

Contenido de metales pesados en varios ríos de Costa Rica

Heavy metals content in several rivers in Costa Rica

Noemi Quirós-Bustos¹, Diana Robles-Chaves²,
Andrey Caballero-Chavarría³, Guillermo Calvo-Brenes⁴

Fecha de recepción: 8 de marzo de 2021
Fecha de aprobación: 21 de julio de 2021

Quirós-Bustos, N; Robles-Chaves, D; Caballero-Chavarría, A; Calvo-Brenes, G. Contenido de metales pesados en varios ríos de Costa Rica. *Tecnología en Marcha*. Vol. 35-2. Abril-Junio 2022. Pág 93-104.

 <https://doi.org/10.18845/tm.v35i2.5532>



- 1 Doctorado en Ciencias Naturales para el Desarrollo. Escuela de Química, Instituto Tecnológico de Costa Rica. Costa Rica. Correo electrónico: nquiros@tec.ac.cr
- 2 Centro Investigación y de Servicios Químicos y Microbiológicos (CEQIATEC), Escuela de Química, Instituto Tecnológico de Costa Rica. Costa Rica. Correo electrónico: drobles@tec.ac.cr
- 3 Centro Investigación y de Servicios Químicos y Microbiológicos (CEQIATEC), Escuela de Química, Instituto Tecnológico de Costa Rica. Costa Rica. Correo electrónico: acaballero@tec.ac.cr
- 4 Centro de Investigación en Protección Ambiental (CIPA), Escuela de Química, Instituto Tecnológico de Costa Rica. Costa Rica. Autor para correspondencia. Correo electrónico: gcalvo@tec.ac.cr

Palabras claves

Metales pesados; calidad de ríos; contaminación.

Resumen

Costa Rica posee una riqueza hídrica importante; sin embargo, varios ríos presentan niveles de contaminación altos. Un tipo importante de contaminantes son los metales pesados (MP) que pueden tener un efecto adverso en la salud en personas, animales y plantas. Su no biodegradabilidad y su bioacumulación ocasionan efectos tóxicos duraderos. Existe poca información sobre MP en los ríos de Costa Rica; por eso el propósito de esta investigación fue evaluar la calidad de varios ríos ubicados en distintas regiones del país. Se seleccionaron 26 sitios de muestreo y se evaluó el contenido de 7 MP entre el 2017 al 2018. Los MP evaluados fueron: plomo, cromo total, cadmio, mercurio, cobre, arsénico y níquel. Se encontró presencia de cada uno de los metales. En general, no se observaron diferencias de MP entre la época seca y la lluviosa. La presencia de arsénico solo se encontró en los ríos Tempisque y Toro; en el primer caso los valores usualmente sobrepasaron la normativa nacional. Algunos MP evaluados mostraron concentraciones cercanas al límite máximo recomendado. El caso del mercurio sobresalió entre los datos pues estuvo presente en el 61,5% de los sitios muestreados y en la mayoría de ellos sobrepasaron la normativa nacional.

Keywords

Heavy metals; river quality; contamination.

Abstract

Costa Rica has many water resources; however, several of the rivers are highly contaminated. An important pollutant type is the heavy metals (HM) that can have an adverse health effect in people, animals, and plants as well. Its non-biodegradability and its bioaccumulation cause long-lasting toxic effects. There is little information on HM in the rivers of Costa Rica; Therefore, the purpose of this research was to evaluate the quality of several rivers located in different regions of the country. Twenty-six sampling sites were selected, and 7 HM content were evaluated between 2017 and 2018. The metals selected were lead, total chromium, cadmium, mercury, copper, arsenic and nickel. The different HM were found in several sites. In general, there were no differences between HM concentrations during the dry season and the rainy season. The presence of arsenic was only found in the Tempisque and Toro rivers; in the first case, there values usually exceeded national regulations. Other HM were found in some evaluated sites and usually with concentrations close to the maximum recommended limit. The case of mercury stands out among the data since it is found in 61,5% of the sampled sites and, for the most part, they exceed national regulations.

Introducción

Costa Rica posee una riqueza hídrica importante; sin embargo, varios de los ríos presentan niveles de contaminación altos [1]. Parte de esta contaminación proviene de descargas directas a los ríos de aguas residuales domésticas e industriales; mientras que otras corresponden a contaminación difusa cuyos principales contaminantes tienen su origen en actividades agrícolas y la contaminación atmosférica. Diferentes contaminantes que se mantienen suspendidos en el aire en forma de partículas, eventualmente se depositan en el suelo y estos, a su vez junto

con los contaminantes existentes en los suelos, pueden ser acarreados hasta los ríos y zonas costeras a través de procesos erosivos y las escorrentías que se producen durante períodos de precipitaciones pluviales [2] [3].

Un tipo importante de contaminantes son los metales pesados (MP) pues tienen un impacto adverso en la salud, tanto en personas como en animales y en plantas, cuando su concentración sobrepasa ciertos límites en el agua, el aire, en el suelo o en sedimentos [4][5][6][7]. Estos metales se encuentran en la naturaleza y forman parte de los procesos metabólicos en la flora y fauna [8]. Sin embargo, cuando estos sobrepasan ciertos niveles, se convierten en contaminantes de alta peligrosidad [3][4][6][7]. Los MP provienen tanto de fuentes naturales como antropogénicas; las naturales incluyen a las rocas, minerales e incluso la actividad volcánica; mientras que las fuentes antropogénicas incluyen las actividades agrícolas, industriales, domésticas, la minería, la generación de energía y el transporte [9].

Dentro de los seres vivos, estos metales se pueden bioacumular ya que el organismo, en ocasiones, no tiene mecanismos para reducir su concentración a un ritmo adecuado. Dentro del organismo estos pueden alcanzar concentraciones más elevadas que las que se encuentran en el medio ambiente o en los alimentos [7][8]. Además, son no-biodegradables y la contaminación puede durar entre cientos y miles de años. Tal es el caso del cadmio (Cd) que puede tardar en reducir su concentración a la mitad en un suelo contaminado en un periodo de tiempo que puede tardar entre 15 a 1100 años, aproximadamente. En el caso del cobre (Cu) es de 310 a 1500 años y para el Pb, se estima en 740 a 5900 años; proceso que dependerá del tipo de suelo, así como los procesos fisicoquímicos que ocurran [10].

El hecho de que los MP sean bioacumulables y que su biodegradabilidad sea prácticamente nula, ocasionan efectos tóxicos duraderos [7][9]. Niveles altos de metales en plantas causan un efecto fitotóxico que se puede manifestar en una disminución de su crecimiento, alteran el consumo o retención de agua dentro de la planta, afectan la permeabilidad de las raíces, inhiben los procesos fotosintéticos, la respiración o la afectación de la actividad enzimática [5].

La contaminación por MP en el ambiente se da por 5 posibles vías: retención en suelos, absorción en plantas (cadena trófica), en material particulado (PM_{10} y $PM_{2.5}$) donde usualmente se encuentra retenido y el cual, a su vez, está en suspensión en el aire; retención en polvos urbanos, así como la movilización en aguas superficiales y subterráneas [6].

En humanos, la exposición a estos elementos está relacionada con problemas de salud como retrasos en el desarrollo, varios tipos de cáncer, daños en el riñón, e incluso, con casos de muerte [7][11]. La Organización Mundial de la Salud (OMS) estima que la exposición de las personas a zonas urbanas contaminadas produce la muerte de 7 millones de personas por año [6]. Su efecto dañino en el caso del ser humano proviene por la ingesta de agua contaminada con MP, pero también en flora y fauna contaminada con metales y que sean parte de la cadena alimentaria del hombre [6][12].

Los MP también se encuentran en el aire, usualmente retenidos en las partículas que se encuentran en suspensión (PM_{10} y $PM_{2.5}$); así como en el suelo, el polvo sobre las carreteras, las plantas, el agua de los ríos y sus sedimentos [6]. En polvo urbano, su origen se debe principalmente a cenizas de la combustión de los vehículos (74%), así como residuos urbanos (9%) y otros [6][13]. Cambios en las condiciones fisicoquímicas en los ríos pueden ocasionar que los MP acumulados y retenidos en los sedimentos en los ríos y en el mar, sean liberados en el agua y en las zonas costeras [4][14]. Cualitativamente se ha observado que usos del suelo como el agrícola, urbano o minero, muestran distintos niveles de contaminación por MP [11].

Los estudios recientes de metales pesados en sedimentos en Costa Rica muestran una tendencia al aumento en su concentración y esto se ha relacionado con un uso del suelo mal planificado y sin controles claros, además del aumento de las aguas residuales sin tratamiento que se ha venido dando hasta el presente [14][15]. Los suelos son contaminados de metales por el uso de pesticidas, fertilizantes, compost, estiércol, lodos y aguas residuales [4][10][16]. La figura 1 muestra que la agricultura intensiva y las actividades mineras se encuentran entre las principales fuentes de contaminación del suelo [11][17].

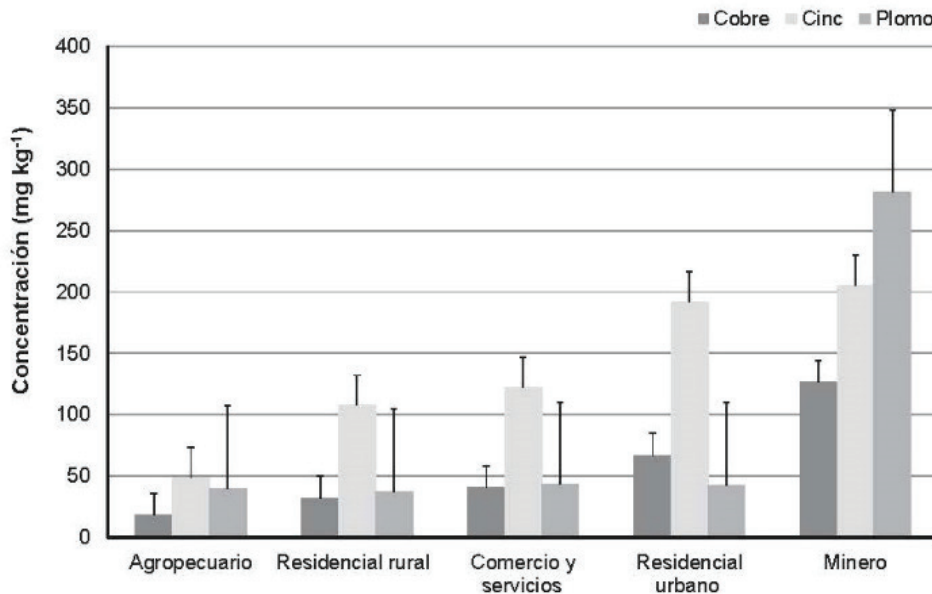


Figura 1. Variación del contenido de Cobre, Zinc y Plomo en suelo según su uso.

Fuente: [11].

Costa Rica ha logrado avances importantes en el suministro de agua potable en diferentes partes del país; sin embargo, ha habido un rezago importante en alcantarillado sanitario y tratamiento de aguas residuales. En el 2014 la cobertura de alcantarillado sanitario con tratamiento era de un 4%; en el 2016 fue de 8,2% y para el 2017 se reportó un 14,4% [18]. Se estima que un 84% de aguas residuales domésticas y un 55% de aguas industriales son vertidas a los ríos sin recibir algún tratamiento [19]. Estos datos muestran que hay un porcentaje muy alto de aguas residuales domésticas que no son tratadas y son vertidas en los ríos, generando niveles altos de contaminación en los ríos y las zonas costeras. En Costa Rica se llevó a cabo un estudio en ríos y aguas subterráneas y se encontró que 25 de las 34 cuencas estudiadas muestra presencia de metales pesados. Sin embargo, dicho estudio no detalla el contenido, el tipo de metal encontrado, el lugar ni el tipo de fuente de agua [20]. Por otra parte, estudios realizados en sedimentos del río Pirro mostraron contenidos altos en MP retenidos en los sedimentos, los cuales pueden ser liberados en el río por procesos de sorción-desorción al darse cambios en las condiciones fisicoquímicas del cauce [4][14].

Existen pocos estudios sobre la contaminación por metales pesados en los ríos costarricenses; es por esta razón que el propósito de esta investigación fue evaluar la calidad de varios ríos de Costa Rica con relación a su contenido en MP.

Materiales y métodos

Selección de los puntos de muestreo

Se seleccionaron 26 puntos de muestreo que muestran entre sí variabilidad en los distintos usos del suelo. También se consideró la geomorfología, el drenaje, la pendiente y accesibilidad, variables que influyen en la calidad de las aguas [1][3].

Las zonas de estudio seleccionadas están ubicadas en algunas de las siguientes regiones: San Carlos, Guanacaste, el Atlántico, el Gran Área Metropolitana y Osa. Los sitios de muestreo se ubicaron en los ríos Arenal, Caño Negro, Temquisque, Pital, Toro, Tigre, Rincón, Sierpe, Torres, Poás, Segundo, Pacuare, Penshurt y Birris.

Recolección de muestras de agua

La frecuencia de los muestreos se llevó a cabo cada dos meses en un período de 14 meses para todos los puntos de muestreo, y con ello poder evaluar el contenido de metales pesados en las épocas lluviosas y seca. Los muestreos se efectuaron entre los meses de Setiembre del 2017 hasta Noviembre del 2018.

La recolección de las muestras se efectuó en recipientes plásticos y transportados en hieleras siguiendo las recomendaciones establecidas en el “Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater” [21].

Las muestras fueron recolectadas y transportadas en frío al laboratorio. La preservación de las muestras se efectuó utilizando HNO_3 hasta $\text{pH} < 2$.

Análisis de metales pesados en ríos

Los contenidos de metales evaluados en las muestras de agua de ríos fueron los siguientes: plomo (Pb), cromo total (Cr), cadmio (Cd), mercurio (Hg), cobre (Cu), arsénico (As) y níquel (Ni).

La metodología de medición y digestión fue la establecida en el “Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater” [21].

Las concentraciones de As, Cd, Cr, Cu, Pb y Ni fueron determinados por espectrometría de absorción atómica de horno de grafito, utilizando el equipo Perkin Elmer modelo AAnalyst 800 con el apoyo de un horno de grafito para la determinación de concentraciones a nivel de trazas. La determinación de Hg también se realizó con este equipo, pero por la técnica de generación de hidruros y el hierro por la técnica de llama. Previo a la lectura de las muestras, se realizó una digestión con HNO_3 y HCl en plantilla de calentamiento.

Verificación de metodologías

La validación de la metodología se llevó a cabo a través del análisis de materiales de referencia certificados. Se evaluaron los parámetros de desempeño de veracidad, precisión, límite de detección y cuantificación, rango de trabajo y linealidad. Además, se utilizaron los criterios de aceptación establecidos en la norma de referencia.

Graficación de resultados

La graficación de los resultados se llevó a cabo utilizando el programa Statistical Package for Social Science (SPSS versión 25) y el tipo de gráfico fue el de cajas-bigotes.

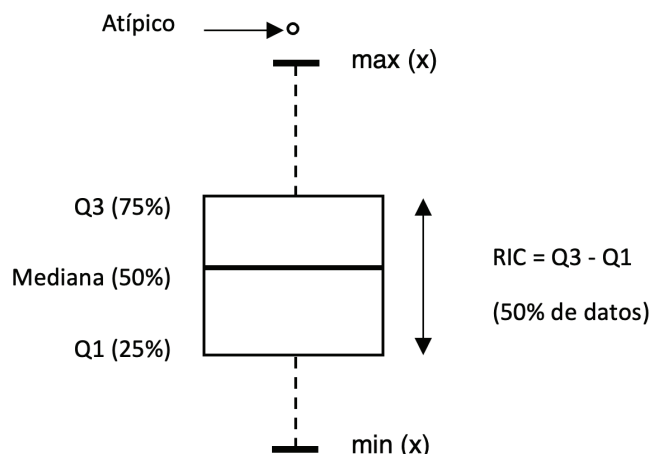


Figura 2. Representación del diagrama de caja-bigotes y sus componentes principales.

El diagrama incluye la mediana, los percentiles 25 y 75 por lo que el rango de valores dentro de la caja representa la distribución del 50% de los valores. Los bigotes corresponden al valor más pequeño y el valor más grande reportados, siempre y cuando no se trate de valores atípicos. El uso del símbolo “o” y “*” son utilizados para mostrar valores atípicos y que, por lo tanto, son valores influyentes y que el programa SPSS los grafica por aparte. Los valores atípicos generados en SPSS muestran unos números los cuales no se deben confundir con la concentración en ese dato, sino que se refiere a la identificación numérica del grupo de datos para facilitar su ubicación en la base de datos.

Resultados y discusión

Contenido de plomo (Pb)

El reglamento para la evaluación y clasificación de cuerpos de agua superficiales [22] establece como límite máximo permisible en contenido de Pb para Clase 1 en agua de ríos un valor de 0,03 mg/L. Por otra parte, el reglamento para la calidad del agua potable [23] establece un valor máximo de 0,01 mg de Pb/L. Cuatro sitios de muestreo presentaron una sola lectura con contenido de Pb (15,4%), mientras que el resto de las 7 mediciones efectuadas en distintos momentos en cada sitio fue de 0,000 mg/L. Tres de ellas fueron por debajo del límite máximo para ríos Clase 1 y la de Sierpe Palmatica sobrepasó dicho valor. Cada una de estas 4 lecturas fueron superiores al límite estipulado para agua potable (0,01 mg de Pb/L). Las concentraciones de Pb fueron de 0,012, 0,012, 0,026 y 0,044 mg de Pb/L para Birris 1, Birris 2, Caño Negro y Sierpe-Palmatica, respectivamente (figura 3). En el resto de los puntos muestreados no se encontró presencia de Pb.

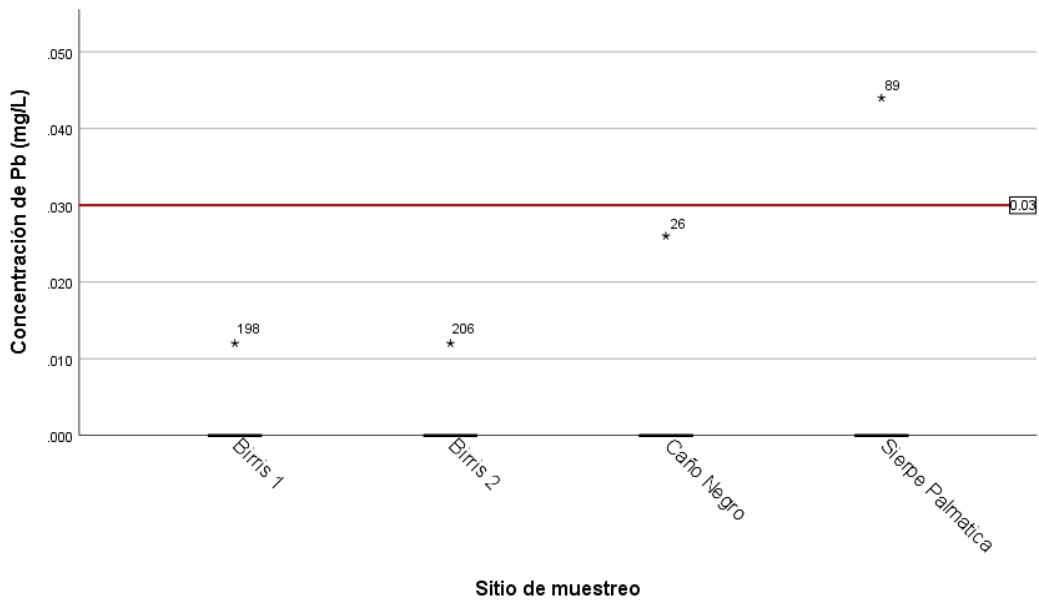


Figura 3. Puntos de muestreo con presencia de Pb en sus ríos.

Contenido de Cr

En el caso del Cr, ambos reglamentos establecen un máximo permisible de 0,05 mg/L. En general, se observó que el contenido de Cr en agua de ríos es inferior a ese valor. Sin embargo, 22 puntos de los 26 evaluados (84,6%), mostraron la presencia de Cr en sus aguas (figura 4). En los casos en que el gráfico sólo mostró un dato, como lo es el Birris 2 o el Arenal 2, esto se debe a que durante el período de análisis en ese sitio, sólo una vez se encontró la presencia de Cr.

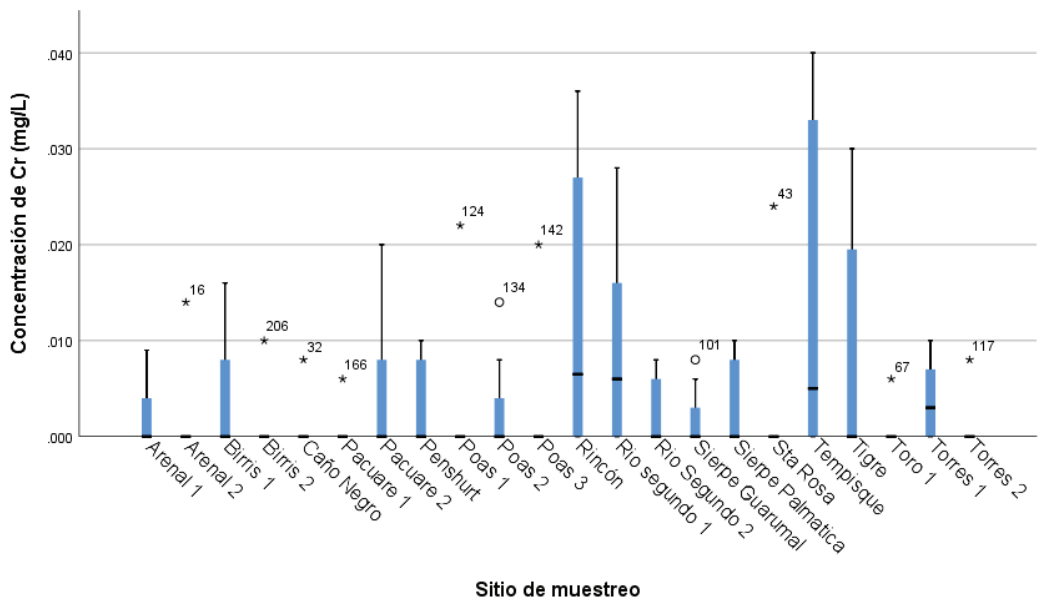


Figura 4. Puntos de muestreo con presencia de Cr en sus ríos.

Contenido de Cu

El reglamento para la evaluación y clasificación de cuerpos de agua superficiales [22] establece como límite máximo permisible en contenido de Cu en Clase 1 para el agua en ríos un valor de 0,5 mg/L. Por otra parte, el reglamento para la calidad del agua potable [23] establece un valor máximo de 2,0 mg de Cu/L. Veinte y cuatro puntos de los 26 muestreados (92,3%) tienen presencia de Cu. Todos ellos poseen concentraciones de Cu por debajo de ambas normativas (figura 5).

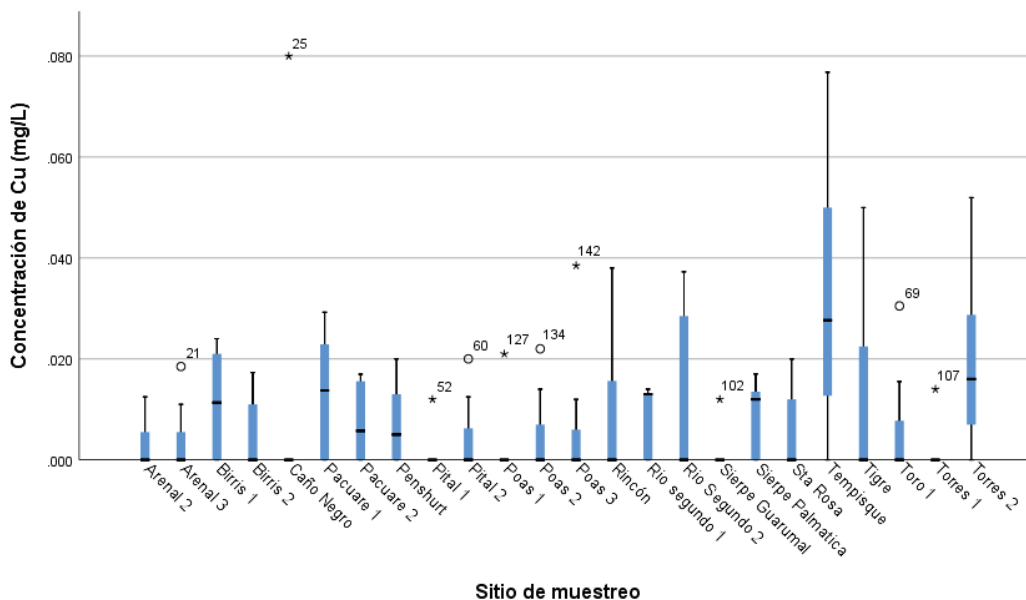


Figura 5. Puntos de muestreo con presencia de Cu en sus ríos.

Contenido de As

Tanto el reglamento para ríos [22], así como el de agua potable [23] establecen como límite máximo permisible en contenido de As un valor de 0,01 mg/L. De todos los puntos muestreados, sólo el del río Tempisque presenta contenido de As en sus aguas (figura 6) en la mayoría de los períodos muestreados. Además, varias de las muestras analizadas en dicho lugar están por encima del valor máximo permisible. Por su parte, el río Toro (Toro 1) presentó presencia de As (0,0070 mg As/L) en sólo uno de los períodos muestreados, mientras que en los restantes 7 períodos no se reportó la presencia de As.

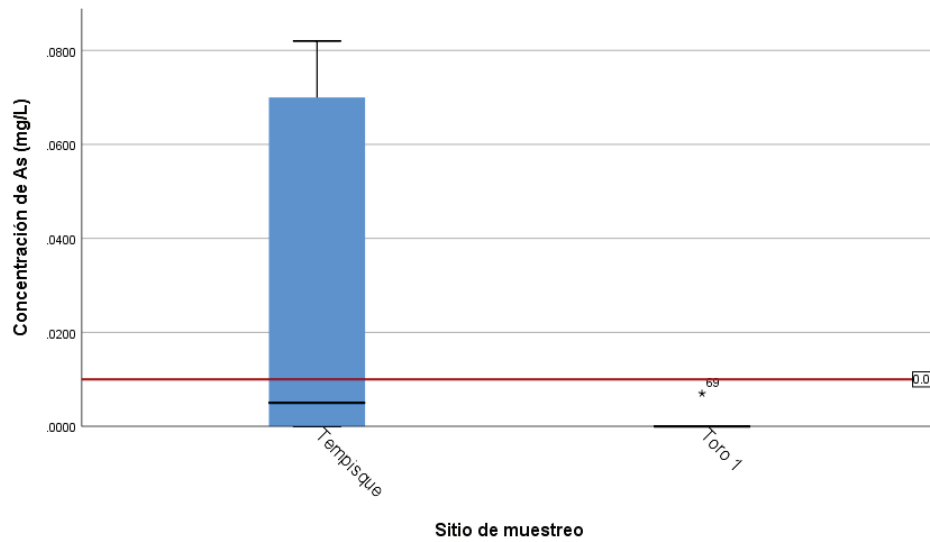


Figura 6. Puntos de muestreo con presencia de As en sus ríos.

Contenido de Cd

Ninguno de los puntos muestreados contenía Cd en sus aguas durante el período de los muestreos, excepto en Rincón donde se encontró presencia de Cd en una concentración de 0,0033 mg/L en uno de los muestreos. Los restantes 7 muestreos en este lugar no se detectó presencia de este elemento.

Contenido de Ni

El reglamento de aguas superficiales establece como límite máximo permisible en contenido de Ni en Clase 1 para el agua en ríos un valor de 0,05 mg/L. Por otra parte, el reglamento para agua potable establece un valor máximo de 0,02 mg de Ni/L. Quince puntos de muestreo de los 26 seleccionados (57,7%) mostraron contenido de Ni en sus aguas (figura 7). Todos los puntos presentaron valores inferiores al 0,05 mg/L. Sin embargo, El Tempisque y el Birris 1 presentaron algunos datos superiores al 0,02 mg/L establecidos por la norma para agua potable.

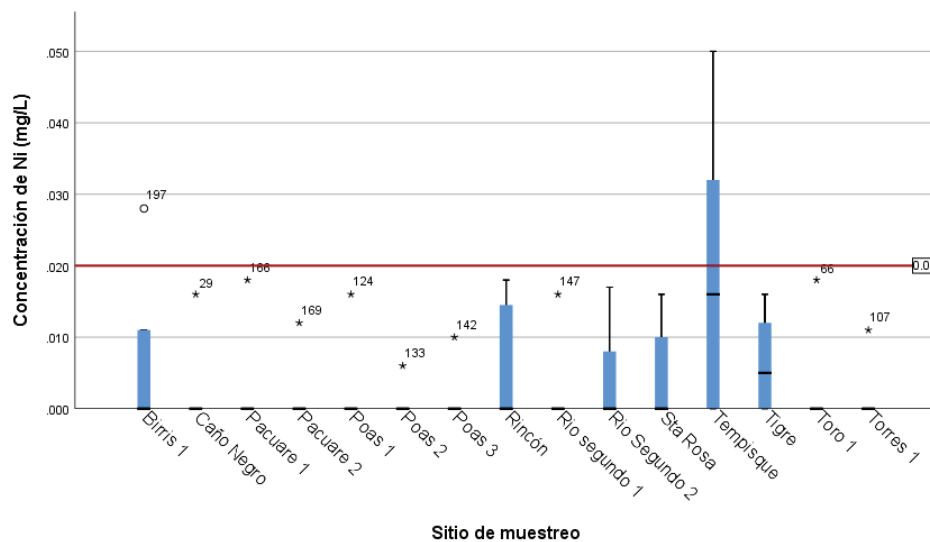


Figura 7. Puntos de muestreo con presencia de Ni en sus ríos.

Contenido de Hg

Tanto el reglamento para ríos, así como el agua potable establecen como límite máximo permisible en contenido de Hg un valor de 0,001 mg/L. Dieciséis sitios de los 26 seleccionados (61,5%), presentaron presencia de Hg en varias de las ocasiones del período de muestreo y varios de estos valores de Hg están por encima del valor máximo permisible de ambas normas (figura 8).

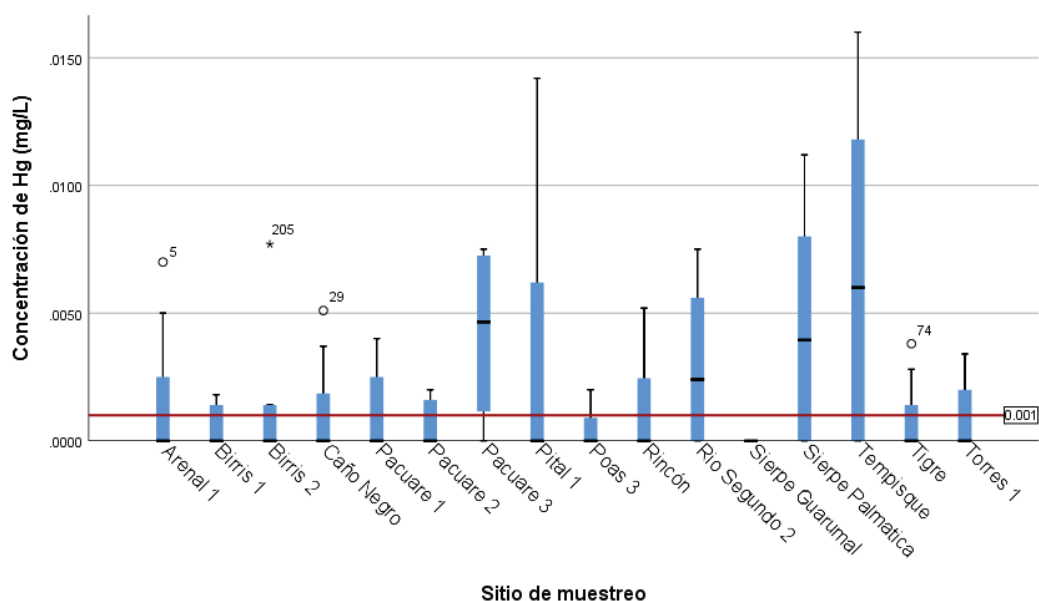


Figura 8. Puntos de muestreo con presencia de Hg en sus ríos.

Conclusiones y recomendaciones

En general, se observó una variación en la concentración de los MP en los puntos de muestreo cuyos valores pueden oscilar desde 0 mg/L hasta valores altos. No se observó una variación pequeña con valores relativamente constantes a lo largo del tiempo para los puntos de muestreo con cada metal. Por el contrario, se reportan importantes variaciones en los resultados obtenidos para cada metal en cada sitio entre un muestreo y otro.

Se observó la influencia del período seco y el lluvioso en el contenido de MP en cada sitio de muestro y se concluyó que no hay diferencia en presencia y concentraciones de los MP analizados.

El Cd solamente se detectó en Rincón y en uno solo de los muestreos. En el resto de los sitios, este MP estuvo ausente. El Cu se detectó en un 92,3% de los sitios muestreados, aunque el mismo está por debajo de los límites de permisibilidad para ríos clasificados como Clase 1. El Cr se detectó en 84,6% de los sitios del estudio y aunque está por debajo de los límites de permisibilidad, los datos están relativamente cerca de este límite. El Pb se detectó en un 15,4% de los casos y solo uno de los 8 muestreos en el sitio dio lectura positiva. Sus valores están cerca de los límites de permisibilidad y solo un caso sobrepasó este límite. Igual comportamiento exhibe el Ni que se encontró en el 57,7% de los sitios muestreados. El As sólo se encontró en el Tempisque y en la mayoría de los muestreos efectuados en ese sitio mostraron valores que sobrepasaron la norma para Clase 1. También se reportó un muestreo con presencia de Pb en el sitio Toro 1. Por último, llama la atención del Hg que se encontró en 61,5% de los sitios evaluados y varios de las concentraciones eran superiores a la normativa nacional para Clase 1.

Agradecimientos

Los autores agradecen al Instituto Tecnológico de Costa Rica por su apoyo financiero y administrativo. Además, el Centro de Investigación en Protección Ambiental (CIPA) y el Centro de Investigación y Servicios Químicos y Microbiológicos (CEQIATEC), por su apoyo al proyecto.

Referencias

- [1] G. Calvo-Brenes, "Índices e indicadores sobre la calidad del agua," 1th ed. Cartago, Costa Rica, ET, 2018. ISBN 978-9977-66-454-5.
- [2] G. Calvo-Brenes, "Modelo de predicción de la calidad del agua en ríos basado en índices e indicadores del recurso hídrico y el entorno socio ambiental". Tesis para optar al grado de doctor. DOCINADE. UNED, UNA, ITCR, San José, Costa Rica, 2013.
- [3] G. Calvo-Brenes, "Ríos: fundamentos sobre su calidad y la relación con el entorno socioambiental," 1th ed. Cartago, Costa Rica, ET, 2015. ISBN 978-9977-66-341-8.
- [4] M. Peris, "Estudio de metales pesados en suelos bajo cultivos hortícolas de la provincia de Castellón", Tesis para optar al grado de doctor. Universitat de Valencia. Valencia, España, 2006.
- [5] Chang, A.C., Granato, C. and Page, A.L. 1992. A methodology for establishing phytotoxicity criteria for chromium, copper, nickel and zinc in agricultural land application of municipal sewage sludges. *Journal of environmental quality*. 21(4), 1992.
- [6] S. Ramos, "Los metales pesados: importancia de los estudios en áreas urbanas y periurbanas" en Primer congreso internacional de geología médica, Tuxtla Gutiérrez, Chiapas, México, 2016. Disponible en http://www.sgm.gob.mx/pdfs/26_10%20Los%20Metales%20Pesados%20Est_areas%20urbanas%20y%20periurbanas.pdf
- [7] Y. Hong, W. Liao, Z. Yan, Y. Vai, C. Feng, Z. Xu and D. Xu, "Progress in the research of the toxicity effect mechanisms of heavy metals on freshwater organisms and their water quality criteria in China", *Journal of Chemistry*, vol. 2020, no. 9010349, pp. 1-12, May 2020.
- [8] S. Stankovic, P. Kalaba and A. Stankovic, "Biota as toxic metal indicators", *Environ Chem Lett*, vol. 12, pp. 63-84, 2014. <https://doi.org/10.1007/s10311-013-0430-6>.
- [9] U. Nkwnonwo, P.O. Odika and N.I. Onyla, "A review on the health implications of heavy metals in food chain in Nigeria", *The Scientific World Journal*, vol. 2020, no. 6594109, pp. 1-11, Abril 2020.
- [10] H. Juárez, "Contaminación del río Rimac por metales pesados y efecto en la agricultura en el Cono Este de Lima Metropolitana", Universidad Nacional Agraria la Molina, Lima, Perú, 2012, Disponible en <http://www.bvsde.paho.org/bvsacd/cd67/riorimac/indice.pdf>
- [11] J. Alcalá, C. Avila, J. Rodríguez y A. Hernández, "Metales pesados como indicador de impacto de un sistema ecológico fragmentado por usos de suelo," *FCA UNCUIYO*, vol. 44, no. 2, pp. 15-29, Jan. 2012. Available https://www.researchgate.net/publication/267338202_Metales_pesados_como_indicador_de_impacto_de_un_sistema_ecologico_fragmentado_por_usos_de_suelo_San_Luis_Potosi_Mexico_Heavy_metals_as_an_indicator_of_ecological_impact_of_a_fragmented_land_uses_San_L/link/544da71f0cf2d6347f45c9ca/download
- [12] W. Delince, R. Valdez, O. López, F. Guridi and M. Balbín, "Riesgo agroambiental por metales pesados en suelos con cultivares de *Oryza sativa* L y *Solanum tuberosum* L," *Rev Cie Téc Agr.*, vol. 24, no. 1, pp. 44-50, Enero-Marzo 2015.
- [13] Sierra, M. 2005. Niveles de metales pesados y elementos asociados en suelos de la provincia de Almería: parámetros que los afectan y riesgos de contaminación. Tesis para optar al grado de doctor. Universidad de Granada. Granada, España.
- [14] Herrera, J., Rodríguez, J., Coto, J.M., Salgado, V., Borbón, H. 2013. Evaluación de metales pesados en los sedimentos superficiales del río Pirro. *Tecnología en Marcha*, 26(1), 27-36.
- [15] Angulo, F. 2013. Informe Estado de la Nación: Manejo, disposición y desecho de las aguas residuales en Costa Rica. Consultado 10 de marzo del 2015. Recuperado de http://www.estadonacion.or.cr/files/biblioteca_virtual/019/angulo_2013.pdf.
- [16] L. Merino et al., "Balance armonía con la naturaleza" de ESTADO DE LA NACION 2020, Programa Estado de la Nación, San José, Costa Rica, 2020, pp. 339-377.
- [17] J.A. Hernández, M.T. Fernández, A. Ortuño. y M.A. Alarcón, "Influencia del uso del suelo en su calidad ambiental en medio semiárido (Murcia SE España)". *Revista de ciencias agrarias*, 2010. Disponible en http://www.scielo.mec.pt/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0871-018X2010000100021

- [18] Programa Estado de la nación. 2018. Informe estado de la nación 2018. Capítulo IV: Armonía con la naturaleza. Pavas, Costa Rica.
- [19] G. Rodríguez, “Ríos limpios: estrategia nacional para la recuperación de cuencas urbanas 2020-2030”, MINAE, San José, Costa Rica, 2020
- [20] L.P. Marín, Informe acerca de la eficacia del estado para garantizar la calidad del agua en sus diferentes usos. Contraloría General de la República. Informe DFOE-AE-IF-01-2013 del 15 de febrero, 2013.
- [21] APHA, AWWA and AEF, “Standard methods for the examination of water and wastewater”, 23rd ed. WA, DC, USA, 2017.
- [22] MINAE, “Reglamento para la evaluación y clasificación de la calidad de cuerpos de agua superficiales”, La Gaceta, no. 33903-MINAE-S, 2007.
- [23] MINAE, “Reglamento para la calidad del agua potable”, La Gaceta, no. 38924-S, 2015