

EVALUACIÓN DE METALES TRAZA EN (*Ichthyoelephas humeralis*) Y PERCEPCIÓN SOCIOAMBIENTAL DE LA CONTAMINACIÓN FLUVIAL EN EL CANTÓN BABAHOYO, ECUADOR

EVALUATION OF TRACE METALS IN (*Ichthyoelephas humeralis*) AND SOCIO-ENVIRONMENTAL PERCEPTION OF RIVER POLLUTION IN BABAHOYO CANTON, ECUADOR

Xavier Velasco Valero^{1, *}

¹ Universidad de Guayaquil, Facultad de Ciencias Naturales, Cda. Universitaria, Av. Delta y Av. Kennedy, Guayaquil, Ecuador.

* Autor de correspondencia: Xavier_Velasco2006@hotmail.com

Resumen

Se evaluaron las concentraciones de cadmio (Cd) y mercurio (Hg) en el tejido muscular del pez detritívoro endémico *Ichthyoelephas humeralis* del sistema fluvial del cantón Babahoyo, Ecuador, así como la percepción socioambiental de pescadores artesanales sobre la contaminación hídrica. Se analizaron 30 ejemplares mediante espectrofotometría de absorción atómica y se aplicaron encuestas estructuradas a pescadores artesanales. Las variables morfométricas mostraron una correlación positiva y significativa entre la longitud y el peso ($\rho = 0.994$; $p < 0.001$). En todos los individuos, las concentraciones de Cd y Hg permanecieron por debajo de los límites de cuantificación analítica (<0.014 mg/kg para Cd y <0.09 mg/kg para Hg) y de los límites máximos establecidos por las normativas internacionales. La mayoría de los pescadores percibió un elevado grado de contaminación del sistema fluvial y manifestó preocupación por la calidad de los recursos hidrobiológicos y la seguridad alimentaria, aunque evidenció un conocimiento limitado sobre las fuentes de contaminación y una baja participación en acciones de mitigación. Se concluye que los resultados constituyen una línea base ecotoxicológica para *I. humeralis* y aportan información sobre la percepción socioambiental de las comunidades pesqueras, útil para futuros programas de monitoreo y gestión sostenible de los recursos hidrobiológicos.

Palabras clave: Ecotoxicología; cadmio; mercurio; bioacumulación; percepción

Abstract

The concentrations of cadmium (Cd) and mercury (Hg) were evaluated in the muscle tissue of the endemic detritivorous fish *Ichthyoelephas humeralis* from the river system of Babahoyo canton, Ecuador, along with the socio-environmental perception of artisanal fishers regarding water pollution. Thirty specimens were analyzed using atomic absorption spectrophotometry, and structured surveys were administered to artisanal fishers. Morphometric variables showed a significant positive correlation between length and weight ($\rho = 0.994$; $p < 0.001$). In all individuals, Cd and Hg concentrations remained below the analytical limits of quantification (<0.014 mg/kg for Cd and <0.09 mg/kg for Hg) and the maximum limits established by international regulations. Most fishers perceived a high degree of pollution in the river system and expressed concern over the quality of hydrobiological resources and food security, although they demonstrated limited knowledge about pollution sources and low participation in mitigation actions. It is concluded that these results establish an ecotoxicological baseline for *I. humeralis* and provide insight into the socio-environmental perception of fishing communities, which is useful for future monitoring programs and the sustainable management of hydrobiological resources.

Keywords: Ecotoxicology; cadmium; mercury; bioaccumulation; perception

Recibido: 2026-04-11 Aceptado: 2026-06-28 Publicado: 2026-06-30

1. Introducción

La contaminación de los sistemas hídricos continentales por actividades industriales y agropecuarias constituye un problema ambiental global con graves implicaciones ecotoxicológicas para las cadenas tróficas y la salud pública (Vörösmarty et al., 2010). En ecosistemas fluviales con intensa presión antrópica, la escorrentía de haciendas agrícolas perifluviales y el uso indiscriminado de agroquímicos vierten cargas significativas de metales pesados (Islam et al., 2015). Estos elementos xenobióticos poseen una elevada estabilidad química frente a la biodegradación y una alta afinidad por los grupos sulfhidrilo de las proteínas estructurales, lo que impide que los seres vivos los metabolicen eficientemente, provocando fenómenos de bioacumulación y biomagnificación a lo largo de la red alimentaria (Mancera-Rodríguez y Álvarez-León, 2006). Entre los metales de mayor prioridad ambiental debido a su ubiquidad y severa toxicidad sistémica se encuentran el cadmio (Cd) y el mercurio (Hg). El Cd dietario, acumulable principalmente en la corteza renal e hígado, induce disfunción renal crónicamente y fallos reproductivos (Repetto Jiménez, 1995; Balali-Mood et al., 2021), mientras que el Hg, especialmente en su forma orgánica de metilmercurio (CH_3Hg^+), es altamente liposoluble, se absorbe en un 95% por vía gastrointestinal y actúa como un potente neurotóxico y teratógeno irreversible en humanos (Doadrio Villarejo, 2004; Ramírez, 2008).

En los ecosistemas acuáticos, los peces actúan como bioindicadores de la calidad ambiental debido a su capacidad de almacenar en sus tejidos concentraciones de metales muy superiores a las presentes en la columna de agua (van der Oost et al., 2003). Esto convierte al tejido muscular magro en una vía de transferencia crítica hacia las poblaciones humanas ribereñas que dependen de la pesca artesanal como pilar socioeconómico y de subsistencia (FAO & WHO, 2011). Para salvaguardar la salud pública, organismos internacionales como la Comisión del Codex Alimentarius y la Unión Europea han establecido

límites máximos permisibles en productos pesqueros, fijando valores de 0,5 mg/kg para mercurio total y entre 0,05 y 0,1 mg/kg para cadmio en tejidos comestibles (Codex Alimentarius Commission, 1995; European Commission, 2006; European Commission, 2008).

En el contexto ecuatoriano, el sistema fluvial del cantón Babahoyo (provincia de Los Ríos) está regulado por un clima tropical que define una estación lluviosa (enero-mayo) y una estación seca (junio-diciembre) (Revelo, 2010). Dentro de esta cuenca, el bocachico (*Ichthyoelephas humeralis*) es la especie endémica y comercial más representativa. Este caraciforme detritívoro-fitoplanctófago migra sincrónicamente con las lluvias con fines reproductivos y alcanza su madurez sexual media a los 20 cm de longitud total (Prado España & Muñiz Vidarte, 2012; Revelo & Laaz, 2012). A pesar de estar regulado por la Subsecretaría de Recursos Pesqueros mediante el Acuerdo Ministerial 022-A para controlar las tallas mínimas de captura (Ochoa-Ubilla et al., 2016), el recurso ha sufrido una alarmante disminución en sus volúmenes de captura en los últimos años, atribuida de forma sinérgica a la sobreexplotación y a la contaminación por escorrentía agrícola.

A pesar de la vulnerabilidad ecológica y la importancia de *I. humeralis* para la soberanía alimentaria regional, las investigaciones previas en la cuenca del río Babahoyo se han limitado a describir parámetros puramente biológicos y pesqueros. Existe un vacío crítico de información empírica que evalúe la calidad ecotoxicológica del recurso y su relación con las variables morfométricas del crecimiento del pez o la percepción de riesgo de las comunidades pesqueras locales. En este contexto, el presente estudio tuvo como objetivo evaluar las concentraciones de Cd y Hg en el tejido muscular de *Ichthyoelephas humeralis* y analizar la percepción socioambiental de los pescadores artesanales sobre la contaminación fluvial en el cantón Babahoyo, Ecuador.

2. Materiales y Métodos

2.1 Área de Estudio y Obtención de Muestras

El muestreo se realizó durante el año 2017 en el sistema fluvial del cantón Babahoyo, provincia de Los Ríos, Ecuador, utilizando ejemplares provenientes del principal centro de desembarque y acopio de la pesca artesanal local. La zona presenta un régimen hidrológico bifásico caracterizado por una estación lluviosa (enero-mayo) y una estación seca (junio-diciembre) (Revelo, 2010).

2.2 Análisis Químico de Metales (Cd y Hg)

Las determinaciones cuantitativas de cadmio (Cd) y mercurio (Hg) se ejecutaron en los laboratorios del Instituto Nacional de Pesca (INP), bajo estrictos protocolos analíticos estandarizados y validados. Para ambos metales, la destrucción previa de la materia orgánica se llevó a cabo mediante digestión ácida por microondas en recipientes cerrados de alta presión, utilizando ácido nítrico concentrado (HNO_3 , grado analítico) como agente oxidante para garantizar la completa mineralización de la matriz y la consecuente liberación de los analitos.

La cuantificación de Hg total se realizó mediante Espectrofotometría de Absorción Atómica por Vapor Frío (EAA-VF), fundamentada en el procedimiento interno PI_MP1 del INP, utilizando un espectrofotómetro *Varian AA-60*. Posterior a la digestión, el mercurio presente en la solución fue reducido a su estado elemental (Hg^0) mediante la adición de cloruro estannoso (SnCl_2). Los vapores generados fueron arrastrados por un flujo de gas inerte hacia una celda de cuarzo, determinando la absorbancia a una longitud de onda de 253.7 nm empleando una lámpara de cátodo hueco. El límite de cuantificación (LOQ) establecido operacionalmente para este método fue de 0.09 mg/kg.

Por su parte, la concentración de Cd se determinó mediante Espectrofotometría de Absorción Atómica con Horno de Grafito (EAA-HG), basada en el procedimiento interno PI_MP2 del INP y en concordancia con el método oficial *AOAC 999.10*

(Ed. 19, 2012). Una alícuota de la solución digerida fue introducida en el atomizador de grafito y sometida a un programa térmico optimizado de secado, calcinación y atomización, registrándose la lectura de absorción atómica a una longitud de onda de 228.8 nm. El método presentó un límite de cuantificación (LOQ) base de 0.014 mg/kg. Los resultados analíticos finales para ambos metales trazan se expresaron en miligramos por kilogramo en base a peso húmedo (mg/kg).

2.3 Análisis Estadístico y Gestión de Datos

Para evaluar la relación entre la talla y el peso, se realizó un análisis estadístico descriptivo y de correlación sobre una muestra de 30 especímenes. Inicialmente, los datos fueron organizados de forma ascendente según la talla para garantizar una secuencia lógica de crecimiento. La normalidad de las variables se verificó mediante la prueba de Shapiro-Wilk; en función de los resultados obtenidos en esta prueba, se seleccionó el coeficiente de correlación de Spearman (ρ) para determinar la fuerza y dirección de la relación entre ambas medidas, debido a su idoneidad para variables que no presentan una distribución normal. Finalmente, se generó un diagrama de dispersión con una línea de ajuste mediante regresión local ponderada (LOESS) para visualizar la tendencia de crecimiento del peso respecto a la talla.

2.4 Componente Social: Encuestas a Pescadores

Con el propósito de evaluar la percepción ambiental, el conocimiento sobre la contaminación por metales pesados y la valoración de la calidad de los recursos pesqueros, se aplicó una encuesta estructurada dirigida a actores clave vinculados con la actividad pesquera del cantón Babahoyo. La población objetivo estuvo conformada por 158 pescadores artesanales, todos ellos agremiados y activos en la zona. Para la determinación del tamaño muestral, se utilizó la fórmula de muestreo aleatorio para poblaciones finitas ($N=158$), estableciendo un nivel de confianza del 95% ($Z=1.96$), una variabilidad del 50% ($p=0.5$, $q=0.5$) y un margen de error original del 5%. No obstante, durante la fase de levantamiento de información, se

obtuvo una muestra efectiva de $n=60$ participantes. Esta variación respecto al cálculo teórico inicial responde a las restricciones operativas derivadas de la naturaleza itinerante de la faena pesquera, lo que limitó el acceso a la totalidad de los agremiados al momento de las entrevistas. Al constituir el 38% de la población total, esta muestra representa un margen de error ajustado del 10%, el cual se considera suficiente para los fines del estudio al capturar la homogeneidad operativa y las condiciones socioambientales del gremio.

El instrumento de recolección de información consistió en un cuestionario estructurado integrado por diez preguntas cerradas, orientadas a evaluar: i) el conocimiento general sobre la contaminación ambiental; ii) la percepción del estado de contaminación del río Babahoyo; iii) la identificación de posibles fuentes contaminantes; iv) el conocimiento sobre la contaminación por metales y sus efectos en la salud humana; v) las actitudes frente a la comercialización de peces potencialmente contaminados; vi) la percepción del control institucional; y vii) las acciones individuales relacionadas con la conservación ambiental. Las encuestas fueron aplicadas de manera directa mediante entrevistas personales realizadas a los participantes durante sus actividades cotidianas de pesca y comercialización. La participación fue voluntaria y las respuestas

fueron registradas de forma anónima para garantizar la objetividad.

Finalmente, los resultados obtenidos se analizaron mediante estadística descriptiva, calculándose frecuencias absolutas y porcentajes para cada una de las categorías de respuesta, con el fin de describir con rigor la percepción socioambiental de los actores involucrados en la actividad pesquera local.

3. Resultados

3.1 Caracterización morfométrica

Se analizaron 30 ejemplares de *Ichthyoelephas humeralis* provenientes de la pesca artesanal del cantón Babahoyo. La longitud total presentó un promedio de 24.97 ± 4.93 cm, con un rango entre 18.5 y 34.0 cm, mientras que el peso total promedio fue de 175.20 ± 63.33 g, oscilando entre 69 y 276 g. Los coeficientes de variación fueron de 19.75 % para la longitud y 36.15 % para el peso, indicando una mayor heterogeneidad en la masa corporal respecto a la talla (Tabla 1.). La prueba de Shapiro-Wilk evidenció desviaciones significativas de la normalidad tanto para la longitud como para el peso ($p < 0.05$), por lo que se emplearon análisis no paramétricos (Tabla 2), mientras que la relación entre ambas variables mostró una asociación positiva muy fuerte y estadísticamente significativa ($\rho = 0.994$; $p < 0.001$) (Figura 1).

Tabla 1. Resumen estadístico descriptivo de los parámetros morfométricos de *I. humeralis*

Variable	n	Promedio	DE	Min	Max	CV (%)	Sesgo Estandarizado	Curtosis Estandarizada
Talla (cm)	30	24.97	4.93	18.50	34.00	19.75%	1.099	-1.270
Peso (g)	30	175.20	63.33	69.00	276.00	36.15%	-0.393	-1.577

Tabla 2. Resultados de la prueba de normalidad de Shapiro-Wilk

Variable	Estadístico (W)	Grados de libertad (gl)	Significancia (p-valor)	Distribución
Talla (cm)	0.907	30	0.012	No Normal
Peso (g)	0.924	30	0.034	No Normal

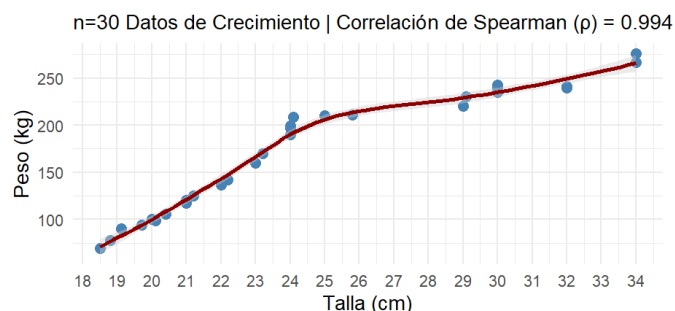


Figura 1. Relación entre la longitud total (cm) y el peso total (g) de *Ichthyoelephas humeralis* capturados en el sistema fluvial del cantón Babahoyo.

3.2 Metales (Cd y Hg) en Tejido Muscular

La determinación de las concentraciones de cadmio (Cd) y mercurio (Hg) en el tejido muscular magro de *Ichthyoelephas humeralis* indicó que el 100% de las muestras analizadas presentaron valores inferiores a los límites de cuantificación (LOQ) establecidos por las técnicas analíticas validadas en el Instituto Nacional de Pesca (INP).

Para el cadmio (Cd), determinado mediante Espectrofotometría de Absorción Atómica con

Horno de Grafito (EAA-HG), todas las mediciones se situaron por debajo del LOQ base de 0.014 mg/kg de peso húmedo en los distintos intervalos de talla analizados. En un único caso (individuo de 21.0 cm de longitud total, Muestra 8), el límite operativo de cuantificación se ajustó a < 0.032 mg/kg; esto obedeció a variaciones analíticas en la relación masa/volumen final de la digestión ácida de dicha alícuota, sin que ello implique variaciones reales en la concentración o en la bioacumulación del analito en el espécimen (Tabla 3).

En el caso del mercurio (Hg), cuantificado mediante Espectrofotometría de Absorción Atómica por Vapor Frío (EAA-VF), el total de las muestras ($n = 30$) presentó concentraciones inferiores al límite de cuantificación del método (< 0.09 mg/kg de peso húmedo). Debido a esta homogeneidad por debajo del umbral analítico, no se evidenció variabilidad o tendencias asociadas a la talla, el peso o el estadio biológico de los organismos analizados (Tabla 3).

Tabla 3. Concentraciones analíticas de Cadmio (Cd) y Mercurio (Hg) en tejido muscular de *I. humeralis* por intervalos de tallas

Intervalo de Talla (cm)	Número de Muestras (n)	Peso Medio Agrupado (g)	Rango de Concentración de Cd (mg/kg)	Rango de Concentración de Hg (mg/kg)	Cumplimiento Normativo (Codex / UE)
18.5 – 20.9	7	100.86	< 0.014	< 0.09	100% Conforme
21.0 – 23.9	7	134.43	< 0.014	< 0.09	100% Conforme
24.0 – 25.8	6	179.83	< 0.014	< 0.09	100% Conforme
29.0 – 34.0	10	255.40	< 0.014	< 0.09	100% Conforme

Nota: El símbolo (<) indica observaciones censuradas a la izquierda por situarse debajo de los límites de cuantificación (LOQ) del laboratorio (0.014 mg/kg para Cd y 0.09 mg/kg para Hg). El valor < 0.032 mg/kg de la Muestra 8 responde a un ajuste en la dilución de esa alícuota.

3.3 Componente Social: Percepción Ambiental y Conocimiento de los Actores Pesqueros

El análisis del componente social integró las respuestas estructuradas de un tamaño muestral de $n = 60$ actores clave (pescadores artesanales) del cantón Babahoyo, evaluando de forma integrada su grado de cultura ecológica, la percepción de riesgo ecotoxicológico y la valoración de la gobernanza local (Figura 2).

3.4 Conciencia y Percepción General de la Contaminación Fluvial

Los resultados evidencian un alto nivel de familiarización genérica con la problemática ambiental; el 85.0% ($n = 51$) de los encuestados afirmó poseer un conocimiento general sobre la contaminación de los ecosistemas acuáticos (Figura 2). Esta percepción se traduce en una preocupación crítica sobre su entorno inmediato de faena, donde una sólida mayoría del 61.0% ($n = 37$) sostiene de manera categórica que el sistema fluvial donde opera se encuentra en un estado "muy contaminado".

A pesar de reconocer el fuerte deterioro del río, los resultados muestran una clara diferencia en cómo se asignan las responsabilidades y en la identificación de las causas de esa degradación. Mientras que el 64.0% ($n = 38$) asegura que sus prácticas domésticas y laborales directas están exentas de desechar residuos al río, solo el 40.0% ($n = 24$) logró indexar con claridad el rol que juegan las macroactividades antrópicas específicas (como la esorrentía agroindustrial perfluvial o los efluentes urbanos) como los verdaderos causantes de la degradación hídrica local.

3.5 Conocimiento y percepción sobre la contaminación por metales

Al evaluar variables ecotoxicológicas más complejas, el panorama social muestra una clara polarización cognitiva en la comunidad. El 58.0% ($n = 35$) de los participantes manifestó tener conciencia explícita sobre el riesgo químico y los

términos asociados a "metales pesados", un porcentaje idéntico al grupo que demostró un conocimiento certero sobre los efectos deletéreos crónicos y los daños que estos xenobióticos provocan en la salud humana (Figura 2).

Esta diferencia en el nivel de conocimiento sobre los metales traza contrasta con la elevada preocupación mostrada por los actores de la pesquería artesanal respecto a la seguridad alimentaria y la comercialización de los recursos pesqueros. El 96.7% ($n = 58$) de los encuestados declaró que se rehusaría rotundamente a capturar o comercializar recursos hidrobiológicos si supiera con certeza que los ejemplares presentan cargas metálicas traza, priorizando la inocuidad alimentaria y la seguridad de sus consumidores por encima del beneficio económico inmediato. Consistente con este compromiso ético, el 100.0% ($n = 60$) de los actores de la cadena respaldó plenamente la necesidad de ejecutar programas científicos de monitoreo ecotoxicológico continuo en el cantón.

3.6 Percepción del control institucional y acciones de mitigación comunitaria

Finalmente, los resultados evidenciaron una percepción desfavorable sobre el control institucional de la contaminación en el río Babahoyo. El 83.3 % ($n = 50$) de los encuestados consideró que las entidades responsables ejercen poco o ningún control sobre las fuentes de contaminación del sistema fluvial (Figura 2).

Por otra parte, aunque se evidenció una percepción negativa sobre el control institucional de la contaminación, la participación de la comunidad en acciones de mitigación ambiental fue limitada. El 65.0 % ($n = 39$) de los encuestados indicó no realizar actividades destinadas a disminuir la contaminación del río, mientras que únicamente el 35.0 % manifestó participar en este tipo de acciones.

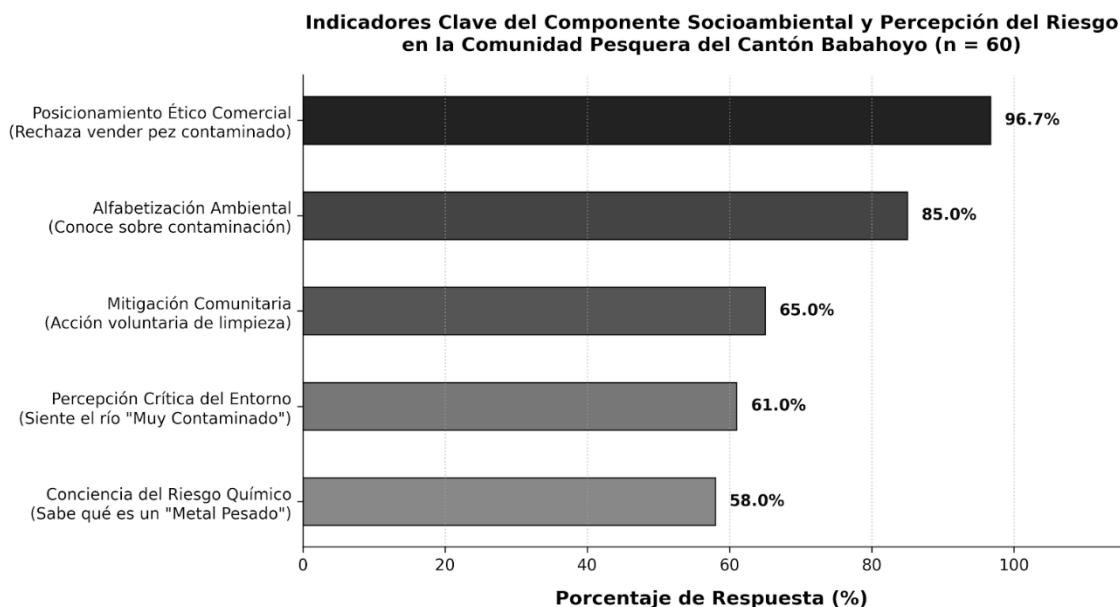


Figura 2. Indicadores integrados de la dimensión socioambiental y percepción del riesgo en la comunidad pesquera artesanal del cantón Babahoyo. El gráfico de barras horizontales sintetiza el comportamiento de las respuestas clave (n = 60).

4. Discusión

La elevada correlación observada entre la longitud y el peso de *I. humeralis* indica una relación morfométrica consistente entre ambas variables. Este comportamiento ha sido reportado previamente para especies dulceacuícolas neotropicales y refleja un incremento progresivo de la masa corporal conforme aumenta la longitud de los individuos (Froese, 2006; Ochoa-Ubilla et al., 2016).

Desde la perspectiva ecotoxicológica, el hallazgo principal del presente estudio es que las concentraciones de cadmio (Cd) y mercurio (Hg) en el tejido muscular de *I. humeralis* se encuentran de forma generalizada por debajo de los límites de cuantificación (LOQ) de los métodos analíticos empleados. Este resultado indica una no cuantificación analítica bajo las condiciones metodológicas utilizadas, lo cual es plenamente consistente con el cumplimiento de los límites máximos permisibles establecidos por la Comisión del Codex Alimentarius (OMS, 2012) y la Unión Europea (Comisión Europea, 2017). Sin embargo, esta condición analítica no debe interpretarse de forma equívoca como una ausencia absoluta de los

contaminantes en el ecosistema, sino como una concentración inferior a la capacidad de cuantificación del método empleado. En este sentido no es posible inferir riesgo sanitario a partir de los datos obtenidos

La permanencia de los valores por debajo del LOQ podría estar fuertemente relacionada con la posición trófica de la especie. *I. humeralis* ha sido descrita como una especie detritívora-fitoplanctófaga (Prado España & Muñiz Vidarte, 2012), ocupando niveles tróficos basales dentro de la red alimentaria. En este contexto, los procesos de biomagnificación de metales trazan tienden a incrementar significativamente las concentraciones tisulares en organismos de niveles tróficos superiores, particularmente en especies piscívoras y depredadoras terminales (Mancera-Rodríguez & Álvarez-León, 2006).

Aunque el sistema fluvial del cantón Babahoyo recibe aportes constantes de contaminantes asociados a escorrentías agrícolas y otras fuentes antrópicas de la cuenca (Aguirre et al., 2021), la posición trófica constituye un factor modulador determinante en la bioacumulación de metales en

organismos acuáticos (Echevarría Díaz et al., 2025). En este sentido, la dieta detritívora-fitoplanctófaga de *I. humeralis* podría explicar, al menos en parte, la ausencia de concentraciones cuantificables de cadmio y mercurio en su tejido muscular, en comparación con especies piscívoras o de niveles tróficos superiores, donde la biomagnificación suele ser más evidente (Mancera-Rodríguez & Álvarez-León, 2006).

Esta dinámica se observa incluso al contrastar ecosistemas marinos y dulceacuícolas del país. Por ejemplo, depredadores pelágicos de la costa ecuatoriana como el dorado (*Coryphaena hippurus*) presentan acumulación de estos metales debido a su posición trófica apical (Villarreal de la Torre et al., 2016). De forma similar, durante un periodo de estudio simultáneo (2016–2017), el pez espada (*Xiphias gladius*), especie de gran longevidad y nivel trófico elevado, registró concentraciones de mercurio entre 0.46 y 3.31 ppm en el litoral de Manta (Loor-Bravo et al., 2020).

En sistemas dulceacuícolas nacionales se mantiene esta tendencia. En el río Carrizal (Manabí), el cadmio resultó no detectable en la ictiofauna local, mientras que otros metales como el plomo evidenciaron procesos de biomagnificación principalmente en especies carnívoras y omnívoras como *Hoplias microlepis* y *Aequidens rivulatus* (Aveiga Ortiz et al., 2022). Esto coincide con revisiones recientes que confirman que la exposición a metales pesados en recursos hidrobiológicos está fuertemente influenciada por las presiones antrópicas locales y el nicho ecológico de cada especie (Enríquez & Quinchiguango, 2025).

Por lo tanto, los resultados obtenidos en *I. humeralis* no deben interpretarse como evidencia de ausencia de contaminación en el sistema fluvial, sino como una respuesta ecológica coherente con su hábito alimentario, sugiriendo que, bajo las condiciones evaluadas, su consumo podría no representar riesgo significativo por metales pesados.

Asimismo, la ausencia de concentraciones cuantificables en todos los rangos de talla evaluados (18.5–34.0 cm) sugiere que el factor de bioacumulación por edad no fue suficiente para superar los umbrales del LOQ, o bien, podría estar asociado a mecanismos fisiológicos eficientes de regulación, metalotioneínas y excreción de metales descritos en otras especies ícticas (O'Dell, 1983; Repetto Jiménez, 1995). No obstante, dichos procesos metabólicos no fueron evaluados en el presente estudio, por lo que su influencia directa en *I. humeralis* permanece como una hipótesis a verificar.

Finalmente, considerando que la especie alcanza su madurez sexual alrededor de los 20 cm de longitud total (Revelo & Laaz, 2012), la homogeneidad de los valores no cuantificables tanto en individuos juveniles como en adultos confirma que, bajo las condiciones analíticas aplicadas durante el periodo de estudio, el consumo de tejido muscular de esta especie no representa un riesgo analíticamente evidente para la salud humana, independientemente de la estructura de tallas capturada por la pesca artesanal.

El componente social muestra una contradicción en la percepción de la comunidad pesquera del cantón Babahoyo. Por un lado, existe una elevada cultura ambiental empírica: el 85.0% de los encuestados reconoce conceptualmente la problemática de la contaminación y una mayoría del 61.0% percibe que su propio entorno fluvial está severamente degradado (Figura 2). Este patrón de preocupación concuerda con diagnósticos socioambientales regionales donde las comunidades ribereñas son las primeras en registrar el deterioro de sus ecosistemas (Mancera-Rodríguez & Álvarez-León, 2006). No obstante, al indagar sobre las fuentes de dicha degradación, se manifiesta el denominado sesgo de optimismo o externalización del riesgo: el 64.0% afirma categóricamente que sus prácticas individuales están exentas de emitir contaminantes, y menos de la mitad (40.0%) logra reconocer de forma explícita el rol que juegan las macroactividades productivas circundantes como

los factores críticos de la degradación hídrica local (Figura 2).

Esta discrepancia disminuye notablemente cuando se evalúan los escenarios de riesgo asociados directamente a la salud humana. Aunque el 42.0 % de los encuestados manifestó no conocer el término "metales pesados", el 58.0 % que indicó estar familiarizado con esta problemática reconoció los posibles efectos adversos que estos contaminantes pueden ocasionar en la salud humana (Doadrio Villarejo, 2004; Ramírez, 2008).

La mayoría de los participantes 96.7% manifestó que no comercializaría peces contaminados, evidenciando una elevada preocupación por la seguridad alimentaria (Figura 2), donde los pescadores artesanales anteponen la soberanía e inocuidad alimentaria de sus clientes por encima del rédito económico inmediato que generaría la venta de un producto contaminado.

Finalmente, la desconfianza expresada hacia la institucionalidad pública —donde el 83.3% denuncia una inacción sistemática y una ausencia de controles estatales para mitigar la contaminación del sistema fluvial (Figura 2), explica el surgimiento de mecanismos espontáneos de gobernanza comunitaria y autoorganización. El hecho de que el 35.0 % de los pescadores artesanales realice voluntariamente actividades orientadas a disminuir la contaminación del río (Figura 2) evidencia la existencia de iniciativas individuales y comunitarias de conservación. Sin embargo, la limitada participación observada sugiere la necesidad de fortalecer los programas de educación ambiental y la articulación entre la comunidad y las instituciones responsables de la gestión del recurso pesquero (Ochoa-Ubilla et al., 2025).

5. Conclusiones

El presente estudio demostró que las concentraciones de cadmio (Cd) y mercurio (Hg) en el tejido muscular de *Ichthyoelephas humeralis* se mantuvieron por debajo de los límites de cuantificación de los métodos analíticos empleados

y, por consiguiente, por debajo de los límites máximos establecidos por la Comisión del Codex Alimentarius y la Unión Europea para estos metales. Estos resultados constituyen una línea base ecotoxicológica para una especie endémica de importancia pesquera en el sistema fluvial del cantón Babahoyo y proporcionan información de referencia para futuros programas de biomonitorio orientados a evaluar cambios temporales en la bioacumulación de metales en esta especie. No obstante, los resultados se circunscriben al tejido muscular, a los metales evaluados y a las condiciones de muestreo del presente estudio, por lo que no permiten extrapolar conclusiones sobre la calidad ambiental general del sistema fluvial.

Desde el ámbito socioambiental, la percepción de los pescadores artesanales evidenció una amplia preocupación por el deterioro del río Babahoyo y por la calidad de los recursos hidrobiológicos, acompañada de una limitada participación en acciones de mitigación y de una percepción de insuficiente control institucional. En este contexto, los resultados respaldan la necesidad de fortalecer la educación ambiental, promover la participación comunitaria y consolidar programas de monitoreo ecotoxicológico de largo plazo que integren diferentes contaminantes, matrices ambientales y especies bioindicadoras, con el fin de generar información científica que contribuya a la gestión sostenible de los recursos pesqueros y de la cuenca.

6. Declaración de intereses

El autor declara no tener conflicto de intereses.

7. Referencias

Aguirre, W. E., Alvarez-Mieles, G., Anaguano-Yancha, F., Burgos Morán, R., Cucalón, R. V., Escobar-Camacho, D., Jácome-Negrete, I., Jiménez Prado, P., Laaz, E., Miranda-Troya, K., Navarrete-Amaya, R., Nugra Salazar, F., Revelo, W., Rivadeneira, J. F., Valdiviezo Rivera, J., & Zárate Hugo, E. (2021). Conservation threats and future prospects for the freshwater fishes of Ecuador: A hotspot of Neotropical fish diversity. *Journal of Fish*

- Biology, 99(4), 1159-1190.
<https://doi.org/10.1111/jfb.14844>
- Balali-Mood, M., Naseri, K., Tahergorabi, Z., Khazdair, M. R. y Sadeghi, M. (2021). Toxic Mechanisms of Five Heavy Metals: Mercury, Lead, Chromium, Cadmium, and Arsenic. *Frontiers in Pharmacology*, 12, Artículo 643972.
<https://doi.org/10.3389/fphar.2021.643972>
- Codex Alimentarius Commission. (1995). *General standard for contaminants and toxins in food and feed (CXS 193-1995)*. FAO/WHO.
<https://www.fao.org/fao-who-codexalimentarius>
- Doadrio Villarejo, A. L. (2004). Ecotoxicología del mercurio y sus compuestos. *Anales de la Real Academia Nacional de Farmacia*, 70(4), 855–885.
- Enríquez, M., & Quinchiguango, R. (2025). Contenido de metales pesados en peces y mariscos consumidos en el Ecuador: Una revisión sistemática. *Revista Científica Dékamu Agropec*, 6(1), 67–79.
<https://doi.org/10.55996/dekamuagropec.v6i1.293>
- European Commission. (2006). *Commission Regulation (EC) No 1881/2006 setting maximum levels for certain contaminants in foodstuffs*. Official Journal of the European Union.
<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:32006R1881>
- European Commission. (2008). *Commission Regulation (EC) No 629/2008 amending Regulation (EC) No 1881/2006*. Official Journal of the European Union.
<https://eur-lex.europa.eu>
- Echevarría Díaz, G. E., Sánchez Orellana, F. R., Yunda Vega, R. E., Valdiviezo-Rivera, J. S., & Ríos-Touma, B. P. (2025). Trace metal contamination in commercial fish from the Ecuadorian Amazon: Preliminary health risk assessment in a local market. *Fishes*, 10(8), Artículo 392.
<https://doi.org/10.3390/fishes10080392>
- Food and Agriculture Organization of the United Nations, & World Health Organization. (2011). *Report of the joint FAO/WHO expert consultation on the risks and benefits of fish consumption* (FAO Fisheries and Aquaculture Report No. 978). FAO.
<https://www.fao.org/4/ba0136e/ba0136e00.pdf>
- Froese, R. (2006). Cube law, condition factor and weight–length relationships: history, meta-analysis and recommendations. *Journal of Applied Ichthyology*, 22(4), 241-253.
<https://doi.org/10.1111/j.1439-0426.2006.00805.x>
- Islam, M. S., Ahmed, M. K., Raknuzzaman, M., Habibullah-Al-Mamun, M. y Islam, M. K. (2015). Heavy metal pollution in surface water and sediments: A preliminary assessment of an urban river in a developing country. *Ecological Indicators*, 48, 282–291.
<https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2014.08.016>
- Lloor-Bravo, G. A., Pico-Lozano, E. X., Sánchez-Moreira, J. D., & Mendoza-Nieto, K. X. (2020). Evaluación de la presencia de mercurio (Hg) en pez espada, *Xiphias gladius* (Linnaeus, 1758) desembarcado en el puerto de Manta, Ecuador. *Dominio de las Ciencias*, 6(3), 1256–1270.
<https://dominiodelasciencias.com/ojs/index.php/es/article/view/1367>
- Mancera-Rodríguez, N. J. y Álvarez-León, R. (2006). Estado actual del conocimiento de las concentraciones de mercurio y otros metales pesados en aguas, sedimentos y organismos acuáticos en Colombia. *Acta Biológica Colombiana*, 11(1), 3–23.
<https://www.redalyc.org/pdf/3190/319028578001.pdf>
- O'Dell, B. (1983). Bioavailability of essential and toxic trace elements: Introduction. *Federation Proceedings*, 42(6), 1713–1714.
- Ochoa-Ubilla, B. Y., Mendoza-Nieto, K. X., Vivas-Moreira, R., Urdánigo-Zambrano, J. U., & Ferrer-Sánchez, Y. (2016). *Estructura de tallas de captura y relación longitud-peso de peces nativos en el humedal Abras de Mantequilla, Ecuador*. *Revista Ciencia y Tecnología*, 9(2), 19–27.
<https://doi.org/10.18779/cyt.v9i2.191>
- Ochoa-Ubilla, Y., Urdánigo-Zambrano, J. P., & Mendoza-Nieto, K. (2025). Impactos socioecológicos de las artes de pesca

- tradicionales en la provincia de Los Ríos (Ecuador): Conflictos entre prácticas ancestrales y sostenibilidad. *Revista de Ciencias del Mar y Acuicultura YAKU*, 8(14), 003. <https://doi.org/10.56124/yaku.v8i14.003>
- Organización Mundial de la Salud. (2012). *Comisión del Codex Alimentarius: Programa conjunto FAO/OMS sobre normas alimentarias*. OMS.
- Prado España, M., & Muñiz Vidarte, L. (2012). Relaciones tróficas en el sistema hídrico de la provincia de Los Ríos: *Ichthyoelephas humeralis* y *Brycon alburnus*. *Revista Científica Ciencias Naturales y Ambientales*, 6(1). <https://doi.org/10.53591/cna.v6i1.198>
- Ramírez, A. V. (2008). Intoxicación ocupacional por mercurio. *Anales de la Facultad de Medicina*, 69(1), 46–51. <https://doi.org/10.15381/anales.v69i1.1184>
- Repetto Jiménez, M. (1995). *Toxicología avanzada*. Editorial Díaz de Santos. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/libro?codigo=311761>
- Revelo, W. (2010). *Aspectos biológicos y pesqueros de los principales peces del sistema hídrico de la provincia de Los Ríos, durante 2009*. Boletín Científico y Técnico, 20(6), 53–84. Instituto Nacional de Pesca.
- Revelo, W., & Laaz Moncayo, E. D. (2012). *Catálogo de peces de aguas continentales de la provincia de Los Ríos, Ecuador*. Boletín Especial del Instituto Nacional de Pesca, 3(5). <https://www.researchgate.net/publication/304012205>
- van der Oost, R., Beyer, J., & Vermeulen, N. P. E. (2003). *Fish bioaccumulation and biomarkers in environmental risk assessment: A review*. *Environmental Toxicology and Pharmacology*, 13(2), 57–149. [https://doi.org/10.1016/S1382-6689\(02\)00126-6](https://doi.org/10.1016/S1382-6689(02)00126-6)
- Villarreal de la Torre, D., Sánchez, J., & Cañarte, J. (2016). Comparación y valoración de mercurio (Hg) y cadmio (Cd) en la especie Dorado (*Coryphaena hippurus*) que se consume en Manta, Ecuador. *La Técnica: Revista de las Agrocencias*, (16), 32–45. https://doi.org/10.33936/la_tecnica.v0i16.533
- Vörösmarty, C. J., McIntyre, P. B., Gessner, M. O., Dudgeon, D., Prusevich, A., Green, P., ... y Davies, P. M. (2010). Global threats to human water security and river biodiversity. *Nature*, 467(7315), 555–561. <https://doi.org/10.1038/nature09440>