



Evaluación de metales pesados del agua del río Jama, Manabí, Ecuador

Evaluation of heavy metals in the water of the Jama River, Manabí, Ecuador

Avaliação de metais pesados nas águas do rio Jama, Manabí, Equador

Leonel Wilfrido Moreira-Obregón^I

leowil1988@hotmail.com

<https://orcid.org/0009-0007-1229-1764>

Cristian Paúl Topa-Chuquitarco^{II}

ctopac@uteq.edu.ec

<https://orcid.org/0000-0002-2780-5488>

Víctor Eduardo Gutiérrez-Lara^{III}

vgutierrez@uteq.edu.ec

<https://orcid.org/0000-0001-7448-7593>

Rodolfo Antonio Marín-Loor^{IV}

rmarinl@uteq.edu.ec

<https://orcid.org/0009-0003-4568-1006>

Correspondencia: vgutierrez@uteq.edu.ec

Ciencias Técnicas y Aplicadas

Artículo de Investigación

* **Recibido:** 26 de mayo de 2024 * **Aceptado:** 15 de junio de 2024 * **Publicado:** 02 de julio de 2024

- I. Universidad Técnica Estatal de Quevedo, Quevedo, Los Ríos, Ecuador.
- II. Universidad Técnica Estatal de Quevedo, Quevedo, Los Ríos, Ecuador.
- III. Universidad Técnica Estatal de Quevedo, Quevedo, Los Ríos, Ecuador.
- IV. Universidad Técnica Estatal de Quevedo, Quevedo, Los Ríos, Ecuador.

Resumen

El objetivo de la investigación fue evaluar el contenido de metales pesados del agua del río Jama en la Provincia de Manabí, Ecuador. Se llevó a cabo un monitoreo tanto in situ como en laboratorio de tres muestras con tres réplicas cada una, tomadas en diferentes puntos: P1) Sitio Potrerros (aguas arriba del Cantón), P2) Lugar de captación de la planta de potabilización, y P3) Puente del Cantón Jama (aguas abajo); fueron analizadas las variables de contenido de cianuro (mg/L), cobre (mg/L), cromo (mg/L), hierro (mg/L), nitratos (mg/L), nitritos (mg/L) y plomo (mg/L), contrastando los resultados con los parámetros de calidad de agua del TULSMA para consumo humano. Se utilizó un diseño de análisis de varianza (ANOVA) y una prueba de Tukey para identificar las diferencias en los niveles de los parámetros analizados en función de los puntos de monitoreo y las muestras examinadas. Se corroboró que el contenido de cianuro, cobre, hierro, nitratos y nitritos cumple con los límites, en contrapartida el contenido de cromo y plomo no cumplen especificaciones de la norma; se concluye que el agua del río Jama puede ser utilizada para consumo humano y doméstico, siempre y cuando sea llevada a un tratamiento potabilización adecuado.

Palabras clave: Río; metales pesados; calidad de agua.

Abstract

The objective of the research was to evaluate the heavy metal content of the water of the Jama River in the Province of Manabí, Ecuador. Monitoring was carried out both in situ and in the laboratory of three samples with three replicates each, taken at different points: P1) Potrerros Site (upstream of the Canton), P2) Collection site of the water treatment plant, and P3) Jama Canton Bridge (downstream); The content variables of cyanide (mg/L), copper (mg/L), chromium (mg/L), iron (mg/L), nitrates (mg/L), nitrites (mg/L) and lead were analyzed. (mg/L), contrasting the results with the TULSMA water quality parameters for human consumption. An analysis of variance (ANOVA) design and a Tukey test were used to identify differences in the levels of the analyzed parameters based on the monitoring points and the samples examined. It was confirmed that the content of cyanide, copper, iron, nitrates and nitrites meets the limits, on the other hand, the content of chromium and lead does not meet the specifications of the standard; It is concluded that the water of the Jama River can be used for human and domestic consumption, as long as it is taken to adequate purification treatment.

Keywords: River; heavy metals; water quality.

Resumo

O objetivo da investigação foi avaliar o teor de metais pesados na água do rio Jama, na província de Manabí, Equador. A monitorização foi realizada tanto in loco como em laboratório de três amostras com três repetições cada, colhidas em pontos diferentes: P1) Sítio Potrereros (a montante do Cantão), P2) Local de recolha da estação de tratamento de águas, e P3) Cantão Ponte Jama (a jusante); Foram analisadas as variáveis de teor de cianeto (mg/L), cobre (mg/L), crómio (mg/L), ferro (mg/L), nitratos (mg/L), nitritos (mg/L) e chumbo. (mg/L), contrastando os resultados com os parâmetros de qualidade da água TULSMA para consumo humano. Foi utilizado um desenho de análise de variância (ANOVA) e um teste de Tukey para identificar as diferenças nos níveis dos parâmetros analisados com base nos pontos de monitorização e nas amostras examinadas. Foi confirmado que o teor de cianeto, cobre, ferro, nitratos e nitritos cumpre os limites, por outro lado, o teor de crómio e chumbo não cumpre as especificações da norma; Conclui-se que a água do Rio Jama pode ser utilizada para consumo humano e doméstico, desde que seja encaminhada para tratamento de purificação adequado.

Palavras-chave: Rio; metais pesados; qualidade da água.

Introducción

El Ecuador es un país con amplios recursos hídricos, como lo detalla el informe del Instituto Mundial del Agua que detalla un estrés hídrico menor al 30 % (Marcillo y Cara, 2021). No obstante, esta abundancia de recursos está en peligro debido a diversas actividades humanas intensivas, cuya principal fuente de contaminación son los vertidos de aguas residuales, tanto industriales como domésticas, así como las actividades del sector hidrocarburífero y agrícola, donde se emplean prácticas perjudiciales como el uso de pesticidas y otros productos químicos tóxicos para el control de plagas (Silva y Salinas, 2022).

Los parámetros de contaminación del agua tienen el propósito de simplificar y cuantificar datos técnicos complejos provenientes de investigaciones, definiéndose como una variable o una combinación de variables que ayudan a comprender y evaluar el estado y la calidad del agua (Álvarez et al., 2022).

La evaluación de la calidad del agua requiere analizar una serie de parámetros físicos, químicos y biológicos que deben cumplir con ciertos estándares, los cuales pueden variar según el uso específico y la actividad correspondiente (Pérez et al., 2021). Estos usos pueden abarcar el suministro de agua para actividades industriales vinculadas a la producción de alimentos para consumo humano, agua potable, acuicultura, protección de ecosistemas acuáticos, navegación, riego de cultivos, entre otros (Neme et al., 2021).

En cuanto a las propiedades químicas, el agua contiene numerosos elementos químicos, incluidos metales pesados, por ello, los estudios de calidad del agua se enfocan en los elementos químicos más relevantes, según los objetivos del análisis, estas alteraciones en las propiedades químicas del agua pueden deberse tanto a factores terrestres como a actividades acuáticas, ya sean naturales o artificiales, como los productos químicos agrícolas y los vertidos de industrias cercanas (Lupi et al., 2020). Estas características son cruciales debido a que, aunque el agua sea segura para el consumo en términos de sus propiedades químicas y biológicas, su apariencia poco atractiva puede desalentar a las personas de consumirla (Fernández y Guardado, 2021).

Los estándares químicos son fundamentales para evaluar la calidad del agua de los ríos, ya que establecen límites máximos permitidos que sirven como referencia para dicha evaluación, siguiendo las recomendaciones estipuladas por las normativas (Méndez, 2023). Por lo tanto, es crucial preservar los recursos de agua dulce e identificar los elementos que afectan la calidad del agua, especialmente en los ríos, ya que estos son una de las principales fuentes de suministro para las actividades humanas (Behmel et al., 2016).

Por lo expuesto anteriormente, el objetivo de esta investigación fue evaluar el contenido de metales pesados en el agua del río Jama. Tomando como referencia varios puntos de monitoreo a lo largo de la cuenca hidrográfica, donde se midieron variables químicas para controlar su calidad.

Metodología

Las evaluaciones químicas se realizaron en los laboratorios de la Empresa Pública de Agua Potable y Alcantarillado de Jama, ubicada en la ciudad de Jama, provincia de Manabí, Ecuador.

Se designaron tres puntos para la toma de muestras. Asignándolos de la siguiente manera:

Punto 1 (P1), Sitio Potreros, se encuentra a 7 km del Punto 2, en la base de las zonas montañosas de Jama.

Punto 2 (P2) es el sitio específico de captación de la planta de potabilización, situado a 5 km del centro urbano del Cantón.

Punto 3 (P3), situado en el centro urbano de Jama, cerca del puente del mismo Cantón.

Las variables evaluadas fueron las siguientes:

Contenido de cianuro: Se efectuó con el espectrofotómetro marca HACH (Modelo DR3900) utilizando el reactivo específico (Conislla, 2020).

Contenido de cobre, hierro y plomo: Realizado por espectrofotómetro marca HACH (Modelo DR3900) con reactivos para cada análisis (García et al., 1998).

Contenido de cromo: Se hizo por espectrofotometría agregando el reactivo especializado (Guerrero et al., 2017).

Nitratos y nitritos: Con espectrofotómetro marca HACH (Modelo DR3900) (Bolaós et al., 2017).

Resultados

Como se muestra en la Tabla 1, tras aplicar las pruebas de significancia en el ANOVA, se confirmó que el contenido de hierro y cianuro fueron estadísticamente significativos ($p < 0,05$), lo que indica que estas variables varían en los diferentes puntos de muestreo. No se observaron cambios significativos en el contenido de cobre, cromo, nitratos, nitritos y plomo ($p > 0,05$), lo que sugiere que sus valores no se alteran en cada punto de monitoreo.

Tabla 1. Resumen resultados ANOVA

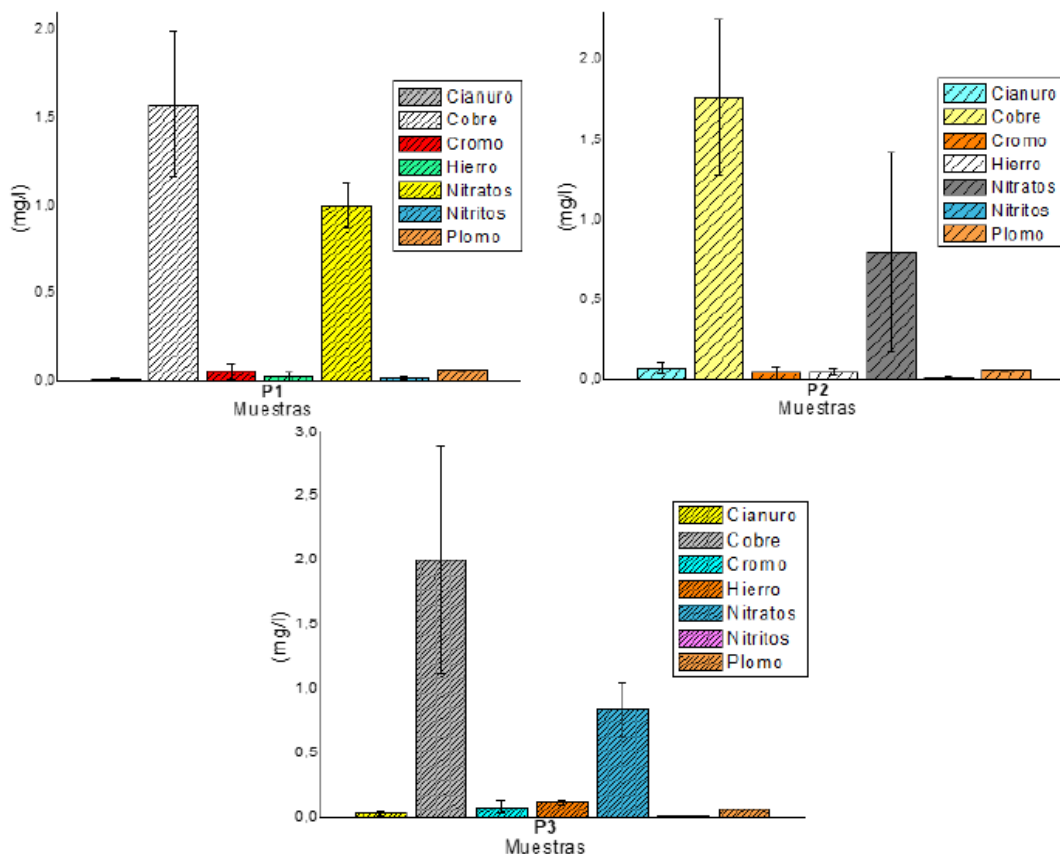
Parámetro	F	Significancia
Cianuro	6,156	0,035*
Cobre	0,341	0,724 ^{NS}
Cromo	0,520	0,619 ^{NS}
Hierro	14,477	0,005*
Nitratos	0,038	0,963 ^{NS}
Nitritos	1,500	0,296 ^{NS}
Plomo	0,568	0,594 ^{NS}
* = Significativo NS = No significativo		

Según la Figura 1, se detallan los valores en los tres puntos de monitoreo propuestos; en P1 se presentó valores promedios de cianuro con $0,003 \pm 0,005$ mg/L, cobre con $1,57 \pm 0,41$ mg/L, cromo con $0,05 \pm 0,04$ mg/L, hierro con $0,02 \pm 0,02$ mg/L, nitratos con $1 \pm 0,12$ mg/L, nitritos con $0,013 \pm 0,005$ mg/L y plomo con $0,05 \pm 0,003$ mg/L.

En P2 se presentaron números promedios de cianuro con $0,067 \pm 0,035$ mg/L, cobre con $1,76 \pm 0,48$ mg/L, cromo con $0,036 \pm 0,03$ mg/L, hierro de $0,043 \pm 0,02$ mg/L, nitratos con $0,8 \pm 0,62$ mg/L, nitritos con $0,006 \pm 0,005$ mg/L y plomo con $0,056 \pm 0,005$ mg/L.

En P3, se detallan valores medios de cianuro $0,026 \pm 0,01$ mg/L, cobre con $2 \pm 0,88$ mg/L, cromo $0,073 \pm 0,051$ mg/L, hierro de $0,11 \pm 0,01$ mg/L, nitratos con $0,83 \pm 0,02$ mg/L, nitritos con $0,01 \pm 0,0$ mg/L y plomo con $0,06 \pm 0,0$ mg/L.

Figura 1. Comparación de los valores en los puntos de monitoreo



Comparando los resultados de los parámetros químicos con los criterios de calidad del agua establecidos por el TULSMA, se determinó que las aguas del río Jama cumplen parcialmente con

las regulaciones. Los niveles de cianuro, cobre, hierro, nitratos y nitritos cumplen con los estándares de calidad para consumo humano y doméstico; sin embargo, el contenido de cromo y plomo excede los límites máximos permitidos según la normativa, como se detalla en la Tabla 2.

Tabla 2. Parámetros químicos con criterios de calidad de agua (TULSMA)

Parámetro	Unidad	P1	P2	P3	Límite de Nivel de cumplimiento para consumo	de Nivel de cumplimiento
Cianuro	mg/L	0,003	0,067	0,027	0,1	Cumple
Cobre	mg/L	1,577	1,767	2,000	2,0	Cumple
Cromo	mg/L	0,050	0,037	0,073	0,05	No cumple
Hierro	mg/L	0,020	0,043	0,113	1,0	Cumple
Nitratos	mg/L	1,000	0,800	0,833	50,0	Cumple
Nitritos	mg/L	0,013	0,007	0,010	0,2	Cumple
Plomo	mg/L	0,059	0,057	0,060	0,01	No cumple

Discusión

La comparación de los datos de los parámetros químicos en los distintos puntos de monitoreo muestra que la calidad del agua del río Jama disminuye a medida que el río se acerca a la zona urbana. Por lo tanto, no es recomendable que los habitantes locales y aquellos que viven cerca de las orillas del río utilicen el agua para consumo o preparación de alimentos sin someterla previamente a un proceso de potabilización (Mayorga y Carbonel, 2018).

La presencia de metales pesados como el hierro y cobre se debe al vertido indiscriminado de residuos sólidos y líquidos, que se intensifica y se hace evidente en los cuerpos de agua y las riberas del río, estos residuos convierten el entorno en medios altamente tóxicos para los recursos hídricos, ya que contienen metales que son arrastrados a los cuerpos de agua por escorrentías o por el viento (Pinto et al., 2019).

Las actividades extractivas mineras son un foco importante de residuos metálicos que pueden desencadenar desbalance de minerales en afluentes hídricos (Gaete et al., 2007), muestra de aquello es una mina extractora de materiales para la construcción que se encuentra abandonadas aguas arriba del río Jama.

Otra fuente importante de metales pesados en las aguas de ríos es la actividad agrícola en la provincia, donde se utilizan agroquímicos para estimular el crecimiento de las plantas, estos agroquímicos contienen metales que son arrastrados hacia el río por la escorrentía causada por la erosión hídrica (Villarreal et al., 2018).

Los estudios nacionales comprueban que los suelos agrícolas ecuatorianos disponen de concentraciones considerables de metales pesados como Cadmio (hasta $2,45 \text{ mg.kg}^{-1}$)⁷⁰, y Plomo (hasta $13,52 \pm 8,46 \text{ mg.kg}^{-1}$)⁷¹ que fácilmente pueden ser arrastrados hasta los principales cuerpos de agua, como los ríos (Ochoa et al., 2020). Arce y Calderón (2017) confirmaron que el aumento de plomo en el río es proporcional a la cantidad presente en los suelos y es mayor durante la temporada de lluvias, documentando un contenido de 1 mg Pb/L en el río Mantaro de Perú, un valor superior al registrado en el río Jama ($<0,06 \text{ mg Pb/L}$).

Arauzo et al. (2003) explican que el medio intersticial y los sedimentos de los ríos pueden estar fuertemente contaminados, actuando como importantes reservorios de cromo que pueden dispersarse hacia las aguas del río; además, los cambios ambientales hacia condiciones oxidantes y un pH elevado pueden favorecer la oxidación del cromo trivalente a hexavalente, provocando su movilización hacia la fase disuelta. Los mismos investigadores detallaron valores de cromo en las aguas del río Jarama en Madrid de $0,13 \text{ mg Cu/L}$ que claramente fueron superiores a la presente investigación.

Pérez et al. (2019) argumentan que los valores elevados de nitratos y nitritos son un indicador del estado de eutrofización del cuerpo de agua, mostrando datos promedios en nitratos de $27,48 \text{ mg/L}$ provenientes del río Lerma en México. Por lo que el agua del río Jama puede considerarse en mayor proporción hipereutrófico y en menor grado eutrófico por sus bajos niveles de ambos compuestos.

Conclusiones

Las aguas del río Jama cumplen parcialmente con los estándares establecidos para el consumo humano y doméstico, en términos de los parámetros químicos, según lo estipulado por las normativas de calidad de agua.

Los parámetros químicos presentaron condiciones de incumplimiento ante la presencia considerable de metales como cromo y plomo.

Se recomienda, para garantizar el consumo humano del agua del Río Jama, se la potabilice con un debido tratamiento para garantizar su inocuidad.

Referencias

1. Álvarez, M. V., Marín-Muñiz, J. L., & Hernández, D. (2022). Indicador de la calidad del agua, caso de estudio: Laguna Olmeca, Veracruz, México. *Journal of Basic Sciences*, 8(23), 122-132. <https://doi.org/10.19136/jobs.a8n23.5351>
2. Arauzo, M., Rivera, M., Valladolid, M., Noreña, C., & Cedenilla, O. (2003). Contaminación por cromo en el agua intersticial, en el agua del cauce y en los sedimentos del río Jarama. <http://hdl.handle.net/10261/35521>
3. Arce, S., & Calderón, M. (2017). Suelos contaminados con plomo en la Ciudad de La Oroya-Junín y su impacto en las aguas del Río Mantaro. *Revista del Instituto de investigación de la Facultad de minas, metalurgia y ciencias geográficas*, 20(40), 48-55. <https://doi.org/10.15381/iigeo.v20i40.14389>
4. Behmel, S., Damour, M., Ludwig, R., & Rodriguez, M. J. (2016). Water quality monitoring strategies—A review and future perspectives. *Science of the Total Environment*, 571, 1312-1329. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.06.235>
5. Bolaños-Alfaro, J. D., Cordero-Castro, G., & Segura-Araya, G. (2017). Determinación de nitritos, nitratos, sulfatos y fosfatos en agua potable como indicadores de contaminación ocasionada por el hombre, en dos cantones de Alajuela (Costa Rica). *Revista Tecnología en Marcha*, 30(4), 15-27. <http://dx.doi.org/10.18845/tm.v30i4.3408>
6. Conislla Quispe, L. M. (2020). Capacidad degradadora de cianuro por consorcios bacterianos aislados de agua residual tratada. Ayacucho 2018 [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga]. <http://repositorio.unsch.edu.pe/handle/UNSCH/4461>
7. Fernández-Rodríguez, M., & Guardado-Lacaba, R. M. (2021). Evaluación del índice de calidad del agua (icasup) en el río Cabaña, Moa-Cuba. *Minería y Geología*, 37(1), 105-119. http://scielo.sld.cu/scielo.php?pid=S1993-80122021000100105&script=sci_arttext
8. Gaete, H., Aránguiz, F., Cienfuegos, G., & Tejos, M. (2007). Metales pesados y toxicidad de aguas del río Aconcagua en Chile. *Química Nova*, 30, 885-891. <https://www.scielo.br/j/qn/a/kBN6rFVjqp4TTdN33CmPcgH/>
9. García Díaz, T., Macías Sobrino, R., & Taborda Martínez, M. E. (1998). Determinación de los niveles de metales pesados manganeso, plomo, cobre, hierro, zinc, cadmio y mercurio

- en aguas y sedimentos en el sector" el boquero" de la bahía de Santa Marta [Tesis de pregrado, Universidad de Magdalena].
<http://repositorio.unimagdalena.edu.co/handle/123456789/5343>
10. Guerrero Ceballos, D. L., Pinta-Melo, J., Fernández-Izquierdo, P., Ibargüen-Mondragón, E., Hidalgo-Bonilla, S. P., & Burbano-Rosero, E. M. (2017). Eficiencia en la reducción de Cromo por una bacteria silvestre en un tratamiento tipo Batch utilizando como sustrato agua residual del municipio de Pasto, Colombia. *Universidad y salud*, 19(1), 102-115. http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S0124-71072017000100102&script=sci_arttext
 11. Lupi, O., Zaradnik, I. y Canziani, M. (2020). Estado de arte de los sistemas de monitoreo de calidad de agua. *ReDDi: Revista digital del Departamento de Ingeniería e Investigaciones Tecnológicas de la Universidad Nacional de La Matanza*, 5(2), 1-8. <http://repositoriocyt.unlam.edu.ar/handle/123456789/1221>
 12. Marcillo, J. L. M., & Cara, R. B. (2021). Gestión integrada de recursos hídricos y gobernanza: Subcuenca del río Vinces, provincia Los Ríos-Ecuador. *Revista de ciencias sociales*, 27(3), 471-497. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=8081785>
 13. Mayorga, N. C. V., & Carbonel, C. A. (2018). Evaluación de la calidad del agua de la microcuenca del río Chibunga-Ecuador en variaciones estacionales, periodo 2013-2017. *Revista del Instituto de investigación de la Facultad de minas, metalurgia y ciencias geográficas*, 21(42), 13-26. <https://doi.org/10.15381/iigeo.v21i42.15784>
 14. Méndez, L. A. (2023). Calidad y estado sanitario del agua distribuida para consumo humano en Guastatoya, El Progreso. *Revista Científica Internacional*, 6(1), 23-34. <https://doi.org/10.46734/revcientifica.v6i1.60>
 15. Neme Castillo, O., Valderrama Santibáñez, A. L., & Chiatchoua, C. (2021). Factores determinantes del consumo productivo de agua y sus efectos en la actividad económica de México. *Economía, sociedad y territorio*, 21(66), 505-537. <https://doi.org/10.22136/est20211659>
 16. Ochoa, M., Tierra, W., Tupuna-Yerovi, D. S., Guanoluisa, D., Otero, X. L., & Ruales, J. (2020). Assessment of cadmium and lead contamination in rice farming soils and rice (*Oryza sativa* L.) from Guayas province in Ecuador. *Environmental Pollution*, 260, 114050. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2020.114050>

17. Pérez-Díaz, J. P., Ortega-Escobar, H. M., Ramírez-Ayala, C., Flores-Magdaleno, H., Sánchez-Bernal, E. I., Can-Chulim, Á., & Mancilla-Villa, O. R. (2019). Concentración de nitrato, fosfato, boro y cloruro en el agua del río Lerma. *Ecosistemas y recursos agropecuarios*, 6(16), 175-182. <https://doi.org/10.19136/era.a6n16.1829>
18. Pérez-Gómez, G., Alvarado-García, V., Rodríguez-Rodríguez, J. A., Herrera, F., & Sánchez-Gutiérrez, R. (2021). Calidad fisicoquímica y microbiológica del agua superficial del río Grande de Tárcoles, Costa Rica: un enfoque ecológico. *Cuadernos de Investigación UNED*, 13(1). <http://dx.doi.org/10.22458/urj.v13i1.3148>
19. Pinto, L. C., Mello, C. R. D., Norton, L. D., & Curi, N. (2019). Land-use influence on the soil hydrology: An approach in upper Grande River basin, Southeast Brazil. *Ciência e Agrotecnologia*, 43, e015619. <https://doi.org/10.1590/1413-7054201943015619>
20. Silva, M. J., & Salinas Morales, D. (2022). La contaminación proveniente de la industria curtiembre, una aproximación a la realidad ecuatoriana. *Revista Científica UISRAEL*, 9(1), 69-80. http://scielo.senescyt.gob.ec/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2631-27862022000100069
21. Villarreal-Núñez, J. E., Santo-Pineda, A., Villalaz-Pérez, J. A., Ballesteros, N., & Ramos-Zachrisson, I. A. (2018). Metales pesados en suelos y sedimentos en la cuenca del río La Villa-Panamá. *Ciencia Agropecuaria*, (29), 41-64. <http://revistacienciaagropecuaria.ac.pa/index.php/ciencia-agropecuaria/article/view/152>

© 2024 por los autores. Este artículo es de acceso abierto y distribuido según los términos y condiciones de la licencia Creative Commons Atribución-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional (CC BY-NC-SA 4.0) (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>).