



POSGRADOS

MAESTRÍA EN

RECURSOS NATURALES

RENOVABLES CON MENCIÓN EN
REMEDIACIÓN Y RESTAURACIÓN

RPC-SO-17-NO.363-2020

OPCIÓN DE TITULACIÓN:

ARTÍCULOS PROFESIONALES DE ALTO NIVEL

TEMA:

PAPER REVIEW:

CONTAMINACIÓN DE METALES

PESADOS EN EL ECUADOR, UN

ANÁLISIS QUÍMICO,

AMBIENTAL, TOXICOLÓGICO,

NORMATIVO Y ANALÍTICO

AUTOR(ES)

VERÓNICA ALXANDRA CALERO ALMEIDA

DIRECTOR:

PACO NORIEGA RIVERA

QUITO – ECUADOR

2023



Autor(es):



Verónica Alexandra Calero Almeida
Ingeniera Ambiental
Candidata a Magíster en Recursos Naturales Renovables con
Mención en Remediación y Restauración por la Universidad
Politécnica Salesiana – Sede Quito.
veronica.calero.almeida@gmail.com

Dirigido por:



Paco Fernando Noriega Rivera
Químico
Doctor en Ciencias Farmacéuticas
pnoriega@ups.edu.ec

Todos los derechos reservados.

Queda prohibida, salvo excepción prevista en la Ley, cualquier forma de reproducción, distribución, comunicación pública y transformación de esta obra para fines comerciales, sin contar con autorización de los titulares de propiedad intelectual. La infracción de los derechos mencionados puede ser constitutiva de delito contra la propiedad intelectual. Se permite la libre difusión de este texto con fines académicos investigativos por cualquier medio, con la debida notificación a los autores.

DERECHOS RESERVADOS

2023 © Universidad Politécnica Salesiana.

QUITO– ECUADOR – SUDAMÉRICA

Verónica Alexandra Calero Almeida

DEDICATORIA

Este proyecto va dedicado a mi esposo Daniel por ser mi soporte, mi empuje y sostener mi mano cuando sentía que no podía seguir, por su paciencia, amor y valentía. Te amare hasta el fin de mis días.

A mis hijos Juan David y Amelia Constanza por todos los sacrificios que tuvieron que pasar y a pesar de no entender claramente lo que pasaba aguantaron noches largas y momentos que la mami no estaba, les amo con mi vida.

A mis padres Consuelo Almeida y Arturo Calero porque son el mejor ejemplo de esfuerzo y sacrificio, que han demostrado en el camino para sacar a sus hijos y familia siempre adelante, Dios le pague por enseñarme a trabajar duro.

A mis hermanos Lore y Lenin por ser siempre mis mejores amigos y estar en todo momento junto a mi, les amo mis chiquitos.

Les amo familia.

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios y a mi Purita por la vida, por darme a mi familia y por permitirme despertar cada mañana a su lado.

A mis padres por su confianza, por creer en mi, porque siempre me han apoyado, por los valores y enseñanzas diarias.

A mi esposo Daniel y a mis hijos su paciencia y amor.

A mi hermana Lore, cuñado, sobrino Julián por su apoyo incondicional.

A mi hermano Lenin por su valentía y gran valor mi chiquito y sé que llegarás lejos.

A mi Tutor Qui. Paco Noriega por darme la oportunidad de hacer este trabajo, y por su amistad a lo largo de mi vida estudiantil.

A mis maestros por sus conocimientos y por tratar de hacer mejor a este país, a todos ellos un agradecimiento de corazón.

TABLA DE CONTENIDO

RESUMEN.....	7
ABSTRACT.....	8
1. INTRODUCCIÓN.....	9
2. DETERMINACIÓN DEL PROBLEMA.....	14
3. MARCO TEÓRICO REFERENCIAL.....	16
3.1 CONTAMINACIÓN POR METALES PESADOS.....	16
3.1.1 CONTAMINACIÓN AMBIENTAL.....	16
3.1.2 METALES PESADOS.....	18
3.2 IMPLICACIONES DE LA CONTAMINACIÓN POR METALES PESADOS.....	21
3.3 AGENTES CONTAMINANTES.....	22
4. MATERIALES Y METODOLOGÍA.....	27
5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	32
6. CONCLUSIONES.....	42
REFERENCIAS.....	43

PAPER REVIEW:
CONTAMINACIÓN DE
METALES PESADOS EN EL
ECUADOR, UN ANÁLISIS
QUIMICO, AMBIENTAL,
TOXICOLÓGICO,
NORMATIVO Y ANALÍTICO

AUTOR(ES):

VERÓNICA ALXANDRA CALERO ALMEIDA

RESUMEN

[Los metales pesados constituyen contaminantes persistentes y complejos para remediar en la naturaleza, por ello, es necesario conocer a los elementos causante de la polución para comprender sus mecanismos de acción. Con la finalidad de identificar las principales características químicas, ambientales, toxicológicas y normativas que se relacionan con el tema de la contaminación por metales pesados en el Ecuador, entendiendo su incidencia en el medio ambiente y su importancia en el desarrollo. La presente revisión sistematiza información estableciendo como factores de análisis a: los metales pesados, la calidad del aire, la calidad del suelo, la calidad del agua; la generación de agentes contaminantes (minería, refinería, industria), la afectación del medio biótico (flora, fauna y ecosistema) y, finalmente, la toxicología por tipo de metal pesado.

Como principales hallazgos se muestran que el mercurio, plomo, cadmio, arsénico y zinc son los principales metales pesados que contaminan el agua; en el caso del suelo, la mayor contaminación se presentó con el mercurio, cadmio y plomo y, finalmente, en el aire la mayor contaminación fue por plomo. El mayor agente contaminante es la actividad industrial, seguidamente destacan como agentes contaminantes la agroindustria y la refinería de petróleo. El mercurio, el arsénico y el plomo son los metales pesados con mayor presencia y cuyas consecuencias son significativamente graves, por lo que requiere una atención mayor para todas las actividades que usen o generen este tipo de contaminantes.

Palabras clave:

Metales pesados, contaminación, mercurio, arsénico y plomo.

ABSTRACT

[Heavy metals are persistent and complex pollutants to remedy in nature, therefore, it is necessary to know the elements that cause pollution to understand their mechanisms of action. In order to identify the main chemical, environmental, toxicological and regulatory characteristics that are related to the issue of heavy metal contamination in Ecuador, understanding its impact on the environment and its importance in development. This review systematizes information establishing as analysis factors: heavy metals, air quality, soil quality, water quality; the generation of polluting agents (mining, refinery, industry), the affectation of the biotic environment (flora, fauna and ecosystem) and, finally, the toxicology by type of heavy metal.

The main findings show that mercury, lead, cadmium, arsenic and zinc are the main heavy metals that contaminate water; In the case of soil, the greatest contamination was caused by mercury, cadmium and lead and, finally, the greatest contamination in the air was by lead. The biggest polluting agent is industrial activity, followed by agro-industry and the oil refinery as polluting agents. Mercury, arsenic and lead are the heavy metals with the greatest presence and whose consequences are significantly serious, which requires greater attention for all activities that use or generate this type of pollutant .

Palabras clave: |

Heavy metal, pollution, mercury, arsenic and lead.

1. INTRODUCCIÓN

La contaminación ambiental resulta ser uno de los principales temas de interés en contextos globales, pues en la última década del siglo XXI se ha demostrado el profundo interés que existe por establecer y ejecutar estrategias que minimicen el impacto que han generado diferentes actividades humanas tanto en el clima como en el ambiente. Una muestra de ello, ha sido la atención al cambio climático y el ambiente en los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) donde este interés resulta ser uno de los ejes principales de acción incorporados transversalmente para atender los problemas relacionados con: el agua y saneamiento (ODS 6), la energía asequible y no contaminante (ODS 7), las ciudades y comunidades sostenibles (ODS 11), la producción y consumo responsables (ODS12), la acción por el clima (ODS 13) y la vida de ecosistemas terrestres (ODS 15) (Naciones Unidas, 2015).

Los suelos, el agua, el aire se han degradado en gran medida debido a la cantidad de sustancias tóxicas que no sólo provienen de fenómenos naturales, sino que se derivan de actividades humanas como la agricultura, la minería y la industria que cada vez generan más desechos en detrimento del ambiente contribuyendo a la crisis mundial existente en materia de clima y medio ambiente (Jiménez, 2017).

Las actividades industrial y minera son entendidas como las principales responsables en la contaminación por metales pesados que son arrojados al ambiente generando una profunda toxicidad por plomo, mercurio, cadmio, arsénico y cromo que son los más frecuentes, aunado a ello se encuentran las fuentes de emisión por combustibles fósiles, cuyo principal problema es la combustión de gasolina con plomo que representa el principal material suspendido en la atmósfera y que es respirado por las personas (Aguilar, 2019).

De acuerdo a un estudio realizado por la UNICEF, el plomo es uno de los metales pesados que mayor contaminación produce, misma que se aloja en la sangre humana, pues dicho informe indica que en el año 2018 al menos 800 millones de niños tenían niveles de plomo lo que constituye un elevado nivel de envenenamiento por la exposición a este elemento que se encuentra en niveles altos en el agua, la pintura y hasta cerámicas lo cual genera alarma debido a que es una potente neurotoxina cuyos daños en el cerebro

de los niños causan afectaciones irreparables en la salud mental y de comportamiento (UNICEF, 2020).

En el caso del mercurio, representa una de las sustancias químicas que generan mayor preocupación en la salud pública debido a que es causa de contaminación afectando anualmente a más de 1.5 millones de personas de acuerdo a estimaciones de la Organización Mundial de la Salud (WHO, 2018). Según la Organización Panamericana de la Salud (OPS), el mercurio es altamente tóxico para la salud humana, siendo su principal exposición en los humanos la inhalación de los vapores de mercurio elementales para los procesos industriales o el consumo de alimentos contaminados (peces y moluscos) (OPS, 2022).

En este particular, es preciso entender que el mercurio tiene diversas formas de presentación, cada una de las cuales presenta diferentes efectos tóxicos en la salud de las personas con capacidad de afectar los sistemas nervioso, digestivo e inmunitarios, así como la piel, los ojos, pulmones y riñones (World Health Organization, 2020).

Por su parte, otro de los metales pesados que son motivo de preocupación entre las autoridades de salud pública por los efectos tóxicos que produce es el arsénico ya que entre las afectaciones que produce, destacan: la alteración de las diferentes vías celulares, la inhibición de reparación del ADN, la disminución de la inmunovigilancia, el incremento de estrés oxidativo, entre otras (Uribe, 2018). Adicionalmente tenemos al cáncer y lesiones cutáneas que son producto de la exposición prolongada al arsénico a través del consumo de agua o alimentos contaminados (OMS, 2018) y que variarán dependiendo de la forma química en que éste se presente (Duarte y col., 2017).

Estos problemas que se originan por la contaminación con metales pesados en diferentes concentraciones, han provocado la atención no sólo de las comunidades científicas, sino de los gobiernos que buscan soluciones ante los riesgos y daños que estos producen a consecuencia de la no biodegradación de estos metales que alargan su permanencia en el medio contaminado, el fenómeno de la bioacumulación (que ocurre cuando los microorganismos y la microflora los incorpora y retiene en los tejidos del organismo), las grandes concentraciones que exceden los requerimientos naturales y micronutrientes que alcanzan la toxicidad (Grande, 2016).

Los metales pesados, aún en bajas concentraciones, resultan ser un riesgo tanto para la salud de las personas como para el medio ambiente, especialmente en este último, la

complejidad radica en que la naturaleza es incapaz de degradarlos, lo cual puede generar efectos nocivos e irreversibles (Grijalbo, 2016). Éstos, se encuentran en bajas concentraciones de forma natural en la corteza de la tierra sin que esto represente un riesgo para las personas, los animales o ecosistemas, pues en el caso de los micronutrientes u oligoelementos que son parte de uno de los grupos de los metales pesados, éstos son esenciales para el ciclo natural de desarrollo y crecimiento de los seres vivos, siempre y cuando no superen los niveles que limitan con la toxicidad.

Asimismo, otro grupo de los metales pesados lo constituyen aquellos que no tienen una función biológica conocida y que no sólo generan toxicidad en la salud humana (por inhalación, ingestión o contacto) (Vera y col., 2015), sino que también producen grave contaminación de aguas, suelos y atmósfera (Escolástico y col., 2015). En este particular, la contaminación de los suelos se vincula directamente con la afectación a la seguridad alimentaria, pues afecta no sólo la comida, sino también, el agua que se bebe, el aire que se respira y la salud de los ecosistemas (FAO, 2018). Además, al ser un problema complejo de detectar y evaluar directamente, se ha definido como un peligro oculto cuyas consecuencias resultan extremadamente graves, por ello, organismos como la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) han generado alarmas sobre la contaminación del suelo debido al enorme desafío que representa en la carrera contra el cambio climático y la degradación del ambiente.

Los metales pesados son el tipo de contaminantes más persistentes y complejos para remediar en la naturaleza, ya que no sólo degradan la calidad de la atmósfera, de los cuerpos de agua y de los cultivos de alimentos, sino que amenazan la salud y bienestar de los seres vivos acumulándose en los tejidos sin estar sujetos a degradación metabólica (Rodríguez y col., 2019). No obstante, existen los oligoelementos que son persistentes y pueden presentarse en formas diferentes, como sales, óxidos, sulfuros, complejos organometálicos, o pueden estar presentes en forma de iones disueltos en la solución del suelo, los cuales pertenecen al grupo de elementos ubicuos que generalmente se encuentran en niveles bajos en el medio ambiente y que pueden ser tóxicos para los organismos (FAO, 2022).

En este contexto, es necesario conocer las especies químicas de los elementos para comprender sus reacciones (químicas y bioquímicas) en las que intervienen, de manera que se pueda contar con información relativa del carácter esencial y tóxico de estos

elementos (Reyes y col., 2016) ya que, por su elevada toxicidad, el impacto que causa en la salud por exposición prolongada o por bio-acumulación de metales pesados resulta ser de atención, alarma y abordaje, entendiendo que, de acuerdo al tipo de metal, se producen afecciones que abarcan desde daños en órganos vitales hasta desarrollo cancerígeno (Soto y col., 2020).

En Ecuador, existe una amplia gama de actividades industriales que van desde la refinación de petróleo hasta la extracción de minerales y agroindustria que diariamente utilizan una serie de sustancias y metales pesados que representan un riesgo para el ambiente, pues la transformación de las materias primas e insumos generan desechos de diversas características físicas que resultan ser un producto secundario del proceso de producción (Ministerio del Ambiente, 2020).

Esta realidad, afecta no sólo los suelos, el agua y el aire ecuatoriano, sino que sus efectos negativos se manifiestan en la salud de sus habitantes, el detrimento de sus ecosistemas, la degradación del medio ambiente y hasta la productividad, economía y desarrollo, lo cual ha dado origen a múltiples planes y protocolos de recuperación y remediación ambiental, entendiendo que en este país, la naturaleza es sujeto de derecho al estar contemplado en la Constitución un conjunto de normas que la protegen, así como aspectos específicos relacionados con los metales pesados que se encuentran a lo largo del ordenamiento jurídico ecuatoriano (Constitución del Ecuador, 2008) .

Las autoridades están obligadas a actualizar leyes que ayuden a cuidar, o por lo menos a reducir las emisiones y descargas para proteger a los bosques, a encontrar a los responsables de los actos y sancionar ejemplarmente para que no vuelva a pasar y se pueda remediar, pero lamentablemente esto no sucede. Los estudios se enfocan en el daño ambiental causado, pero no se analiza a profundidad las secuelas a largo plazo que afectan a la salud de las poblaciones expuestas directa e indirectamente.

La prioridad ambiental en nuestro país con base a la normativa vigente solicita realizar un adecuado manejo de sustancias químicas y sus respectivos desechos dando cumplimiento a los Límites Máximos Permisibles para descargas, emisiones y concentraciones en suelo, actualizando información acerca de la contaminación metálica en ríos, productos alimenticios, suelo y agua (Rodolfo y col., 2015).

En consecuencia, el presente estudio se realiza en virtud de reconocer los principales aspectos químicos, ambientales, toxicológicos y normativos que intervienen en el tema de la contaminación por metales pesados en el Ecuador, entendiendo su incidencia en el medio ambiente y su importancia en el desarrollo, pues se trata de un tema de relevada importancia global, nacional y local que debe entenderse para poder generar soluciones efectivas.

2. DETERMINACIÓN DEL PROBLEMA

Poco a poco hemos podido darnos cuenta de que la calidad del aire en las ciudades más grandes del Ecuador ha ido mermando la salud en los ciudadanos. Cada vez son más las afecciones respiratorias que sufrimos en las urbes, con la quema de combustibles fósiles en autos y buses, las emisiones de las industrias, y la tala indiscriminada, han hecho que baje notablemente la calidad del aire a nivel nacional. El impacto de los metales pesados en el ecosistema y en la salud de los seres vivos, cada vez es más notorio. Las mediciones de dichos metales en diferentes instancias o lugares, están dando resultados alarmantes, ya que se puede observar estos químicos en el agua de riego de plantaciones lejos de las ciudades, en sedimentos y tierras de cultivos y hasta en ríos subterráneos (Jiménez-Oyola et al., 2021).

Los alimentos que consume la gente, se siembran en suelos contaminados por pesticidas y si riegan con agua contaminada, esto hace que las personas consuman alimentos con químicos que en su mayoría son nocivos para la salud. (De la Cueva et al., 2021)

De igual manera los metales pesados se encuentran en el petróleo y en sus derivados. En reiteradas ocasiones escuchamos de derrames de hidrocarburos en la amazonia, por el mal manejo de estos y la falta de responsabilidad de las autoridades. (Nicholas Hewitt & Candy, 1990). La minería ilegal, que utiliza químicos que van a parar a los ríos y océanos y también las emisiones de gases y residuos de las industrias, sumado muchas veces a la falta de normativas y legislación, merman la estabilidad del medio ambiente. (Oviedo-Anchundia et al., 2017)

Las autoridades están obligadas a actualizar leyes que ayuden a cuidar, o por lo menos a reducir las emisiones y descargas para proteger a los bosques, a encontrar a los responsables de los actos y sancionar ejemplarmente para que no vuelva a pasar y se pueda remediar, pero lamentablemente esto no sucede. Los estudios se enfocan en el daño ambiental causado, pero no se analiza a profundidad las secuelas a largo plazo que afectan a la salud de las poblaciones expuestas directa e indirectamente.

La prioridad ambiental en nuestro país con base a la normativa vigente solicita realizar un adecuado manejo de sustancias químicas y sus respectivos desechos dando cumplimiento a los Límites Máximos Permisibles para descargas, emisiones y concentraciones en suelo, actualizando información acerca de la contaminación metálica en ríos, productos alimenticios, suelo y agua. (Rodolfo et al., 2015).

3. MARCO TEÓRICO REFERENCIAL

Este apartado presenta los principales aspectos teóricos que fundamentan los aspectos más relevantes de las variables de estudio desde la perspectiva de autores que constituyen una referencia para esta área de conocimiento. De esta manera, se genera una base teórica que permita entender cada uno de los elementos que configuran el fenómeno de estudio de acuerdo con lo expuesto en la literatura, pues además de contribuir con el conocimiento del tema, se genera un escenario de reflexión desde una metodología analítico-sintética.

3.1 CONTAMINACIÓN POR METALES PESADOS

La contaminación por metales pesados ha planteado una de las más severas problemáticas de este siglo, pues tiene significativas repercusiones no sólo en materia ambiental por la degradación que produce en suelos, aire y agua, sino que, además, genera un riesgo que compromete la seguridad alimentaria y la salud pública a nivel local y global (Reyes et al., 2016). En este contexto, la mayor peligrosidad que generan los metales pesados es que no son ni química ni biológicamente degradables, lo cual supone un problema que agrava el efecto contaminante.

3.1.1 CONTAMINACIÓN AMBIENTAL

La contaminación ambiental es un proceso que involucra todos los ambientes y tiene una profunda afectación del medio biótico, pues va en detrimento de la naturaleza y cada una de sus fuentes o recursos. En este sentido, la contaminación ambiental representa uno de los más grandes desafíos del siglo XXI debido al incremento que ha tenido en las últimas décadas que ha llegado a límites inimaginables, pues actualmente afecta al menos al 40% de la humanidad (Naciones Unidas, 2021).

Numerosos autores definen las últimas décadas como catastróficas para el planeta producto de todos los factores y agentes contaminantes que han operado y continúan afectando al medio ambiente comprometiendo casi de forma irreversible la habitabilidad del ecosistema (Echeverri, 2019).

Una de las mayores preocupaciones que ha generado el tema de la contaminación ha sido la afectación a la salud pública; en este particular, si bien existen diversos factores y agentes contaminantes, la contaminación por metales pesados se ha convertido en una preocupación importante a nivel mundial por su elevada toxicidad, persistencia intrínseca, naturaleza no biodegradable y comportamientos acumulativos (Ahmed et al., 2019; Rajeshkumar & Li, 2018).

Desde el punto de vista teórico, la contaminación ambiental se aborda desde diversas perspectivas, la primera como una cuestión producida por el hombre tras la imperiosa necesidad de cubrir sus necesidades económicas donde el más fuerte (en este caso los países desarrollados) tienen más oportunidades de alcanzar un desarrollo sustentable porque cuenta con los recursos para atender a altos estándares ambientales; en este particular, surge la teoría del refugio de contaminación que, en esencia ocurre por medio de la transnacionalización de la contaminación que tiene lugar con la apertura del comercio internacional (Zabryté y Villegas, 2016).

De esta manera, los países en subdesarrollados que no tienen entre sus prioridades el desarrollo sustentable y sostenible, resultan ser el blanco perfecto para el desplazamiento de industrias contaminantes, pues en estos casos existe la necesidad de dar continuidad a esa actividad económica de las industrias a pesar del deterioro ambiental que desencadena. Por tanto, los países de América Latina se han considerado por años como países potencialmente receptores de este tipo de industrias bien sea porque no cuenta con políticas ambientales fuertes o porque carece de legislación ambiental.

Asimismo, es preciso hacer referencia a teorías como la desarrollada por Nightingale en la segunda mitad del siglo XIX denominada Teoría Ambientalista, la

cual centró su atención en el medio ambiente como toda condición e influencia externa que afecta la vida y desarrollo del organismo a un punto de suprimir o contribuir con la aparición de enfermedades o, incluso, provocar la muerte (Almeida, et al., 2015). En este particular, los metales pesados son fuente de contaminación ambiental que se ha incrementado con el pasar de los años debido al incremento de agentes contaminantes que contribuyen con esta problemática.

3.1.2 METALES PESADOS

La contaminación de metales pesados se presenta tanto en aire, como en agua y suelos, lo cual afecta directamente a flora y fauna y, con ello, muchos de los alimentos que consumen las personas pueden llegar a estar contaminados con metales pesados ocasionando repercusiones en la salud ya que interrumpen las funciones del sistema nervioso, el hígado y el riñón; por su parte, en los animales, los metales pesados pueden causar pérdida del apetito, anemia, trastornos reproductivos, cáncer, entre otros, lo cual impacta en su cría y con ello afecta la seguridad alimentaria porque se reducen las producciones o se ofrecen alimentos contaminados que luego contaminan a las personas (De la Cueva, 2020).

En este particular, la contaminación por metales pesados se asociaba anteriormente con la exposición constante a los diferentes elementos químicos como el caso de los mineros; no obstante, en las últimas décadas se ha comprobado que los seres humanos que se intoxican a causa de metales pesados no necesariamente se exponen a este tipo de elementos, lo cual ha evidenciado que la contaminación del medioambiente representa la principal fuente de ese tipo de intoxicaciones (Schweigler, 2019).

El incremento y uso desmedido de los metales pesados en la fabricación de diferentes utensilios y en los procesos de extracción del suelo, han generado alteraciones geoquímicas y bioquímicas que afectan directamente la contaminación del ambiente (Hernández, et al., 2022). En este orden de ideas, la presencia de metales pesados en los diferentes medios (suelo, aire o agua) se distribuyen de formas distintas, no obstante, sus niveles de afectación son igual de nocivos, por

ejemplo, cuando el agua se contamina con metales pesados, los ecosistemas acuáticos se transforman y los procesos biogeoquímicos se distribuyen entre varias especies de características diversas (Reyes, et al., 2016).

Por tanto, existen bioindicadores que brindan información ecológica acerca de la calidad ambiental de los ecosistemas, en este caso, dan cuenta de los niveles adecuados de metales pesados para reconocer cuándo su exceso comienza a dañar el medio ambiente, al respecto Piña et al., (2019) indica que “cuando estos aparecen en los diferentes ecosistemas a concentraciones superiores a los niveles permisibles, poseen importantes efectos tóxicos sobre las células, alterando principalmente el adecuado funcionamiento de las proteínas o provocando su desnaturalización” (p.4).

Las concentraciones naturales de metales pesados se derivan de las actividades volcánicas, meteorización de las rocas y los procesos de erosión de los suelos. En el suelo, los metales pesados pueden ser beneficioso o tóxico para el medio ambiente, pues si bien la biota puede requerir algunos de los elementos químicos básicos (como Fe, Zn, Cu o Mo) en cantidades traza, su exceso puede resultar peligroso. La toxicidad de los metales pesados en el suelo depende de varios factores como el pH, la temperatura, minerales, óxido, forma y cantidad orgánica, así como el estado químico en el cual se encuentra el metal (Hernández, et al., 2022).

Entre los metales pesados que mayor toxicidad causan en el medio ambiente y las personas destacan: el Cadmio, el Plomo, el Mercurio, el Cobre, el Manganeso y el Zinc. En el caso del Cadmio (Cd) la exposición de la población humana a este metal se presenta ya sea en aire, alimentos y agua y sus efectos en el organismo incluye riñones, hígado, pulmones, sistema cardiovascular, inmunológico y reproductor.

El cadmio (Cd) es tal vez el metal pesado con más atención por su relación con una serie de trastornos incluidos el cáncer, y por su extremadamente bajo valor de tolerancia en diversos alimentos como el cacao. Hasta ahora, a este metal que es de origen natural no se le ha asociado alguna función conocida en los seres humanos (Álvarez et al., 2021).

En el caso del mercurio es el único metal volátil, absorbido por los pulmones y la piel. Del mercurio inhalado, el cuerpo absorbe un 82 %, depositando gran parte en el sistema nervioso, mientras que del ingerido sólo se acumula cerca del 7 % (Grau y Moreno, 2003); representa un metal pesado a cuya exposición se generan graves problemas de salud, especialmente en el caso de las mujeres embarazadas, porque es capaz de afectar el desarrollo intrauterino y las primeras etapas de vida.

De manera que el mercurio representa uno de los metales pesados que mayor impacto tóxico genera en sus distintos estados y especies en el medio biótico que cada día se evidencia su presencia en más espacios, pues tiene una elevada movilidad y las múltiples transformaciones en que este elemento incurre a partir de su liberación primaria (SOS Orinoco, 2022) como es el caso del agua, pues entran en la cadena trófica ya se acumula en peces y mariscos los cuales son consumidos por las personas produciendo una absorción del metilmercurio que alcanza hasta un 90% de ingesta en los humanos (González, 2019).

Por su parte el plomo, es uno de los metales pesados que mayor toxicidad generan en el cuerpo humano que, de acuerdo con Villanueva, (2018), ataca al sistema nervioso, es de etiología oculta. Las aleaciones que permite favorecen su uso en la industria, especialmente en la metalurgia, por lo que al fundirse a temperaturas próximas a 500°C genera vapores tóxicos que pueden penetrar en las vías respiratorias haciéndose poco solubles.

En el caso del Zinc, si bien es un metal que el cuerpo necesita porque resulta esencial, su ingesta excesiva puede resultar perjudicial. Este es uno de los elementos más comunes que se encuentra en la corteza terrestre en forma de sulfuro de zinc, no obstante, la combinación de este elemento con otros, puede generar un gran riesgo para la salud, especialmente porque sus compuestos son ampliamente utilizados en la industria que se considera uno de los principales agentes contaminantes (Ruiz, 2017).

La presencia de este metal como elemento contaminante se deriva de la actividad humana como la minería, refinación, producción de acero, incineración de carbón

y otros desperdicios que contribuyen con el incremento de zinc en la atmósfera, asimismo los desagües de las industrias químicas o la disposición indiscriminada de residuos industriales.

3.2 IMPLICACIONES DE LA CONTAMINACIÓN POR METALES PESADOS

Debido a la dificultad en el control de la acumulación de metales pesados en el medio ambiente, los organismos de vigilancia y control, han de hacer frente a la exposición a elementos químicos no deseados, especialmente los considerados biológicamente no esenciales. Cuando se hace referencia a la contaminación por metales pesados vale la pena atender a las implicaciones que este tiene desde diferentes perspectivas.

Si bien el tema ambiental y toxicológico es el que despierta mayor interés en la mayoría de los estudios realizados debido a las consecuencias negativas que se producen, es preciso entender que el aspecto normativo tiene una especial relevancia en este asunto, pues como se advertía en la teoría del refugio de la contaminación, los países que menos importancia normativa y regulatoria otorgan en materia de protección ambiental, sustentabilidad y sostenibilidad, son los más propensos a sufrir contaminación ambiental debido al abuso de las grandes industrias y al uso indiscriminado de metales pesados que resultan contaminantes, pues no existe un correcto y eficiente manejo de estos elementos.

En este particular, no se trata solo de generar normas sino de hacerlas cumplir, por tanto, la responsabilidad es compartida y exige de un nivel de conciencia de cada uno de los actores (autoridades, sociedad civil, empresas, sectores estratégicos, ONG's, etc.) en virtud de hacer uso efectivo de los recursos con una eficiente gestión de residuos que garanticen la sostenibilidad de este tipo de empresas y se evite una mayor contaminación por este tipo de metales pesados.

3.3 AGENTES CONTAMINANTES

El desarrollo de las actividades industriales, agrícolas o mineras constituyen un riesgo de contaminación ambiental por metales pesados no sólo por la naturaleza de su actividad o las emisiones atmosféricas que produce, sino que, en la mayoría de los casos existe una incorrecta e ineficiente gestión de residuos y/o almacenamiento de las materias primas, productos que pueden ocasionar fugas de componentes que se acumulan en el suelo con efectos negativos que atentan contra el ambiente y la salud de las personas (Guzmán, et al., 2019).

La acumulación de metales pesados en suelos agrícolas es un riesgo y sus efectos negativos dependen de la concentración del metal y de las propiedades específicas del suelo. La contaminación de alimentos por metales pesados como cadmio, arsénico, plomo y mercurio ha venido aumentando a la par con las actividades que los usan; entre ellas, la agricultura, con sus pesticidas, fertilizantes y plaguicidas; la ganadería, con el uso de estos materiales durante el ordeño, el almacenamiento y transporte de la leche y en el agua que ingieren los bovinos; y la minería, que vierte estos químicos –provenientes de sus faenas de limpieza del material– directamente a las afluentes, con la consecuente contaminación de los peces y demás fauna íctica de uso alimenticio.

En el caso de la minería representa uno de los principales agentes contaminantes del medio ambiente a través de metales pesados debido a las elevadas concentraciones de mercurio, cianuro y otros metales que se descarga en los diferentes cuerpos hídricos de forma indiscriminada que, al tener características bioacumulativas, no se excreta y está a disposición para la alimentación (Cuenca, et al., 2019).

3.4. NORMATIVA ECUATORIANA EN MATERIA DE AMBIENTE Y METALES PESADOS

La norma ecuatoriana reconoce los derechos de la naturaleza, especialmente desde la reforma constitucional que tuvo lugar en el año 2008 donde se incorporó a lo largo de

dicho texto la importancia y necesidad de garantizar no sólo un medio ambiente sano a los ciudadanos ecuatorianos, sino el derecho de la naturaleza de que sea preservada, protegida y cuidada.

Es así como desde la Constitución hasta normas técnicas, se han desplegado a favor de la naturaleza; en el caso de la contaminación por metales pesados, existen referencias normativas relevantes, especialmente relacionadas con la práctica minera, de refinación e industrial que son las principales responsables de estos problemas.

En el caso de la Constitución de Ecuador (2008), se reconoce el derecho que tienen los ciudadanos de vivir en un ambiente sano y libre de contaminación (artículo 66.27), asimismo, se hace referencia en el artículo 397.2 a la responsabilidad que tiene el Estado de actuar de forma efectiva en relación al establecimiento de mecanismos de prevención y control de la contaminación ambiental y recuperar cualquier espacio natural que haya sido degradado (Constitución de Ecuador, 2008).

En este orden de ideas, pero atendiendo específicamente al suelo, el mismo texto constitucional estipula como interés público y de prioridad nacional la conservación del suelo en el artículo 409, estableciendo la necesidad de atender el marco normativo específico para su protección y uso sustentable que permita, entre otras cosas, prevenir la degradación por la contaminación (Constitución de Ecuador, 2008). Otra referencia normativa específica relacionada con los metales pesados se encuentra en el manual técnico para el registro y control de fertilizantes, enmiendas de suelo y productos afines de uso agrícola emitido por el Ministerio de Agricultura y Ganadería donde se exponen los límites máximos permitidos de metales pesados (Tabla 1).

Tabla 1 Límite máximo permitido de metales pesados según el Manual Técnico para el registro y control de fertilizantes, enmiendas de suelo y productos afines de uso agrícola.

Metal pesado	Símbolo	LM de concentración mg/kg
Aluminio elemental	Al ³⁺	250
Arsénico	As	40
Cadmio	Cd	1.5
Cobalto	Co	200
Cromo hexavalente	Cr VI	2.5

Mercurio	Hg	1
Níquel	Ni	50
Plomo	Pb	120

Nota. Estos límites son específicos en casos de contaminantes y toxinas presentes en alimentos para indicar su inocuidad. Adaptado del Ministerio de Agricultura y Ganadería, 2020.

En el caso de los límites permitidos para aguas de uso agrícola en riego, para calidad del suelo, para remediación, por cuerpo receptor, de referencia de calidad de suelo y por desechos especiales y peligrosos en base seca, diversas normas establecen los valores pertinentes para cada caso (Tabla 2 y 3), tales como, la Norma Técnica para el Control de Descargas Líquidas, la Norma de Calidad Ambiental y de Descarga de Efluentes al Recurso Agua, la Norma de Calidad Ambiental del Recurso Suelo y Criterios de Remediación para Suelos Contaminados y el Ministerio del Ambiente a través de diversas Ordenanzas Municipales y Metropolitanas.

Tabla 2 *Límites permitidos de cadmio y plomo en agua según el Ministerio del Ambiente*

Criterio	Parámetro de calidad (mg-kg)	
	Cadmio (Cd)	Plomo (Pb)
Criterio de calidad de aguas para uso agrícola en riego	0.05	5.0
Criterio de remediación	2	60
Límites permisibles en desechos especiales y peligrosos en base seca	85	4300

Fuente: Ministerio del Ambiente, 2016.

Tabla 3 *Límites máximos permisibles por cuerpo receptor de acuerdo al Ministerio del Ambiente*

Cuerpo Receptor	Límite permisible (mg/kg)	
	Cadmio (Cd)	Plomo (Pb)
Alcantarillado	0.02	0.5
Cauce de agua	0.02	0.2

Fuente: Ministerio del Ambiente, 2016.

Especificación química de los metales pesados contaminantes

La peligrosidad de los metales pesados reside en que no pueden ser degradados ni química ni biológicamente, en esta revisión, se hace un reconocimiento de los principales metales pesados que resultan con mayor toxicidad para las plantas, los animales, los esenciales y no esenciales (Tabla 4, 5 y 6).

Tabla 4 Principales metales pesados con mayor toxicidad para plantas y animales

Más tóxicos para plantas		Más tóxicos para animales	
Zn	Cinc	As	Arsénico
Ni	Níquel	Cd	Cadmio
Co	Cobalto	Pb	Plomo
Cu	Cobre	Cr	Cromo
		Hg	Mercurio

Fuente: Rodríguez y col., 2019

Si bien los metales pesados son perjudiciales para la salud cuando exceden los límites permitidos y resultan en toxicidad, la realidad también advierte que muchos de ellos son esenciales para la dieta, considerados micronutrientes esenciales que no generan afectaciones a la salud siempre que estén en los parámetros adecuados (Londoño y col., 2016).

Tabla 5 Metales pesados esenciales y no esenciales

Micronutrientes esenciales	As, Co, Cr, Cu, Fe, Mn, Mo, Se, V, Zn, Ni
Metales pesados no esenciales	Be, Cd, Hg, Pb, (Sn), Ti

Fuente: Londoño y col., 2016.

En cuanto al uso y calidad del suelo, la Norma de Calidad Ambiental del Recurso Suelo y Criterio de Remediación para Suelos Contaminados según Decreto 3.516 indica los parámetros de los diferentes metales pesados permitidos en suelos de uso residencial, comercial, industrial y agrícola (Tabla 6) y los que se consideran pertinentes para su calidad.

Tabla 6 *Parámetros para metales pesados en uso y calidad del suelo*

Metal	Unidad de conc.	Parámetros				
		Uso residencial	Uso comercial	Uso industrial	Uso Agrícola	Calidad
As	mg/kg	12	12	12	12	12
Cd	mg/kg	4	10	10	2	0.5
Hg	mg/kg	1	10	10	0.8	0.1
Pb	mg/kg	140	150	150	60	19
Zn	mg/kg	200	380	360	200	60

Fuente: Norma de Calidad Ambiental del Recurso Suelo y Criterio de Remediación para Suelos Contaminados, 2015.

Tabla 7 *Focos de contaminación de origen industrial*

Categorías	Procesos	Contaminación
Instalaciones de combustión Procesos industriales		Generan energía eléctrica y calor industrial
	Siderurgia	Emisión de partículas, óxidos de azufre, monóxido de carbono, óxido de nitrógeno, clorofluorocarbonos y humos rojos
	Refinerías de petróleo	Óxido de azufre, monóxido de carbono, óxidos de nitrógeno, hidrocarburos, amoníaco, humos y partículas.
	Industria química	Dióxido de azufre, nieblas de ácido sulfúrico, ácido nítrico, ácido fosfórico
	Industria del aluminio y derivados del flúor	Clorofluorocarbonos

Fuente: Grijalbo, 2016

4. MATERIALES Y METODOLOGÍA

La investigación consistió en una revisión sistemática que se realizó en base a los parámetros PRISMA para revisiones sistemáticas en relación a la aplicación de una estrategia de búsqueda y reducción de sesgos en los artículos científicos seleccionados. Para la estrategia de búsqueda se establecieron los criterios de inclusión y exclusión para la selección de los artículos, entre los cuales se consideraron: las publicaciones y artículos científicos de alto impacto publicados con una antigüedad máxima de 10 años, presentados en inglés o español, originales, revisiones, estudios de caso, cuya información estuviese completa y de acceso libre para su revisión, que compartiera al menos una de las palabras claves o variables de investigación (criterios de inclusión) y las investigaciones publicadas con una antigüedad mayor a los diez años, en otro idioma distinto al inglés o español, cuyos estudios fuesen bibliografías, trabajos de grado, tesis, informes técnicos, memorias, resúmenes, ensayos o monografías (criterios de exclusión).

Posteriormente, se definieron las palabras claves que configurarían las cadenas de búsquedas utilizando los respectivos operadores booleanos AND, OR (Tabla 8) las cuales fueron: “contaminación”, “metales pesados”, “análisis químico”, “análisis ambiental”, “análisis toxicológico”, “análisis normativo”, “contaminación por aluminio”, “contaminación por arsénico”, “contaminación por cadmio”, “contaminación por cobalto”, “contaminación por mercurio”, “contaminación por cromo”, “contaminación por níquel”, “contaminación por plomo”; las mismas palabras se establecieron en inglés: "contamination", "heavy metals", "chemical analysis", "environmental analysis", "toxicological analysis", "regulatory analysis", "aluminum contamination", "arsenic contamination", "cadmium contamination", "cobalt contamination", "mercury contamination", "chromium contamination", "nickel contamination", "lead contamination".

Tabla 8 Cadenas de búsqueda utilizando operadores booleanos AND, OR

Base de Datos	Cadena de Búsqueda
Scielo	(contamination AND (prediction OR detection) AND "heavy metals")
Dialnet	Heavy metals and (prediction or detection) and "contamination"
Google Scholar	Chemical analysis AND (prediction OR detection) AND "arsenic contamination"
	Chemical analysis AND (prediction OR detection) AND "plomo contamination"
	Chemical analysis AND (prediction OR detection) AND "cadmio contamination"
	Chemical analysis AND (prediction OR detection) AND "nickel contamination"
	Chemical analysis AND (prediction OR detection) AND "mercury contamination"
	Chemical analysis AND (prediction OR detection) AND "cobalt contamination"
Springer	(heavy metals AND (prediction OR detection) AND "contamination")
Scopus	(contamination AND (prediction OR detection) AND "heavy metals")

Respecto a los buscadores, es preciso indicar que se utilizaron bases de datos de alto impacto tales como: Scielo, Dialnet, Springer, Scopus, Google Académico en las que se aplicó los respectivos filtros de acuerdo a los criterios de búsqueda para obtener un total de 3.746 artículos que fueron procesados 3.717 eliminados y descartados y 29 seleccionados (Figura 1). Para el proceso de selección de los artículos, se consideró la reducción del sesgo informativo utilizando una revisión profunda de resúmenes, palabras claves, objetivos y variables atendidas, además, los resultados y conclusiones.

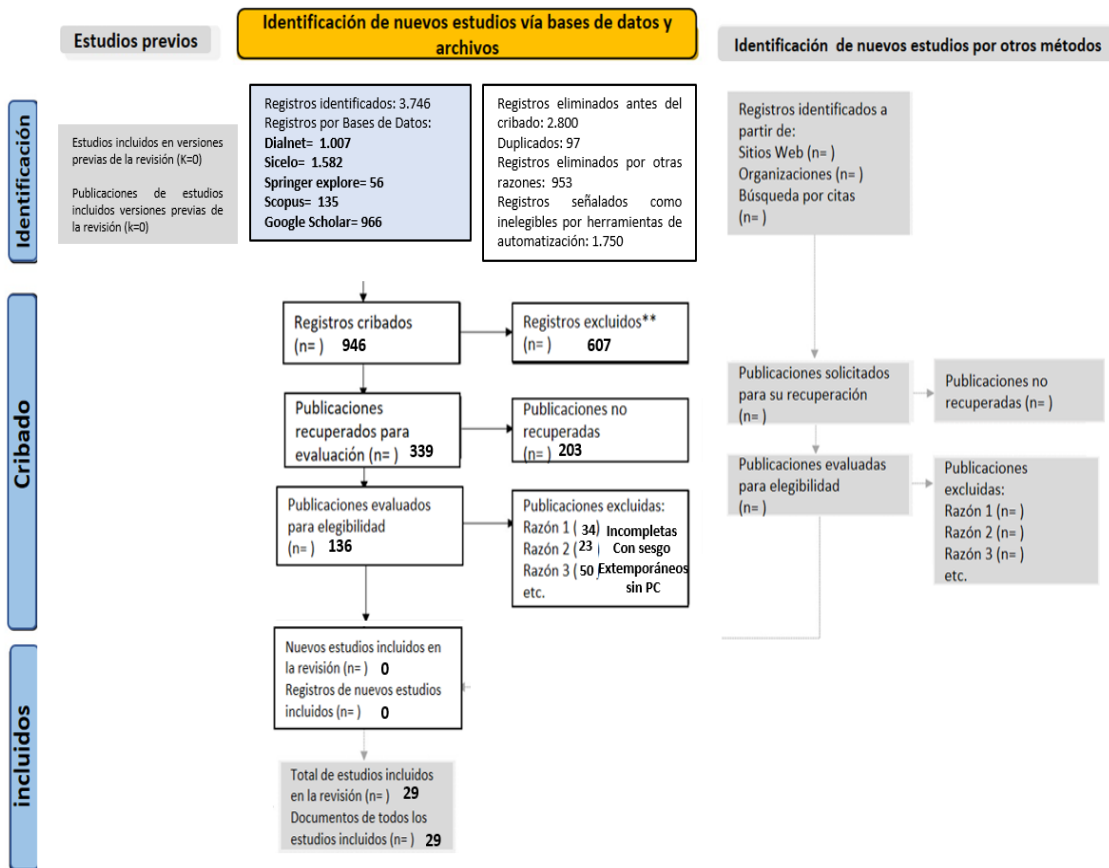


Figura 1 *Flujograma de selección de artículos parámetros PRISMA*

Para la extracción de la información se utilizó una matriz de análisis sistemática realizada en Excel donde se establecieron los principales factores de análisis tales como: metales pesados, calidad del aire, calidad del suelo, calidad del agua; generación de agentes contaminantes (minería, refinería, industria), afectación del medio biótico (flora, fauna y ecosistema) y, finalmente, la toxicología por tipo de metal pesado (Figura 2).

Autor	Año	Título	Contaminación			Agentes				Afectación medio			A.S.	Metal
			Aire	Suelo	Agua	Min.	Ind.	Ref.	Agro.	Flora	Fauna	Eco.		
Alvarez et al.	s. f.	Análisis de los efectos que produce la presencia del Cadmio en el cultivo del cacao	x						x		x		x	Cadmio
Ayala y Romero	2013	Presencia de los metales pesados en leche de vaca al sur de Ecuador	x	x	x	x			x		x		x	Arsénico y mercurio
Aveiga, et al.	2020	Bioacumulación de mercurio y zinc en especies ictícolas de la subcuenca del río Carrizal, Manabí, Ecuador.		x					x		x		x	Mercurio y Cinc
Brito et al.	2013	Evaluación de la contaminación por metales pesados del Río Cuchipamba, Morona Santiago		x	x	x						x	x	Plomo
Chavez et al.	2015	Concentración de cadmio en granos de cacao y su relación con el suelo cadmio en el sur de Ecuador	x	x					x	x			x	cadmio
Cirpiani et al.	2020	Heavy metal assessment in drinking waters of Ecuador: Quito, Ibarra and Guayaqui		x		x							x	Plomo, cromo, Cinc
Cuenca et al.	2019	Aguas residuales mineras en la inocuidad de la naranja cultivada a cercanías del Río Amarillo	x	x	x				x	x			x	Cianuro y mercurio
De la Cueva et al.	2020	Presencia de metales pesados en leche cruda bovina de Machachi Ecuador	x	x					x		x		x	Plomo, arsénico y mercurio
De Cock et al.	2021	Del manglar a la bifurcación: presencia del metal en el estuario del Guayas (Ecuador) y Cangrejos Comerciales de Manglar		x	x	x						x	x	Níquel y arsénico
González, et al.	2018	Evaluación del riesgo de contaminación por metales pesados (Hg y Pb) en sedimentos marinos del Estero Huaylá, Puerto Bolívar, Ecuador	x	x	x	x					x	x	x	Mercurio y plomo
Idrovo et al.	2018	Cuantificación de metales en aguas de riego. Estudio de caso en la provincia de Chimborazo												
Loaiza y Terán	2021	Determinación de los niveles de material particulado sedimentable en el cantón Portovelo.	x				x	x					x	Mercurio, arsénico, selenio y plomo
Marín et al.	2016	Niveles de mercurio en sedimentos de la zona costera de El Oro, Ecuador	x			x	x				x	x	x	Mercurio
Mayulema et al.	2019	Evaluación de la contaminación por metales pesados en suelos de la Reserva Ecológica de Manglares Cayapas Mataje (REMACAM) – Ecuador	x	x		x			x	x	x	x	x	Cadmio
Mero et al.	2019	CONCENTRACIÓN DE CADMIO EN AGUA, SEDIMENTOS, Eichhornia crassipes Y Pomacea canaliculata EN EL RÍO GUAYAS (ECUADOR) Y SUS AFLUENTES		x		x				x	x	x	x	Cadmio
Mora et al.	2016	Niveles de metales pesados en sedimentos de la cuenca del Río Puyango Ecuador	x	x	x	x					x	x	x	Mercurio, plomo, Cinc, cobre y manganesio
Naranjo et al.	2021	Acumulaciones de hierro en agroecosistemas bananeros (Milagro, Ecuador): Una revisión bibliográfica de algunos factores que intervienen en la salud y nutrición del cultivo	x	x					x	x	x	x	x	Hierro
Oviedo et al.	2017	Contaminación por metales pesados en el sur del Ecuador asociada a la actividad minera.		x	x						x	x	x	Mercurio y plomo
Pauta et al.	2019	Evaluación de la calidad del agua de los ríos de la ciudad de Cuenca, Ecuador		x	x	x					x	x	x	Plomo y Cinc
Pazy Cuero	2020	Evaluación de la contaminación por plomo de la refinera de Esmeraldas en la sangre de la población de Vuelta Larga	x	x	x				x		x	x	x	Plomo
Pérez et al.	2015	Determinación de elementos mayores en sedimentos provenientes de zonas afectadas por actividades petroleras en Ecuador	x	x					x		x	x	x	Sodio y manganesio
Pernía et al.	2018	Determinación de cadmio y plomo en agua, sedimento y organismos bioindicadores en el Estero Salado, Ecuador	x	x		x					x	x	x	Plomo y cadmio
Rivera et al.	2021	La Minería Artesanal y Pequeña Minería de Oro y la Producción de Petróleo como Fuentes potenciales de contaminación por metales pesados en Ecuador: Llamada a la acción	x	x	x		x				x	x	x	Mercurio
Romero et al.	2020	An overview of cadmium, chromium and lead content in Bivalves Consumed by the community of Santa Rosa Island (Ecuador) and its health risk assessment		x	x	x	x				x	x	x	Cadmio y plomo
Salvatierra	2022	Determinación de Metales Pesados (Cadmio y Plomo) en el Calamar Gigante (Dosidicus Gigas) en la Ciudad de Manta, Ecuador		x										
Tello	2018	Determinación de las concentraciones de plomo y cadmio en suelos de sectores aledaños al parque industrial de la ciudad de Cuenca	x				x						x	Cadmio y plomo
Tobar et al.	2016	Concentración de Metales Pesados en Bivalvos Anadara tuberculosa y A. Similis del Estero Huaylá, Provincia de El Oro, Ecuador		x							x	x	x	Plomo, arsénico, cadmio y mercurio
Villarreal et al.	2016	Comparación y valoración de mercurio (Hg) y cadmio (Cd) en la especie Dorado (Coryphaena hippurus) que se consume en Manta, Ecuador		x		x					x	x	x	Cadmio y mercurio
Zegarra et al.	2020	Análisis espacial de PM10 en el aire y su composición de metales con relación a factores ambientales alrededor de centros de educación preescolar en Cuenca	x				x						x	Plomo, cadmio, cobre y cinc

Figura 2 Matriz de análisis en Excel para sistematización de artículos

2.1 Escenario de estudio

El presente estudio se desarrolla en el territorio ecuatoriano, específicamente atendiendo las zonas donde existen una gran cantidad de proyectos mineros debido al impacto que esto genera en relación al tema de estudio, por tanto, es un problema sesgado en los territorios de Imbabura, Cotopaxi, Bolívar, Azuay, Chimborazo, Pichincha, Morona Santiago, Zamora, El Oro. De acuerdo a la Dirección de Minería Industrial en Etapa de Explotación del Ministerio de Energía y Recursos Naturales No Renovables (BCE, 2021) (Figura 3).

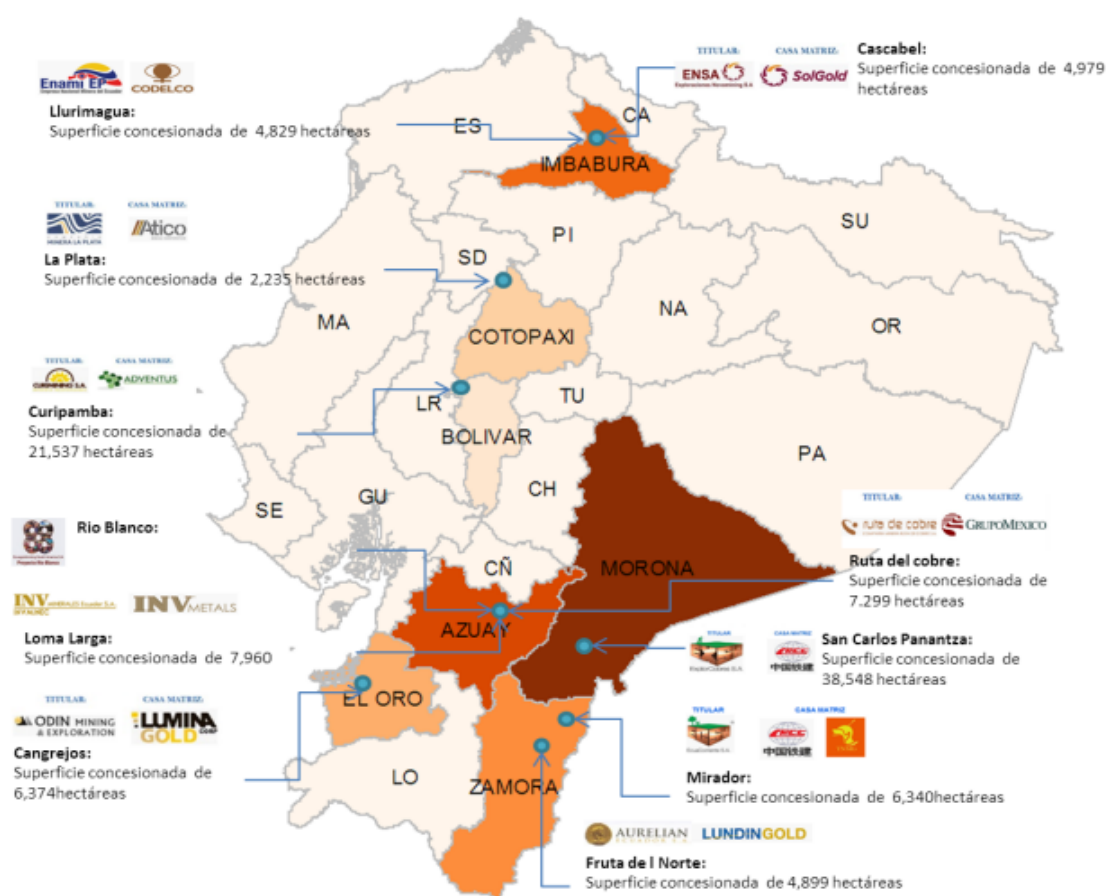


Figura 3 Principales provincias con mayor actividad minera en Ecuador.

En este particular, la revisión de estudios e investigaciones científicas relacionados con este tema proporcionan evidencia de la afectación por metales pesados no sólo al ambiente y el ecosistema, sino a las personas que se han visto afectadas directamente por este tipo de agentes contaminantes, pues son casi nulos, los informes oficiales que dan cuenta de este tipo de afectaciones.

5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados obtenidos en esta revisión de artículos científicos que cumplieron con los criterios de inclusión y exclusión cuyos temas y variables coincidieron con el fenómeno objeto de estudio, muestran datos relevantes en relación a la contaminación producida por los metales pesados, los agentes contaminantes, el medio biótico contaminado, la afectación a la salud y el tipo de metal que excede los límites permitidos de acuerdo a la norma ecuatoriana.

Principales recursos contaminados

En el caso de la contaminación, los hallazgos muestran que la mayoría de los estudios destacan contaminación por metales pesados en agua, seguidos de la contaminación en suelo y, finalmente aire (Figura 4). En el caso de la contaminación del agua, hubo mayor concentración de Hg 0,18 mg de Hg. Kg⁻¹, Pb 0,33 mg/Kg⁻¹, Cd 0,30 mg/Kg⁻¹, As 0,03 mg/Kg⁻¹ y Zn 0,37 mg/Kg⁻¹ de acuerdo a los estudios revisados (Tabla 9), de los cuales un 60% se realizaron en los últimos 5 años.

Otro aspecto relevante es la cantidad de casos donde existe contaminación por metales pesados en el agua que afecta directamente plantas y animales destinados al consumo humano, lo cual incrementa el riesgo de que exista envenenamiento por bioacumulación en las personas que ingieren dichos alimentos contaminados (Ayala y Romero, 2013; Aveiga et al., 2020; Chávez, et al., 2015; Cipriani et al., 2020; Cuenca et al., 2019; De la Cueva et al., 2020; De Cock et al., 2021; Naranjo et al., 2021; Salvatierra, 2022; Villarreal et al., 2016) cuyos niveles toxicológicos se encuentran por encima del límite permitido.

En este particular, la mayoría de estudios que atendieron a la contaminación por metales pesados en agua se realizaron en las provincias del Oro, Manabí, Guayas y Esmeraldas.

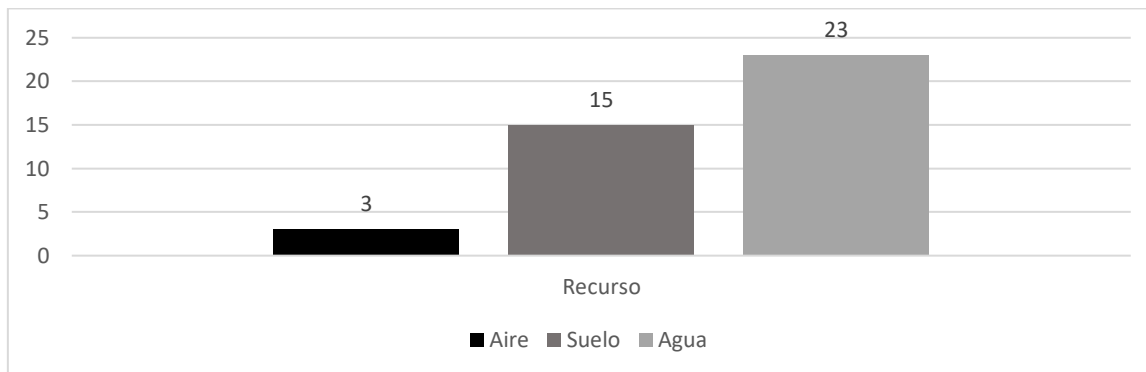


Figura 4 Recursos contaminados por metales pesados

En el caso de la contaminación por metales pesados en el suelo, hubo un total de 15 estudios que identificaron este problema (Alvarez y col.m s.f.; Ayala y Romero, 2013; Chávez y col., 2015; Cuenca y col., 2019; De la Cueva y col., 2020; González y col., 2018; Marín y col., 2016; Mayulema y col., 2019; Mora y col., 2016; Naranjo y col., 2021; Paz y Cuero, 2020; Pérez y col., 2015; Pernía y col., 2018; Rivera y col., 2021 y Tello, 2018), entendiéndose que existe una significativa afectación y vínculo con la agricultura y, por ende, un potencial riesgo para la salud de las personas que consumen los alimentos que se producen en dichas áreas.

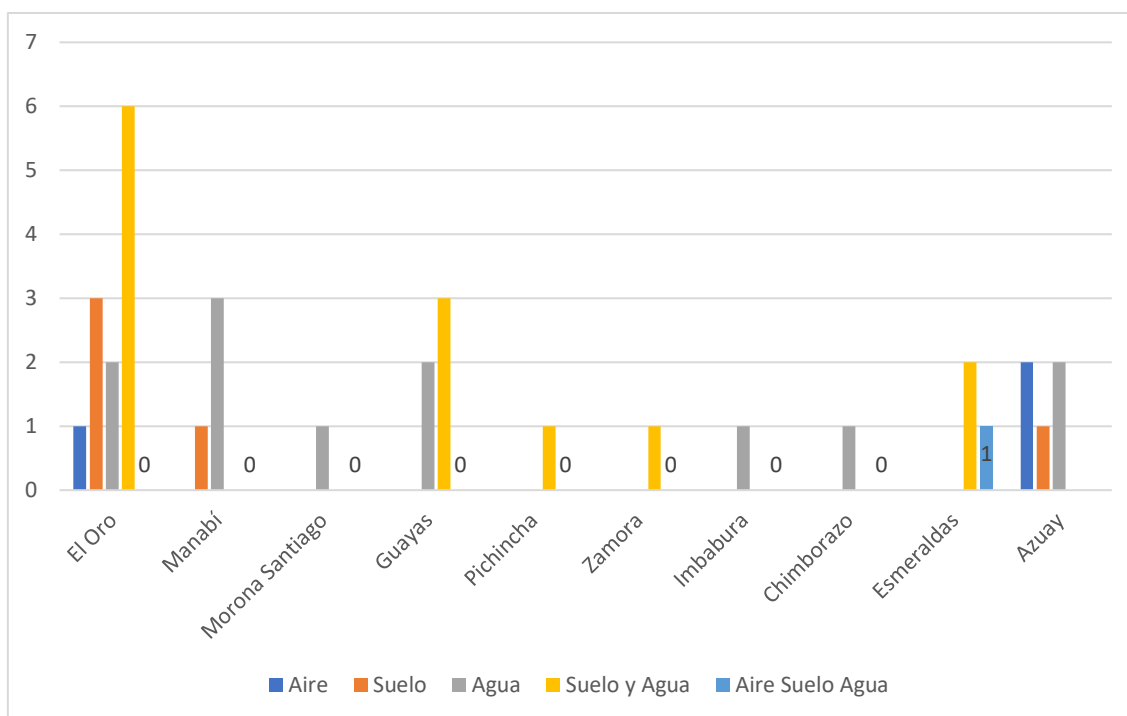
Entre los metales que excedieron los límites permitidos destacan el Hg, Cs, Pb y Mn con concentraciones de 0,21 mg de Hg. Kg⁻¹; 0,81 mg/Kg⁻¹; 0,45 mg/Kg⁻¹ 0,18 mg/Kg⁻¹ respectivamente, como consecuencia principalmente de las actividades industriales y de agroindustria con el uso indiscriminado de productos químicos y fertilizantes (Tabla 9). Asimismo, las zonas con mayor contaminación por metales pesados en el suelo fueron El Oro, Azuay y Manabí.

Tabla 9 Concentración de metales por recurso contaminado

R.C/Metal	Hg	Pb	Cd	As	Zn	Cr	Mn	Ni	Mo	Cn	Cu	Fe
Agua	0,19	0,33	0,30	0,03	0,37	0,38	**	0,15	0,03	**	**	**
Suelo	0,21	0,45	0,81	0,005	0,09	**	0,19	**	**	0,01	0,02	0,09
Aire	0,004	0,003	0,005	0,001	0,004	**	**	**	**	**	0,02	**

Finalmente, el recurso del aire es el que menos contaminación presenta en los artículos seleccionados, sin embargo, la mayoría de los casos reportan contaminación por plomo el cual resulta de las agresivas prácticas mineras que, de acuerdo a la literatura y diversos informes globales, representa una de las más severas problemáticas que afectan el medio ambiente.

Los principales metales pesados fueron el Pb con una concentración de 0,0039 mg/Kg⁻¹; Cd 0,0048 mg / Kg⁻¹ y el Hg 0,0040 mg de Hg. Kg⁻¹. En este particular, la mayor afectación es a la salud de las personas que habitan en las zonas afectadas que, en este caso tuvo mayor impacto en la zona costera de Ecuador (provincia del Oro y de Esmeraldas). En este caso, las provincias con mayor contaminación por metales pesados en aire fueron El Oro, Esmeraldas y Azuay (Figura 5).



Principales agentes contaminantes

La contaminación por metales pesados genera alarma cuando los niveles encontrados exceden los límites permitidos, esto ocurre cuando se produce por causas antropogénicas y no naturales, pues en estos casos resultan adversos, degradantes y no son biodegradables. En este particular, los resultados indican que el mayor agente contaminante es la actividad industrial (Figura 5) cuyos focos de contaminación provienen de los procesos que se realizan en este sector como la siderurgia, la industria química, del aluminio y sus derivados y la refinación de petróleo (este último tratado de forma diferenciada por la cantidad de artículos que abordaron este agente contaminante en particular) (Ayala y Romero, 2013; Brito y col., 2013; Cipriani y col., 2020; De cock y col., 2021; González y col., 2018; Loiza y Terán, 2021; Marín y col., 2016; Mayulema y col., 2019; Mero y col., 2019; Mora y col., 2016; Pauta y col., 2019; Pernía y col., 2018; Romero y col., 2020; Tello, 2018; Villarreal y col., 2016; Zegarra y col., 2020).

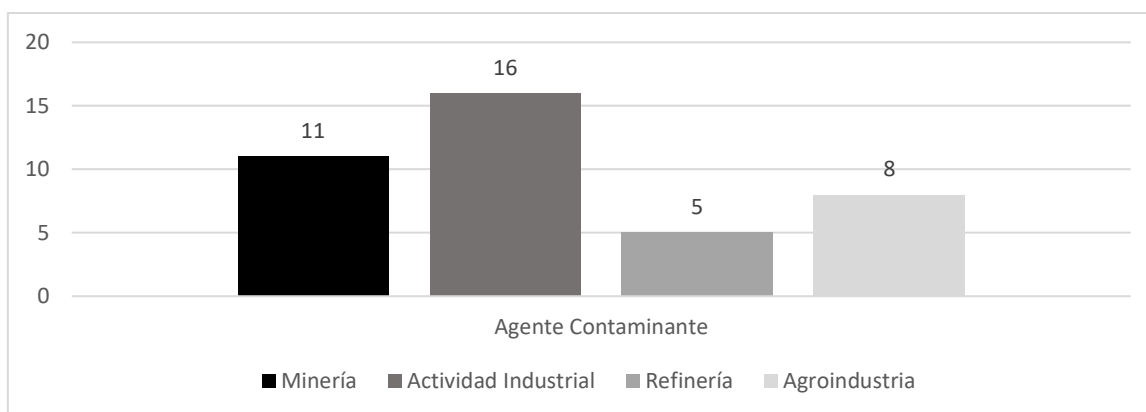


Figura 5 Principales agentes contaminantes por metales pesados

El análisis de la literatura científica muestra que la minería fue el segundo agente contaminante cuya afectación más marcada se presenta en el agua y el suelo generando efectos negativos en la salud de las personas, pues entre los metales pesados que más frecuentemente excedieron los límites permitidos se encuentran el plomo (Pb) y el mercurio (Hg) con un 54% y 63% de presencia respectivamente.

En el caso de la agroindustria se presenta en esta revisión como el tercer agente contaminante cuya afectación proviene directamente de prácticas irresponsables que utilizan fertilizantes y productos tóxicos, así como agua de riego contaminada con metales pesados producto de minería o actividad industrial. En este particular, el cadmio (Cd) y el mercurio (Hg) fueron los metales que más frecuentes en esta práctica, lo cual constituye un problema significativo no sólo para la afectación del medio biótico, sino para la salud de las personas.

Finalmente, la refinería es la actividad que reportó menos niveles de contaminación por metales pesados en la literatura revisada, sin embargo, existe mucho hermetismo informativo en relación a los daños y efectos negativos que esta práctica produce en el país que resulte oficial, pues existen investigaciones que no tienen suficiente sustento informativo que certifique los datos que se exponen. No obstante, en esta revisión, se

identificaron cinco estudios que abordan el tema de la contaminación por metales pesados en Ecuador considerando la refinería como principal agente contaminante

Afectación al medio biótico y la salud

La mayoría de los artículos revisados evidencian que la contaminación por metales pesados tiene profundas afectaciones a la salud de las personas, especialmente en casos donde existe toxicidad por plomo (Pb), mercurio (Hg) y cadmio (Cd), los cuales resultan ser altamente dañinos ya sea que se adquiera por la exposición presente en aire, alimentos y agua generando efectos negativos en diferentes órganos como los riñones, el hígado, los pulmones, sistema cardiovascular, inmunológico y reproductor.

En relación al medio biótico la mayor afectación ha sido en la fauna y el ecosistema (Figura 6), pues en la mayoría de los artículos, existe una gran cantidad de animales que han sufrido envenenamiento por este tipo de metales, de los cuales, buena parte son para consumo humano lo que genera alerta por afectar directamente la inocuidad de los alimentos que consumen las personas tales como leche, pescado, cangrejos.

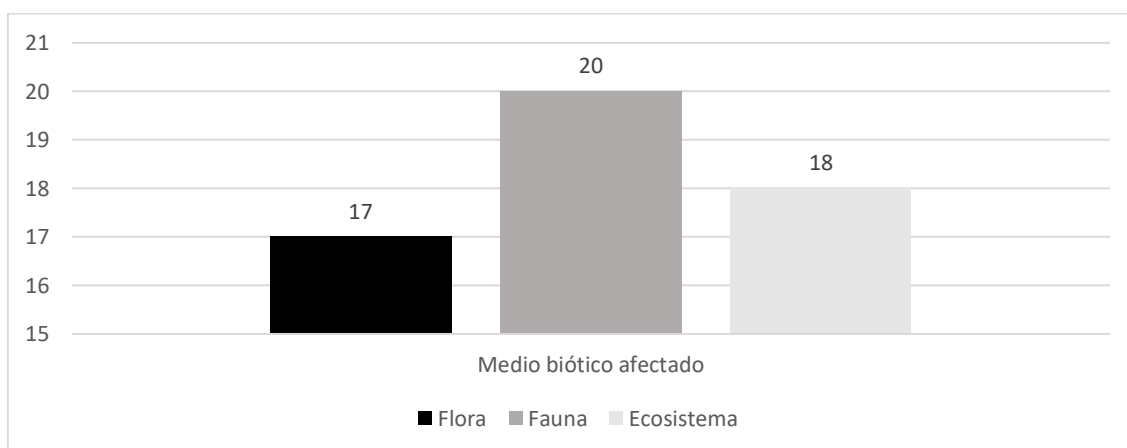


Figura 6 Medio biótico afectado

Principales metales pesados contaminantes

Los hallazgos muestran que entre los principales metales pesados contaminantes ya sea derivados de las prácticas mineras, de actividades industriales, la refinería o la

agroindustria que exceden los niveles permitidos y generan toxicidad, se encuentran el plomo (Pb) con una presencia de 46%, el mercurio (Hg) con 40%, el cadmio (Cd) con 30% y el arsénico (As) y Zinc (Zn) con 16% cada uno (Figura 7). No obstante, hubo presencia toxicológica de otros metales como el cobre o el cromo que también afectan no sólo el medio biótico sino la salud de las personas (Cipriani y col., 2020; Mora y col., 2016; Zegarra y col., 2020).

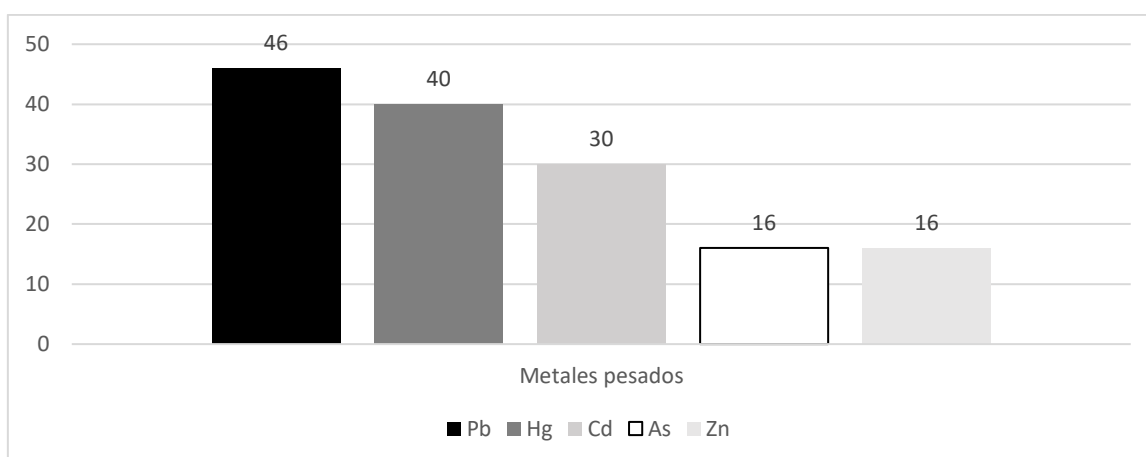


Figura 7 Principales metales pesados contaminantes encontrados en la literatura

DISCUSIÓN

Los hallazgos de esta investigación orientada a reconocer los principales metales pesados como contaminantes desde una perspectiva ambiental, normativa y toxicológica, evidencian que existe en Ecuador un conjunto de acciones que están en detrimento del ambiente y la salud pública debido a que son generadores de este tipo de sustancias que exceden los límites permitidos de acuerdo a la normativa vigente.

En este particular, el estudio evidenció que el recurso más afectado en este particular es el agua, que coincide con investigaciones como la de Aveiga y col., (2020), Cuenca (2019) o Cock (2021) que hacen referencia a que los sistemas acuáticos naturales son altamente receptores de todo tipo de contaminantes especialmente los metales pesados que provienen de prácticas antropogénicas cuyos efectos resultan

devastadores en el equilibrio ecológico del ambiente y, por ende, en la salud de las personas, especialmente en los ciclos hidrológicos (Baquerizo y col., 2019).

En este particular, hubo estudios como el de Mero y col., (2019) que encontraron contaminación en parte del río Guayas, lo cual merece la pena indicar que el nivel de ciertos metales pesados en el agua como el caso del Cd puede variar de acuerdo a factores como la temperatura o el pH, lo que significa que debe existir un reconocimiento de los mismos al momento de establecer políticas o estrategias de prevención y saneamiento de las aguas contaminadas con este tipo de problemas, especialmente al momento de realizar las evaluaciones pertinentes.

En el caso de los suelos contaminados por este tipo de metales, autores como González y col., (2018) o Mora y col., (2016) coinciden en que se deriva de la actividad minera que genera afectación grave a este recurso, pues enfatizan en que esos procesos de extracción liberan grandes cantidades de metales pesados como el mercurio y el plomo que se concentran en los sedimentos que exceden la concentración de efecto probable, no obstante, la falta de una norma específica que establezca los límites permitido como es el caso de los sedimentos marinos (Navarrete y col., 2019), obliga a utilizar parámetros de otras localidades para realizar los estudios, lo cual incide sobre la efectividad de los mismos debido a que las condiciones pueden variar entre un lugar y otro.

En relación a la contaminación del aire, se encontraron datos relevantes que coincidieron en la incidencia de la actividad minera en la contaminación por metales pesados como el Hg, As, Se y Pb que generalmente son expulsados en los procesos de fundición y refinación generando material particulado que superan los límites

permitidos de acuerdo a la normativa ecuatoriana y las directrices de la OMS (Loaiza y Terán, 2021; Morales y col., 2020).

La actividad industrial resultó ser el mayor agente contaminante por metales pesados, lo que coincide con investigaciones como la de Pernía et al., (2018) o Pabón y col., (2020) que señalan una responsabilidad directa de las empresas que liberan sus aguas servidas sin tratamiento previo y tienen un mal manejo de los desechos sólidos, cuyas fábricas son de plástico, pintura, baterías, textiles y metalmecánicas, las cuales son fuentes potenciales antropogénicas de metales como el cadmio (Cd) (Landázuri y col., 2019).

En cuanto a la minería, es otro importante agente contaminante que genera una degradación ambiental y representa un elevado riesgo toxicológico para las personas, pues estudios como el de Marín y col., (2016) o el de Canales (2021) evidencian que este tipo de actividades deterioran los ecosistemas por las elevadas concentraciones de metales como el mercurio, además de ello, la práctica agroindustrial a través del uso indiscriminado de agroquímicos también representa un fuerte riesgo toxicológico que atenta contra el bienestar, la vida y el ambiente, pues a pesar de estar prohibidos en Ecuador desde el año 2005 continúan presentes en algunos pesticidas utilizados ilegalmente.

Asimismo, estudios como el de Chambi y col., (2017) hacen énfasis en que la minería produce una altísima contaminación por metales pesados en agua y suelo a través de los desechos sólidos y líquidos que se vierten y que luego son utilizadas para actividades agropecuarias que generalmente revelan altas concentraciones de metales como arsénico, cadmio y plomo.

Los principales metales contaminantes encontrados en la literatura fueron el plomo, el mercurio, el cadmio, el arsénico y el cinc, los cuales resultan ser de los que generan

mayor daño al medio ambiente y a las personas. En el caso del plomo, es uno de los que mayor envenenamiento causa en el mundo por ser un metal que se puede encontrar tanto en el suelo como por otras vías como el uso de equipos que contienen plomo, fertilizantes y agua contaminada que se traspasa a plantas y animales hasta llegar al consumo humano (De la Cueva y col., 2015).

En el caso del mercurio, estudios como el de Marín y col., (2016) indican que en Ecuador existe una bioacumulación y biomagnificación significativa presente en sus ecosistemas que afectan gravemente a la población, especialmente a las mujeres. Con este metal, también existe una debilidad normativa y sancionatoria en el ordenamiento jurídico ecuatoriano, pues a pesar de estar limitado su uso en actividades mineras, existe evidencia, según estudios como el de Cuenca y col., (2019) que revelan que aún se sigue comercializando clandestinamente especialmente en prácticas mineras ilegales o artesanales siendo grave para el ecosistema y la salud de las personas debido a que las altas concentraciones de mercurio no se pueden degradar por las plantas debido a que su capacidad de asimilación la supera la agrupación total de cianuro.

Finalmente, el cadmio (Cd) en alta exposición produce efectos negativos para gran cantidad de órganos como riñones, pulmones o hígado y resulta, de acuerdo a la literatura, el metal pesado con más atención en su relación con los diferentes trastornos que produce su toxicidad debido a que es extremadamente bajo su valor de tolerancia en los humanos y la elevada capacidad de absorción de este metal que tienen innumerables alimentos y plantas, por tanto, existe un notable riesgo de contaminación por este metal (Álvarez y col., s.f.).

6. CONCLUSIONES

Actualmente, la contaminación por metales pesados se considera uno de los más elevados riesgos toxicológicos no sólo para las personas sino para el ambiente, pues las diferentes prácticas humanas que son agresivas y en detrimento del ambiente a partir de actividades irresponsables en el manejo de los diferentes agentes tóxicos, se suman a los residuos de este tipo de metales que son derivados de los procesos naturales, lo cual genera una afectación a la biodiversidad y a los diferentes seres vivos creando una cadena de contaminación con profundas consecuencias en los ciclos de vida, la salud humana y conservación ambiental.

El mercurio, el arsénico y el plomo son los metales pesados con mayor presencia toxicológica y cuyas consecuencias son significativamente graves, por lo que exige una atención más intensa para todas las actividades que impliquen el uso de este tipo de metales.

REFERENCIAS

- Aguirre, W., Álvarez, G., Anaguano, F., Burgos, R., Cucalón, R., E
- Ahmed, A., Sultana, S., Habib, A., Ullah, H., Musa, N., & Hossain, M. (2019). Bioaccumulation of heavy metals in some commercially important fishes from a tropical river estuary suggests higher potential health risk in children than adults. *PLOS ONE*, 4(10). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0219336>
- Almeida, A., Cruz, B., Brandao, A. (2015). The Florene Nightingale's environmental theory: A cristal analysis. *Esc Anna Nery*, 19(3), 518-524. <https://www.scielo.br/j/ean/a/9zrj7LrWzWGJhJ7BdZDHXG/?format=pdf&lang=en>
- Aristóteles. (2011). *Protréptico, Metafísica, Física, Acerca del alma*. (M. Candel, Ed.) Madrid: Gredos.
- Aveiga, A., Cárdenas, F., Peñarrieta, F., Alcántara, F. (2020). Bioacumulación de mercurio y zinc en especies ictícolas de la subcuenca del río Carrizal, Manabí, Ecuador. *Revista Iberoamericana de Ambiente y Sostenibilidad*, 3(2), 49-66
- Ayala, J., Romero, H. (2013). Presencia de metals pesados (arsénico y mercurio) en leche de vaca al sur de Ecuador. *Revista Ciencias de la vida*, 17(1), 36-46.
- Baquerizo, M., Acuña, M., Solis, M. (2019). Contaminación de los ríos: caso río Guaya y sus afluentes. *Revista de investigación científica Manglar*, 16(1).
- Brito, M., Méndez, P., Alvarado, R., Cazorla, X. (2022). Evaluación de la contaminación por metales pesados del Río Cuchipamba, Morona Santiago. *Revista Polo del Conocimiento*, 7(7), 1987-2013.
- Canales, J. (2021). Revisión sistemática de diferentes métodos de fitorremediación en suelos contaminados con metales pesados. *Universidad César Vallejo*, 1-46.
- Chambi, L., Orsag, V., Niura, A. (2017). Evaluación de la presencia de metals pesados en suelos agrícolas y cultivos en tres microcuencas del municipio Poopó en Bolivia. *Revista de investigación e innovación agropecuaria y de recursos naturales*, 4(1), 67-73.
-

- Chávez, E., He, Z., Stofella, P., Mylavarapu, R., Li, Y., Moyano, B., Baligar, V. (2015). Concentration of cadmium in cacao beans and its relationship with soil cadmium in southern Ecuador. *Science of the total environment*, 533,205-214
- Cipriani, I., Molinero, J., Jara, E., Barrado, M., Arcos, C., Mafia, S., Custode, F., Villaña, G., Carpintero, N., Ochoa, V. (2020). Heavy metal assessment un drinking waters of Ecuador: Quito, Ibarra and Guayaquil. *Journal of water and health*, 18(6), 1050-1064
- Cuenca, M., Mayorga, M., Espinoza, Y., Calle, J. (2019). Aguas residuales mineras en la inocuidad de la naranja cultivada a cercanías del río amarillo. *Revista mkt Descubre*, (14), 31-41.
- De Cock, A., De Troyer, N., Forio, M., García, I., Van, W., Jacxsens, L., Luca, S., Du, G., Tack, F., Dominguez, L., Goethals, P. (2021). From mangrove to fork: Metal presence in the Guayas estuary (Ecuador) and commercial mangrove crabs. *Journal Foods*, 10, 1-18.
- De la Cueva, F., Naranjo, A., Puga, B., Aragón, E. (2021). Presencia de metales pesados en leche cruda bovina de Machachi, Ecuador. *La Granja: Revista de ciencias de la vida*, 33(1), 21-30.
- Echeverri, C. (2019). Contaminación atmosférica. Ediciones de la U.
- Escolástico, C., Lerma, A., López, J., Alía, M. (2015). *Medio ambiente y espacios verdes*. UNED
- FAO (2 de mayo de 2018). *Un informe lanza la alarma sobre la contaminación del suelo*. <https://www.fao.org/news/story/es/item/1127218/icode/>
- FAO (2022). *Evaluación mundial de la contaminación del suelo. Resumen para los formuladores de políticas*. FAO. <https://www.fao.org/3/cb4827es/cb4827es.pdf>
- González, A. (2019). Principios de bioquímica clínica y patología molecular. Elsevier Health Sciences.
- González, V., Valle, S., Nirchio, M., Olivero, J., Tejeda, L., Valdelamar, J., Pesantes, F., González, K. (2018). Evaluación del riesgo de contaminación por metales pesados

en sedimentos marinos del Estero Huaylá, Puerto Bolívar, Ecuador. *Revista del Instituto de Investigación FIGMMG.UNMSM*, 21(41), 75-82.

Grande, J. (2016). *Drenaje ácido de mina en la faja Pirítica Ibérica: Técnicas de estudio e inventario de explotaciones*. Servicio de Publicaciones de la Universidad de Huelva.

Grijalbo, L. (2016). *Elaboración de inventarios de focos contaminantes*. Tutor formación.

Guzmán, A., Cruz, O., Valdés, R. (2019). Efectos de la contaminación por metales pesados en un suelo con uso agrícola. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 28(1), 1-9.

Hernández, C., Ramírez, V., Martínez, J., Quintero, V., Baez, A., Munive, J., Murrieta, N. (2022). Los metales pesados en la historia de la humanidad, los efectos de la contaminación por metales pesados y los procesos biotecnológicos para su eliminación: el caso de Bacillus como bioherramienta para la recuperación de suelos. *AyTBUAP*, 7(27), 1-68.

Idrovo, J., Gavilanes, I., Veloz, N., Erazo, R., Valverde, H. (2018). Cuantificación de metales en aguas de riego. Estudio de caso en la provincia de Chimborazo. *Perfiles*, 19(1), 21-29.

Jiménez, B. (2017). *Introducción a la contaminación de suelos*. Paraninfo.

Landázuri, A., Cahuaquí, J., Lagos, A. (2019). Metal adsorption in aqueous media using Moringa oleifera Lam. Seeds produced in Ecuador as an alternative method for water treatment. *Avances en ciencias e ingenierías*, 11(17), 190-205.

Loaiza, R., Terán, C. (2021). Determinación de los niveles de material particulado sedimentable en el cantón Portovelo. *Revista Riemat*, 6(2), 1-22.

Londoño, L., Londoño, P., Muñoz, F. (2016). Los riesgos de los metales pesados en la salud humana y animal. *Biotecnología en el sector agropecuario y agroindustrial*, 14(2), 145-153.

Marín, A., Hugo, V., Lapo, B., Molina, E., Lems, M. (2016). Niveles de mercurio en sedimentos de la zona costera de El Oro, Ecuador. *Gayana*, 80(2), 147-153.

- Mayulema, J., Canga, S., Pucha, P., Espinosa, C. (2019). Evaluación de la contaminación por metales pesados en suelos de la Reserva Ecológica de Manglares Cayapas Mataje (REMACAM) – Ecuador. *Revista Internacional de Investigación e Innovación Tecnológica RIIIT*, 7(41), 40-61.
- Mero, M., Pernía, B., Ramírez, N., Bravo, K., Ramírez, L., Larraeta, E., Egas, F. (2019). Concentración de cadmio en agua, sedimentos, *Eichhornia crassipes* y *Pomacea canaliculata* en el río Guayas (Ecuador) y sus afluentes. *Revista internacional de contaminación ambiental*, 35(3), 623-640.
- Mora, A., Jumbo, D., González, M., Bermeo, S. (2016). Niveles de metales pesados en sedimentos de la cuenca del Río Puyango Ecuador. *Revista internacional de contaminación ambiental*, 32(4), 385-397.
- Morales, M., Recalde, S., Orozco, K., Ponce, W. (2020). Analysis of heavy metals in *Azadirachta indica* leaves, as bioindicator for monitoring environmental pollution in Guayaquil, Ecuador. *ICEPR*, 145, 1-6.
- Naciones Unidas (4 de junio 2021). Si no actuamos, nos quedamos sin planeta: la ONU lanza un plan a diez años para restaurar los ecosistemas dañados. <https://news.un.org/es/story/2021/06/1492922>
- Naranjo, J., Vera, M., Mora, A. (2021). Acumulaciones de hierro en agroecosistemas bananeros (Milagro, Ecuador): Una revisión bibliográfica de algunos factores que intervienen en la salud y nutrición del cultivo. *Revista Siembra*, 8(2), e2680.
- Navarrete, G., Morales, L., Dominguez, L., Pontón, J., Marín, J. (2019). Contaminación por metales pesados en el Golfo de Guayaquil: Incluso datos limitados reflejan impactos ambientales de las actividades antrópicas. *Revista internacional contaminación ambiental*, 35(3).
- Oviedo, R., Moina, E., Naranjo, J., Barcos, M. (2017). Contaminación por metales pesados en el sur del Ecuador asociada a la actividad minera. *Bionatura*, 2(4), 437-441.

- Pabón, S., Benítez, R., Sarria, A., Gallo, J. (2020). Contaminación del agua por metales pesados, métodos de análisis y tecnologías de remoción. Una revisión. *Entre ciencia e ingeniería*, 14(27), 9-18.
- Pauta, G., Velasco, M., Gutiérrez, D., Vázquez, G., Rivera, S., Morales, O, Abril, A. (2019). Evaluación de la calidad del agua de los ríos de la ciudad de Cuenca, Ecuador. *Maskana*, 10(2), 79-88.
- Paz, V., Cuero, P. (2020). Evaluación de la contaminación por plomo de la refinería de Esmeraldas en la sangre de la población de Vuelta Larga. *Horizontes de enfermería, servicio, ciencia y humanidad*, (10), 83-94.
- Pérez, C., Maurice, L., Ochoa, V., López, F., Egas, D., Lagane, C., Besson, P. (2015). Determinación de elementos mayores en sedimentos provenientes de zonas afectadas por actividades petroleras en Ecuador. *Avances en ciencias e ingenierías*, 7(2), 95-115.
- Pernía, B., Mero, M., Cornejo, X., Ramírez, N., Ramírez, L., Bravo, K., López, D., Muñoz, J., Zambrano, J. (2018). Determinación de cadmio y plomo en agua, sedimento y organismos bioindicadores en el Estero Salado, Ecuador. *Enfoque UTE*, 9(2), 89-105.
- Piña, J., González, L., Gutiérrez, O., Márquez, L., Del Cristo, T. (2019). Caracterización de tres bioindicadores de contaminación por metales pesados. *Revista Cubana de Química*, 31(2). http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2224-54212019000200293
- Rajeshkumar, S., & Li, X. (2018). Bioaccumulation of heavy metals in fish species from the Meiliang Bay, Taihu Lake, China. *Toxicology Reports*, 5, 288-295. <https://doi.org/10.1016/j.toxrep.2018.01.007>
- Reyes, Y., Vergara, I., Torres, O., Díaz, M., González, E. (2016). Contaminación por metales pesados: Implicaciones en salud, ambiente y seguridad alimentaria. *Revista de ingeniería, investigación y desarrollo*, 16(2), 66-77.
- Reyes, Y., Vergara, I., Torres, O., Díaz, M., González, E. (2016). Contaminación por metales pesados: implicaciones en salud, ambiente y seguridad alimentaria. *Revista ingeniería, investigación y desarrollo*, 16(2), 66-77.

- Rivera, J., Beate, B., Díaz, X., Ochoa, M. (2021). La Minería Artesanal y Pequeña Minería de Oro y la Producción de Petróleo como Fuentes potenciales de contaminación por metales pesados en Ecuador: Llamada a la acción. *International journal of environmental research and public health*, 18, 1-16.
- Rodríguez, N., McLaughlin, M., Pennock, D. (2019). *La contaminación del suelo: Una realidad oculta*. FAO. <https://www.fao.org/3/i9183es/i9183es.pdf>
- Romero, D., Yáñez, G., Dazzini, M., Simbaña, K., Rebolledo, E., Durán, G., Navarrete, H. (2020). An overview of cadmium, chromium and lead content in Bivalves Consumed by the community of Santa Rosa Island (Ecuador) and its health risk assessment. *Frontiers in environmental science*, 8, 1-10.
- Ruiz, S. (2017). Tratado de dietoterapia: Cómo prevenir y tratar dolencias, así como ciertos problemas de salud mental. Megustaescribir.
- Salvatierra, V. (2022). Determinación de Metales Pesados (Cadmio y Plomo) en el Calamar Gigante (*Dosidicus Gigas*) en la Ciudad de Manta, Ecuador. *Revista científica dominio de la ciencia*, 8(1), 85-98.
- Schweigler, D. (2019). Colon irritable: Cómo curar las intolerancias alimentarias y otros problemas. Editorial Sirio.
- scobar, D., Jácome, I., Jiménez, P., Laaz, E., Miranda, K., Navarrete, R., Nugra, F., Revelo, W., Rivadeneira, J., Valdiviezo, J. Zárate, E. (2021). Conservation threats and future prospects for the freshwater fishes of Ecuador: A hotspot of neotropical fish diversity. *Journal Fish Biology*, 1-32. DOI: 10.1111/jfb.14844
- SOS Orinoco (2022). El mercurio y la minería en la Guayana venezolana: Un daño incompensable. Dahbar.
- Soto, M., Rodríguez, L., Olivera, M., Arostegui, V., Colina, C., Garate, J. (2020). Riesgos para la salud por metales pesados en productos agrícolas cultivados en áreas abandonadas por la minería aurífera en la Amazonía peruana. *Scientia Agropecuaria*, 11(1), 49-59.
- Tello, M. (2018). Determinación de las concentraciones de plomo y cadmio en suelos de sectores aledaños al parque industrial de la ciudad de Cuenca. *Revista científica mundo de la investigación y el conocimiento*, 2(especial), 560-577.

- Tobar, J., Ramírez, M., Fermín, I., Senior, W. (2017). Concentración de Metales Pesados en Bivalvos *Anadara tuberculosa* y *A. Similis* del Estero Huaylá, Provincia de El Oro, Ecuador. *Serbiluz*, 51(2), 97-116.
- UNICEF (29 de julio de 2020). *Un tercio de los niños del mundo están envenenados con plomo, revela estudio de UNICEF.*
<https://news.un.org/es/story/2020/07/1478121>
- Vera, L., Uguña, M., García, N., Flores, M., Vázquez, V. (2015). Eliminación de los metales pesados de las aguas residuales mineras utilizando el bagazo de caña como biosorbente. *Afinidad*, 73 (573), 43-49.
- Villanueva, E. (2018). Gisbert Calabuig. *Medicina legal y toxicológica*. Elsevier Health Sciences.
- Villarreal, 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. *Revista la técnica*, 16, 32-43.
- Zebryté, I., Villegas, L. (2016). La teoría del refugio de contaminación: efectos de la inversión extranjera directa a esala local en Chile. *Revistas jurídicas*, 13(1), 24-40.
- Zegarra, R., Andrade, S., Parra, M., Mejía, D., Rodas, C. (2020). Análisis espacial de PM10 en el aire y su composición de metales con relación a factores ambientales alrededor de centros de educación preescolar en Cuenca. *Maskana*, 11(1), 57-68