



CONCENTRATION OF HEAVY METALS: CHROME, CADMIUM AND LEAD IN SURFACE SEDIMENTS IN THE RIVER COATA, PERU

CONCENTRACIÓN DE METALES PESADOS: CROMO, CADMIO Y PLOMO EN LOS SEDIMENTOS SUPERFICIALES EN EL RÍO COATA, PERÚ

Received 06 10 2019
Accepted 06 25 2019
Published 06 30 2019

Vol. 36, No.2, pp. 83-90, May./Jun. 2019
Revista Boliviana de Química

36(2), 83-90, May/Jun. 2019
Bolivian Journal of Chemistry
DOI: 10.34098/2078-3949.36.2.3



Full original article

Peer-reviewed

Raúl F. Quispe Yana¹, Germán Belizario Quispe¹, Heber N. Chui Betancur^{2,*}, Samuel Huaquisto Cáceres¹, Alfredo P. Calatayud Mendoza³, Percy S. Yábar Miranda²

¹Escuela Profesional de Ingeniería Agrícola, Universidad Nacional del Altiplano de Puno, Av. Floral N° 1153, Puno, Perú. belge29@hotmail.com

²Instituto de Investigación de Ciencias Naturales y Tecnología de la Facultad de Ciencias de la de la Educación, Universidad Nacional del Altiplano de Puno, Av. Floral N° 1153, Puno, Perú

³Escuela Profesional de Ingeniería Económica, Universidad Nacional del Altiplano de Puno, Av. Floral N° 1153, Puno, Perú

Keywords: *Pollution, Heavy metals, Surface sediments, Coata River, Titicaca, Perú.*

Palabras clave: *Contaminación, Metales pesados, Sedimentos superficiales, Rio Coata, Titicaca, Perú.*

ABSTRACT

This article describes the determination of heavy metals, namely: chromium (Cr), cadmium (Cd) and lead (Pb), in surface sediments of the lower Coata river basin, considered as the most important fluvial artery tributary of the Titicaca lake in Peru. The contamination of water bodies, sediments and other components of ecological diversity was evaluated. The determination was made twice during 2017, at high and low runoff periods of the year, in five strategic points. The minimum and maximum concentration range found was 4.10 mg / kg Cr, 0.10 mg / kg Cd, and 3.75 mg / kg Pb, and, 28.42 mg / kg Cr, 0.70 mg / kg Cd, and 16.50 mg / kg Pb, respectively. Some minimum values found, exceed the acceptable minimums established in the Environmental Quality Standards for Soil of the Ministry



of Environment of Peru. The possible causes of the pollution detected are the anthropic action with an impact on the wastewater of the city of Juliaca, Peru. The quantification of these elements was performed by atomic absorption spectroscopy EPA method.

RESUMEN

En el presente artículo se describe la determinación de metales pesados, a saber: cromo (Cr), cadmio (Cd) y plomo (Pb), en sedimentos superficiales de la cuenca baja del río Coata, considerado como la más importante arteria fluvial afluente del lago Titicaca en Perú. Se evaluó la contaminación de los cuerpos de agua, sedimentos y otros componentes de la diversidad ecológica. La determinación fue hecha en dos épocas del año, en avenida y en estiaje del año 2017 en cinco puntos estratégicos. El rango de concentraciones mínimo y máximo hallado fue de 4.10 mg/kg Cr, 0.10 mg/kg Cd, y 3.75 mg/kg Pb, y 28.42 mg/kg Cr, 0.70 mg/kg Cd, y 16.50 mg/kg Pb, respectivamente. Algunos valores mínimos hallados superan los mínimos aceptables establecidos en los Estándares de Calidad Ambiental para Suelo del Ministerio del Ambiente del Perú. Las posibles causas de la contaminación detectada son la acción antrópica con impacto en las aguas residuales de la ciudad de Juliaca, Perú. La cuantificación de estos elementos se realizó por espectroscopia de absorción atómica Método EPA.

INTRODUCCIÓN

Actualmente nuestro planeta afronta una serie de problemas ecológicos derivados de la contaminación ambiental [1], la cual genera un impacto mayor en diferentes organismos [2] que conducen a la mutación de las características físicas, químicas y biológicas del medio ambiente. Una causa común es el crecimiento poblacional reflejado en un aumento de las manchas urbanas generando la pérdida de cualidades de los ecosistemas, así como la degradación de suelos agrícolas [3-6]. La alteración de los suelos, recursos hídricos y del aire por metales pesados y metaloides, proyectan una tendencia de la problemática más severa que compromete la seguridad alimentaria y la salud pública a nivel local y mundial [3,7,8].

Los proyectos mineros en Perú, contaminan las aguas debido a los relaves de los procesos de flotación en la extracción metalúrgica de minerales, e incrementan el grado de contaminación en ríos, lagos, lagunas y en el mar, que son los receptores hídricos de las evacuaciones residuales provocadas por el hombre. La contaminación de aguas (reflejada en la alteración de su composición físico-química) por metales pesados a altas concentraciones como: Pb, Fe, Cu, Zn, As, Cr, Cd, Mg y algunos reactivos químicos concurrentes de los procesos, provenientes de las plantas de tratamientos de minerales no son susceptibles ni a una bio- ni a una quimio-remediación en el corto plazo [9-14], conllevando un grado alarmante de toxicidad para el hombre y animales.

Metales pesados, como Pb, Cd, Hg, Cr entre otros, permanecen y se acumulan en el ambiente al igual que en los organismos vivos (provocando toxicidad, bioacumulación, alteraciones bioquímicas o mutagénesis, en plantas y animales), como iones o bajo la forma de compuestos organometálicos, por largos períodos de tiempo [15-21].

El agua es esencial para todas las formas de vida. De toda la reserva de agua de la tierra, aproximadamente el 97% del agua está formada por mares y océanos, mientras que los recursos de agua dulce contribuyen solo con el 3% del agua [22]. La contaminación por metales pesados (Pb, Zn, Cu y Cr) en los recursos de sedimentos fluviales puede representar una seria amenaza para el ecosistema y la salud humana a través de la red trófica [5,23,24].

Los índices de concentración de metales pesados como el Cd, As, Cu, Cr, Pb, Sb, Zn y Ni en aguas superficiales y en sedimentos en la época de avenidas y en estiaje en otros ríos fueron reportadas como mínimos y no sobrepasaron los LMP en la norma a excepción del Hg en sedimentos [13,25,26], mientras que en otros estudios, éstos sobrepasan la norma alterando la composición físico-química de las aguas y sedimentos con la consecuente alteración de la salud de personas y medio ambiente [5,11-14,27,28,30]. Las causas de las altas concentraciones de Cu, Pb, Zn, Cr, Ni y Sn son las actividades domésticas e industriales intensas locales como la escorrentía urbana y agrícola, las aguas residuales industriales y hospitalarias que se descargan en los ríos sin tratamiento previo [1,29]. También se ha reportado diferencias estadísticas sobre el contenido contaminante en metales pesados como la elevada concentración de Hg, Cu, Pb, Zn y Mn, y la contaminación moderada de Co y Fe en partes bajas y medias en el recorrido del cauce del río [8], y una contaminación severa en las partes altas del río con los efectos adversos sobre la biota acuática, de acuerdo con las directrices internacionales [28].

Es decir, en los sedimentos superficiales las concentraciones de Pb, Cd, Cr, V, Ni y oxígeno, transparencia, salinidad, pH y temperatura en agua presentan tendencias fuertes hacia la desembocadura de los ríos tributarios [31], sobrepasando los límites permitidos por la Organización Mundial de la Salud, con asociaciones significativas [32].



Para el análisis de distribución de los metales pesados se pueden obtener parámetros estadísticos descriptivos, correlaciones de Pearson, análisis de varianza, pruebas t de Student, análisis de componentes principales a partir del análisis mediante espectrofotómetro de absorción atómica [25,33-35]. Conviene subrayar, que la contaminación por metales pesados (Pb, Zn, Cu y Cr) en los recursos de sedimentos fluviales puede representar una seria amenaza para el ecosistema y la salud humana a través de la red trófica [5,23,24] ya que los resultados reportados por Cornejo y Pacheco [36] superan los límites permitidos por el EPA, cuyos valores máximos son: 152mg/Kg de arsénico, 0.140mg/ de mercurio y 55mg/Kg de Pb, y grandes cantidades de sólidos en suspensión, estas concentraciones son fruto del uso excesivo de mercurio en la explotación del oro en La Rinconada y Ananea.

Según la OMS los seres vivos requieren pequeñas cantidades de Fe, Zn, Cu, etc. para varias funciones biológicas, sin embargo, una escasa o excesiva presencia de éstos pueden alterar procesos bioquímicos y/o fisiológicos en el organismo. Lo tóxico de los metales pesados no sólo radica en su elevado peso atómico y en sus características químicas, sino en las concentraciones elevadas que pueden alterar el ecosistema [1], con variaciones espaciales de las concentraciones [28], llegando a los organismos de la población del ámbito de estudio [36], sin embargo esto debe evitarse, con una adecuada campaña de sensibilización ambiental. Un grave riesgo de salud pública es la absorción de Pb [37], provoca en los niños un retraso del desarrollo mental e intelectual, en los adultos causa hipertensión y enfermedades cardiovasculares; el Cd excesivo provoca severidad de los síntomas, signos y alteraciones en el organismo, el tiempo de exposición y con la vía de entrada del metal [38]. La intoxicación aguda con compuestos de Cr puede generar lesiones renales, mientras que la intoxicación crónica, puede producir mutaciones en el tracto gastrointestinal presentando riesgo toxicológico [28].

De ahí la importancia de analizar el contenido químico en metales pesados de las diversas fuentes de agua, en particular la de consumo humano. El propósito de este trabajo de investigación es evaluar la presencia de metales pesados (Pb, Cr y Cd) en los sedimentos superficiales en la parte baja de la cuenca del río Coata. El muestreo se realizó *in situ* sobre el río Coata en cinco puntos de toma (P-01 a P-05), desde el puente "Independencia" (P-01) en la ciudad de Juliaca hasta su desembocadura en el lago Titicaca (P-05).

EXPERIMENTAL

Se tomó muestras de sedimentos superficiales en la cuenca baja del río Coata, vertiente del lago Titicaca, en dos periodos climáticos: avenidas (marzo) y estiaje (junio) en el año 2017, en cinco puntos estratégicos georreferenciados con GPS Garmin etrex desde el puente Independencia de la ciudad de Juliaca hasta la desembocadura. Primer punto de muestreo en el puente Independencia con coordenadas UTM (WGS84) 381478.13 Este, 8290421.62 Norte, y 3833 msnm de altitud; el punto 02 en la desembocadura del río Torococha en la jurisdicción del distrito de Caracoto con coordenadas UTM (WGS84) 385267.51 Este, 8285422.64 Norte; y 3830 msnm de altitud; el punto 03 ubicado en "Mayoesquina" en la jurisdicción del distrito de Caracoto, con coordenadas UTM (WGS84) 390758.44 Este, 8280058.72 Norte; y 3828 msnm de altitud; el punto 04 ubicado en Puente Grande, en la jurisdicción del distrito de Coata, con coordenadas UTM (WGS84) 397450.95 Este, 8278882.54 Norte, y 3825 msnm altitud y el punto 05 ubicado en la desembocadura del río Coata a lago Titicaca, en la jurisdicción del distrito de Coata, con coordenadas UTM (WGS84) 402797.59 Este, 8275181.69 Norte; y 3821 msnm de altitud. La investigación es cuantitativa de carácter no experimental, del tipo comparativo, siguiendo la metodología siguiente.

Se colectó muestras de sedimento por duplicado tomando *in situ* los parámetros físico-químicos como CND, pH y temperatura en cada uno de los cinco puntos de muestreo en las dos épocas. Las muestras fueron colectadas usando una pala pequeña y fueron colocadas en recipientes de polietileno de 2L. Fueron luego mezcladas con cuarteo a 0.50 Kg aproximadamente, custodiándose el envase de polietileno previamente lavado en agua destilada, secado y etiquetado. Los envases conteniendo las muestras fueron introducidos en bolsas ziploc®, y luego protegidos en bolsas plásticas negras y puestos a 4°C en refrigeración, hasta el análisis químico de las muestras mediante espectroscopía de absorción atómica (Método EPA 200.7). Los resultados obtenidos se compararon con los estándares de calidad ambiental para el suelo del Ministerio del Ambiente (MINAM, 2013). Finalmente, se analizó el punto más crítico, en función a la conductividad eléctrica del agua tomada *in situ*.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Concentraciones de los metales pesados en los sedimentos



La concentración de Cd y Pb varía en descenso desde el punto P-01 hasta el punto P-05 de desembocadura, con mayor concentración en avenidas que en estiaje, mientras que Cr tiene comportamiento inverso que Cd por puntos de muestreo y épocas (Tabla 1) con un valor máximo de Cd de 0.70mg/kg en época de avenida, Cr de 28.42mg/kg en época de estiaje y 16.50 mg/kg de Pb en época de avenida y valores mínimos de Cd 0.00mg/kg en época de estiaje en el punto P-04, Cr 4.10mg/kg en época de avenida y 3.75 mg/kg en la época de estiaje.

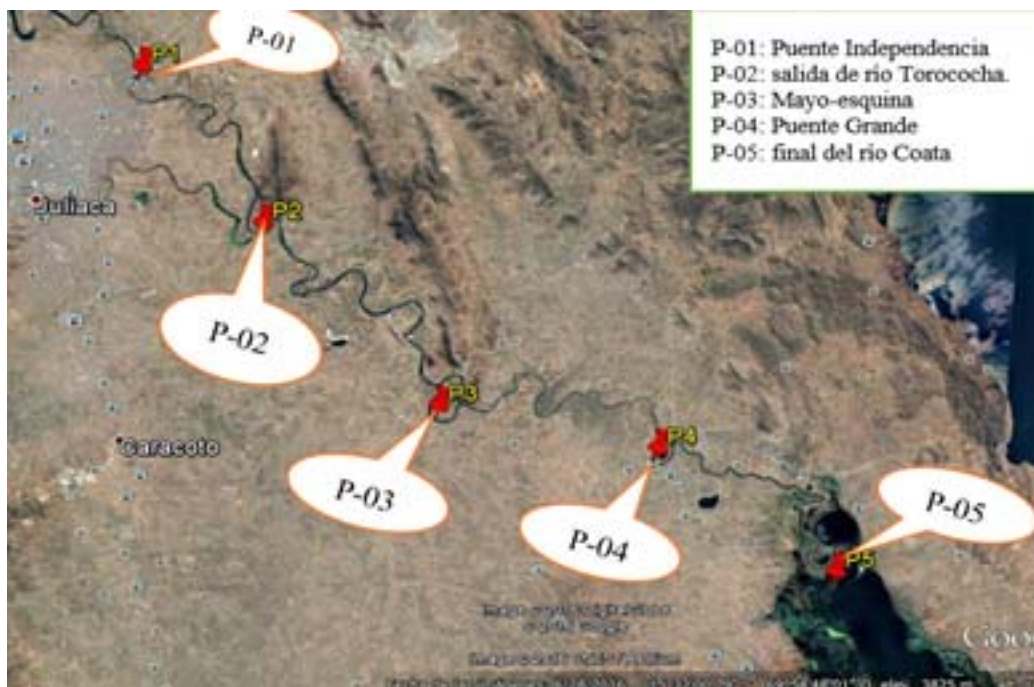


Figura 1: Ubicación de puntos de muestreo (referencia de google maps)

Tabla 1. Concentración de metales pesados en los sedimentos superficiales en las épocas de avenida (marzo) y estiaje (junio), río Coata – 2017

Punto de muestreo	Unidad	Época de avenida			Época de estiaje		
		Cd	Cr	Pb	Cd	Cr	Pb
		1.400	0.004	70.00	1.400	0.004	70.00
P-01	mg/kg	0.70	4.10	16.50	0.33	13.33	7.50
P-02	mg/kg	0.60	8.60	16.00	0.16	7.25	3.75
P-03	mg/kg	0.50	7.40	14.20	0.25	27.00	5.50
P-04	mg/kg	0.10	14.80	5.70	0.00	16.50	10.83
P-05	mg/kg	0.20	8.10	8.30	0.08	28.42	4.58
Máximo		0.70	14.80	16.50	0.33	28.42	10.83
Mínimo		0.10	4.10	5.70	0.00	7.25	3.75

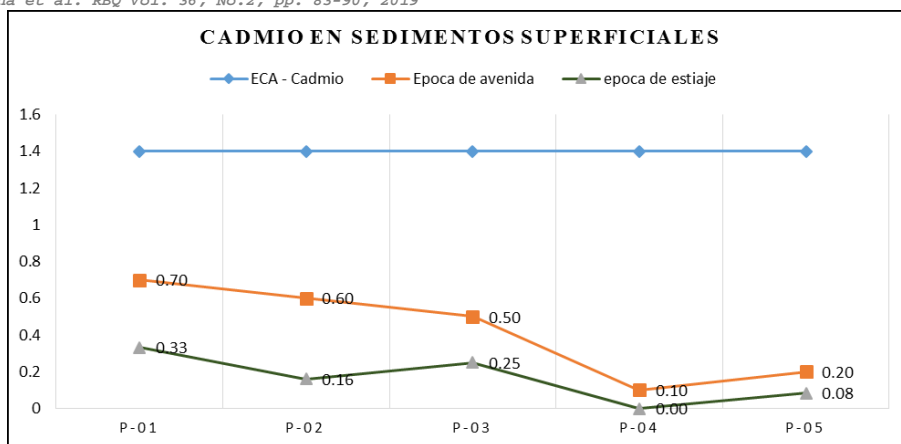


Figura 2. Comportamiento de la concentración de Cd (mg/Kg) en sedimentos.

El comportamiento del Cd en sedimentos superficiales, se refleja por valores inferiores a los mínimos aceptables establecidos en los estándares de calidad ambiental (ECA) para suelos de 1.40 mg/kg en los puntos de estudio en las épocas señaladas, y los resultados en la época de avenidas es mayor a las de estiaje (Fig. 2).

La concentración de Cr en los sedimentos superficiales supera los límites establecidos por los estándares de calidad ambiental para el suelo en las épocas de muestreo según la figura 3. Asimismo, los resultados de la época de estiaje están por encima de los resultados de la época de avenidas a excepción de la muestra P-02.

La concentración de Pb en las épocas de estudio es inferior a la establecida en los estándares de calidad ambiental para suelos (ECA, 70 mg/Kg) en todos los puntos, además la mayor concentración de Pb se encuentra en la época de avenida que es mayor que en la de estiaje a excepción de la muestra del punto P-04 donde la concentración de Pb es mayor que en estiaje (Fig. 4).

La presencia de metales pesados como Pb, Cr y Cd en los sedimentos superficiales por los vertimientos de aguas residuales de la ciudad de Juliaca al río Coata en la parte baja de la cuenca del mismo río, es debida a todas luces a la actividad humana doméstica o industrial y tiene como consecuencia directa un alto impacto ambiental afectando el equilibrio de los diversos ecosistemas alterando la permanencia de la cadena trófica, generando riesgos potenciales en la ambiente y en la sociedad [11-14].

Los resultados de la conductividad eléctrica (Fig. 5) se encuentran dentro de los límites establecidos por los estándares de calidad ambiental a excepción del punto P-02 para el que éstos sobrepasan los 1500 μ S, el punto más crítico y vulnerable a la contaminación es la desembocadura del río Torococha de acuerdo a los resultados de la conductividad eléctrica, en la época de estiaje se ha elevado el valor de la conductividad eléctrica debido al ingreso del agua residual sin previo tratamiento y los residuos sólidos de la ciudad de Juliaca.

CONCLUSIONES

En los sedimentos superficiales del río en la cuenca baja del río hay presencia de las concentraciones de los metales pesados como Cd, Cr y Pb, sin embargo el Pb y Cd están por debajo de los límites establecidos en los estándares de calidad ambiental, mientras que Cr se encuentra por encima de los ECA para suelos, además la concentración de Cd y Pb disminuye desde el primer punto hasta el punto cinco, pero el Cr tienen distinto comportamiento con los dos anteriores, asimismo, el punto más crítico es la desembocadura del río Torococha.

RECONOCIMIENTO

Al laboratorio de Ensayo y Control de Calidad de la Universidad Católica Santa María-Arequipa, por los análisis de espectroscopía de absorción atómica.

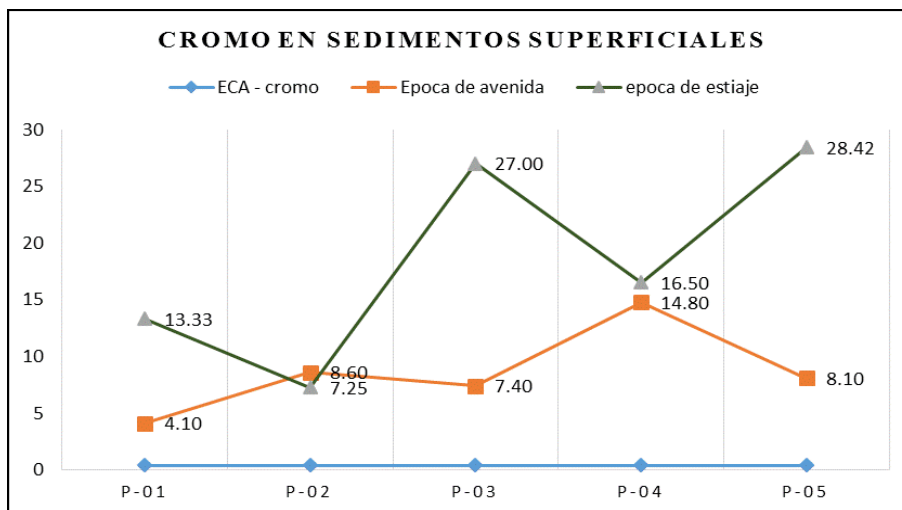


Figura 3. Comportamiento de la concentración del Cr (mg/Kg) en sedimentos.

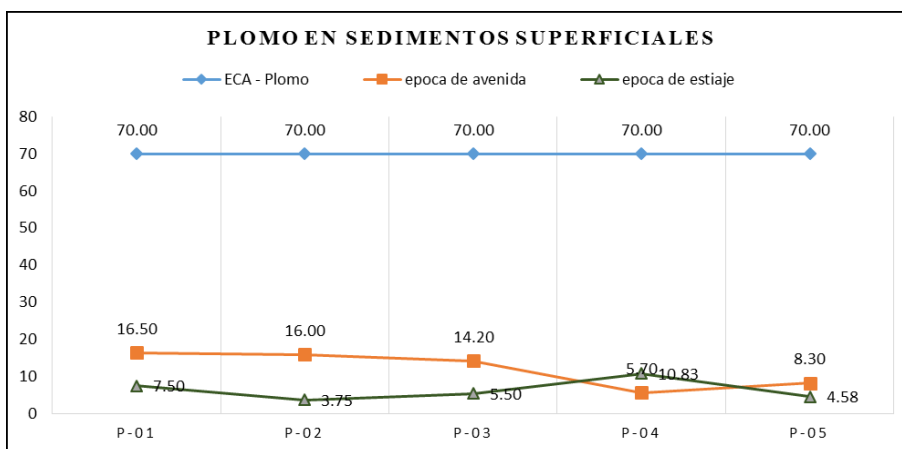


Figura 4. Comportamiento de la concentración del Pb (mg/Kg) en sedimentos.

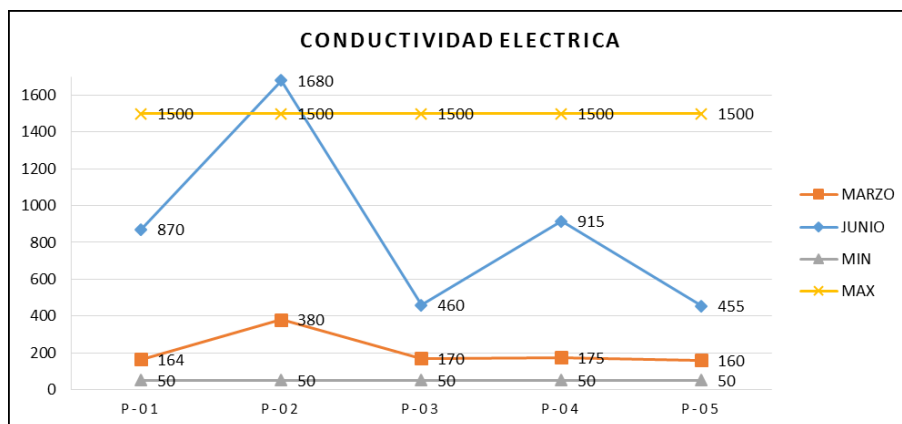


Figura 5. Comportamiento de la conductividad eléctrica en las dos épocas de estudio.



REFERENCIAS

1. Vivas, A.H. **2015**, Evaluación de la mutagenicidad causada por metales pesados presentes en agua del río Cauca en la ciudad de Cali, Colombia, *Rev. Colomb. Química*, 43(2), 18–24.
2. Gallardo, D., Bruguera, N., Díaz, J. A., Cabrera, I., **2015**, Impacto provocado por la minería en la zona de Santa Lucía: evaluación físico-química, *Environ. impacts Assess. from Min. Oper. St. Lucia physic Chem. Eval.*, 31(4), 4, 100–120.
3. Alahabadi, A., Malvandi, H., **2018**, Contamination and ecological risk assessment of heavy metals and metalloids in surface sediments of the Tajan River, Iran, *Mar. Pollut. Bull.*, 133, 741–749.
4. Mohammad, M., Lokman, M., Islam, S. Rahman, Z., **2016**, Preliminary assessment of heavy metals in water and sediment of Karnaphuli River, Bangladesh, *Environ. Nanotech. Monit. Manag.*, 5, 27–35.
5. Saiful, I., Belal, H., Matin, A. Shafiqul, S., I., **2018**, Assessment of heavy metal pollution, distribution and source apportionment in the sediment from Feni River estuary, Bangladesh, *Chemosp.*, 202, 25–32.
6. Kang, M., Tian, Y., Peng, S., Wang, M., **2019**, Effect of dissolved oxygen and nutrient levels on heavy metal contents and fractions in river surface sediments, *Sci. Total Environ.*, 648, 861–870.
7. Duodu, G. O., Goonetilleke, A., Ayoko, G. A., **2016**, Comparison of pollution indices for the assessment of heavy metal in Brisbane River sediment, *Environ. Pollut.*, 219, 1077–1091, 2016.
8. Chen Y., **2018**, Long-term and high-concentration heavy metal contamination strongly influences the microbiome and functional genes in Yellow River sediments, *Sci. Total Environ.*, 637, 1400–1412.
9. Chiang, A. **1989**, Niveles de los metales pesados en organismos, agua y sedimentos marinos recolectados en la V Región de Chile, *Memorias del Simp. Int. sobre los Recur. vivos, Santiago*, 1, 205–215.
10. Martínez, G., Rodríguez, L. Senior, W., **2002**, Especiación de Cd , Zn , Cr y Pb en núcleos de sedimentos de la Bahía de Bergantín, Estado Anzoátegui, *Venezuela Interciencia*, 27(4), 173–179.
11. Rodríguez, D., Córdova, V., Pérez, O., **2015**, Educación Ambiental Vs. Baja Percepción Acerca De La Contaminación Por Metales Pesados En Comunidades Costeras., *Environ. Educ. Versus Low Percept. Coast. Communities Heavy Met. Contam.*, 1, 13–28.
12. José-Bracho, G., Cuador-Gil, J. Q. Rodríguez-Fernández, R. M., **2016**, Calidad del agua y sedimento en el lago de Maracaibo, estado Zulia, *Minería y Geol.*, 32(1), 1–14.
13. Laino Guanes, R.M., **2015**, Concentración de metales en agua y sedimentos de la cuenca alta del río Grijalva , *frontera*, 6(1), 61–74.
14. Moronta-Riera, J. L., Riverón-Zaldivar A.B., **2016**, Evaluación de la calidad físico-química de las aguas y sedimentos en la costa oriental del lago de Maracaibo., *Minería Geol.*, 32(2), 102–111.
15. Quintero Rendón, L.A., Agudelo, E.A., Quintana Hernández, Y.A., Cardona Gallo, S.A., Osorio Arias, A.F., **2010**, Determinación de indicadores para la calidad de agua, sedimentos y suelos, marinos y costeros en puertos colombianos, *Gestión y Ambient.*, 13(3), 51–64.
16. Mesa Pérez, M.A., Díaz Rizo, O., Sánchez Pérez, J.M., Baqué, D., Tavella, M.J., **2015**, Bioacumulación de metales pesados en arroz cultivado bajo condiciones de contaminación en la subcuenca Mampostón Heavy metal bioaccumulation in rice culture under contamination conditions in Mamposton watershed, *Rev. Ciencias Técnicas Agropecu.*, 24, 25–30.
17. Chopra, A.K., Sharma, M.K., Chamoli, S., **2011**, Bioaccumulation of organochlorine pesticides in aquatic system-an overview, *Environ. Monit. Assess.*, 173, 905–916.
18. Pandey, M., Pandey, A.K., Mishra, A., Tripathi, B.D., **2014**, Assessment of metal bioaccumulation in *Clarias batrachus* and exposure evaluation in human, *Proc. Int. Acad. Ecol. Environ. Sci.*, 4(4), 176–184.
19. Sarah, R., Tabassum, B., Idrees, N., Hashem, A., Fathi, E., **2019**, Bioaccumulation of heavy metals in *Channa punctatus* (Bloch) in river Ramganga (U.P.), India, *Saudi J. Biol. Sci.*, 15(20), 1–6.
20. Zhang, Z., Wan, H., Ding, M., Wang, P., Xu, X., Jiang, Y., **2018**, Inherent bacterial community response to multiple heavy metals in sediment from river-lake systems in the Poyang Lake, China, *Ecotoxicol. Environ. Saf.*, 165(99) 314–324.
21. Ansah, K.E.E., Nkrumah, D., Nti, S.O., Opoku, F., **2019** Adsorption of heavy metals (Cu, Mn, Fe and Ni) from surface water using *Oreochromis niloticus* scales., *Pollution*, 5(1), 115–122.
22. Shrestha, N.K., Du, X., Wang, J., **2017**, Assessing climate change impacts on fresh water resources of the Athabasca River Basin, Canada., *Sci. Total Environ.*, 601, 425–440.
23. Liao, J., Chen, J., Ru, X., Chen, J., Wu, H., Wei, C., **2017**, Heavy metals in river surface sediments affected with multiple pollution sources, South China: Distribution, enrichment and source apportionment, *J. Geochemical Explor.*, 176, 9–19.
24. Zhang, G., Bai, J., Xiao, R., Zhao, Q., Jia, J., Cui, B., Liu, X., **2017**, Heavy metal fractions and ecological risk assessment in sediments from urban, rural and reclamation-affected rivers of the Pearl River Estuary, China, *Chemosphere*, 184, 278–288.
25. Bhuyan, M. S., Bakar, M. A., Akhtar, A., Hossain, M. B., Ali, M. M., and Islam, M. S. **2017**, Heavy metal contamination in surface water and sediment of the Meghna River, Bangladesh, *Environ. Nanotechnology, Monit. Manag.*, 8(4), 273–279.
26. Argota Pérez G., González Pérez, Y., **2013**, Determinación enzimática y metales pesados en cerebro e hígado del modelo ecotoxicológico, *Medisan*, 17(2), 221–229.
27. Dimas, M.J., Garza, M., Treviño, D. B., **2015**, Índice de la calidad del agua y metales pesados del cauce aguas blancas del municipio de Acapulco Guerrero, México, *Rev. Mex. Ciencias Agric.*, 1, 113–118.
28. Mora, A.M. Jumbo Flores, D., González Merizalde, M., Bermeo Flores, S. A., **2016**, Niveles de Metales Pesados en Sedimentos de la Cuenca del Río Puyango, Ecuador, *Rev. Int. Contam. Ambient.* 32(4), 385–397.
29. Kilunga P.I., Sivalingam P., Laffite A., Grandjean D., Mulaji de Alencastro L.F., Mpiana P.T., Poté, J. C.K. **2017**, Accumulation of toxic metals and organic micro-pollutants in sediments from tropical urban rivers, Kinshasa, Democratic Republic of the Congo, *Chemosphere*, 179, 37–48.
30. Liang X., **2018**, Source identification and risk assessment based on fractionation of heavy metals in surface sediments of Jiaozhou Bay, China, *Mar. Pollut. Bull.*, 128(1), 548–556.
31. Ávila H., Quintero E., Angulo N., **2014**, Determinación de metales pesados en sedimentos superficiales costeros del Sistema Lago de



- Maracaibo, Venezuela, *Multiciencias*, 14(1), 16-21.
32. Calao C.R., Marrugo, J.L., **2013**, Efectos genotóxicos en población humana asociados a metales pesados en la región de La Mojana, Colombia, *Biomédica*, 35(2), 139-145.
 33. Tun, G. E., Álvarez, T., Zapata, G. Sosa, E. **2017**, Metales pesados en suelos y sedimentos de la zona cañera del sur de Quintana Roo, México, *Rev. Mex. Ciencias Geológicas*, 34(3), 157-169.
 34. Thi T.H.N., Weigu, Z., Zhen, L., Jie, L., Can, G., Jinyan, Liu., Xuexin, Bai., Huan, Feng., Lizhong, Yu., **2016**, Assessment of heavy metal pollution in Red River surface sediments, Vietnam, *Mar. Pollut. Bull.*, 113(2), 513-519.
 35. Zhuang, Q., Li, G., Liu, Z., **2018**, Distribution, source and pollution level of heavy metals in river sediments from South China, *Catena*, 170(3), 386-396.
 36. Cornejo, D.A. Pacheco, M. E., **2014**, Contaminación de aguas y sedimentos por As, Pb y Hg de la cuenca del río Ramis, Puno., *Investigaciones*, 3(1), 51-60.
 37. Apaza, A.D., **2015**, Remoción de Metales Plomo (Pb) y Zinc (Zn) de las aguas del río Torococha por precipitación alcalina en la ciudad de Juliaca. Puno - Peru, *Tesis grado la Univ. Nac. del Altiplano - Puno*, 174.
 38. Molina, **2015**, Análisis de arsénico y metales pesados (Cadmio, Magnesio, Mercurio y Plomo) en orina y cabello de la población infantil residente en Huelca, *Univ. Granada*, 194.