

Presencia de metilmercurio en ictiofauna del Cantón Cáscales debido a minería aurífera; minería artesanal y de pequeña escala (MAPE)

Joel Monar ¹  Jessica Moreira ²  Paola Guala ¹   Jorge León ²

¹ Research Group YASUNI-SDC, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Sede Orellana, El Coca 220001, Ecuador.

² Universidad Estatal Amazónica, Sede Sucumbíos, Nueva Loja 210201, Ecuador.

 Correspondencia: stefania.guala_2011@hotmail.com  + 593 99 435 3071

DOI/URL: <https://doi.org/10.53313/gwj53049>

Resumen: La actividad minera aurífera corresponde a la minería de oro artesanal en pequeña escala (MAPE). Esta es una de las actividades que mayores cantidades de mercurio utiliza a escala global, por ende, más contaminante, lo cual ha generado problema al medio ambiente y salud pública de las personas a nivel mundial, esto no es distinto en el Cantón Cáscales, Provincia de Sucumbíos, Ecuador. Esta actividad se ha desarrollado desde el año 2012, aumentando progresivamente junto al número de mineros que realizan la actividad. Es común emplear metales pesados como el mercurio para la extracción de oro en fuentes hídricas, como es en el caso del río Taruka y río Duvino, áreas de estudio de la investigación; mismo que tuvo como objetivo general: Determinar la concentración de metilmercurio en fuentes hídricas del cantón Cáscales; para ello se estableció zonas de minería de oro artesanal y en pequeña escala (MAPE) mediante entrevistas semiestructuradas; se determinó la concentración de metilmercurio en peces por medio de análisis de laboratorio y la identificación de las especies con la ayuda de guías taxonómicas; se estableció estrategias que permitan mejorar el control y seguimiento de actividad minera en la zona de estudio a través de un juicio de expertos. Se determinó que las concentraciones de metilmercurio son < 0,1 mg/kg, por debajo de los límites permitidos por la FAO/OMS en los nueve individuos pertenecientes a cuatro especies. Es necesario reforzar los esfuerzos para que las autoridades encargadas del control MAPE presten atención a la problemática, además, capacitar a los moradores sobre los riesgos de bioacumulación de metales pesados como el mercurio por ingesta de peces contaminados.

Palabras claves: minería, MAPE, metilmercurio, peces



Check for updates

Cita: Monar, J., Moreira, J., Guala, P., & León, J. (2022). Presencia de metilmercurio en ictiofauna del Cantón Cáscales debido a minería aurífera; minería artesanal y de pequeña escala (MAPE). Green World Journal, 5(3), 049.

<https://doi.org/10.53313/gwj53049>

Received: 14/Oct/2022

Accepted: 14/Dec/2022

Published: 16/Dec/2022

Prof. Carlos Mestanza-Ramón, PhD.
Editor-in-Chief / CaMeRa Editorial
editor@greenworldjournal.com

Editor's note: CaMeRa remains neutral with respect to legal claims resulting from published content. The responsibility for published information rests entirely with the authors.



© 2022 CaMeRa license, Green World Journal. This article is an open access document distributed under the terms and conditions of the license.

Creative Commons Attribution (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0>

Presence of methylmercury in ichthyofauna of Canton Cáscales due to gold mining; artisanal and small-scale mining (ASM)

Abstract: Gold mining activity corresponds to artisanal small-scale gold mining (ASGM). This is one of the activities that uses the largest amounts of mercury on a global scale, therefore more polluting, which has caused problems to the environment and public health of people worldwide, this is no different in the Cáscales Canton, Province of Sucumbíos, Ecuador. This activity has been developed since 2012, progressively increasing along with the number of miners that carry out the activity. It is common to use heavy metals such as mercury for gold extraction in water sources, as in the case of the Taruka and Duvino rivers, areas of study of the research, which had as general objective: Determine the concentration of methylmercury in water sources in the Cáscales canton; for this purpose, artisanal and small-scale gold mining (ASM) zones were established through semi-structured interviews; the concentration of methylmercury in fish was determined through laboratory analysis and the identification of species with the help of taxonomic guides; strategies were established to improve the control and monitoring of mining activity in the study area through expert judgment. Methylmercury concentrations were found to be < 0.1 mg/kg, below the limits allowed by FAO/WHO in the nine individuals belonging to four species. It is necessary to reinforce efforts so that the authorities in charge of ASM control pay attention to the problem, as well as to train residents on the risks of bioaccumulation of heavy metals such as mercury by ingesting contaminated fish.

Keywords: mining, ASM, methylmercury, fish.

1. Introducción

La minería de oro artesanal y en pequeña escala (MAPE) (es un trabajo dedicado a la extracción de oro informal). Actividad que se ha convertido en una de las fuentes de ingreso más empleadas en países en desarrollo, a nivel individual o corporativo. Dicha técnica utiliza mano de obra no calificada para extraer y procesar oro. Los sectores más frecuentes que realizan esta labor son agrícolas, ya que, sus ingresos por sí solos no pueden sustentar los medios de vida de familias y comunidades [1]. A escala mundial entre 70 y 80% de trabajadores que se dedican a la minería ilegal son informales. En esta actividad las principales herramientas utilizadas son primitivas, tales como bateas, canalones, pulsadores, mesas vibradoras, separadores centrífugos, etc. para la extracción de oro en ambientes fluviales [2]. El sector del MAPE se clasifica en dos formas: primero, "tipo de viaje", en la cual, mineros se trasladan desde su área local a los espacios de mina, y segundo, "tipo de campamento", en el que los trabajadores habitan y desarrollan actividades mineras en lugares informales de trabajo [3]. El aumento de progresión en mano de obra en el sector de minería de oro artesanal se ha ampliado, la razón, es por la demanda de precio, el cual ronda los 1710 dólares/oz [4].

En la actualidad existe un aumento por demanda de recursos minerales que contribuye al crecimiento de la industria minera en el mundo [5]. Uno de los metales más demandados es el Oro (Au), debido a que históricamente ha sido una moneda de intercambio comercial, se usa de reserva monetaria en diferentes países a nivel mundial, además, no se oxida y es muy versátil, ya que, puede estirarse en alambres, martillarse en láminas y moldearse en formas, como objetos decorativos, joyería fina. La MAPE contribuye en un 25% del total de la producción aurífera a nivel mundial y se considera que este segmento es uno de los más contaminantes [6]. Esto ha provocado impactos a los ecosistemas nexos a las zonas de actividad MAPE y problemas a la salud humana debido al uso de metales pesados como el mercurio (mercurio elemental, Hg) y metilmercurio (mercurio orgánico, MeHg); [7], elementos que de forma natural no afectan a la biodiversidad, pero en grandes cantidades pueden ocasionar afecciones que fácilmente llevara a la muerte a individuos que estén expuestos a elevadas concentraciones [3].

El principal elemento que se usa para la extracción de oro en la MAPE es el mercurio [1], el cual es uno de los 10 metales más nocivos según la Organización Mundial de la Salud (OMS) causando una contaminación ambiental significativa, además, muy peligro para la salud pública de

mineros y las comunidades aledañas [8]. El metal se une al mineral formando una amalgama de oro-Hg, el cual es llevado a los domicilios de los mineros locales a fundirla para extraer el oro, una vez que la amalgama es incinerada se libera 50% Hg al medio ambiente y 50% de vapor a la atmósfera, donde puede oxidarse en Hg iónico. Este elemento químico puede caer en cuerpos de agua directamente o depositarse en la superficie de la tierra y ser arrastrado a un sistema acuático por escorrentía [1].

Aquella contaminación por mercurio se ha observado en gran medida en las regiones de América del Sur, África y Asia [8]. Además, existe información de impactos ambientales ligados MAPE tales como, la deforestación, cambios geomórficos e hidrológicos, así también, problemas de salud, como, la intoxicación por mercurio, y diversas lesiones asociadas con las actividades de minería aurífera [9], [10]. Sin embargo, a pesar de sus considerables impactos socio ambientales, más de 80 países en vías de desarrollo son dependientes de la minería de oro artesanal y en pequeña escala (MAPE) para moderar la pobreza y su desarrollo socioeconómico [11].

Cuando el mercurio iónico entra en el agua, sufre tres transformaciones principales. Primero, es capaz de volverse a volatilizarse en Hg elemental. Segundo, se absorbe en sedimentos de lagos, ríos y embalses. Finalmente, en condiciones anaeróbicas en el fondo de los cuerpos de agua y en la interface sedimento-agua, las bacterias reductoras de sulfato pueden metilar el Hg iónico para convertirse en metilmercurio (MeHg), la forma más perjudicial de Hg. Este compuesto neurotóxico puede ser ingerido por el plancton, adentrándose en la cadena trófica a través de la bioacumulación en especies depredadoras longevas como tiburones y moluscos [1]. En consecuencia, los peces pueden recolectar niveles significativos de MeHg, mismos que son consumidos por humanos o vida silvestre. El MeHg se encuentra en la proteína de pescado y no se degrada por ningún proceso de cocción o limpieza [12].

La minería de oro artesanal y en pequeña escala (MAPE) en Ecuador representa una actividad productiva, la cual ha generado fuentes de empleo e ingresos para miles de personas, de forma directa o indirectamente, es especial para las comunidades rurales. Se registra en 2016 un total de 1821 permisos de minería artesanal de minerales metálicos, la concentración fue en las provincias del sur del país como, Zamora Chinchipe, Loja, El Oro, Morona Santiago, Azuay, así como, en el lado nororiental en las provincias de Napo y Sucumbíos. Dichos datos comprenden 10.979 hectáreas concesionadas para la minería artesanal, correspondiendo al 0,23% del territorio ecuatoriano, dejando de lado las áreas naturales protegidas. La minería artesanal tiene el mayor número de unidades operativas en el país [13].

En la actualidad, las moradores y aledaños asentadas dentro del Cantón Cáscales, no disponen de información sobre la minería de oro artesanal y en pequeña escala (MAPE) y sus múltiples impactos socio ambientales como: daño a la biodiversidad, deforestación, pérdida de fuentes hídricas (ríos, esteros), problemas de salud, como la intoxicación por metilmercurio proveniente del consumo de peces de ríos que atraviesan aquella zona; en especial las comunidades indígenas que basan su alimentación en la pesca diaria; por tal razón, es importante conocer la concentración de metilmercurio en estas especies. En este contexto, se han establecido objetivos que respondan a la problemática. Primero: establecer las zonas de minería de oro artesanal y en pequeña escala (MAPE) en el Cantón Cáscales. Segundo: determinar la concentración de metilmercurio en peces utilizando materiales de laboratorio especializado. Tercero: establecer estrategias que permitan mejorar el control y seguimiento de actividad minera en la zona de estudio.

2. Materiales y métodos

Los materiales y métodos deben describirse con suficientes detalles para que otros puedan reproducirse y basarse en los resultados publicados. Tenga en cuenta que la publicación de su manuscrito implica que debe poner a disposición de los lectores todos los materiales, datos, código informático y protocolos asociados con la publicación. Sírvase revelar en la etapa de presentación cualquier restricción sobre la disponibilidad de materiales o información. Los nuevos métodos y protocolos deben describirse en detalle, mientras que los métodos bien establecidos pueden describirse brevemente y citarse adecuadamente. Por lo general es recomendable separar en dos secciones:

2.1 Área de estudio

El Cantón Cáscales es conocida como la tierra del dorado amanecer, conserva parte de los recursos naturales a su alrededor, es considerado uno de los cantones con más biodiversidad, además, residen grupos étnicos como la comunidad Cofán [14], que mantienen vivas sus tradiciones ancestrales [15], se encuentra en la provincia de Sucumbíos, Ecuador. Su población es de 11.104 habitantes, cuenta con una superficie de 1.248 km², con un rango altitudinal entre 300 y 2200 metros sobre el nivel del mar (m.s.n.m.). Además, posee cabeceras fluviales como el río Cáscales, Taruka, Blanco, Aguarico. (Figura 1). Cuenta con 4 parroquias, la principal el Dorado de Cáscales, Santa Rosa de Sucumbíos, Sevilla y La Troncal. Sus límites cantonales son: al norte la frontera con Colombia, sur la Provincia de Orellana, este con el Cantón Lago Agrio y oeste con los cantones Sucumbíos y Gonzalo Pizarro. En la parte alta, entre Bermejo y sur de La Troncal posee un clima templado y en la parte baja correspondiente al Dorado de Cáscales, Sevilla y Santa Rosa, el clima es cálido-húmedo. Su desarrollo económico lo obtienen gracias a la agricultura, ganadería, maderería, avícola, comercio, piscicultura y turismo. No obstante, en los últimos años se ha incrementado la actividad minera como parte del desarrollo económico en zonas rurales del Cantón Cáscales [13].

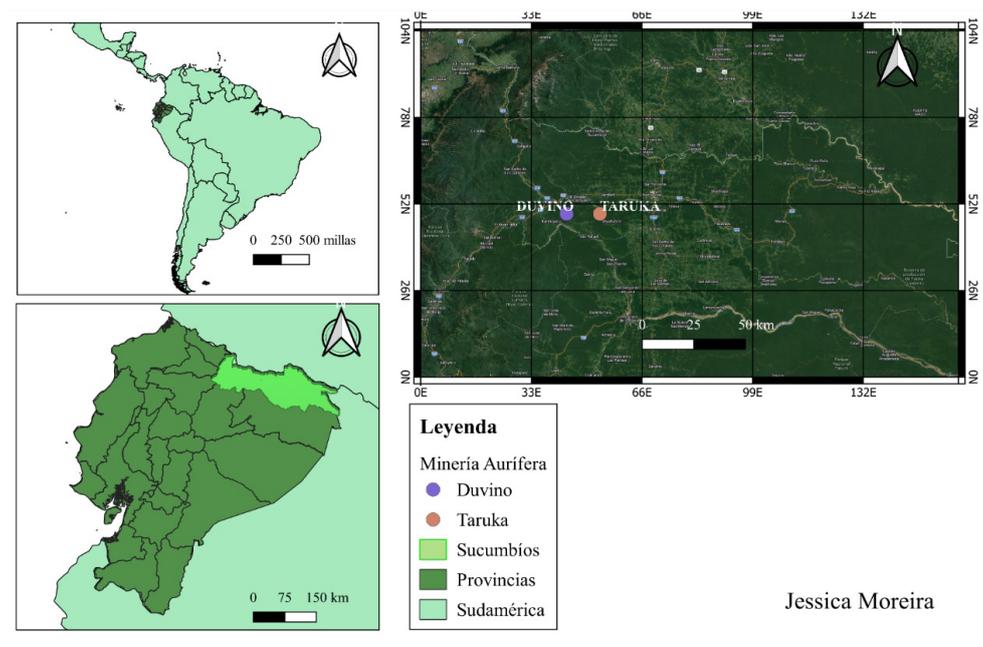


Figura 1. Área de estudio, ríos: Duvino y Taruka, cantón Cáscales

Una gran proporción de cuencas hídricas tales como, ríos, arroyos y lagunas, con una enorme variedad de ambientes naturales, señalan el componente hídrico como el recurso más utilizado con aprovechamiento para consumo y ocio. Razón por la cual, el presente estudio se desarrolló en dos ríos del Cantón Cáscales; río Duvino $0^{\circ}04'41.6''N$ $77^{\circ}15'57.2''W$, y río Taruka

0°10'18.8''N 77°07'16.5''W. En estas zonas es posible observar paisajes naturales representativos como la selva amazónica, el río aguarico, montañas, bosque nublado y personas de etnias indígenas recorriendo sus carreteras.

2.2 Métodos

El diseño metodológico del presente estudio es de tipo exploratorio, descriptivo y explicativo. Con enfoque mixto cualitativo-cuantitativo. Se utilizó estrategias de trabajo individual que responden a los objetivos establecidos en el presente estudio (anexo 1). Para establecer las zonas de minería de oro artesanal y en pequeña escala (MAPE) en el Cantón Cáscales se utilizó diversas técnicas, revisión biográfica, análisis del catastro minero, entrevistas de campo [16] y observación directa en campo [17]; [18]. De este modo, se optó por aplicar entrevistas semi-estructuradas en la presente investigación [19], se siguió los pasos expuestos en el anexo 2 que permitió de manera ordenada realizar la entrevista. Por otra parte, para la identificación de especies se utilizó guías de identificación como, Peces comunes del Río Napo y sistema lacustres de Limoncocha y Cuyabeno [20] y Peces del medio Amazonas [21]. Adicional, para determinar la concentración de metilmercurio en peces se utilizó el analizador directo de mercurio AAA-PI-A003/AAA-PI-S001 del laboratorio acreditado de la ciudad del Coca ANAVANLAB [22]. Finalmente, para establecer estrategias que permitan mejorar el control y seguimiento del MAPE en la zona de estudio se utilizó la técnica denominada "juicio de expertos" [23].

2.2.1 Establecimiento de zonas de minería de oro artesanal y en pequeña escala (MAPE) en el Cantón Cáscales

Para establecer el área de estudio se utilizó tres herramientas metodológicas, revisión bibliográfica [24], registro del catastro minero y entrevistas de campo [19]. En revisión bibliográfica se utilizó literatura científica en bases de datos como Google académico y MDPI. En el lapso de búsqueda se aplicaron filtros y parámetros que permitieron seleccionar el rango de los últimos cinco años, los cuales contengan temáticas que respondan a los objetivos de la investigación. A través del catastro minero se estableció las concesiones mineras del área de estudio, aplicando filtros de búsqueda específicos

Para complementar la investigación se aplicó el método de entrevistas de campo semiestructuradas utilizando una guía temática (anexo 6) que sirvió de lista de control para garantizar que todos los entrevistados proporcionen información sobre los mismos temas según lo recomendado por [25]. La entrevista fue dirigida a Ricardo Caicedo, guardaparques del Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica en la Reserva Ecológica Cofán Bermejo, quien respondió a preguntas enfocadas sobre la gestión del MAPE en el Cantón Cáscales, abordó aspectos referentes a la aplicación y cumplimiento de los procesos de gestión. No se tomó en cuenta a los miembros de la comunidad para la entrevista, ya que, son comunidades alejadas y poco accesibles a la comunicación, razón por la cual, no se realizó la entrevista con personas de las comunidades.

2.2.2 Identificación de especies

El trabajo de campo se realizó en Julio del 2022, en cinco visitas en dos ríos del cantón cáscales, en la cual se recolectó toda la información necesaria de nuestra área de estudio. Se utilizó la metodología planteada por [22] como primer paso se procedió a insertar en las orillas de los ríos trampas de agua, la cual consiste en una botella plástica de galón con entrada para el individuo con carnada en el interior. Para aumentar las posibilidades de captura se optó por utilizar caña de pescar de nailon y anzuelo con carnada fresca, hígado de res, bajo sol y lluvia. Las dos áreas de muestreo fueron seleccionadas por la accesibilidad desde la orilla hacia el agua, además, se evitó las zonas con demasiada turbulencia y las partes rocosas no profundas. Adicional, del total del área de estudio no se consideró los hogares con alcantarilla hacia el río, ya que suelen contener componentes químicos, como detergentes. Finalmente, para evitar alteraciones del mercurio se

liberaron peces < 5 cm debido a que su tamaño no era adecuado para determinar con precisión la especie.

Establecidas las áreas de pesca en los dos ríos del Cantón Cáscales, se procedió a realizar el conteo de los individuos, para lo cual se consideró los tipos de especies presentes en cada río. Se empleó métodos mortales cortando la cavidad cerebral del pez con un cuchillo de acero inoxidable. Los individuos capturados fueron identificados, contados y medidos en longitud total. Para la toma de datos se utilizó como herramienta una libreta de campo. Además, se fotografió usando la cámara del celular iPhone 11 Pro Max, facilitando la identificación. Las muestras fueron separadas en bolsas Ziploc y colocados en un cooler (-20 °C) siguiendo los protocolos de cadena de custodia hasta su ingreso en el laboratorio para posterior procesamiento y análisis. Para el registro se consideraron los siguientes aspectos: número de individuos, nombres comunes, nombres científicos, familias, género y si es posible especie.

Para el reconocimiento de los especímenes se utilizó documentos de identificación como la guía, Peces comunes del Río Napo y sistema lacustres de Limoncocha y Cuyabeno y Peces del medio Amazonas. Se registró y organizó las muestras en una hoja de Microsoft Word 2019, para tener un orden de las especies recolectadas junto a su correspondiente río. Finalmente, para evitar duplicación de registros en el área de estudio se procedió a fotografiar los ejemplares, conservando un respaldo en archivos digital.

2.2.3 Concentración de metilmercurio en peces (laboratorio ANAVANLAB)

Los metales como el mercurio tienen propiedades de reacción en medio ácido con boro hidruro de sodio, para generar sus respectivos hidruros volátiles. Los hidruros generados son transportados por un gas inerte (argón) a una celda de cuarzo colada en el campo óptico del espectrofotómetro de absorción atómica. En la cual, un haz de luz es dirigido a través de la celda, pasando al monocromador, para llegar al detector. Los hidruros son detectados a determinadas longitudes de onda específica para el elemento, la cantidad de energía absorbida es proporcional a la concentración del elemento en un rango determinado. Para el análisis de muestras de metilmercurio se utiliza el ensayo, Metales por Absorción Atómica y Generación de Hidruros. Procedimiento específico, AAA-PE—SO12. Técnica, Espectrofotometría de Absorción Atómica – Generación de Hidruros. Rango de mercurio (0,1 a 50) mg/Kg. Método de referencia, Mercurio: EPA 7061 A. 1992; EPA 3015, 2007.

Luego de medir la longitud de los individuos pescados, se procedió a homogeneizarlos utilizando una licuadora de acero inoxidable. Se analizó el metilmercurio del material homogeneizado de peces individuales completos, todo el material fue introducido en el analizador directo de a kilo mercurio, procedimiento de toma de muestra utilizado por el laboratorio acreditado de la ciudad del Coca ANAVANLAB: AAA-PI-A003/AAA-PI-S001; [22]. Se realizó un solo ensayo, 10 días de concentración en el analizador de muestras, tiempo suficiente para determinar la concentración del material homogeneizado completo de cada pez. El procedimiento operativo desarrollado se basó en unidades de medida mg/kg. Los valores se han estimado con $k=2$, nivel de confianza 95,45%.

2.2.4 Estrategias

Para establecer estrategias en el control y seguimiento del MAPE en el Cantón Cáscales se utilizó la técnica juicio de expertos, dicha técnica se caracteriza por reunir varios especialistas en una mesa redonda para debatir sobre un tema específico [23]. Dicha técnica realiza un juicio basado en un conjunto específico de criterios y/o experiencia que se ha adquirido en un área de conocimiento específica, o área de producto, una disciplina particular, una industria, etc. [26]. Aquella base de conocimiento puede ser proporcionada por un miembro del equipo del proyecto o varios miembros del equipo del proyecto, o por un líder de equipo o líderes de equipo. En el presente estudio se contó con la participación de especialistas en biología, monitoreo ambiental, remediación

de pasivos ambientales, espacios naturales protegidos y expertos en tema aurífero, quienes ayudaron a estipular estrategias para control y seguimiento MAPE.

1.2 Métodos

En este apartado escribirá de forma clara todos los procesos, experimentos, pasos, técnicas realizadas en su investigación. Es muy importante describa de forma precisa y clara, con el objetivo que otros lectores puedan replicar su estudio. En el mayor de los casos si este apartado no es claro, existe una alta probabilidad de rechazo para su documento. Use tablas, diagramas, figuras, formulas... Ejemplo:

3. Resultado y Discusión

3.1 Establecimiento de zonas de minería de oro artesanal y en pequeña escala (MAPE) en el Cantón Cáscales

Mediante el método de revisión bibliográfica se obtuvo 28 artículos, los cuales se sometieron a un filtro manual, que consistió en la lectura de los títulos, resumen y palabras claves, permitiendo apartar los documentos que no tienen relación con el tema. Es así, que finalmente los documentos seleccionados para el análisis de literatura científica fueron dos. Adicional, dos guías de identificación de especies. (Tabla 1).

Tabla 1. Documentos utilizados como información del área de estudio

#	Título	Año
1	Proximity to Riparian Wetlands Increases Mercury Burden in Fish in the Upper St. Lawrence River	2022
2	Artisanal and Small-Scale Gold Mining (ASGM): Management and Socioenvironmental Impacts in the Northern Amazon of Ecuador	2022
3	Peces comunes del Río Napo y sistema lacustres de Limoncocha y Cuyabeno	2016
4	Peces del medio Amazonas	2006

Fuente: [22]; [27]; [20]; [21]

Considerando el catastro minero, se identificaron 30 concesiones mineras de minería de oro artesanal en pequeña escala (MAPE) en el Cantón Cáscales, de las cuales se han tomado en cuenta las de mayor superficie de explotación, resultando cinco zonas (tabla 2). Contrastado la revisión bibliográfica y la entrevista semiestructuradas de campo, se determina que los ríos con mayor actividad minera son; el río Cáscales, Bermejo, Taruka, Betano, Bodoqueda y Duvino. A pesar que es diversas las zonas donde se desarrollan actividad minera, cada una representa un riesgo al momento de entrar, ya que son informales. Además, mediante el análisis se estableció los perjuicios por mencionada actividad hacia el medio ambiente, contaminando los ríos y bosques por la deforestación. Adicional, se manifiesta las diferencias entre MAPE pequeña escala y minería a mediana escala, sobresalen las herramientas utilizadas por cada una de ellas, siendo rudimentarias en el caso de MAPE y maquinaria como retroexcavadora para el otro tipo de minería. De la misma

manera, a través de los resultados del actor social en la entrevista y observación directa en campo se evidencia que los ríos más afectados que han cambiado sus condiciones físicas, químicas y biológicas por el MAPE son dos: río Duvino, temperatura promedio de 28°C. 0°04'41.6"N 77°15'57.2"W coordenada geográfica correspondiente a la toma de muestra. Río Taruka, temperatura promedio de 30°C. 0°10'18.8"N 77°07'16.5"W coordenada geográfica perteneciente a la toma de muestra.

Tabla 2. Concesiones mineras con mayor superficie del Cantón Cáscales

Nombre de la concesión	Titular	Fase del recurso mineral	Tipo de solicitud	Minerales de interés	Estado actual	Superficie /KM	Tipo de mineral	Régimen
Gladysbon	Bonilla Huilca Gladys Janeth	Exploración-Explotación	Minería artesanal	Oro	Inscrita	6	Metálico	Pequeña minería
Leticiauno	Vernaza Landazuri Jermy Leticia	Exploración-Explotación	Minería artesanal	Oro	Inscrita	6	Metálico	Pequeña minería
Sarahi	Vidal Gomez Antonio	Exploración	Concesión minera	Oro	Inscrita	289	Metálico	Pequeña minería
Siriyacu	Gongora Pablo Eduardo	Exploración-Explotación	Concesión minera	Oro	Inscrita	299	Metálico	Pequeña minería
El tuerto	Global mineral business gmb s.a.	Exploración inicial	Concesión minera	Oro plata cobre	Inscrita	1.94 0,00	Metálico	Mediana minería

Por otra parte, el metal más empleado para la extracción de oro es el mercurio, siendo bien conocido en el sector, no solo por los resultados que brinda al momento de desarrollar minería aurífera en los afluentes, sino también por el perjuicio masivo hacia el medio ambiente y la salud pública de los moradores. Se reflejó temas como la bioacumulación de este metal en forma orgánica, sobre todo en peces, siendo de preocupación, ya que, los habitantes del sector suelen pescar en los ríos donde se lleva cabo el MAPE. Sin embargo, algunas personas conocen referencia del tema, razón por la cual, no se comercializa de forma masiva este alimento, más bien, lo hacen para el sustento de familias o comunidades, no obstante, no restringe el daño que causa el metilmercurio en la cadena trófica. Finalmente, el Ministerio cuenta con planes de control minero, de pesca

indiscriminada con insecticidas y dinamita en los sectores más prominentes y de fácil acceso como el río Bermejo. Sin embargo, no abarcan todos los puntos de actividad minería como los tributarios del presente estudio, razón por la cual, sugieren el aumento de personal y ayuda militar para llegar a los sectores más remotos del cantón, a su vez, desabastecer los puntos en los que se desarrolla MAPE

3.2 Identificación de especies capturadas en las áreas de estudio del Cantón Cáscales

Acorde a los datos obtenidos del trabajo en campo ejecutado en los dos ríos del Cantón Cáscales, por medio de dos técnicas empleadas, se logró capturar cinco individuos pertenecientes a dos especies identificadas en el río Taruka, con tres niveles tróficos herbívoros, omnívoros y piscívoros. De la misma manera, cuatro individuos correspondientes a tres especies en el río Duvino, con tres niveles tróficos herbívoros, omnívoros y piscívoros. De las cuales, taxonómicamente comprenden tres familias, tres géneros y cuatro especies del total del área de estudio (Tabla 3).

Tabla 3. Especies de peces identificados en el área de estudio

#	Nombre científico	Individuos	Longitud (cm)	Río
1	<u><i>Pimelodus blochii</i></u>	1	15cm x 7cm	Duvino
2	<u><i>Piaractus brachypomus</i></u>	1	12cm x 5cm	Duvino
3	<u><i>Astyanax bimaculatus</i></u>	3	13cm x 6cm 14cm x 7cm 15cm x 8cm	Duvino/Taruka
4	<u><i>Pimelodus maculatus</i></u>	4	13cm x 6cm 15cm x 7cm 18cm x 8cm	Taruka
	Total	9	20cm x 10cm	

Un reciente estudio realizado en las comunidades de la amazonia brasileña acerca del Metilmercurio en peces [28] utilizando la metodología de pesca artesanal con redes de enmalle y líneas de mano, señala resultados de captura de 88 individuos clasificados en 17 especies con cuatro niveles tróficos, herbívoros, detritívoros, omnívoros y piscívoros. En la cual, la clasificación de piscívoros señalan concentraciones mayores de metilmercurio en comparación a los demás. Afirmando este dato a través de la bioacumulación positiva en relación al tamaño del ejemplar. *Serrasalmus rhombeus* (piraña negra) fue la especie con mayor concentración de metilmercurio. Además, los resultados señalan que las comunidades del área de estudio un 96% de familias consumen pescado

esporádicamente, siendo; *Pseudoplatystoma fasciatum*, *Pirinampus pirinampu*, *Cichla ocellaris*, geófago, *Prochilodus nigricans*, las especies más consumidas, de las cuales, todas representan concentración de metilmercurio, siendo un perjuicio para la salud de los consumidores.

Dentro del área de estudio en el Cantón Cáscales, la especie con mayor longitud desde la punta de la cola hasta la punta del hocico fue un individuo de la especie *Pimelodus maculatus* con 20 centímetros de largo y 10 centímetros de ancho, capturada en el río Taruka. De la misma manera, la especie con menor longitud fue *Piaractus brachypomus* con 12 centímetros de largo y 5 centímetros de ancho, capturada en el río Duvino. Se considera que, las poblaciones de especies de bagres se adaptan muy bien a cualquier hábitat con suficiente alimento para su desarrollo, además, se debe que estas especies son más generalistas en el área de estudio. Por lo contrario, la población de cachama es escasa, debido a su popularidad en el mercado. Se recomienda realizar trabajos futuros para analizar la dinámica poblacional de estas especies..

3.3 Concentración de metilmercurio en peces del Cantón Cáscales

Mediante los datos obtenidos en el laboratorio acreditado de la ciudad del Coca ANAVANLAB a través del método analítico para metilmercurio AAA-PE-S012/ EPA 7061 A / 7471 B, 3051, tanto para el río Taruka y río Duvino del Cantón Cáscales se obtuvo una concentración de < 0,1 en unidades de medida mg/Kg (tabla 4). Este resultado están por debajo del límite permitido para alimentación en un 0,2 mg/Kg, según la FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación) y OMS (Organización mundial de la salud) en la cual estipula su límite en 0,3 mg/kg [29].

Así mismo, se analizó los límites que se deberían consumir proteína de pez por día, según los límites establecidos por las dos organizaciones. Para mujeres en edad fértil y niños, el límite es de 0,00023 mg/kg, por otro lado, para adultos en general, lo máximo es de 0,00045 mg/kg [28]. Esto quiere decir que se debería consumir menos de un pescado por día, debido que, aunque sea poca la concentración de metilmercurio puede llegar a afectar zonas del cerebro, sistemas nervioso central y periférico, entre los órganos más importantes que sufren lesiones por este elemento químico.3.1. Subsección

Tabla 4. Comparación, resultados actuales con límites FAO.

Área de estudio.	Número de ensayos/duración	Número de individuos analizados	Concentración metilmercurio, área de estudio	Límites FAO
Río Taruka	Un ensayo realizado en concentración de 10 días.	Cinco individuos.	< 0,1 mg/kg.	0,3 mg/kg.
Río Duvino	Un ensayo realizado en concentración de 10 días.	Cuatro individuos.	< 0,1 mg/kg.	0,3 mg/kg.

De la misma manera, el estudio realizado por [30] en el sur de Italia, desde mayo hasta Julio del 2019, comparo 152 ejemplares del área mediterránea pertenecientes a especies de peces

demersales–pelágicos y bentónicos. Las especies como el atún rojo, pez espada, y atún blanco, se recolectó cortes de diferentes individuos, un total de 15 individuos alrededor de 0,2 kg de tejido muscular. Para los demás especímenes, después de su respectiva recolección fueron separados de forma individual en bolsas ziploc para ser trasladados al laboratorio, en la cual se homogenizó y se conservó en condiciones de frío por debajo de -20°C , igual al método utilizado en el presente estudio del Cantón Cáscales.

Los principales resultados del estudio de Barone, establecen concentraciones diferentes para cada ejemplar, siendo de menor a mayor 0,02–0,55 mg/kg respectivamente. La diferenciación de concentración de metilmercurio se debe a las diversas interacciones que el espécimen está involucrado o sometido, como, tasa de crecimiento, tamaño, sexo, edad, también factores ecológicos como el alimento, hábitat y ambiente donde se desarrolla cada uno, así mismo, la disponibilidad de mercurio total, tasa de metilación y producción primaria, los cuales afectan al proceso de bioacumulación de Hg en la biota marina. En conclusión, el análisis de laboratorio revela que las especies carnívoras pelágicas con jerarquía terminal en la cadena trófica como, el pez espada 0,55 mg/kg, atún rojo 0,47 mg/kg, atún blanco 0,38 mg/kg, presentan concentraciones de metilmercurio mayores que las otras especies de carnívoros pelágicos. Por esta razón y según los límites establecidos por el Reglamento de la Comisión Europea, sus resultados demuestran que las especies estudiadas sobrepasan el límite permitido de 0,30mg/kg. De forma general, los organismos, especies que se desarrollan en ambientes con contacto de sedimentos y alimentación planctónica o carnívora son más propensos a bioacumular el Hg en forma de metilmercurio, al igual que las especies que viven en afluentes hídricos donde se practica MAPE.

3.4 Estrategias MAPE

Aunque los resultados de concentración en metilmercurio no es evidente en la ictiofauna capturada en el área de estudio del Cantón Cáscales se considera que, no se debería descuidar los impactos que genera la minería de oro artesanal en pequeña escala (MAPE), ya que, el mercurio es apenas uno de los indicadores de contaminación ambiental. Es fundamental para mantener las condiciones ambientales y buena salud ecosistémica continuar el rastreo e inspección de actividades mineras auríferas. En este sentido, se ha planteado por medio de la técnica utilizada juicio de expertos los siguientes ejes estratégicos: ordenanzas en control y seguimiento de actividades auríferas por parte del gobierno autónomo del cantón, provincia, e instituciones como el MAATE, la cual, cuenta con un plan de manejo para dicho control, pero no en su totalidad. Contratación de mano de obra calificada en campo y laboratorio, como profesionales especialistas en minería aurífera, calidad de agua y otros ámbitos de interés. Adicional, incentivar campañas de educación ambiental para disminuir el uso indiscriminado de mercurio. Además, relaciones institucionales, mediante convenios y alianzas para mejor control y seguimiento adecuado de actividades mineras auríferas. Así mismo, es primordial reforzar el tema de capacitaciones a los moradores y mineros sobre el peligro que conlleva el manejo inadecuado de mercurio, ya que, somete un daño irreversible hacia el medio ambiente y salud pública de familias enteras. De la misma manera, concientizar el consumo de peces de río, puesto que, es un alimento que acumula metilmercurio, es decir, un elemento dañino para el organismo. Finalmente, se deberá reforzar los controles por parte de las fuerzas armadas del Ecuador, con el objetivo de disminuir los puntos de actividad MAPE en el Cantón, Provincia y País, esto facilitará el trabajo y control de las autoridades encargadas.

Es importante proponer recomendaciones para el desarrollo de nuevos estudios de minería aurífera en los otros afluentes del Cantón Cáscales. De tal manera, que se podrá comparar la concentración de metilmercurio en otras especies de peces, ya que, puede variar por el diferente

tipo de organismo, edad y presencia de mercurio en los ríos. Finalmente se debe tener cautela con las especies que se encuentran en ríos en los que se practican MAPE, ya que, si bien los resultados no demuestran elevadas concentraciones, a futuro será perjudicial por la acumulación de metilmercurio en organismos consumidores de la cadena trófica, llegando a ser una preocupación mayor para las personas que consuman proteína de pez de forma esporádica.

4. Conclusión

Examinando los resultados obtenidos en la presente investigación, se han identificado un total de 30 concesiones mineras auríferas en el Cantón Cáscales, de las cuales 22 son artesanales en pequeña escala. Los actores sociales establecen que las zonas en las que se desarrolla actividad de minería de oro artesanal en pequeña escala (MAPE) son los afluentes del sector, como el río Taruka y río Duvino, esto quiere decir que el control y seguimiento de actividad MAPE debe ser mejorada por parte de las autoridades encargadas, pues, en el proceso de extracción de oro se están perdiendo grandes masas de agua y su biodiversidad existente en el sitio, así como, atractivos turísticos del cantón y alimento indispensable para las familias aledañas. De tal manera, la falta de apoyo económico, personal especialista y de campo para el control diario de la minería aurífera en el extenso terreno es innegable.

En los dos puntos de estudio en el Cantón Cáscales se logró identificar 9 individuos de ictiofauna pertenecientes taxonómicamente a 4 especies, clasificadas en 3 familias y 3 géneros, con tres niveles tróficos para los dos ríos, herbívoros, omnívoros, piscívoros. Todas las especies presentan concentración de metilmercurio, en medida de $< 0,1$ mg/kg, por debajo de los límites permisibles establecidos por la FAO siendo en la actualidad 0,3 mg/kg. Inicialmente la concentración de metilmercurio no es elevada e indica una buena salud ambiental para el consumo de peces por los moradores, sin embargo, al ser un material bioacumulable a futuro si se continúa consumiendo proteína de pescado puede llegar a ser perjudicial para la salud. Por lo tanto, se debe concientizar el consumo de peces de río, en especial las que provienen de fuentes hídricas donde se practica MAPE, evitando enfermedades irreversibles en el organismo, como el cerebro, sistema nervioso central y periférico.

Estos resultados de la actual investigación se tendrán que tomar en cuenta para futuros estudios, comparando con las demás zonas donde se realiza minería aurífera. Además, se podría determinar la calidad de agua de los ríos del Cantón Cáscales, ya que, como se ha venido pronunciado existe contaminación por la minería y deforestación. Adicional, se podrá estudiar el desarrollo de las especies acuáticas que se desarrollan en el río. Complementando, al ingresar a los afluentes del sector se observa varios insectos, el cual es otro punto de investigación que se podrá establecer. Así mismo especies de reptiles, aves, y mamíferos los cuales serán de investigación oportuna para futuros estudios.

Finalmente, las limitaciones de la actual investigación fueron ante todo el riesgo que se toma al entrar a los puntos de minería, ya que, al ser una actividad ilegal se toma el riesgo de ser intervenido por los dueños de la zona, además, son ríos bastantes alejados de la civilización pues, se podría llegar a encontrar con personas antisociales. Adicional, el corto tiempo correspondiente al trabajo de campo impidió realizar mayor muestreo que permita tener unos resultados más robustos. Por otra parte, el factor económico fue otro de los contratiempos, debido que, para ingresar a las áreas de estudio se debe tomar diversos medios de transporte, que van desde carro particular o transporte público. Además, el precio elevado del análisis en laboratorio de metilmercurio, ya que, son varios químicos utilizados en el proceso para obtener los resultados deseados. En concreto, estos datos abren paso para comparar y realizar nuevas investigaciones de concentración de metilmercurio en peces a causa de MAPE, se sugiere realizar nuevas investigaciones en el área de estudio o zonas aledañas.

Financiamiento: Los autores financiaron a integridad el estudio.

Conflictos de interés: Los autores declaran no tener ningún conflicto de intereses.

Referencias

1. Kyaw, W.T.; Sakakibara, M. Transdisciplinary Communities of Practice to Resolve Health Problems in Southeast Asian Artisanal and Small-Scale Gold Mining Communities. *Int. J. Environ. Res. Public Heal.* 2022, 19.
2. Fritz, M.; McQuilken, J.; Collins, N.; Weldegiorgis, F. *Global Trends in Artisanal and Small-Scale Mining (ASM): A Review of Key Numbers and Issues*; JSTOR, 2018;
3. Kimijima, S.; Sakakibara, M.; Nagai, M. Investigation of Long-Term Roving Artisanal and Small-Scale Gold Mining Activities Using Time-Series Sentinel-1 and Global Surface Water Datasets. *Int. J. Environ. Res. Public Heal.* 2022, 19.
4. Goldprice Goldprice.
5. Li, T.; Li, Y.; An, D.; Han, Y.; Xu, S.; Lu, Z.; Crittenden, J. Mining of the Association Rules between Industrialization Level and Air Quality to Inform High-Quality Development in China. *J. Environ. Manage.* 2019, 246, 564–574.
6. Basir; Kimijima, S.; Sakakibara, M.; Pateda, S.M.; Sera, K. Contamination Level in Geo-Accumulation Index of River Sediments at Artisanal and Small-Scale Gold Mining Area in Gorontalo Province, Indonesia. *Int. J. Environ. Res. Public Heal.* 2022, 19.
7. Korça, B.; Demaku, S. Evaluating the Presence of Heavy Metals in the Vicinity of an Industrial Complex. *Pol. J. Environ. Stud* 2020, 29, 3643–3649.
8. Soe, P.S.; Kyaw, W.T.; Arizono, K.; Ishibashi, Y.; Agusa, T. Mercury Pollution from Artisanal and Small-Scale Gold Mining in Myanmar and Other Southeast Asian Countries. *Int. J. Environ. Res. Public Heal.* 2022, 19.
9. Emel, J.; Plisinski, J.; Rogan, J. Monitoring Geomorphic and Hydrologic Change at Mine Sites Using Satellite Imagery: The Geita Gold Mine in Tanzania. *Appl. Geogr.* 2014, 54, 243–249.
10. Swenson, J.J.; Carter, C.E.; Domec, J.-C.; Delgado, C.I. Gold Mining in the Peruvian Amazon: Global Prices, Deforestation, and Mercury Imports. *PLoS One* 2011, 6, e18875.
11. Wilson, M.L.; Renne, E.; Roncoli, C.; Agyei-Baffour, P.; Tenkorang, E.Y. Integrated Assessment of Artisanal and Small-Scale Gold Mining in Ghana — Part 3: Social Sciences and Economics. *Int. J. Environ. Res. Public Heal.* 2015, 12.
12. Li, P.; Feng, X.; Qiu, G. Methylmercury Exposure and Health Effects from Rice and Fish Consumption: A Review. *Int. J. Environ. Res. Public Heal.* 2010, 7.
13. Mestanza-Ramón, C.; D'Orío, G.; Straface, S. Gold Mining in Ecuador: Innovative Recommendations for the Management and Remediation of Mercury-Contaminated Waters. *Green World J.* 2021, 4, 11, doi:10.53313/gwj42028.
14. Rivera-Parra, J.L.; Vizcarra, C.; Mora, K.; Mayorga, H.; Dueñas, J.C. Spatial Distribution of Oil Spills in the North Eastern Ecuadorian Amazon: A Comprehensive Review of Possible Threats. *Biol. Conserv.* 2020, 252, 108820, doi:https://doi.org/10.1016/j.biocon.2020.108820.
15. Calderón Aguiar, R.A.; Hidalgo Toalombo, C.H. Video Documental Sobre La Explotación Petrolera En La Comunidad de Cofán-Dureno.: Nuevas Construcciones de Interaccionismo Social Entre Sus Habitantes 2019.
16. Robles, B. La Entrevista En Profundidad: Una Técnica Útil Dentro Del Campo Antropofísico. *Cuicuilco* 2011, 18, 39–49.
17. González, E. La Observación Directa Base Para El Estudio Del Espacio Local. *Geoenseñanza* 2005, 10, 101–105.

18. Rekalde, I.; Vizcarra, M.T.; Macazaga, A.M. La Observación Como Estrategia de Investigación Para Construir Contextos de Aprendizaje y Fomentar Procesos Participativos. *Educ. XX1* **2014**, *17*, 201–220.
19. Díaz-Bravo, L.; Torruco-García, U.; Martínez-Hernández, M.; Varela-Ruiz, M. La Entrevista, Recurso Flexible y Dinámico. *Investig. en Educ. médica* **2013**, *2*, 162–167.
20. Salazar¹, F.N.; , María Belén Benítez², 3 Edwin Zarate¹; Córdova¹, J.F. de; Celi, y J.E. Peces Comunes Del Rio Napo y Sistemas Lacustres de Limoncocha y Cuyabeno. **2016**, *8*.
21. Galvis, G.; Mojica, J.I.; Duque, S.R.; Castellanos, C.; Sánchez-Duarte, P.; Arce, M.; Gutiérrez, A.; Jiménez, L.F.; Santos, M.; Vejarano, S. *Peces Del Medio Amazonas: Región de Leticia*; Panamericana, formas e impresos SA Bogotá, Colombia, 2006; ISBN 9589769063.
22. Osgood, A.; Brahmstedt, E.S.; Windle, M.J.S.; Holsen, T.M.; Twiss, M.R. Proximity to Riparian Wetlands Increases Mercury Burden in Fish in the Upper St. Lawrence River. *Water* **2022**, *14*.
23. Galicia Alarcón, L.A.; Balderrama Trápaga, J.A.; Edel Navarro, R. Validez de contenido por juicio de expertos: propuesta de una herramienta virtual. *Apertura* **2017**, *9*, 42–53.
24. Cué Bruguera, M.; Oramas Díaz, J. Síntesis de Información y Artículos de Revisión. *Acimed* **2008**, *17*, 0.
25. Lerman, A. Types of Interviews, Types of Listening BT – The Non-Disclosing Patient: A Clinician's Guide. In; Lerman, A., Ed.; Springer International Publishing: Cham, 2020; pp. 17–26 ISBN 978-3-030-48614-3.
26. Robles Garrote, P.; Rojas, M. La Validación Por Juicio de Expertos: Dos Investigaciones Cualitativas En Lingüística Aplicada Validation by Expert Judgements: Two Cases of Qualitative Research in Applied Linguistics. **2015**.
27. Mestanza-Ramón, C.; Mora-Silva, D.; D'Orío, G.; Tapia-Segarra, E.; Gaibor, I.D.; Esparza Parra, J.F.; Chávez Velásquez, C.R.; Straface, S. Artisanal and Small-Scale Gold Mining (ASGM): Management and Socioenvironmental Impacts in the Northern Amazon of Ecuador. *Sustain.* **2022**, *14*.
28. Vasconcellos, A.C.; Hallwass, G.; Bezerra, J.G.; Aciole, A.N.; Meneses, H.N.; Lima, M.D.; Jesus, I.M.; Hacon, S.D.; Basta, P.C. Health Risk Assessment of Mercury Exposure from Fish Consumption in Munduruku Indigenous Communities in the Brazilian Amazon. *Int. J. Environ. Res. Public Heal.* **2021**, *18*.
29. FAO-OMS PROGRAMA CONJUNTO FAO/OMS SOBRE NORMAS ALIMENTARIAS COMISIÓN DEL CODEX ALIMENTARIUS, Suiza, 2021;
30. Barone, G.; Storelli, A.; Meleleo, D.; Dambrosio, A.; Garofalo, R.; Busco, A.; Storelli, M.M. Levels of Mercury, Methylmercury and Selenium in Fish: Insights into Children Food Safety. *Toxics* **2021**, *9*.
31. Roza, S. V Unintended Effects of Illegal Economic Activities: Illegal Gold Mining and Malaria. *World Dev.* **2020**, *136*, 105119.
32. Zhongming, Z.; Linong, L.; Xiaona, Y.; Wangqiang, Z.; Wei, L. COVID-19, Rising Gold Prices and Illegal Mining Threaten Indigenous Lands in the Amazon. **2020**.
33. Jokonya, O. Towards a Big Data Framework for the Prevention and Control of HIV/AIDS, TB and Silicosis in the Mining Industry. *Procedia Technol.* **2014**, *16*, 1533–1541.
34. Mora-Silva, D.; Coronel-Espinoza, B. Minería Aurífera Artesanal En La Amazonía Norte Del Ecuador: Gestión e Impactos Socio-Ambientales En La Parroquia El Dorado de Cascales, Provincia de Sucumbíos. *Green World J* **2021**, *4*.
35. Akpor, O.B.; Muchie, M. Remediation of Heavy Metals in Drinking Water and Wastewater Treatment Systems: Processes and Applications. *Int. J. Phys. Sci.* **2010**, *5*, 1807–1817.

36. Tchounwou, P.B.; Yedjou, C.G.; Patlolla, A.K.; Sutton, D.J. Heavy Metal Toxicity and the Environment. *Mol. Clin. Environ. Toxicol.* **2012**, 133–164.
37. Gautam, S.; Anjani, K.; Srivastava, N. In Vitro Evaluation of Excess Copper Affecting Seedlings and Their Biochemical Characteristics in *Carthamus Tinctorius* L.(Variety PBNS-12). *Physiol. Mol. Biol. Plants* **2016**, 22, 121–129.
38. Branco, V.; Caito, S.; Farina, M.; Teixeira da Rocha, J.; Aschner, M.; Carvalho, C. Biomarkers of Mercury Toxicity: Past, Present, and Future Trends. *J. Toxicol. Environ. Heal. Part B* **2017**, 20, 119–154.
39. Amos, H.M.; Jacob, D.J.; Holmes, C.D.; Fisher, J.A.; Wang, Q.; Yantosca, R.M.; Corbitt, E.S.; Galarneau, E.; Rutter, A.P.; Gustin, M.S. Gas-Particle Partitioning of Atmospheric Hg (II) and Its Effect on Global Mercury Deposition. *Atmos. Chem. Phys.* **2012**, 12, 591–603.
40. Hudelson, K.E.; Drevnick, P.E.; Wang, F.; Armstrong, D.; Fisk, A.T. Mercury Methylation and Demethylation Potentials in Arctic Lake Sediments. *Chemosphere* **2020**, 248, 126001.
41. Liu, J.; Jiang, T.; Wang, F.; Zhang, J.; Wang, D.; Huang, R.; Yin, D.; Liu, Z.; Wang, J. Inorganic Sulfur and Mercury Speciation in the Water Level Fluctuation Zone of the Three Gorges Reservoir, China: The Role of Inorganic Reduced Sulfur on Mercury Methylation. *Environ. Pollut.* **2018**, 237, 1112–1123.
42. Eto, K.; Tokunaga, H.; Nagashima, K.; Takeuchi, T. An Autopsy Case of Minamata Disease (Methylmercury Poisoning)—Pathological Viewpoints of Peripheral Nerves. *Toxicol. Pathol.* **2002**, 30, 714–722.
43. Franke, C.; Studinger, G.; Berger, G.; Böbling, S.; Bruckmann, U.; Cohors-Fresenborg, D.; Jöhncke, U. The Assessment of Bioaccumulation. *Chemosphere* **1994**, 29, 1501–1514, doi:[https://doi.org/10.1016/0045-6535\(94\)90281-X](https://doi.org/10.1016/0045-6535(94)90281-X).
44. Chormare, R.; Kumar, M.A. Environmental Health and Risk Assessment Metrics with Special Mention to Biotransfer, Bioaccumulation and Biomagnification of Environmental Pollutants. *Chemosphere* **2022**, 302, 134836, doi:<https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2022.134836>.



© 2022 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license <http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>