antropogénicos en los ecosistemas y orientar la política y la gestión de las zonas circundantes [12]. En muchos países, como los Estados miembros de la Unión Europea, se han establecido tecnologías eficaces de gestión y restauración para proteger los entornos ecológicos locales y el agua potable [13].

En comparación con otros países en vías de desarrollo, el Perú está sufriendo actualmente grandes retos en relación con la contaminación por metales pesados debido al rápido crecimiento económico y a la industrialización [14]. El sur del Perú, en particular, como una de las regiones económicas de más rápido desarrollo, ha sufrido considerables cambios ambientales, especialmente en las industrias locales que han generado una cantidad considerable de contaminación ambiental por metales pesados [6]. Por lo tanto, hay una necesidad urgente de llevar a cabo investigaciones relativas a la contaminación por metales pesados en sedimentos de la provincia de Ilo.

En este contexto, seleccionamos al estuario de Boca del Río, ubicado en la provincia de Ilo, como área de estudio. Los estudios sobre la contaminación por metales pesados han demostrado que el rápido desarrollo económico afecta significativamente a la calidad del agua de los ríos [3]. En la actualidad, numerosos estudios se han centrado principalmente en el contenido total de metales pesados y los niveles de contaminación en el río Osmore [15]. Además, el rápido desarrollo de las industrias en las provincias de Moquegua también podría contribuir a la degradación de la calidad de sus sistemas fluviales, amenazando la supervivencia de la vida acuática. Por lo tanto, es esencial determinar la concentración de metales pesados y sus riesgos potenciales en estos sistemas fluviales, particularmente en el estuario de Boca del Río, sobre los que se han realizado pocos o nulos trabajos. Por consiguiente, este estudio tiene como objetivo evaluar los niveles de contaminación de metales pesados (As, B, Cd, Cr, Cu, Fe, y Pb) en sedimentos del estuario de Boca del Río, y compararlos con los Estándares de Calidad de Sedimentos del Departamento de Ecología de los Estados Unidos [16].

II. METODOLOGÍA

2.1. Área de estudio

La ubicación del presente proyecto de investigación fue en el estuario de Boca del Río, que limita al norte con el Distrito de Pacocha, al sur con el Distrito de Ilo, al oeste con el Océano Pacífico y al este con el Río Osmore; además, está ubicado en la provincia de Ilo, departamento de Moquegua, en el sur del Perú. El área de estudio comprende diez muestras de sedimentos que fueron extraídas durante los meses de octubre a diciembre, en época de estiaje. Se aprecia la ubicación del área de estudio, mediante la siguiente figura:



Figura 1 : Lugar de Ejecución del Proyecto de Investigación

2.2. Muestreo y pretratamiento de sedimentos

Se recogieron diez muestras de sedimentos superficiales (0-4 cm) utilizando un extractor en las orillas del estuario de Boca del Río. Todas las submuestras se sellaron por separado en bolsas de polietileno limpias, se colocaron en una nevera a 4 °C y se transportaron al Laboratorio de Calidad de Agua, perteneciente a la Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental de la Universidad Nacional de Moquegua. El pretratamiento consistió en convertir los sedimentos en muestras para su análisis mediante los procedimientos de secado, trituración y digestión. En concreto, tras la liofilización, cada una de las muestras de sedimentos se calentó en un horno a 105 ± 2 °C hasta alcanzar un peso constante [17]. Todos los datos de este trabajo se basaron en los pesos secos para los análisis posteriores. Para la determinación de los metales pesados totales, se pesó primero una muestra de sedimento de 0,1 g de peso seco en una balanza de masas y se digirió con una mezcla de HCl-HNO₃ en un recipiente de teflón sobre una placa caliente [18]. A continuación, las muestras líquidas se evaporaron hasta un estado casi seco en la placa caliente. Por último, las muestras se ajustaron a un tubo de centrifuga adecuado con agua doblemente desionizada y se filtraron con una membrana (0,45 μm) para ser conservados y llevados posteriormente a un laboratorio de ensayos químicos [19].

2.3. Análisis Químico

Los sedimentos fueron llevados al Laboratorio Analítico del Sur (LAS), donde se determinaron los metales pesados (As, B, Cd, Cr, Cu, Fe, y Pb) mediante Espectrometría de Plasma ICP-OES [20]. Todas las muestras se analizaron por triplicado para demostrar la reproducibilidad del equipo. Todos los estándares se prepararon a partir de la dilución de soluciones estándar madre de 1000 mg/l-1 en ácido nítrico ultra puro al 5 % (v/v). El procedimiento analítico se comprobó con estándares certificados (GBW07314, GBW07437, GBW(E) 130286-89). Los resultados estaban dentro del intervalo de incertidumbre especificado por los valores certificados. Los blancos analíticos siempre produjeron valores <3 % del contenido medido.

III. RESULTADOS

Un resumen de las concentraciones de metales pesados en los sedimentos superficiales del estuario de Boca del Río, se aprecian en la Tabla 1. Las concentraciones medias de los siete metales pesados As, B, Cd, Cr, Cu, Fe, y Pb, en los sedimentos del estuario Boca del Río, son: 62.451 mg/kg, 1.817 mg/kg, 0.001 mg/kg, <0.001 mg/kg, 0.006 mg/kg, 0.003 mg/kg y 0.0701 mg/kg respectivamente.

De acuerdo con los Estándares de Calidad en Sedimentos del Departamento de Ecología [21], de los Estados Unidos, las concentraciones individuales de cada una de las diez muestras de Arsénico (As) son muy superiores (>57 mg/kg), siendo los valores: 61.253 mg/kg, 64.283 mg/kg, 62.212 mg/kg, 58.119 mg/kg, 60.385 mg/kg, 66.471 mg/kg, 63.502 mg/kg, 60.438 mg/kg, 59.429 mg/kg y 68.414 mg/kg respectivamente. Además, se aprecia la concentración de Arsénico (As) en los diez puntos de muestreo, mediante la Figura 2.

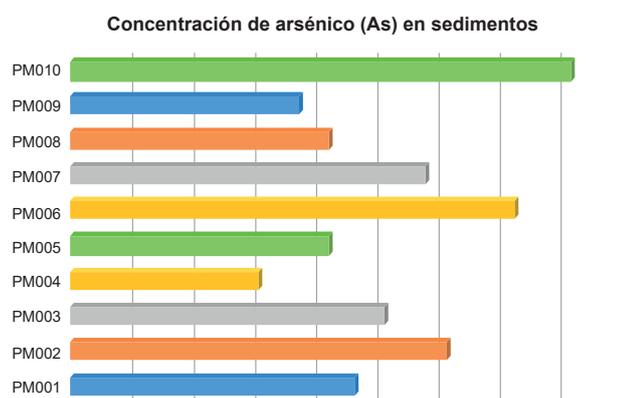
Tabla 2
Valores cuantificados por ensayo químico ICP-OES

Muestra N°	As MT mg/kg	B MT mg/kg	Cd MT mg/kg	Cr MT mg/kg	Cu MT mg/kg	Fe MT mg/kg	Pb MT mg/kg
PM001	61.253	1.832	0.00013	a<0.00094	0.005	a<0.016	0.0312
PM002	64.283	1.712	0.00051	a<0.00094	a<0.002	a<0.016	0.0872
PM003	62.212	1.723	0.00083	a<0.00094	a<0.002	a<0.016	0.0623
PM004	58.119	1.798	0.00092	a<0.00094	0.006	0.0023	0.0854
PM005	60.385	1.891	0.00056	a<0.00094	0.005	a<0.016	0.0899
PM006	66.471	1.925	0.00024	a<0.00094	a<0.002	0.0031	0.0901
PM007	63.502	1.836	0.00081	a<0.00094	a<0.002	0.0038	0.0734
PM008	60.438	1.871	0.00035	a<0.00094	a<0.002	0.0025	0.0711
PM009	59.429	1.799	0.00039	a<0.00094	0.007	a<0.016	0.0687
PM010	68.414	1.781	0.00058	a<0.00094	a<0.002	a<0.016	0.0498
Promedio	62.451	1.817	0.0005	a<0.00094	0.006	0.003	0.071

Fuente: Ensayo químico realizado por Laboratorios Analíticos del Sur (LAS).

FIGURA 2

Valores de la Concentración de Arsénico (As) en Sedimentos



Fuente: Elaboración propia.

IV. CONCLUSIÓN

De los siete metales pesados (As, B, Cd, Cr, Cu, Fe, y Pb) evaluados en las diez muestras de sedimentos superficiales del estuario Boca del Río, ubicado a orillas del Río Osmore, el metal pesado con mayor concentración y que sobrepasa los Estándares de Calidad de Sedimentos del Departamento de Ecología de los Estados Unidos, es el Arsénico (As), con una concentración promedio de 62.451 mg/kg. Nuestra evaluación exhaustiva, con más literatura e investigaciones reali-

zadas en calidad de agua, señalan que existe relación entre la contaminación de dicho metal (As), tanto en calidad de agua como en calidad de sedimentos, siendo necesario su continuo monitoreo para una posterior evaluación de riesgos ambientales que pueda ocasionar en el ecosistema.

V. REFERENCIAS

- [1] S. Bi, Y. Yang, C. Xu, Y. Zhang, X. Zhang, and X. Zhang, "Distribution of heavy metals and environmental assessment of surface sediment of typical estuaries in eastern China", *Mar. Pollut. Bull.*, vol. 121, no. 1-2, pp. 357-366, Aug. 2017, doi: 10.1016/j.marpolbul.2017.06.013.
- [2] X. Miao, Y. Hao, H. Liu, Z. Xie, D. Miao, and X. He, "Effects of heavy metals speciations in sediments on their bioaccumulation in wild fish in rivers in Liuzhou—A typical karst catchment in southwest China", *Ecotoxicol. Environ. Saf.*, vol. 214, p. 112099, May 2021, doi: 10.1016/j.ecoenv.2021.112099.
- [3] W. Zhuang and F. Zhou, "Distribution, source and pollution assessment of heavy metals in the surface sediments of the Yangtze River Estuary and its adjacent East China Sea", *Mar. Pollut. Bull.*, vol. 164, p. 112002, Mar. 2021, doi: 10.1016/j.marpolbul.2021.112002.
- [4] M. Mariyanto et al., "Heavy metal contents and magnetic properties of surface sediments in volcanic and tropical

- environment from Brantas River, Jawa Timur Province, Indonesia”, *Sci. Total Environ.*, vol. 675, pp. 632-641, Jul. 2019, doi: 10.1016/j.scitotenv.2019.04.244.
- [5] X. Wang et al., “Distribution, assessment and coupling relationship of heavy metals and macroinvertebrates in sediments of the Weihe River Basin”, *Sustain. Cities Soc.*, vol. 50, p. 101665, Oct. 2019, doi: 10.1016/j.scs.2019.101665.
- [6] T. Ma, Y. Sheng, Y. Meng, and J. Sun, “Multistage remediation of heavy metal contaminated river sediments in a mining region based on particle size”, *Chemosphere*, vol. 225, pp. 83-92, Jun. 2019, doi: 10.1016/j.chemosphere.2019.03.018.
- [7] L. Li, M. Jiang, Y. Liu, and X. Shen, “Heavy metals inter-annual variability and distribution in the Yangtze River estuary sediment, China”, *Mar. Pollut. Bull.*, vol. 141, pp. 514-520, Apr. 2019, doi: 10.1016/j.marpolbul.2019.03.008.
- [8] M. Liu, J. Chen, X. Sun, Z. Hu, and D. Fan, “Accumulation and transformation of heavy metals in surface sediments from the Yangtze River estuary to the East China Sea shelf”, *Environ. Pollut.*, vol. 245, pp. 111-121, Feb. 2019, doi: 10.1016/j.envpol.2018.10.128.
- [9] R. Liu, L. Guo, C. Men, Q. Wang, Y. Miao, and Z. Shen, “Spatial-temporal variation of heavy metals’ sources in the surface sediments of the Yangtze River Estuary”, *Mar. Pollut. Bull.*, vol. 138, pp. 526-533, Jan. 2019, doi: 10.1016/j.marpolbul.2018.12.010.
- [10] A. Zhu, J. Liu, S. Qiao, and H. Zhang, “Distribution and assessment of heavy metals in surface sediments from the Bohai Sea of China”, *Mar. Pollut. Bull.*, vol. 153, p. 110901, Apr. 2020, doi: 10.1016/j.marpolbul.2020.110901.
- [11] J. Fan, X. Jian, F. Shang, W. Zhang, S. Zhang, and H. Fu, “Underestimated heavy metal pollution of the Minjiang River, SE China: Evidence from spatial and seasonal monitoring of suspended-load sediments”, *Sci. Total Environ.*, vol. 760, p. 142586, Mar. 2021, doi: 10.1016/j.scitotenv.2020.142586.
- [12] T. Chen, Q. Liu, Y. Zheng, and L. Zhou, “Correlation patterns between magnetic parameters and heavy metals of core sediments in the Yellow River Estuary and their environmental implication”, *Mar. Pollut. Bull.*, vol. 160, p. 111590, Nov. 2020, doi: 10.1016/j.marpolbul.2020.111590.
- [13] L. Sun, Y. Zheng, and X. Yu, “Flocculation-bio-treatment of heavy metals-vacuum preloading of the river sediments”, *Ecotoxicol. Environ. Saf.*, vol. 201, p. 110810, Sep. 2020, doi: 10.1016/j.ecoenv.2020.110810.
- [14] F. Wang et al., “Heavy metal pollution in urban river sediment of different urban functional areas and its influence on microbial community structure”, *Sci. Total Environ.*, vol. 778, p. 146383, Jul. 2021, doi: 10.1016/j.scitotenv.2021.146383.
- [15] R. R. Sanchez Valencia, “Niveles de metales pesados (Pb, Al y Sr) en época de avenida y estiaje en el Río Osmore, región Moquegua”, Universidad Nacional de San Agustín, Ilo, 2019.
- [16] EPA, “Sediment Management Standards, Chapter 173-204 WAC”, 2014. Accessed: Oct. 26, 2020. [Online]. Available: <https://fortress.wa.gov/ecy/publications/SummaryPages/1309055.html>.
- [17] A. M. Dendievel et al., “Metal pollution trajectories and mixture risk assessed by combining dated cores and sub-surface sediments along a major European river (Rhône River, France)”, *Environ. Int.*, vol. 144, p. 106032, Nov. 2020, doi: 10.1016/j.envint.2020.106032.
- [18] G. B. Brito, J. B. da Silva Júnior, L. C. Dias, A. de Santana Santos, G. M. Hadlich, and S. L. C. Ferreira, “Evaluation of the bioavailability of potentially toxic metals in surface sediments collected from a tropical river near an urban area”, *Mar. Pollut. Bull.*, vol. 156, p. 111215, Jul. 2020, doi: 10.1016/j.marpolbul.2020.111215.
- [19] Q. Liu, Y. Sheng, M. Jiang, G. Zhao, and C. Li, “Attempt of basin-scale sediment quality standard establishment for heavy metals in coastal rivers”, *Chemosphere*, vol. 245, p. 125596, Apr. 2020, doi: 10.1016/j.chemosphere.2019.125596.
- [20] ThermoFisher, “Inductively Coupled Plasma-Optical Emission Spectrometry (ICP-OES)-PE”, 2014, Accessed: Apr. 19, 2021. [Online]. Available: [//www.thermofisher.com/ht/en/home/industrial/spectroscopy-elemental-isotope-analysis/trace-elemental-analysis/inductively-coupled-plasma-optical-emission-spectrometry-icp-oes.html](http://www.thermofisher.com/ht/en/home/industrial/spectroscopy-elemental-isotope-analysis/trace-elemental-analysis/inductively-coupled-plasma-optical-emission-spectrometry-icp-oes.html).