

DETERMINACIÓN DE METALES PESADOS (Pb, Cd, Hg, As) EN AGUAS DEL RÍO TEAONE, ECUADOR

DETERMINATION OF HEAVY METALS (Pb, Cd, Hg, As) IN THE WATER OF RÍO TEAONE, ECUADOR

Cevallos-Mina M.¹, Luaces-Alberto M.D.², Cuello-Pérez M.³

¹ Universidad Técnica Luis Vargas Torres de Esmeraldas.
Ciudadela Nuevos Horizontes Esmeraldas Ecuador

² Facultad de Química, Universidad de la Habana.
La Habana, Cuba.

*mirna.cevallos.mina@utelvt.edu.ec

RESUMEN

Las altas concentraciones de metales pesados, debido a la actividad industrial, ganadera, agrícola y humana, además de representar un problema para la preservación de la flora y la fauna, afectan la seguridad alimentaria y salud pública a nivel global y local. Con el objetivo de determinar la calidad del agua y contenido de metales pesados, se analizaron las concentraciones de los metales Arsénico (As), Mercurio (Hg), Cadmio (Cd) y Plomo (Pb). Para este estudio se seleccionaron cuatro puntos de muestreo estratégicamente distribuidos dentro de la zona. Los puntos de muestreo fueron distribuidos utilizando un mapa georreferenciado, los cuales abarcan sectores con diferentes tipos de vegetación y hábitats, como “El Limonal”, la Zona Industrial, Codesa y desembocadura del río Teaone en el río

Esmeraldas. La técnica analítica utilizada fue absorción atómica y se siguió el procedimiento de la norma ecuatoriana de Calidad Ambiental. Libro VI Anexo I. Tabla 1. La presente norma es dictada bajo el amparo de la Ley de Gestión Ambiental y del Reglamento a la Ley de Gestión Ambiental para la Prevención y Control de la Contaminación Ambiental, y establece los límites permisibles, disposiciones y prohibiciones para las descargas en cuerpos de aguas y los criterios de calidad de las aguas para sus distintos usos. Los resultados indicaron que las máximas concentraciones de As se presentaron en los puntos 1 y 2, con $2,3 \mu\text{gL}^{-1}$ y $2,8 \mu\text{gL}^{-1}$ respectivamente. Las concentraciones de Hg y Cd estuvieron por debajo del límite de detección de la técnica utilizada en los cuatro puntos de muestreo. Las concentraciones de Pb en los puntos 2 y 3, también estuvieron por debajo del límite

de detección, mientras que para los puntos 1 y 4 las concentraciones fueron de $1,8 \mu\text{gL}^{-1}$ y $0,5 \mu\text{gL}^{-1}$ respectivamente. A partir del análisis, se evidenció que las concentraciones para cada uno de los metales pesados, se encuentran dentro de los límites permisibles, de acuerdo con los valores de referencia de la Norma Ecuatoriana de Calidad Ambiental. Sin embargo, considerando la importancia de su sistema hidrológico y las diversas actividades que se llevan a cabo a lo largo del río, es conveniente seguir realizando estudios ambientales profundos, además de un monitoreo continuo y un plan de manejo del ecosistema.

Palabras clave: Río Teaone; muestreo de aguas; metales pesados; Norma Ecuatoriana de Calidad Ambiental.

ABSTRACT

The high concentrations of heavy metals, due to industrial, livestock, agricultural and human activity, not only represent a problem for the preservation of flora and fauna, but also affect food safety and public health at the global and local levels. In order to determine water quality and heavy metal content, the concentrations of the metals Arsenic (As), Mercury (Hg),

Cadmium (Cd) and Lead (Pb) were analyzed. For this study, four sampling points strategically distributed within the area were selected. The sampling points were distributed using a geo-referenced map, which cover sectors with different types of vegetation and habitats, such as "El Limonal", the Industrial Zone, Codesa and the mouth of the Teaone River in the Esmeraldas River. The analytical technique used was atomic absorption and the procedure of the Ecuadorian Environmental Quality Standard was followed. Book VI Annex I. Table 1. This regulation is issued under the protection of the Environmental Management Law and the Regulations to the Environmental Management Law for the Prevention and Control of Environmental Pollution, and establishes permissible limits, provisions and prohibitions for discharges into bodies of water and water quality criteria for their different uses. The results indicated that the maximum concentrations of As occurred at points 1 and 2, with $2.3 \mu\text{gL}^{-1}$ and $2.8 \mu\text{gL}^{-1}$ respectively. Hg and Cd concentrations were below the detection limit of the technique used at all four sampling points. Pb concentrations in points 2 and 3 were also below the

detection limit, while for points 1 and 4 the concentrations were $1.8 \mu\text{gL}^{-1}$ and $0.5 \mu\text{gL}^{-1}$ respectively.

From the analysis, it was evidenced that the concentrations for each of the heavy metals are within the permissible limits, according to the reference values of the Ecuadorian Environmental Quality Standard. However, considering the importance of its hydrological system and the various activities that take place along the river, it is advisable to continue carrying out in-depth environmental studies, as well as continuous monitoring and an ecosystem management plan.

Key words: Teaone River; water sampling; heavy metals; Ecuadorian Environmental Quality Standard.

INTRODUCCIÓN

La contaminación ambiental se posiciona como uno de los más importantes problemas que afectan a la sociedad del siglo XXI [1]. El riego con aguas residuales a largo plazo puede conducir a la acumulación de metales. Los problemas de seguridad alimentaria y los riesgos potenciales para la salud hacen que esta sea una de las preocupaciones ambientales más serias [2].

El agua es un recurso natural de importancia nacional y mundial, sin embargo, muchos ríos, lagos, lagunas y océanos ya presentan una contaminación acelerada. Las aguas de Ecuador sufren un grave problema de contaminación; varios factores contribuyen a este problema, como la falta de planificación en el desarrollo industrial y tecnológico, la creciente urbanización, el alto crecimiento de la población y el clima que afectan en gran medida el desarrollo ecológico.

Al respecto, Doroni 2019 [3], señala que los factores humanos, junto con un crecimiento demográfico acelerado en los últimos 40 años se han conjugado para incrementar la denominada huella ecológica, en donde a través de diferentes estudios socio ambientales demuestran que estamos usando mucho más de lo que el planeta tierra puede proporcionar y restaurar.

Con relación a lo expuesto investigaciones recientes, el Departamento de Asuntos Económicos y Sociales de Naciones Unidas [4] advierten que la tasa de contaminación del agua puede ser estimada en 2000 millones de metros cúbicos diarios. Se hace evidente una

crisis de este recurso para los próximos años, lo que podría comprometer el cumplimiento de uno de los objetivos de Desarrollo del Milenio de la Organización de Naciones Unidas [5].

Los metales pesados son los contaminantes más nocivos y se incluyen dentro del grupo de los contaminantes inorgánicos. Para muchos animales son considerados como nutrientes, pero a partir de determinadas concentraciones son tóxicos. Una característica particular de la contaminación por metales pesados es su persistencia en el ambiente, como consecuencia de que no son degradables en la naturaleza, ni biológica ni químicamente [6].

Del mismo modo, Fergusson [7], recalca que el Pb, As, Cu, Zn y Cd son considerados como los metales pesados más peligrosos para la vida acuática, ya que son muy tóxicos aún en concentraciones bajas, no son biodegradables y se acumulan a lo largo de la cadena trófica.

El río Teaone afluente del río Esmeraldas, tiene un área de 504,89 Km² y un perímetro de 131,99 Km; nace en la reserva Mache-Chindul, se encuentra ubicado en la parroquia urbana Simón

Plata Torres, sur de la ciudad de Esmeraldas, costa del Pacífico del norte del Ecuador. Atraviesa la mayoría de los barrios poblados del cantón Esmeraldas, provincia Esmeraldas; es un río considerado estratégico ya que se convierte en fuente de agua potable para esta población [8].

Abarca algunos de los barrios más empobrecidos de Esmeraldas. Conviene subrayar, que no tiene las propiedades físicas y químicas adecuadas para el consumo humano. Lo que significa, que no es seguro para beber o cocinar. Sin embargo, se desconoce la situación de contaminación con metales pesados debido a que no se reportan estudios sobre estos contaminantes. A pesar de ser bien conocido, que pueden llegar al río como resultado de los residuales de diferentes procesos tecnológicos y del escurrimiento de la ciudad.

Este cuerpo de agua ha constituido un importante foco de contaminación debido a las acciones del hombre, puesto que en su cauce se han producido impactos de diferente naturaleza, como derrames de petróleo y sus derivados, descargas de aguas negras y aguas residuales industriales [9].

En relación con esto, dado que se trata de un importante recurso hídrico para la región, resulta esencial llevar a cabo investigaciones más detalladas para determinar la calidad del agua, y así evaluar el impacto ambiental y los riesgos para la salud humana y el ecosistema acuático.

Se resalta la necesidad de realizar estudios y análisis rigurosos sobre la calidad de agua del río Teaone para generar información precisa y resultados confiables que permitan planificar acciones y políticas adecuadas para su protección y manejo sostenible.

Para este trabajo se efectuó una investigación experimental cuantitativa, utilizando la técnica de análisis instrumental de espectroscopía de absorción atómica. Con el objetivo de conocer el nivel de contaminación del agua, comparando las concentraciones de metales pesados (As, Hg, Cd y Pb) obtenidos en cada punto de muestreo, con los límites establecidos en la tabla 1, del Libro VI de la Norma Ecuatoriana de Calidad Ambiental: límites máximos permisibles para aguas de consumo humano y uso doméstico que únicamente requieren tratamiento convencional [10].

MATERIALES Y MÉTODOS

Localización. El trabajo se desarrolló en el río Teaone en la ciudad de Esmeraldas, situada en la zona geográfica llamada región litoral o costa **Figura 1**. Entre sus datos climáticos figura una temperatura media anual 25,6 °C, con velocidad del viento de 8,9 – 12,4 km/h y precipitación media anual 738 mm; desembocando en el río Esmeraldas con un aporte anual de 700 Hm³ [11].

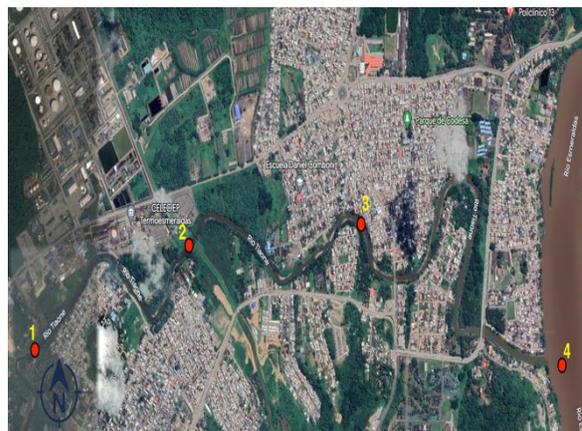


Figura 1. Localización del área de estudio

Nota. Imagen tomada de Google Earth.

Los puntos de muestreo fueron escogidos a partir de las posibles fuentes de contaminación y considerando la densidad poblacional de la zona.

El objetivo de esta investigación fue determinar las concentraciones de As, Hg, Pb y Cd en las aguas del río. Una posible causa de la presencia de estos iones metálicos puede ser el vertimiento de

distintas industrias ubicadas en sus márgenes.

Muestreo. Para la campaña de muestreo **Tabla 1**, en cada uno de los cuatro puntos se recolectó una muestra de agua compuesta para su análisis por triplicado, a una profundidad de 30 cm. Se utilizaron frascos de vidrio ámbar con capacidad de 1000ml, previamente lavados con agua acidificada para remover impurezas.

Se aplicaron los procedimientos descritos en las normas técnicas ecuatorianas de agua: calidad del agua. Muestreo. Guía para el diseño de los programas de muestreo y técnicas de muestreo [12] calidad del agua, muestreo y técnicas de muestreo [13] y muestreo, conservación y manipulación de las muestras de agua [14].

Iniciando en el Punto 1 sector “El Limonal”; separado por 1,24 Km río abajo se encuentra el Punto 2 ubicado en la Zona

Industrial; continuando 2,53 Km río abajo, se ubica el Punto 3 que corresponde al sector de Codesa y 4,28 Km río abajo se situa el Punto 4” donse se encuentra la desembocadura del río Teaone en el río Esmeraldas.

Una vez ingresadas las muestras al laboratorio se almacenaron en cámaras de refrigeración a un temperatura <6° C.

Se realizaron pruebas complementarias de pH (U pH), conductividad eléctrica (µs/cm) y demanda química de oxígeno DQO (mg/l). Estos dos últimos parámetros no constan en la legislación Ecuatoriana utilizada, por lo tanto sus resultados fueron comparados con el Decreto supremo N° 004-2017- MINAN, de los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Agua, presentes en la Normativa Peruana Estándares de Calidad Ambiental [15].

Tabla1: Coordenadas geográficas de los puntos de muestreo, para determinación de la concentración de metales pesados y calidad físico-química del agua.

Número de punto de muestreo	Sector	N	W
1	Limonal	0°55'15.2"	79°41'40.5"
2	Zona Industrial	0°55'32.3"	79°40'43.3"
3	Codesa	0°55'27.8"	79°40'09.2"
4	Rio Esmeraldas	0°55'15.9"	79°39'31.1"

Para analizar los parámetros seleccionados se utilizaron diferentes equipos, materiales y reactivos. En lo que se refiere a las pruebas realizadas, con el objetivo de obtener resultados más precisos y confiables, reducir el impacto de errores aleatorios y evaluar la consistencia de los resultados, a cada una de las muestras se realizó el análisis de laboratorio por triplicado.

Potencial de Hidrógeno. El análisis del pH se llevó a cabo mediante el empleo de la técnica de potenciometría, que permite una medición directa del pH. Para este propósito, se siguió el método estándar SM 4500 H+B, el cual se encuentra incluido en la base de datos de métodos ambientales del Índice Nacional de Métodos Ambientales (NEMI). El NEMI proporciona una recopilación de protocolos, métodos y procedimientos estadísticos y analíticos validados y aceptados por agencias reguladoras y organizaciones científicas en los Estados Unidos. El método SM 4500 H+B es ampliamente utilizado en el análisis de pH y ofrece directrices detalladas para la recolección de muestras, preparación adecuada, uso de equipos y reactivos, así como los pasos específicos para llevar a

cabo la medición potenciométrica del pH [16]

Demanda Química de Oxígeno (DQO).

El análisis de la DQO se llevó a cabo mediante el método 5220 D de reflujo cerrado; en donde se establece que las muestras son sometidas a un proceso de digestión con dicromato de potasio ($K_2Cr_2O_7$). Las muestras fueron conservadas con ácido sulfúrico (H_2SO_4) concentrado, antes de ser almacenadas en refrigeración; para su procesamiento deben alcanzar la temperatura ambiente.

La solución de patrón primario fue secado a $105^\circ C$ durante 60 minutos para luego ser disuelto en 400 ml de agua tri-distilada. Para la preparación de la solución de digestión la dosificación de $K_2Cr_2O_7$ fue de 1,5mL [17]; posteriormente las soluciones se agregaron a los tubos de vidrio del digestor y fueron colocados en el bloque digestor precalentado a $150^\circ C$, marca HANNA Instruments, modelo HI839800.

El proceso de digestión de las soluciones patrón, mediante reflujo cerrado se llevó a cabo durante 2 horas; las absorbancias de las soluciones digeridas fueron leídas a través del espectrofotómetro Shimadzu UV-1601 UV-VIS.

Conductividad eléctrica (CE). Las muestras de agua fueron analizadas por triplicado, con la técnica de conductimetría, siguiendo las rutinas analíticas del método 2510 B. Acerca de esto, en el libro "Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater", publicado por la American Public Health Association (APHA), la American Water Works Association (AWWA) y la Water Environment Federation (WEF), se menciona que este método describe la determinación de la conductividad y resistividad del agua. También proporciona información sobre el cálculo de los sólidos totales disueltos a partir de la conductividad [18].

Análisis de metales pesados. Los metales pesados fueron analizados por medio de un espectrómetro de absorción atómica, marca Agilent Technologies, modelo 240FS AA.

Las técnicas utilizadas para cada metal se indican en la **Tabla 2**. Para el Cd se empleó el método SM 3111B, procedimiento usado para la determinación cuantitativa de metales en muestras de agua y aguas residuales mediante la técnica de espectrometría de absorción atómica de metales por llama,

FAAS. [19]. En este método, se genera una llama a partir de un gas combustible y un gas comburente en una cámara de atomización. La muestra, previamente preparada, se introduce en la llama, donde los metales presentes absorben selectivamente la radiación emitida por una lámpara de cátodo hueco de un metal específico. La cantidad de radiación absorbida se mide y se correlaciona con la concentración del metal en la muestra.

El As y Pb fueron analizados mediante el método SM 3113 B, se refiere a la atomización electrotermal (ETAA, por sus siglas en inglés) en espectrometría de absorción atómica. En la atomización electrotérmica, la muestra se introduce en un horno de grafito (GFAAS) caliente en presencia de un gas de protección inerte, como argón. El horno de grafito se calienta gradualmente, lo que provoca la vaporización y atomización de los analitos presentes en la muestra. Luego, la absorción de la radiación por parte de los átomos en el horno de grafito se mide y se correlaciona con la concentración de los metales en la muestra. Este método es especialmente adecuado para la determinación de trazas de metales en muestras con bajos niveles de concentración, ya que la atomización

electrotermal ofrece una mayor sensibilidad y selectividad que otros métodos de espectrometría de absorción atómica [20].

Para determinar la presencia de Hg se siguió el método SM 3112 B, Navoni y col. [21], indican que es una técnica analítica de absorción atómica por generador de hidruros (HG-AAS, por sus siglas en inglés); donde los elementos de interés se revelan en compuestos volátiles de hidruros mediante la reacción con un reactivo de hidruro, como el hidróxido de sodio (NaOH) y el tetrahidroborato de sodio (NaBH₄). Estos compuestos volátiles se generan en un sistema de generación de hidruros y luego son transportados a través de una cámara de reacción hacia un horno de grafito caliente. Dentro del horno de grafito, los compuestos volátiles se descomponen térmicamente, liberando los átomos de los elementos de interés [22].

Tabla2. Métodos analíticos para determinación de la concentración de metales pesados.

Técnica	Metal analizado
Atomización por llama	Cd
Horno de grafito	As, Pb
Generador de hidruros	Hg

Preservación de muestras. De las muestras recolectadas se tomó un volumen promedio de 250ml. Para su preservación fueron llevadas a refrigeración y acidificadas directamente en el envase a pH <2 con ácido nítrico concentrado. Bajo estas condiciones pueden almacenarse hasta 30 días.

Procesamiento de muestras. Las condiciones ambientales de estudio, fueron de 22,4°C y 58,4% HR.

Para el análisis de los metales, excepto el Hg se tomaron 100ml de la muestra homogenizada y se la sometió a un proceso de digestión con ácido nítrico (HNO₃) concentrado a una temperatura cercana al punto de ebullición, durante 6 horas, para degradar la materia orgánica presente.

En la cuantificación de Hg, se tomaron 100ml de la muestra homogenizada y mediante un equipo marca: Milestone, modelo: Ultrawave fue sometida a un proceso de digestión, con permanganato de potasio (KMnO₄) a una temperatura inferior al punto de ebullición, durante 6 horas para degradar la materia orgánica presente.

En ambos casos este proceso deja un concentrado de la muestra que luego se

procede a filtrar y se trasvasa a un matraz aforado, completando el volumen con agua destilada.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados de las características químicas del río Teaone se registran en la

Tabla 3.

Tabla 3. Resultados de análisis químicos en agua.

Número de puntos de muestreo	pH (U pH)	DQO (mg/l)	Conductividad (μ S/cm)
1	7,35	148	630
2	7,56	160	731
3	7,21	337	1206
4	7,61	157	857
LMP	6-9	20	1600

*LMP: Límite máximo permisible.

El pH presentó valores aceptables para la preservación de la calidad del agua, según lo establecido en los estándares de la Norma Ambiental Ecuatoriana. El intervalo aceptado por la normativa es de 6 a 9.

Sin embargo, los valores más altos se obtuvieron en el punto 2 y 4 con 7,56 y 7,61 respectivamente; el aumento de los valores de pH en relación con la contaminación del agua puede ser atribuido a diversos factores. Para, Altamirano & Terreros [23], esto se debe a las contribuciones posiblemente por vertederos de fábricas que contienen

productos químicos alcalinos o de sustancias alcalinas naturales presentes en el agua. Con relación a la tendencia a elevarse justo en la desembocadura del río, Prado [9], indica que la elevación del pH, se produce a medida que el agua fluye hacia la desembocadura, se produce una mayor exposición al aire y la atmósfera. Esto puede llevar a una mayor transferencia de dióxido de carbono desde el agua hacia la atmósfera, lo que reduce la concentración de CO₂ disuelto en el agua. Dado que el dióxido de carbono puede funcionar como un ácido débil, su disminución puede elevar el pH del agua.

La demanda química de oxígeno (DQO) varió entre 148 y 337 mg/l; el valor máximo fue en el punto 3 con 337 mg/l. De acuerdo con los LMP establecidos en la Normativa Ambiental Peruana, en los 4 puntos se evidenciaron materia orgánica superiores al límite. Específicamente, en el punto 1 se produjo un incremento del 7,4% sobre el LMP, en el punto 2 un incremento del 8%, en el punto 3 un incremento del 16,85%, y en el punto 4 un incremento del 7,85% por encima del LMP.

Los valores de DQO reportados revelan la alta contaminación orgánica existente en este cuerpo de agua. Según el artículo

denominado “La calidad de las aguas”, cuando una mayor cantidad de materia orgánica es introducida en el agua se requiere mayor cantidad de oxígeno, lo que puede elevar los valores de DQO. Además, la presencia de productos químicos y el pH también pueden tener un impacto en los valores de DQO de un río [17].

Las fuentes de contaminación orgánica pueden ser naturales, como degradación de hojas, algas o peces muertos. Pero también puede influir notablemente las actividades humanas, como los trabajos industriales, manipulación de residuos y desechos arrojados por la población [24].

Esta misma normativa indica que el valor máximo aceptable de la conductividad eléctrica es 1600 $\mu\text{s}/\text{cm}$; la conductividad más alta se alcanzó en el punto 3 con 1206 $\mu\text{s}/\text{cm}$. Así pues, Hahn y col. [25], refieren que el agua de río contiene iones en disolución. Por lo que, su conductividad será proporcional a la cantidad de iones presentes. Los niveles encontrados son normales para un cuerpo de agua dulce.

En la **Tabla 4** se muestran las concentraciones de metales pesados en cada uno de los puntos de muestreo.

Tabla 4. Resultado de la concentración de metales pesados (μgL^{-1})

Nº	As	Pb	Cd	Hg
1	2,3	1,8	< LD	< LD
2	2,8	< LD	< LD	< LD
3	2,1	< LD	< LD	< LD
4	1,7	0,5	< LD	< LD
LMP	50	50	10	1

*LMP: Límite máximo permisible.

*LD: Límite de detección.

Los resultados de As muestran que no hay concentraciones significativas de este elemento, la mayor concentración se reportó en el punto 2 con 2,8 μgL^{-1} , ubicándose muy por debajo del estándar establecido en la normativa Ecuatoriana. Las actividades antropogénicas son las causantes principales de la presencia de contaminantes en el río, teniendo en cuenta las diversas fuentes es probable que las concentraciones de As estén relacionadas con los procesos agrícolas e industriales, como por ejemplo la fundición de metales [26].

La concentración de As obtenida es inferior a lo reportado por Aveiga y col. [27] en un estudio realizado en otras dos provincias del Ecuador; donde la concentración de As en aguas de riego y río fueron de 10 μgL^{-1} en la provincia del Guayas y valores entre 12 y 19 μgL^{-1} en la provincia de Los Ríos.

Con relación al Pb, se obtuvieron concentraciones de $1,8 \mu\text{gL}^{-1}$ y $0,5 \mu\text{gL}^{-1}$ para los puntos 1 y 4 respectivamente. Esto puede ser debido al uso de plaguicidas, soldaduras, actividades de fabricación y reciclaje; sin embargo no son valores que expresen un riesgo ambiental, ya que no excede el límite permisible. En el caso de los puntos 2 y 3, los valores estuvieron por debajo del límite de detección.

Finalmente, para el Cd y Hg, las concentraciones también estuvieron por debajo del límite de detección. En relación con este tema, Pabón y col. [26], mencionaron que la presencia de estos dos metales, puede deberse a la actividad minera, la industria química y la eliminación inadecuada de residuos. Además, la emisión de gases tóxicos y la quema de combustibles fósiles también pueden liberar estos metales en el medio ambiente, lo que puede llevar a su acumulación en los ríos y otros cuerpos de agua.

Es relevante destacar que la presencia de bajos niveles de metales pesados pueden tener consecuencias adversas en el ecosistema y el entorno ambiental en plazos prolongados. La supervisión

frecuente de las concentraciones de metales pesados en los ríos y la aplicación de medidas preventivas y de control de la contaminación pueden contribuir a reducir el impacto negativo sobre el medio ambiente.

CONCLUSIONES

Los valores de DQO muestran la contaminación orgánica en un cuerpo de agua debido a fuentes naturales como degradación de hojas, algas o peces muertos; y actividades humanas, como los trabajos industriales, manipulación de residuos y desechos arrojados por la población. Muchas de las fuentes mencionadas destacan la necesidad de identificar y mitigar la contaminación orgánica y otras fuentes de contaminación, incluidas las descargas de aguas residuales y las emisiones químicas.

A pesar de las distintas fuentes de contaminación que existen en la zona de estudio, las concentraciones de As, Pb, Cd, Hg no superaron el límite máximo de la Norma Ambiental Ecuatoriana de la calidad del agua en ninguno de los 4 puntos. No obstante es importante destacar los efectos negativos de los

metales pesados en la salud humana y los ecosistemas acuáticos, incluyendo efectos sobre el desarrollo y la carcinogenicidad.

Dado que el origen de los metales pesados presentes en el agua se atribuye a actividades humanas, puede ser necesaria la implementación de medidas de control y estudios más detallados, debido a la toxicidad y capacidad de absorción de estos metales. En consecuencia, resulta crucial monitorear y supervisar tanto la presencia de estos metales en el agua como las fuentes de contaminación para salvaguardar la salud y el medio ambiente.

REFERENCIAS

- [1] A. Singh, R. K. Sharma, M. Agrawal, and F. M. Marshall, "Risk assessment of heavy metal toxicity through contaminated vegetables from waste water irrigated area of Varanasi, India," *Journal of Tropical ecology*, vol. 51, no. 2, pp. 375-387, 2010.
- [2] Y. J. Cui *et al.*, "Transfer of metals from soil to vegetables in an area near a smelter in Nanning, China," *Environ Int*, vol. 30, no. 6, pp. 785-91, Aug 2004.
- [3] G. Droni, "Pasivos ambientales: un problema [inter-intra] generacional," *Prometeica - Revista de Filosofía y Ciencias*, no. 18, pp. 47-58, 2019.
- [4] "Una historia de 10 años: La década del agua para la vida y lo que viene después. Decenio del Agua Fuente de Vida 2005-2015.," Departamento de Asuntos Económicos y Sociales de Naciones Unidas (ONU-DAES). (s.f.). Available: <https://www.un.org/spanish/waterforlifedecade/>
- [5] L. C. Villamil Jiménez and J. R. Romero Prada, "Los objetivos de desarrollo del milenio (ODM) de las naciones unidas: ¿ en dónde estamos y para dónde vamos?. Fuente de inspiración para priorizar las labores desde la academia," *Revista Lasallista de investigación*, vol. 8, no. 1, pp. 126-135, 2011.
- [6] R. Baird, E. Rice, and A. J. W. E. F. Eaton, Chair Eugene W. Rice, American Public Health Association Andrew D. Eaton, American Water Works Association, "Standard methods for the examination of water and wastewaters," 2017.
- [7] J. E. Fergusson, *The heavy elements: chemistry, environmental impact and health effects*, 1st ed. Pergamon Press. , 1992.

- [8] "Diagnóstico de la Provincia de Esmeraldas," GADPE: Gobierno Autónomo Descentralizado de la Provincia de Esmeraldas Available: https://app.sni.gob.ec/sni-link/sni/PORTAL_SNI/data_sigad_plus/sigadplusdiagnostico/0860000160001_DIAGN%C3%93STICO%20-%20PDOT%20PROVINCIA%20DE%20ESMERALDAS%2019%20de%20Mayo%202015_19-05-2015_18-22-08.pdf
- [9] P. Villacrese and E. Vanessa, "Estado de la calidad del agua del río Teaone (cuena baja) entre la Termoeléctrica y la desembocadura del río Esmeraldas, sector de la Propicia 1," Tesis de grado para obtención del título de Ingeniero en Gestión Ambiental, , Pontificia Universidad Católica del Ecuador, 2015.
- [10] *Texto Unificado de Legislación Ambiental Secundaria (TULAS), Libro VI - Anexo I. Norma de Calidad Ambiental de descarga de efluentes: Recurso Agua*, Quito, Ministerio de Ambiente del Ecuador, 2003.
- [11] C. Cuasapaz Chamorro, "Influencia de patrones climáticos globales en el caudal superficial de la cuena del río Esmeraldas," Tesis de Magister en Gestión Integral de Cuencas Hidrográficas Tesis de Magister en Gestión Integral de Cuencas Hidrográficas, Universidad Técnica del Norte, Ecuador, 2018.
- [12] *Norma Técnica Ecuatoriana. Calidad del agua. Muestreo. Guía para el diseño de los programas de muestreo y técnicas de muestreo (NTE INEN-ISO 5667-1)*, 2014. https://www.normalizacion.gob.ec/buzon/normas/NTE_INEN_ISO_5667_1.pdf
- [13] *Norma Técnica Ecuatoriana. Calidad del agua. Muestreo. Técnicas de muestreo (NTE INEN 2176:2013)*, 2013. <https://www.trabajo.gob.ec/wp-content/uploads/2012/10/NTE-INEN-2176-AGUA.-CALIDAD-DEL-AGUA.-MUESTREO.-T%C3%89CNICAS-DE-MUESTREO.pdf?x42051>
- [14] *Norma Técnica Ecuatoriana. Calidad del agua, Muestreo, conservación y manipulación de las muestras de agua. (NTE INEN-ISO 5667-3)*, 2014. https://www.normalizacion.gob.ec/buzon/normas/NTE_INEN_ISO_5667_3.pdf
- [15] *Decreto Supremo N° 004-2017-MINAM .- Aprueban Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Agua y establecen Disposiciones Complementarias.* , Ministerio del Ambiente, Republica de Peru., 2017. <https://sinia.minam.gob.pe/normas/aprueban-estandares-calidad->

ambiental-eca-agua-establecen-disposiciones.

ESPECTROMETRÍA DE
ABSORCIÓN ATÓMICA
ELECTROTÉRMICA," 2018.

- [16] *National Environmental Methods Index (s.f.). Método estándar 4500-H+B: pH en agua por potenciometría.,* E.P.A. https://www.nemi.gov/methods/method_summary/4707/
- [17] *Standard Methods Committee of the American Public. 5220 Chemical oxygen demand. Standard Methods For the Examination of Water and Wastewater. American Water Works Association, and Water Environment Federation.,* 2018. <https://www.standardmethods.org/doi/10.2105/SMWW.2882.103>
- [18] "2510 CONDUCTIVITY," in *Standard Methods For the Examination of Water and Wastewater*(Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater: American Public Health Association, 2017.
- [19] *Standard Methods Committee of the American Public. 3111 ESPECTROMETRÍA DE ABSORCIÓN ATÓMICA DE METALES POR LLAMA.,* E.P.A., 2019. <https://www.standardmethods.org/doi/10.2105/SMWW.2882.043>
- [20] "Standard Methods Committee of the American Public. 3113 METALES POR
- [21] J. A. Navoni, N. M. Olivera, and E. C. J. A. t. a. Villaamil Lepori, "Cuantificación de arsénico por inyección en flujo-generación de hidruros-espectrometría de absorción atómica (IF-GH-EAA) previa derivatización con l-cisteína: Validación y comparación intermetodológica utilizando dos técnicas de referencia," vol. 18, no. 2, pp. 29-38, 2010.
- [22] M. Martínez Guijarro, "Análisis Instrumental. Espectrometría de Absorción Atómica (EAA)," Escuela Técnica Superior de Ingeniería de Caminos Canales y Puertos Universitat Politècnica de València. Repositorio Institucional de la Universitat Politècnica de València RiuNet. Available: <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/138418/Mart%C3%ADnez%20-%20An%C3%A1lisis%20Instrumental.%20Espectrometr%C3%ADa%20de%20Absorci%C3%B3n%20At%C3%B3mica%20%28EAA%29.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- [23] R. V. A. Medina and R. T. J. I. I. Lazo, "Metodología para determinar la calidad de agua del río Rímac para uso en amasado y curado de concreto," no. 036, pp. 123-135, 2018.

- [24]H. S. Cortéz Defáz, "Evaluación de la calidad del agua subterránea en pozos de abastecimiento para consumo humano del cantón Quevedo," Tesis de grado para obtención del título de Ingeniero en Gestión Ambiental, Facultad de Ciencias Ambientales, Carrera Ingeniería en Gestión Ambiental, Universidad Técnica Estatal De Quevedo, 2019.
- [25]F. Hahn-Schlam, G. Miranda-Salgado, F. Pérez-López, O. Mayo-Díaz, F. Rojas-Serrano, and P. Coras-Merino, "Monitoreo de la calidad del agua en el río Texcoco mediante sensores selectivos de iones," *Agrociencia*, vol. 40, no. 3, pp. 277-287, 2006.
- [26]S. E. Pabón Guerrero, R. Benítez Benítez, R. A. Sarria Villa, and J. A. Gallo Corredor, "Water contamination by heavy metals, analysis methods and removal technologies. A review," vol. Entre Ciencia e Ingeniería, Universidad Católica de Pereira. Available: <http://hdl.handle.net/10785/10010>
- [27]A. M. Aveiga Ortiz, P. J. Noles Aguilar, F. P. Macías, and E. M. Herrera, "Distribución de arsénico en agua superficial y sedimento en la cuenca del río carrizal, manabí-ecuador," *Revista de la Sociedad Química del Perú*, vol. 86, no. 3, pp. 260-275, 2020.