

# EL MERCURIO Y SU IMPACTO

EN EL ECOSISTEMA Y EN  
LA SALUD DEL HOMBRE



**Eliana Mullisaca Contreras**  
**Darsy Argelida Carpio Ramos**  
**Benito Hugo Fernández Ochoa**

  
EDITORIAL  
**TERCER SOL**  
MEXICO



# **EL MERCURIO Y SU IMPACTO**

**EN EL ECOSISTEMA Y EN  
LA SALUD DEL HOMBRE**

**Eliana Mullisaca Contreras  
Darssy Argelida Carpio Ramos  
Benito Hugo Fernández Ochoa**

**Eliana Mullisaca Contreras**

**Correo de contacto:** [e.mullisaca@unaj.edu.pe](mailto:e.mullisaca@unaj.edu.pe)

**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0002-0555-2459>

**Perfil:** Profesional con experiencia en el área ambiental, conocedor de los procesos químicos ambientales, y procesos toxicológicos de los contaminantes. Consultora en temas ambientales actualmente labora en la Universidad Nacional de Juliaca. Ingeniero Químico por la Universidad Nacional de San Agustín y Magíster en Ciencias con mención en Tecnologías de protección animal por la Universidad Nacional del Altiplano. Docente en la Universidad Nacional de Juliaca.

**Afiliación:** Universidad Nacional de Juliaca.

**Perú**

**Darssy Argelida Carpio Ramos**

**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0002-8826-5980>

**Perfil:** Ingeniero Metalúrgico por la Universidad Nacional de San Agustín, Magíster en Ciencias por la Universidad Nacional del Altiplano. Docente en la Universidad Nacional del Altiplano.

**Afiliación:** Instituto Universitario de Innovación Ciencia y Tecnología Inudi Perú.

**Perú**

**Benito Hugo Fernández Ochoa**

**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0002-8826-5980>

**Perfil:** Ingeniero Metalúrgico por la Universidad Nacional de San Antonio Abad. Docente en la Universidad Nacional del Altiplano.

**Afiliación:** Universidad Nacional del Altiplano.

**Perú**

Todas nuestras publicaciones son sometidas a revisión doble-ciego de pares académicos (*Peer Review Double Blinded*).

Esta publicación cuenta con licencia Creative Commons Reconocimiento - NoComercial - SinObraDerivada 3.0 Unported License.



**El mercurio y su impacto en el ecosistema y en la salud del hombre**

**ISBN 978-607-59519-5-9**

- © Eliana Mullisaca Contreras
- © Darssy Argelida Carpio Ramos
- © Benito Hugo Fernández Ochoa

**DOI:** <https://doi.org/10.5281/zenodo.8350622>

**2023**

- © Editorial Tercer Sol

[www.editorialtercersol.com](http://www.editorialtercersol.com)

Este libro es resultado de la investigación *Evaluación el contenido de mercurio en agua y sedimentos en el río Azangaro y su efecto en los pobladores de Progreso en el año 2012*, realizada en la Universidad Nacional del Altiplano.

Queda prohibida la reproducción bajo cualquier modalidad de toda o una parte de esta obra sin autorización expresa del titular de los derechos.

Edición electrónica: Editorial Tercer Sol

Editado en México  
*Published in Mexico*

# ÍNDICE

ÍNDICE DE TABLAS	6
ÍNDICE DE FIGURAS	7
INTRODUCCIÓN	9
CAPÍTULO I	11
CONCEPTOS BÁSICOS SOBRE EL MERCURIO	11
1.1. ¿Qué es el mercurio?	12
1.1.1. Formas que presenta el mercurio	13
1.2. Ciclo del mercurio	16
1.3. Uso y aplicación del mercurio	17
1.4. Fuentes de contaminación de mercurio	19
1.4.1. Fuentes naturales	19
1.4.2. Fuentes antropogénicas	17
1.5. Impacto del mercurio en el medio ambiente	23
1.6. Impacto del mercurio en la salud del hombre	25
1.7. Diagnóstico de intoxicación por mercurio	29
CAPÍTULO II	33
EPISTEMOLOGÍA MEDIOAMBIENTAL	33
2.1. Atmósfera	34
2.1.1 Estructura	34
2.1.2 Composición	36
2.2. Suelo y sedimentos: conceptualizaciones básicas	38
2.2.1 El suelo	38
2.2.2 Los sedimentos	41
2.3. Ecosistema acuático	42
2.3.1. Océanos	42
2.3.2. Lagos	43
2.3.3. Ríos	44
2.4. Contaminantes atmosféricos frecuentes	46
2.5. Importancia de cuidar la atmósfera	49

CAPÍTULO III	53
MEDICIÓN DEL IMPACTO DEL MERCURIO EN EL MEDIOAMBIENTE Y LA VIDA DEL HOMBRE	53
3.1. Toxicocinética	54
3.1.1 Fases del proceso toxicocinético de las sustancias químicas del mercurio	55
3.2. Toxicodinámica	59
3.2.1. Acción de toxicidad del mercurio	60
3.2.2. Efectos de toxicidad del mercurio	61
3.2.3 Efectos tóxicos en los órganos excretores	61
3.3. Límites máximos establecidos por el ECA (Estándar de Calidad Ambiental)	62
3.3.1. Estándar de Calidad Ambiental para Aire de Mercurio Gaseoso Total	62
3.3.2. Estándares de Calidad Ambiental para Agua	64
3.3.3. Estándares de calidad ambiental (ECA) para el suelo	73
3.4. Límites máximos establecidos por la USEPA (United States Environmental Protection Agency)	75
3.5. Evidencia de concentración de mercurio en el agua	76
3.5.1. Impacto en el medio ambiente	76
3.6. Evidencia de concentración de mercurio en sedimentos	77
3.7. Los efectos del mercurio en la población Latinoamericana	78
CAPÍTULO IV	81
EVALUACIÓN DE LA PRESENCIA DE MERCURIO EN LAS AGUAS Y EN LOS SEDIMENTOS DEL RÍO AZÁNGARO Y SU IMPACTO EN LA POBLACIÓN: UN ESTUDIO EN LA LOCALIDAD DE PROGRESO, PROVINCIA DE AZÁNGARO (PUNO)	81
CAPÍTULO V	107
IMPORTANCIA DE PRESERVAR EL CUIDADO DEL MEDIO AMBIENTE Y LA SALUD DEL HOMBRE FRENTE A LA ACTIVIDAD EXTRACTIVA DEL MERCURIO	107
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	113

# ÍNDICE DE TABLAS

<i>Tabla 1.</i>	¿Cómo afecta el mercurio al organismo?	46
<i>Tabla 2.</i>	Estándares de calidad ambiental del aire	63
<i>Tabla 3.</i>	Categoría 1: Poblacional y recreacional. Subcategoría A: Aguas superficiales destinadas a la producción de agua potable.	64
<i>Tabla 4.</i>	Categoría 1: Poblacional y recreacional. Subcategoría B: Aguas superficiales destinadas para recreación	66
<i>Tabla 5.</i>	Categoría 2: Extracción, cultivo y otras actividades marino costeras y continentales	67
<i>Tabla 6.</i>	Categoría 3: Riego de vegetales y bebida de animales	69
<i>Tabla 7.</i>	Categoría 4: Conservación del ambiente acuático	71
<i>Tabla 8.</i>	Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para suelo	74
<i>Tabla 9.</i>	Operacionalización de las variables	83
<i>Tabla 10.</i>	Parámetros de operación	87
<i>Tabla 11.</i>	Resultados de la concentración de mercurio en muestras de agua del río Azángaro en el 2012	93
<i>Tabla 12.</i>	Estándares nacionales de calidad ambiental para agua – categoría 1: poblacional y recreacional “I”	94
<i>Tabla 13.</i>	Estándares nacionales de calidad ambiental para agua – para riego de tallo alto y bajo	96
<i>Tabla 14.</i>	Estándares nacionales de calidad ambiental para agua de bebida de animales	97
<i>Tabla 15.</i>	Estándares nacionales de calidad ambiental para agua conservación del ambiente acuático	99
<i>Tabla 16.</i>	Resultados de la concentración de mercurio en muestras de sedimentos del río Azángaro en el 2012	101
<i>Tabla 17.</i>	Estándares para sedimentos	101

# ÍNDICE DE FIGURAS

<i>Figura 1.</i>	Biomagnificación del mercurio a lo largo de la cadena trófica	15
<i>Figura 2.</i>	El movimiento del metilmercurio en el organismo	15
<i>Figura 3.</i>	Ciclo biogeoquímico del mercurio	17
<i>Figura 4.</i>	A la izquierda, esquema de una pila de mercurio. Abajo, pilas de ese tipo.	18
<i>Figura 5.</i>	Impacto del mercurio en la salud del hombre	26
<i>Figura 6.</i>	Estructura térmica de la atmósfera terrestre	36
<i>Figura 7.</i>	Tipos de degradación de suelos	40



# INTRODUCCIÓN

Los recursos naturales son elementos que forman parte de la naturaleza y que proporcionan al hombre materias fundamentales para vivir y condiciones apropiadas para desarrollar su economía; en síntesis, permiten la continuidad de la vida a nivel mundial. En ese sentido, los estudios relacionados respecto a este tema resultan relevantes para toda sociedad.

Entre los recursos naturales principales se pueden señalar el agua, el suelo y el aire. El agua conforma un recurso natural imprescindible, ya que es la fuente que genera mayor cantidad de oxígeno en el mundo, además de ser un ecosistema de múltiples especies. Asimismo, el suelo representa un recurso multifuncional para el hombre, entre ellas la producción de vegetales y la de ser hábitat de innumerables seres vivos. Por último, el aire contiene los componentes vitales para la respiración y sirve como mecanismo de dispersión de ciertos contaminantes.

La importancia de los recursos es patente, por esa razón es fundamental que el hombre pueda hacer uso de ellos de manera razonable y orientar sus actividades al cuidado y protección de los mismos, con la finalidad de asegurar bienestar a las presentes y futuras generaciones. Lamentablemente, es muy perceptible el incremento en la contaminación de los recursos naturales, lo cual causa una gran preocupación mundial.

Los recursos mencionados (las aguas, suelo y aire) son gravemente afectados por el impacto de las actividades antropogénicas que no toman en cuenta el concepto de sostenibilidad y

cuidado al medio ambiente. En este apartado, es importante señalar el papel importante que cumplen los ríos, ya que, aparte de brindar agua dulce y ser ecosistemas de múltiples especies, sirven de transporte de aguas, las cuales desembocan en los océanos y lagos, y, en este recorrido se trasladan también grandes cantidades de elementos contaminantes. Además, su presencia está relacionada con el asentamiento de una población, por lo cual la contaminación se acentúa.

Una cuestión emergente es la siguiente: ¿cómo se contamina el medio ambiente? La respuesta es múltiple, no obstante, es preciso resaltar algunas actividades de mayor impacto como la actividad industrial y la minera, las cuales, al efectuar procesos propios de la materia, expulsan gran cantidad de metales a los diferentes ecosistemas, entre los que se encuentran el cadmio, el plomo, el cobre, zinc, el mercurio entre otros.

De los mencionados, el mercurio es un elemento de gran uso en la minería de pequeña escala, ya que sirve para separar el oro de partículas sin valor económico. Esta separación se realiza mediante el proceso de amalgamación, el cual consiste en llevar a altas temperaturas al mercurio hasta evaporarlo, actividad que lamentablemente genera altos niveles de contaminación.

Debido a que el uso del mercurio está presente en una actividad de gran importancia como es la extracción del oro, plata y otros minerales, su presencia en las aguas, en los sedimentos, en los suelos y en el aire es muy común, y, a la vez, perjudicial. En ese sentido, evaluar la proporción de mercurio en el medio ambiente, resulta una tarea problemática para la sociedad en general, pues mediante esta se puede diagnosticar el nivel de contaminación a la que está expuesta una población y el impacto que tiene en ella, principalmente en su salud.

# CAPÍTULO I

## CONCEPTOS BÁSICOS SOBRE EL MERCURIO

La minería es una de las principales actividades económicas que se realiza en el Perú desde hace más de 10 años. Su importancia radica en el ingreso monetario que genera grandes divisas al país, de lo cual se espera también mejorar las formas de vida de toda la población.

Entre los minerales que más se comercializan se encuentran el cobre y el oro. Landa (2017), explica que, si bien el cobre es el mineral de máxima extracción, ya que alcanza un total del 23% de las exportaciones, no se tiene la certeza de cómo dicho ingreso ha contribuido en mejorar las condiciones de vida de las localidades desde donde se extrae el mineral ni en la población en general.

Una situación similar ocurre con el oro, que tiene como uno de sus medios de extracción la quema del mercurio, un hecho que se registra desde hace más de 450 años, aunque no es la única. De acuerdo con lo señalado por Landa (2017), la minería del carbón también afecta gravemente el ecosistema debido al mercurio y a su expansión.

Inhalar vapores de mercurio elemental puede resultar en un hecho grave para la salud del ser humano, comenzado por las alteraciones neurológicas que ello genera, así como variaciones en el comportamiento. Cuando una persona se encuentra intoxicada por mercurio presenta además de inestabilidad emocional, pérdida de memoria y daños en los riñones y la tiroides, es decir comienza a deteriorarse internamente de manera inexorable.

Si bien, el mercurio es un mineral que se suele utilizar para la fabricación de elementos necesario en la vida del hombre, una falta de cuidados o incumplimiento del reglamento sobre cuidado al medio ambiente puede traer consigo una cadena de daños que afectan principalmente a los seres humanos, quienes pueden padecer un tipo de intoxicación crónica, es decir, contaminación al organismo que puede permanecer por muchos años provocando con ello una vida tortuosa para la persona afectada.

Con la finalidad de tener información completa sobre el impacto que el metal deja en el ecosistema el presente apartado expondrá conceptos básicos sobre el elemento químico, cómo actúa, de qué manera llega al ecosistema y cuáles son los afectos que genera, esto de acuerdo con las observaciones de las entidades más conocedoras del tema: el Ministerio del Ambiente y el Ministerio de Salud.

### 1.1. ¿Qué es el mercurio?

Es un metal pesado que se caracteriza por su forma líquida cuando se encuentra en el medio ambiente, sus propiedades bioquímicas corresponden a los grupos sulfuro (-S) y sulfhídrico (-SH) (1), su número atómico es 80 y su símbolo es Hg. Este elemento químico, de acuerdo con Jaramillo et al. (2015), contiene un alto nivel de toxicidad con el cual es capaz de afectar a las plantas, animales e incluso al organismo del ser humano. Para ello, el mercurio se basa en la acumulación, es decir, actúa depositándose en los organismos

vivos, esto debido a que dicho metal pesado no posee función biológica y no encuentra otra manera de generar detrimento.

Asimismo, el perjuicio que produce el metal pesado al organismo humano está relacionado, además, al tiempo de exposición del organismo, el tipo de compuesto de mercurio y la vía de exposición (Paz et al., 2017). Al respecto, Martínez y Uribe (2015) añaden que existen tres componentes adicionales que pueden incrementar los riesgos del individuo afectado. Estos son: la dosis de mercurio, la edad de la persona expuesta (se debe considerar que los fetos son muy susceptibles por lo que las madres gestantes forman parte del grupo de riesgo) y el estado de salud del individuo.

Sobre lo señalado, en relación a las vías de exposición, se debe mencionar que una de las particularidades resaltantes que posee dicho elemento es que se suele encontrar, de manera más común, en estados líquidos lo que le permite llegar fácilmente a los organismos vivos para luego iniciar el proceso de bioacumulación a través de la vía digestiva, es decir cuando la persona ingiere alimentos contaminados con mercurio como pueden ser los peces de un río infectado o el agua contaminada de los lagos, entre otros.

Por otra parte, en relación con el mercurio ubicado en el suelo, su nivel de concentración no es tan significativo debido a que cuando el metal pesado se encuentra en la tierra esta se suele mezclar, por ejemplo, con la arcilla lo que impide su expansión en el ecosistema (Jaramillo et al., 2015).

### *1.1.1. Formas que presenta el mercurio*

El mercurio (Hg) puede presentarse, según lo indican Cornelis et al. (citado en Ruiz, 2016), de las siguientes formas:

### *Mercurio elemental (Hg 0)*

También denominado mercurio metálico. Se libera en el ecosistema a causa del calentamiento generando con ello la exposición al mercurio frente a los mineros, así como a la población que se halle cercana (Rodríguez-Villaminzar, 2015). Su uso está relacionado al proceso de recuperación de metales como el oro y en la elaboración de termómetros y barómetros. Por otro lado, cuando el mercurio metálico ingresa al cuerpo, la mayor parte de él es eliminado en orina y heces mientras que las cantidades pequeñas se expulsan del organismo a través del aire que se expira aunque el ingreso al cerebro y al sistema nervioso es inevitable.

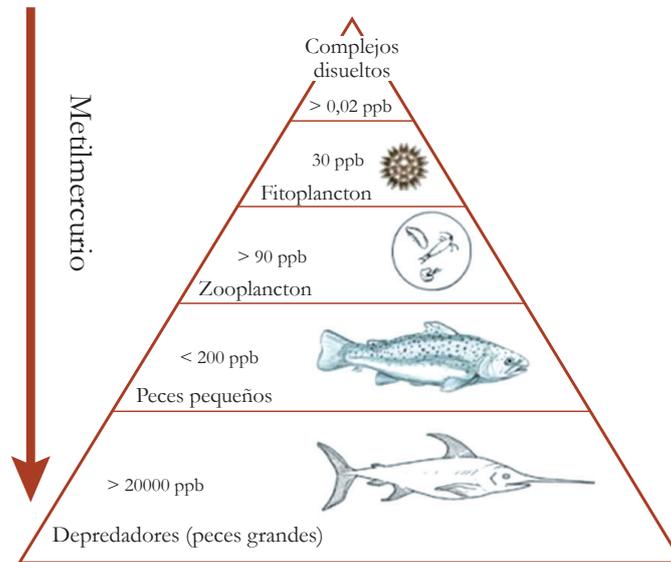
### *Mercurio inorgánico divalente ()*

Se produce con la combinación de mercurio con cloro, azufre u oxígeno y reciben el nombre de sales de mercurio. Cuando este tipo de mercurio es absorbido no logra expandirse por todo el organismo con facilidad debido a que su movilidad es muy lenta. Sin embargo, es capaz de desarrollar síntomas renales como respuesta inmunotóxica y tardar varias semanas o meses en abandonar el organismo. Se debe tener sumo cuidado cuando la persona intoxicada es una mujer lactante, pues podría transferir el mercurio al bebé a través de la leche.

### *Metilmercurio ()*

Se trata de un tipo de mercurio que se acumula más en peces de acuerdo a la edad, el tamaño, el medio ambiente natural en el que se encuentra. Suele presentarse de manera más frecuente en peces grandes, que viven más tiempo o especies depredadoras.

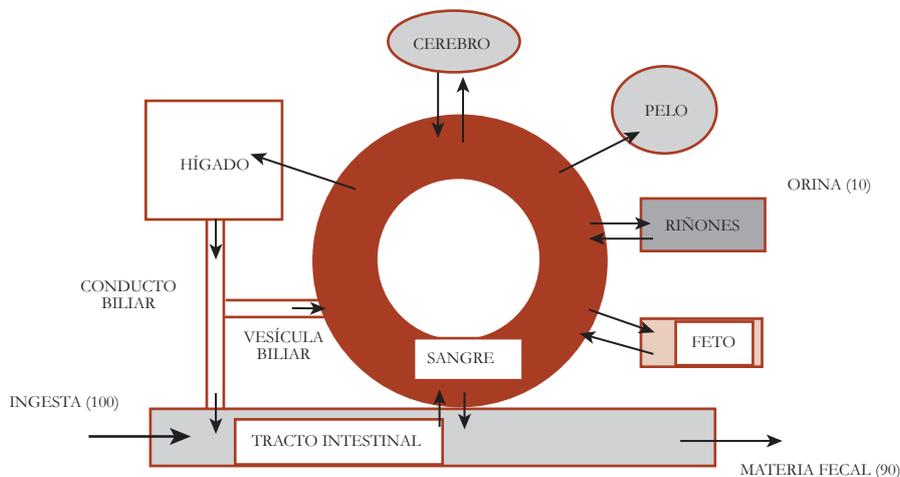
**Figura 1.** Biomagnificación del mercurio a lo largo de la cadena trófica



*Nota. Tomado de Zarco (2017)*

El metilmercurio se encuentra adherido en las proteínas por lo que no puede ser eliminado con la limpieza y cocción del animal (Conde et al., 2015). Por su parte, el Ministerio del Ambiente (2017) indica que este elemento es producido por bacterias y hongos y que se acumulan en los peces de agua dulce y agua salada, así como en mamíferos acuáticos.

**Figura 2.** El movimiento del metilmercurio en el organismo



*Nota. Tomado de Blesa y Castro (2015). Los números en la imagen exponen la importancia de las vías de eliminación del mercurio ingerido.*

Asimismo, el *Dimetilmercurio* Hg) es el que se caracteriza por penetrar con facilidad los compuestos de plástico y caucho.

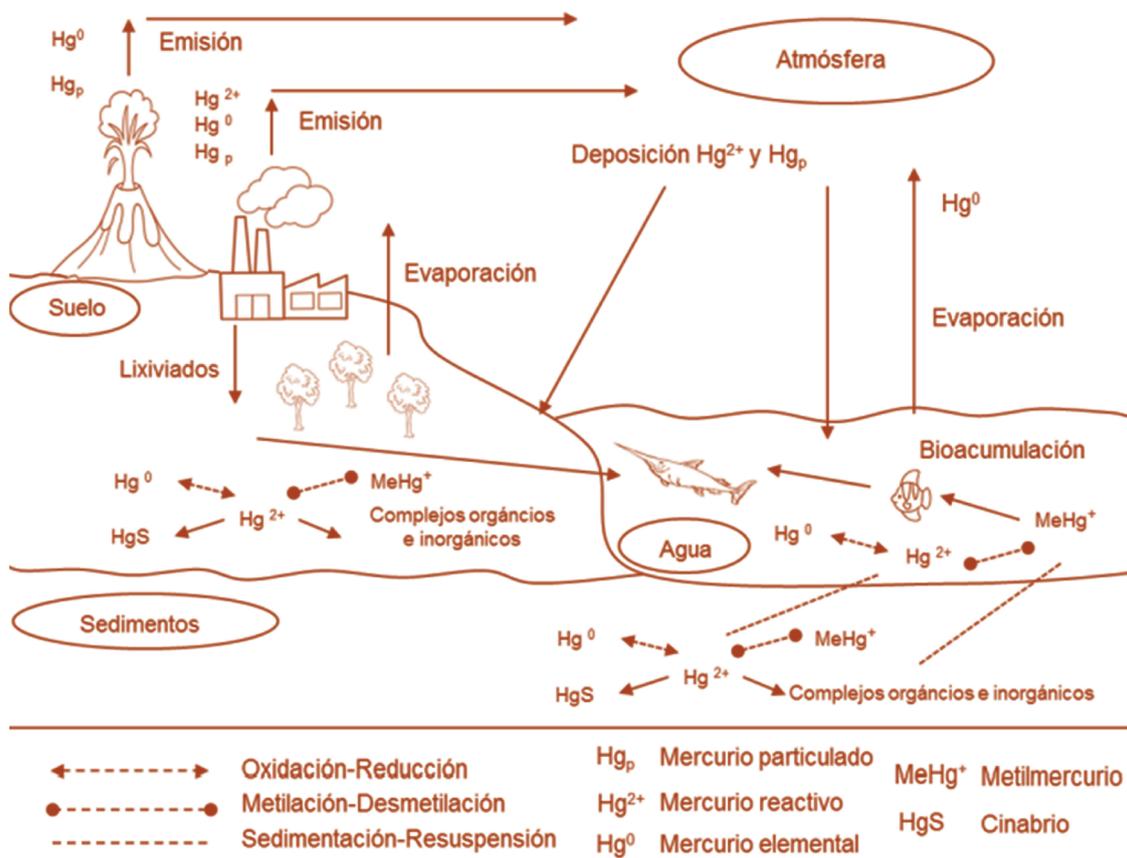
## 1.2. Ciclo del mercurio

El mercurio se caracteriza por asociarse con minerales de disponibilidad muy baja, que pueden hallarse en la atmósfera. De manera tradicional, el mercurio necesita hallarse en un elemento para poder desplazarse por el medio que lo rodea a través, para lo cual realiza el denominado ciclo biogeoquímico. Proceso conformado por seis etapas (Cuello, 2017):

- 1) Los elementos como las rocas, el suelo, las superficies de agua o emisiones volcánicas, así como las actividades antropogénicas desgasifican el mercurio.
- 2) El mercurio se desgasifica y se transporta en la atmósfera por medio de los movimientos de las especies gaseosas.
- 3) Ocurre la deposición del mercurio en los suelos y en la superficie del agua.
- 4) Se da la conversión de mercurio en sulfuros insolubles.
- 5) Ocurren las precipitaciones en formas volátiles como el metilmercurio.
- 6) Finalmente, se da la reemisión a la atmósfera o bioacumulación.

La forma en la que el mercurio se va a desplazar dependerá de la forma química en la que se encuentre. Así, por ejemplo, si el mercurio se halla en el agua este puede convertirse con facilidad en metilmercurio, elemento que se adhiere a los cuerpos marinos, es decir se bioacumula, tal como se muestra en la figura del ciclo del mercurio.

Figura 3. Ciclo biogeoquímico del mercurio



Nota. Tomado de Zarco (2017).

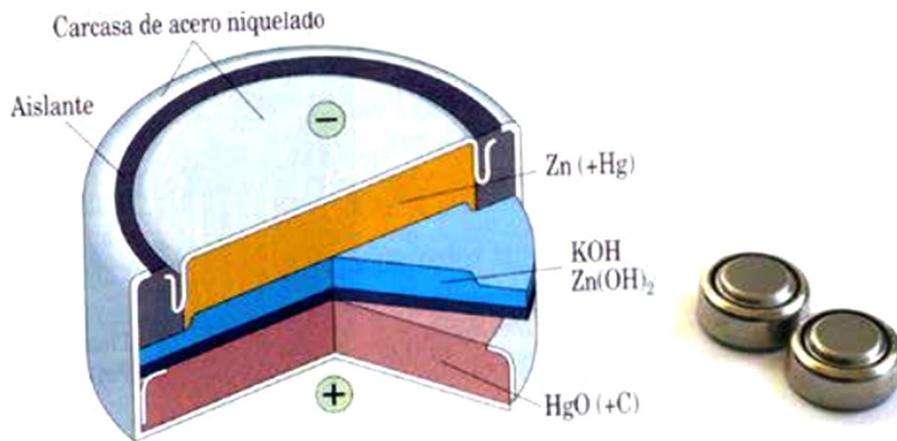
En la imagen se puede apreciar que el mineral se halla en continuo flujo que se lleva a cabo en la tierra, agua y aire. Ese proceso se lleva a cabo por las diversas reacciones que el mercurio atraviesa, los cuales pueden observarse en la Figura 2.

### 1.3. Uso y aplicación del mercurio

El Hg es uno de los metales más utilizados por la industria en la manufactura de equipos electrónicos como baterías, lámparas, termómetros, pesticidas, conservadores de semilla, pintura y algunos cosméticos por lo que se encuentra fácilmente al alcance del individuo (Jaramillo et al., 2015).

Asimismo, su extracción y uso en áreas como la minería, plantas cloro-alcálicas, industrias papeleras y eléctricas suelen presentar mercurio en altos porcentajes, por lo que se registran efectos gravísimos en el ecosistema, sobre todo si además del área contaminada, se afectan los ríos o lagunas en los que habitan especies marinas o alimento común en la dieta humana.

**Figura 4.** A la izquierda, esquema de una pila de mercurio. Abajo, pilas de ese tipo.



*Nota. Tomado de Blesa y Castro (2015).*

De acuerdo con Sánchez et al. (2017), el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (UNEP, sus siglas en inglés) señala que desde el inicio de la era industrial hasta la actualidad los índices de mercurio en el medio ambiente han ido incrementando de forma considerable debido, principalmente, por emisiones al aire y en menor medida por la presencia en el agua y la tierra. Un hecho que obliga al comercio considerar si realmente es indispensable el uso de dicho elemento químico, más aún si existe una agravante como lo es la conversión de metilmercurio. Esto debido a que se trata del elemento químico más tóxico para el hombre y el ecosistema. Al respecto, UNEP afirma que existen reportes en los que indican que países de África, Asia y Suramérica son zonas geográficas más propensas a padecer de intoxicación por dicho compuesto (Sánchez et al., 2017).

Por otro lado, en el ámbito médico el mercurio es de gran importancia para la salud odontológica, pues es debido a dicho elemento que se pueden amalgamar metales, tienen un costo de elaboración bajo, además de favorecer la fijación de reparación de piezas dentales. Méndez-Visag (2014) afirma al respecto que el amalgama dental es el material más costoso entre los materiales de restauración dental, si los costos ambientales se incluyen en el cálculo económico, con ello se puede predecir que su uso es peligroso. Al respecto, Méndez-Visag añade que deben existir normas sanitarias que regulen la eliminación de desechos de amalgama para reducir, en alguna medida, el impacto que genera al medio ambiente.

Si bien, este apartado permite conocer la utilidad del mercurio en la vida del ser humano, es inevitable no mencionar las consecuencias que genera su manipulación para el hombre o ingreso en su ecosistema.

#### **1.4. Fuentes de contaminación de mercurio**

El individuo se encuentra en constante interacción con su medio, por lo que es posible que se exponga a situaciones de riesgo, por ello las organizaciones más importantes de salud se preocupan por informar qué estándares de calidad deben considerarse, por ejemplo, en la extracción de metales u ocupaciones que puedan poner en peligro la vida de las personas. En esa línea, es importante para el presente estudio conocer cuáles son las fuentes principales de contaminación, puntualmente, de mercurio.

##### *1.4.1. Fuentes naturales*

El mercurio puede encontrarse de forma natural en la corteza terrestre en forma de sulfuros, sustancia principal que se halla en un 70% en el metal pesado. De manera general,

este metal ha sido ubicado en el aire y el agua, esto debido a la desgasificación de la corteza terrestre, actividad volcánica, erosión y disolución de los minerales de las rocas.

Debido a que el mercurio de esta clasificación se forma por cambios geológicos, los niveles de mercurio han variado en gran medida. Al respecto, Blesa y Castro (2015) indican que es posible conocer ello debido a las mediciones que se hace de contenidos de mercurio en lo más profundo de la tierra, tal como fue registrado en las erupciones volcánicas de Siberia.

#### *1.4.2. Fuentes antropogénicas*

Hace alusión a las actividades humanas que favorecen la presencia del mercurio en el ecosistema. Al respecto, se calcula que aproximadamente 10 000 toneladas de mercurio son liberadas en el ecosistema cada año generando deterioros magnos en todos los niveles del medioambiente. Un factor que contribuye con esta alarmante cifra es la actividad agrícola, ya que debido a esta al uso de fungicidas como el acetato de fenilmercurio o acetato de metilmercurio es frecuente, aunque este elemento ya se encuentra prohibido en diversas partes del mundo (Paz et al., 2017).

Sin embargo, se puede indicar que la actividad con mayor responsabilidad es la minería que genera el 50% del ingreso de mercurio al ecosistema seguido por industrias papeleras, eléctricas, entre otras. Respecto a la minería, Dammert (2020) explica que se trata de un sector importante, ya que constituye el 60% de las exportaciones que logra el país produciendo con ellos divisas y permite la importación de vehículos, alimentos, artículos, farmacéuticos, maquinarias, entre otros objetos necesarios para el crecimiento de la economía.

La minería industrial es una actividad económica en la que el proceso de extracción, explotación y beneficio de minerales se da según los intereses del mercado. Para ello, esta

actividad posee técnicas de metalúrgicas que permite que la acción comercial se lleve a cabo (Soriano et al., 2015), además de pasar por etapas donde el mineral es extraído y procesado. Portela y Unibo (2017) hace mención a las siguientes fases:

### *Fase de prospección*

En esta fase se debe iniciar la búsqueda de yacimiento minero, analizando áreas que puedan presentar características viables y usando como herramientas métodos geoquímicos, en los que se emplea análisis químicos a las rocas, agua y suelo; técnicas geofísicas, con las que se evalúan características físicas de los elementos del terreno y métodos geológicos, que corresponde al levantamiento y mapeo de la superficie. Una vez que se realizan los mencionados procesos el minero es capaz de determinar si ya se puede dar inicio a la fase de exploración.

### *Exploración*

Etapas en la que se da la perforación del terreno previamente analizado, pues en la fase de prospección se mostraron indicios del mineral que se buscaba. En esta etapa, el analista determina la existencia del mineral para lo cual se realizará levantamiento geológico, sondajes o perforaciones, de esa manera se busca evitar realizar túneles o pozos, sobre todo por los altos costos que ello genera. Durante la exploración no es necesario que existan permisos de corte ambiental y son las empresas mineras las que deben costear los gastos, planificar la inversión, la compra de materiales que usarán, entre otros elementos que corresponden a la extracción.

### *De montaje y construcción*

En esta etapa se procede a elaborar las infraestructuras pertinentes que se requerirán para el desarrollo normal de la explotación del suelo y en consecuencia para la ejecución del proyecto minero.

### *Explotación*

La información recabada hasta este punto permite que se pueda explotar el suelo con un diseño de trabajo, el montaje de los implementos, entre otros. Es en esta etapa en la que la empresa minera requiere categóricamente la licencia ambiental para iniciar con el proyecto.

Esta fase se divide en tres momentos:

- a) Desarrollo, que se caracteriza por la elaboración de un diseño ambiental y la creación de un plan de ejecución.
- b) Producción, inicia la intervención en el área geográfica considerada.
- c) Y, finalmente, el cierre.

### *Beneficios de minerales*

En esta etapa se lleva a cabo la separación molienda, trituración, mezcla y homogeneización, lavado y concentración por el cual debe pasar el mineral. El proceso consiste, de manera sintetizada, en transformar físicamente el mineral.

### *Comercialización, transporte y distribución*

La empresa minera podrá mostrar que de acuerdo a licencias ambientales ha podido extraer el mineral elegido tras una serie de estudios. De esa manera demostrará que el elemento que va a comercializar tiene legalidad, por lo que su actividad será conocida como minería legal. Considerando esta etapa se pueden mencionar las minerías ilegales que al igual que la tala ilegal y el narcotráfico corresponde a una forma negativa de generar ingresos, es decir en perjuicio, ya sea de la comunidad donde se lleva a cabo o del Estado.

De Echave (2016) explica que, en el ranking de las principales actividades delictivas de acuerdo con la cantidad de dinero que movilizan, la minería ilegal continúa compartiendo los primeros lugares con el narcotráfico y la tala ilegal, pese a la baja de los precios de los minerales en el mercado mundial. Los mineros ilegales e informales han logrado incluso desplegar eficaces estrategias de influencia y han construido puentes con la política.

### *Cierre y abandono*

Finalizan las actividades de extracción, en esta etapa del proceso se debe iniciar la rehabilitación y cierre de los suelos. Esto quiere decir que la empresa que trabaja en los suelos de extracción deberá dejar todo en completo orden y limpieza con el fin de evitar futuros problemas medioambientales o a la comunidad.

## **1.5. Impacto del mercurio en el medio ambiente**

Tal como se ha señalado a lo largo de este primer capítulo, el mercurio es un elemento que se puede encontrar en la naturaleza a nivel del aire, suelo y agua. Asimismo, es un elemento químico que se utiliza para elaborar productos necesarios en la vida del ser humano, sin embargo, los beneficios que ofrece son menguados por los daños que produce en el medio ambiente y tanto como en el organismo del hombre.

De acuerdo con Doadrio (citado en Pinzón y Fajardo, 2018) la incorporación del mercurio en la cadena trófica se da a través del metal mercurio en su forma volátil y se transforma a vapor en condiciones atmosféricas, mientras que cuando el mercurio se encuentra en el medio acuático, el metil mercurio ingresa a las membranas celulares por lo que su absorción es más fácil. Al respecto, Kehrig et al. (citado en Pinzón y Fajardo, 2018) afirma que por su gran capacidad de mantenerse en el ambiente este compuesto [el mercurio] se bioacumula

y magnífica en la cadena trófica repetidamente desde el zooplancton hasta el depredador que encabeza la cadena.

En relación de la sustancia tóxica en el aire, esta es liberada por la quema de productos fósiles, fundiciones, combustión de residuos sólidos y minería, esta última actividad realizada por el hombre con el fin de extraer pequeñas partículas de oro que se hallan dentro del metal (Rocha, 2014).

Al respecto, Ramírez-Morales et al. (2018) agregan que el proceso para conseguir oro es la etapa más dañina para el ecosistema sobre todo en relación con la contaminación del aire por la cantidad de mercurio que se expande durante la descomposición térmica de la amalgama, dicho de otra manera, en el proceso que se ejecuta para hacer la separación entre el mercurio y el oro.

Ahora bien, cabe resaltar que no todos los suelos y plantas se verán afectada de la misma manera, ya que dependerá de la especie a la que pertenecen, asimismo, se sabe que cuando el mercurio llega al suelo posee una baja biodisponibilidad, pero logra acumularse fácilmente a las raíces de las plantas, afectando así a la flora en sí misma y a la dieta del ser humano Ramírez-Morales et al. (2018).

Respecto a la contaminación del agua realizada por mercurio, se presenta su más grave problemática al bioacumularse en los peces afectando con ello la cadena trófica (Castañé et al. citado en Ribadeneira y Zambrano, 2018). La acumulación o bioacumulación, de la que se hace mención, en los organismos acuáticos se puede describir en dos etapas, de manera general:

- 1) Adsorción rápida o vinculación a la superficie biológica (biosorción).

2) Transporte lento e irreversible controlado por difusión al interior de la célula (bioacumulación), que puede ser por difusión del ion metálico a través de la membrana celular o por transporte activo por una proteína transportadora (Wang et al. citado en Ribadeneira y Zambrano, 2018).

### 1.6. Impacto del mercurio en la salud del hombre

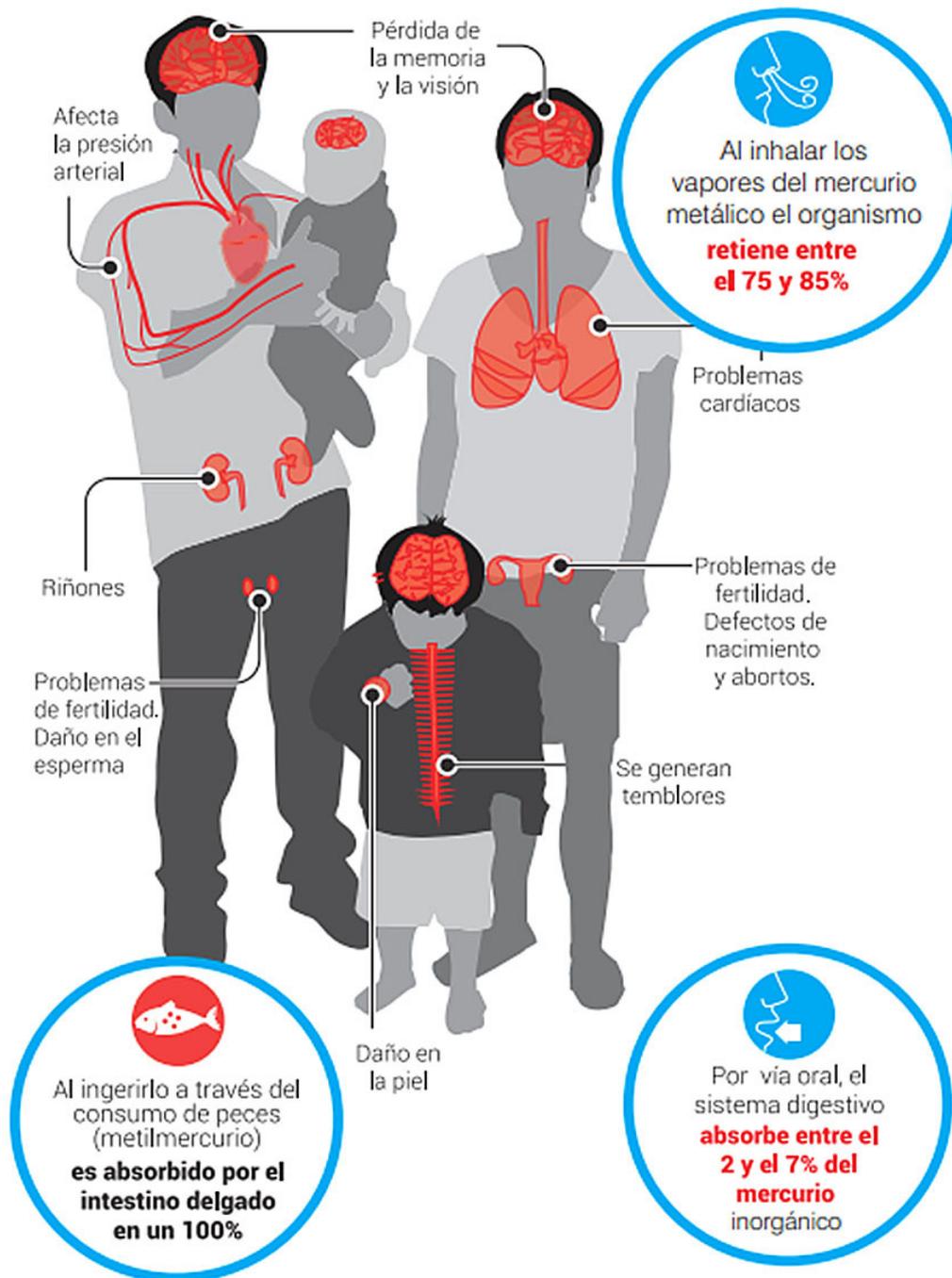
El mercurio puede ingresar al organismo del ser humano, principalmente, a través de la ingesta de alimentos sólidos o líquidos. Una vez el que metal pesado se encuentra en el cuerpo del individuo es distribuido por todo el organismo, pero principalmente hacia el cerebro, hígado y riñón generando con ello una alteración en el sistema nervioso central (Ruiz, 2016).

El metal tóxico es absorbido por los tejidos en un lapso de 30 horas. Al igual que otras compuestas de este tipo, el mercurio es capaz de atravesar fácilmente la barrera hematoencefálica y la placenta. Incluso puede hallarse en la leche materna para luego ser transmitida al bebé. De lo expuesto, se concluye que el metal pesado analizado puede ser absorbido por las siguientes vías (Escala, 2017):

- Vía respiratoria: se da por inhalación para luego ingresar a la sangre con una eficiencia del 80%. El proceso que se presenta en el organismo inicia cuando los gases y vapores contaminantes ingresan al organismo por el tracto respiratorio siendo los menos solubles en agua los que penetran en el árbol bronquial.
- Vía cutánea: hace referencia a los casos que han presentado intoxicación por aplicación tópica, es decir cuando la piel tiene contacto con elementos que contienen metilmercurio. Aun así, existe gran controversia sobre si el organismo se ve realmente afectado por el contacto con mercurio.

- Vía digestiva: la absorción es generada frecuentemente por la ingesta de alimentos contaminados como el pescado.

**Figura 5.** *Impacto del mercurio en la salud del hombre*



*Nota. Tomado de Ministerio del Ambiente (2017).*

### *Intoxicación aguda*

Es aquella que se origina por el contacto, inhalación o ingesta de una sustancia nociva, en este caso de mercurio. Neto et al. (2015) explica que este tipo de intoxicación es una reacción patológica que puede ser descrita como la manifestación de signos y síntomas tras la exposición a una o varias dosis del agente tóxico, la cual debe presentar efectos durante las 24 horas después de la intoxicación. Se trata de un hecho sumamente delicado, el cual debe ser atendido a tiempo, pues una oportuna intervención podría ser decisiva en la vida de la persona afectada.

Tal como se dijo, el proceso de contaminación al organismo se presenta en poco tiempo. En el caso particular del mercurio, si este se presenta en grandes cantidades, el paciente necesita atención urgente para evitar la muerte o contrarrestar el proceso de deterioro que sufrirá el organismo, tanto a nivel cerebral como en el sistema nervioso.

### *Intoxicación crónica*

Con relación a este tipo de contaminación, se da cuando la exposición al metal pesado ha sido constante en dosis no letales, pero durante mucho tiempo. Este hecho se suele dar cuando las mineras contaminan los ambientes donde extraen el mineral requerido y no cumplen con el respeto por el ecosistema. Diversos son los casos que exponen sucesos de intoxicación crónica.

Un suceso que ejemplifica este hecho es el de Choropampa en Cajamarca, donde el total de las personas afectadas por inhalar vapor de mercurio presentaron problemas respiratorios, sarpullido, así como temblores, labilidad emocional, insomnio, pérdida de la memoria, cambios en el sistema neuromuscular, dolores de cabeza, dolor lumbar y articular, síntomas que se mantuvieron presentes incluso ocho años después de ejecutados los daños.

**Tabla 1.** ¿Cómo afecta el mercurio al organismo?

Tipo De Mercurio	Síntomas de Intoxicación Aguda	Síntomas de Intoxicación Crónica
Mercurio metálico (efectos agudos por la inhalación)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Afectación del Sistema Nervioso Central</li> <li>• Bronquitis</li> <li>• Neumonía</li> <li>• Edema pulmonar</li> <li>• Sabor metálico en la boca</li> <li>• Aumento de la salivación</li> <li>• Estomatitis</li> <li>• Encías inflamadas</li> <li>• Tos</li> <li>• Dolor de pecho</li> <li>• Diarreas</li> <li>• Vómitos</li> <li>• Hemorragia</li> </ul>	
Mercurio metálico	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Afectación del Sistema Nervioso Central</li> <li>• Temblor</li> <li>• Adormecimiento de manos y pies</li> <li>• Pérdida de la memoria</li> <li>• Hiperexcitabilidad</li> <li>• Aceleración de ritmo cardiaco</li> <li>• Reducción en los reflejos.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Afectación del Sistema Nervioso Central</li> <li>• Temblor</li> <li>• Excitabilidad</li> <li>• Irritabilidad</li> <li>• Depresión Fatiga</li> <li>• Debilidad</li> <li>• Pérdida de la memoria</li> <li>• Insomnio.</li> </ul>
Mercurio inorgánico	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ardor y dolor de pecho</li> <li>• Oscurecimiento de la membrana de la mucosa bucal</li> <li>• Dolor severo y necrosis gastrointestinal</li> <li>• Vómito</li> <li>• Severos dolores abdominales</li> <li>• Diarrea</li> <li>• Salivación</li> <li>• Taquicardia</li> <li>• Pulso débil</li> <li>• Palidez</li> <li>• Ulceración</li> <li>• Sangrado</li> <li>• Colapso circulatorio</li> <li>• Muerte</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Estomatitis mercurial</li> <li>• Inflamación de la lengua</li> <li>• Gingivitis</li> <li>• Pérdida de los dientes</li> <li>• Muerte de tejido mandibular</li> <li>• Necrosis del túbulo proximal</li> <li>• Alteración del sistema de formación de la orina.</li> </ul>

Tipo De Mercurio	Síntomas de Intoxicación Aguda	Síntomas de Intoxicación Crónica
Mercurio orgánico (metilmercurio)		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Dificultad para coordinar movimientos.</li> <li>• Dificultad en la articulación de las palabras.</li> <li>• Depresión</li> <li>• Tristeza</li> <li>• Pérdida de la visión, audición, memoria</li> <li>• Depresión e insomnio</li> <li>• Cambio de la personalidad</li> </ul>

*Nota. Tomado de Ministerio del Ambiente (2017)*

### 1.7. Diagnóstico de intoxicación por mercurio

De acuerdo con un estudio realizado por Molina (2015) un gran porcentaje de personas intoxicadas por metales pesados pueden ser diagnosticados analizando la sangre o la orina. En el caso de que el estudio sea realizado a la población infantil se recomienda considerar los niveles de creatinina y de densidad que se hallan en el residuo líquido.

Para obtener un resultado certero de los hechos, se deben seguir ciertos procedimientos analíticos en muestras biológicas, estos se denominan espectrofotometría de absorción atómica (EAA). Los pasos que se ejecutan empiezan con la muestra, que se calienta por medio de una llama, se transporta a una célula de cuarzo (en el caso de la generación de hidruros, con o sin precalentamiento de esta en el caso del arsénico o el mercurio, respectivamente) o se introduce en el horno hasta que se atomiza el vapor atómico obtenido absorbe la radiación emitida por una fuente y un detector fotoeléctrico mide la intensidad de la radiación que recibe.

El Ministerio de Salud (2015) estableció criterios que deben considerarse para establecer un diagnóstico en el paciente. Estos están relacionado con aspectos: 1) Epidemiológicos, es decir si ha existido exposición ocupacional, ambiente o zonas de contaminación, ya sea industrial, derrame, exposiciones accidentales o de manera natural; 2) Clínico, si presenta problemas de salud de tipo neurológico, gastrointestinal, renal, cardiopulmonar, en la piel, entre otros y c) Laboratorio, en personas que no han estado expuesta ocupacionalmente el dosaje de mercurio en orina es  $< 5 \mu\text{g Hg/L}$ . o  $5 \mu\text{g Hg/g}$  de creatinina y en personas que han estado expuesta, es de  $< 50 \mu\text{g Hg/L}$ . o  $35 \mu\text{g Hg/g}$  de creatinina.

Ahora bien, es menester señalar que también se podrán considerar radiografías abdominales, de tórax o axial computarizada o de resonancia magnética, según los síntomas que presenta el paciente. Siendo la última de todas las mencionadas, la resonancia magnética, la que permitirá conocer evidencia de atrofia cortical y central, daños en los centros motores, sensitivos o auditivos.

Otro tipo de evaluaciones que se pueden considerar son los estudios electromiográficos, en los que se puede observar cómo se lleva a cabo la conducción nerviosa y si existe una reducción de la velocidad motora, de esa manera se podrá determinar daños a nivel del sistema nervioso.

Asimismo, se encuentra como herramienta complementaria la exploración psicológica, durante este examen es adecuado que se considere características del comportamiento como hacia dónde, la persona, dirige su atención, cómo se interrelaciona, cuál es su estado de ánimo (Ministerio de Salud, 2015).

En algunos casos, incluso, se recurre a la exploración de la inteligencia, la Escala de inteligencia de David Weschler, mientras que para la evaluación psicomotriz se considera

el uso de prueba de retención visual de Benton, test Guestáltico Visomotor de Bender, test neuropsicológico de Luria, y en el caso de aspectos emocionales, el inventario de personalidad de Eysenck, escala de ansiedad y depresión de Zung, todo ello indicado por el documento de Guía del Ministerio de Salud, citado anteriormente.

Finalmente, es posible realizar la denominada prueba de anatomía patológica donde se detecta la necrosis de mucosa bucal, esofágica, gástrica, etc., mientras que se realizan estudios para detectar si ha habido destrucción o desmielinización de fibras sensitivas nerviosas, raíces dorsales, nervios periféricos, males renales, entre otros.

Como se puede apreciar, el daño que deja el mercurio es gravísimo y le resta oportunidad a las personas para una pronta recuperación, por ello es que existe una exigencia de parte de las comunidad que se respete el ecosistema donde se explota determinados minerales, más aún si esta actividad va a afectar las salud de la población de manera irremediable.

### *Aspectos generales*

De lo señalado a lo largo del apartado se puede resaltar que el mercurio es un elemento químico que posee un costo muy alto por su extracción, no solo para el ecosistema, sino en la salud humana, la cual se ve perjudicada por distintas vías, ya sea respiratoria, cutánea o digestiva. Cualquiera sea la forma en la que el mercurio ingresa al organismo ocasionará profundos daños irreparables. Por eso y para evitar llegar a casos de ese tipo es necesario que el Estado haga un seguimiento sobre el cumplimiento de la normativa sobre el tema de extracción

Tal como se afirmó anteriormente, si bien el mercurio es un elemento necesario para la elaboración de objetos que la población utiliza de manera recurrente, este uso no puede ni

debería tener un alto costo como sucede con la intoxicación crónica y aguda con hechos registrados en la memoria nacional, de personas que a pesar de haber transcurrido cerca de 10 años de haber sido afectados los síntomas, lesiones y daños persisten sin que no haya responsables directos.

En ese sentido, se debe tener mayor cuidado con aquella actividad que posee una responsabilidad del 50% para que el mercurio se encuentre en la población: la minería. Asimismo, es recomendable evaluar si esa es la única actividad que puede generar altos ingresos al país.

# CAPÍTULO II

## EPISTEMOLOGÍA MEDIOAMBIENTAL

**E**l concepto *medio ambiente* hace alusión a la interrelación de elementos naturales y no naturales; vivos y no vivos, es decir, la convergencia entre animales, plantas y seres humanos, por un lado; y agua, energía solar, suelos, etc., por otro. El objetivo que siempre se busca es el de alcanzar una calidad ambiental, principalmente en la zona urbana donde existen ciertos factores que acentúan la contaminación, tales como la disposición de las construcciones, las vías vehiculares, la densidad poblacional, la presencia de áreas verdes, etc., (Pérez, 2016).

La importancia de un equilibrio en dichos factores no solo radica en tener una mejor calidad ambiental, sino en proporcionar una mejor calidad de vida; y, para lograrlo, es fundamental tomar acciones de prevención en el campo de la contaminación ambiental, recuperar áreas verdes, respetar el medio natural, ahorrar servicios públicos, etc. Como es sabido, los efectos dañinos comienzan cuando la contaminación supera la capacidad de recuperación ambiental (Pérez, 2016).

Benítez et al (2019) sostiene que, para que identificar la calidad medioambiental, deben desarrollarse funciones de transformación que puedan medir el impacto ambiental, para

ello, toma en cuenta cinco factores, a saber: 1) partículas totales suspendidas en el aire, 2) índice de calidad de agua, 3) erosión del suelo, 4) pérdida de vegetación terrestre y 5) diversidad de especies.

El concepto *medioambiente* es un tema tan amplio que resulta casi imposible abordarlo totalmente en una sola investigación, sin embargo, hay conceptos básicos que no se pueden soslayar cuando se aborda el tema del impacto de un elemento químico en espacios naturales: la atmósfera (su contaminación, su importancia) y los recursos naturales hídricos y terrestres.

## 2.1. Atmósfera

Desde el punto de vista etimológico *atmósfera* proviene de dos voces griegas: *atmos*, que significa ‘gas’ y *spharia* que significa ‘esfera’. Por lo que el término en mención se podría traducir como esfera gaseosa (Alva, citado en Mato, 2019).

La atmósfera es una capa de gran espesor que envuelve la tierra y está conformada por distintos gases y diversas sustancias sólidas, las cuales tienden a ser variables. Tiene una acción protectora respecto del globo terráqueo, debido a que ofrece temperaturas adecuadas para hacer la vida posible. Estas temperaturas se logran a partir de la regulación del pase de los rayos solares durante el día y la expulsión de estos durante la noche, de modo que ambas temperaturas (de día y de noche) no difieran demasiado (Rodríguez, citado en Mato, 2019).

### 2.1.1 Estructura

La atmósfera puede estructurarse de distintas formas, de acuerdo al criterio de división que se utilice. Si se considera su composición química, puede dividirse en homosfera, heterosfera

y exosfera. Si, por otro lado, se toman en cuenta las características electromagnéticas, la atmósfera comprendería 3 capas, a saber: atmósfera neutra, ionosfera y magnetosfera

Finalmente, si el parámetro a considerar es la temperatura — o la variación de ésta con la altura—, se pueden observar 4 o 5 capas (de acuerdo al autor). Estas son las siguientes:

### *Troposfera*

Es la capa que se encuentra en contacto con la superficie terrestre, abarca aproximadamente 12 kilómetros de altura y contiene alrededor del 80% del total de la masa atmosférica. En esta capa se produce el mayor porcentaje de los fenómenos meteorológicos y su temperatura disminuye en la medida de que se acerca a la estratósfera (Camilloni, Vera y Kornblihtt, s. f.)

### *Estratósfera*

Esta capa se extiende aproximadamente hasta 45 kilómetros de altura. En esta capa las temperaturas cambian de modo inverso a las de la troposfera; es decir, aumentan a medida que se acercan al límite superior (Camilloni, Vera y Kornblihtt, s. f.)

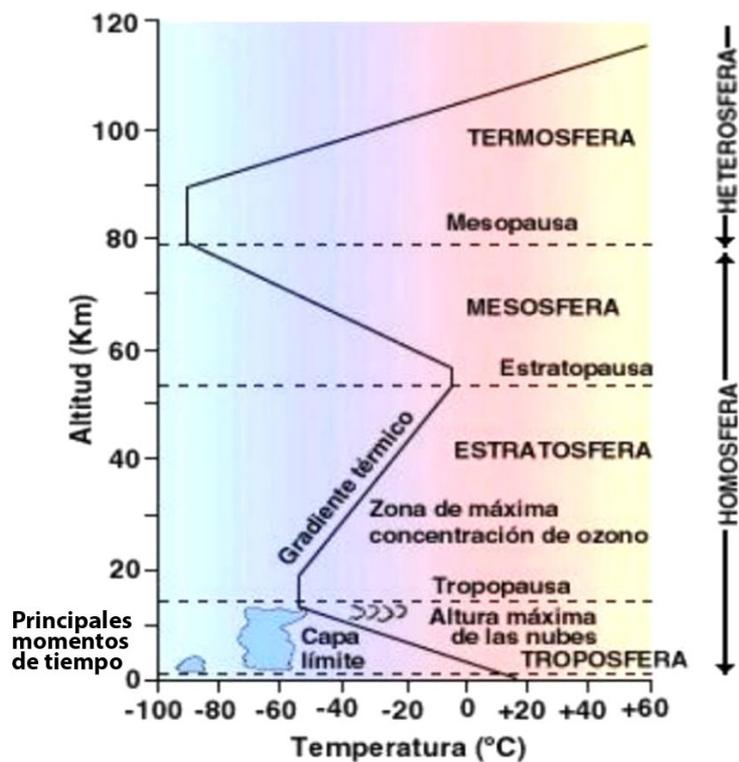
### *Mesosfera*

Esta capa de 80 km de altitud (aproximadamente) se ubica por encima de la estratósfera. En esta capa las temperaturas se definen de la siguiente manera: cuanto más altura, menor temperatura. Esta, en su límite superior (mesopausa) llega a  $-90^{\circ}\text{C}$ . posteriormente se encuentra la termósfera (Camilloni, Vera y Kornblihtt, s. f.).

*Termósfera*

Esta capa se ubica en las zonas más externas de la atmósfera terrestre; antecede a la exósfera y su altitud varía entre los 90 y 1000 kilómetros. Está compuesta por partículas neutras y se caracteriza por presentar alta sensibilidad a las variaciones de energía ubicadas en ella (Oliveira y Silveira, 2017).

**Figura 6.** Estructura térmica de la atmósfera terrestre



*Nota.* Tomado de López, citado en Mato (2019).

*2.1.2 Composición*

Resulta un tanto difícil exponer la composición actual de la atmósfera, y más aún en porcentajes exactos, pues esta es una “esfera” de gases, que ha evidenciado desde inicios de la historia, una amplia variación. Como precisa Mato (2019), la atmósfera no ha sido

siempre tal y como la conocemos en la actualidad. En efecto, la atmósfera ha sufrido cambios en su composición debido a fenómenos biológicos y geológicos, que han dado lugar a su estado actual y, probablemente, a otros posibles estados en el futuro. Los cambios han sido tan marcados que cada era de la atmósfera terrestre daría no solo para un capítulo aparte sino para una tesis doctoral (Quintero, 2018), ya que cada uno de ellos no solo involucra diferencias en la composición de la atmósfera propiamente, sino también da cuenta de los diferentes procesos que se han presentado, de las diferentes especies que han aparecido durante cada estado, etc. Resulta relevante, precisar que la evolución de la atmósfera se encuentra estrechamente relacionada con los cambios de la hidrósfera y la litósfera, pues estos tres factores intercambian continuamente componentes, como consecuencia de los ciclos o procesos geoquímicos: “el conocimiento de la atmósfera primitiva de la Tierra y su evolución depende y emana del estudio de la litosfera y la hidrosfera de nuestro planeta” (Pla-García y Menor-Salván, 2017).

La atmósfera terrestre está constituida por diferentes elementos; Cárdenas-Rodríguez y Pedraza-Chaverri (2018) señalan 10 principales, que se encuentran ordenados de acuerdo con su presencia porcentual:

- Nitrógeno: 78.08 %
- Oxígeno: 20.95 %
- Argón: 0.93 %
- Bióxido de carbono: 0.03 %
- Neón: 0.0018 %
- Helio: 0.0005 %

- Criptón: 0.0001 %
- Hidrógeno: 0.00006 %
- Ozono: 0.00004 %
- Xenón: 0.000008 %

## 2.2. Suelo y sedimentos: conceptualizaciones básicas

Los suelos y los sedimentos son elementos que forman parte del medio ambiente. Mientras que los suelos son de origen netamente natural, los sedimentos pueden formarse de forma natural (origen biogénico), por procesos químicos, por procesos volcánicos, etc. Ambos elementos presentan múltiples beneficios; no obstante, los sedimentos pueden ser también perjudiciales.

### 2.2.1 *El suelo*

#### *Concepto*

El suelo es concebido como un sistema natural, complejo, abierto y dinámico que funciona como una especie de piel, pues cubre la superficie terrestre. Es uno de los recursos naturales de mayor relevancia debido a su característica multifuncional (Jiménez, 2017).

#### *Funciones*

Como se ha señalado, el suelo cumple diversas funciones que se relacionan con diferentes aspectos: ambientales, sociales, económicos, culturales, entre otros. Jiménez (2017) enumera alguna de las principales funciones de este recurso:

- Es fuente de alimentación y generador de biomasa. En el suelo se producen la mayor cantidad de alimentos para los animales, incluyendo al hombre y además abastece de

nutrientes y agua a las plantas. Asimismo, es el espacio productor por excelencia de materia orgánica.

- Es un componente fundamental del ciclo hidrológico. El suelo tiene la capacidad de distribuir las aguas ubicadas en la superficie y aumentar o mejorar el caudal de las aguas subterráneas.
- Realiza procesos naturales de protección medioambiental. El suelo tiene la capacidad de neutralizar, degradar, almacenar y filtrar elementos tóxicos. De ese modo protege a las aguas subterráneas, protege a los alimentos que se siembran sobre él, incluso impide que las sustancias nocivas se incorporen al aire.
- Sirve de hábitat natural.
- Es fuente de materias primas.
- Es un recurso económico. Debido a que es el elemento base de producción agrícola, sirve también como una fuente económica. También se considera parte del patrimonio cultural.

### *Contaminación*

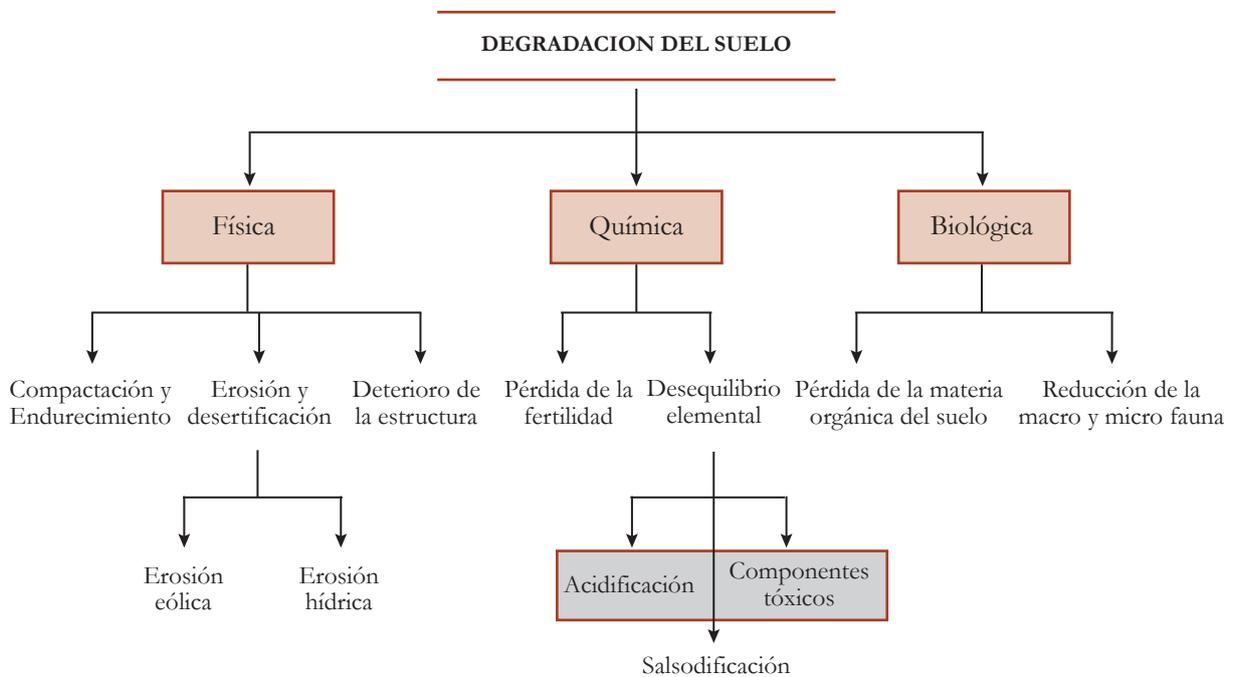
Cuando los suelos pierden su equilibrio natural, se dice que están atravesando un proceso de degradación. Esta puede ser ocasionada por actividades naturales o antropogénicas, aunque estas últimas son las que tienen mayor impacto. El hombre degrada el suelo cuando excede el potencial que este tiene, y lo hace mediante la agricultura, el pastoreo descontrolado (o sobrepastoreo), las actividades industriales desmedidas, las actividades mineras, etc.

Esta degradación, de acuerdo con los procesos que se efectúen y a las características que desencadene en el suelo, puede ser física, química o biológica. Se dice que hay degradación

física cuando se evidencia en los suelos un proceso de compactación y endurecimiento. La degradación química ocurre cuando los suelos reciben una cantidad excesiva de sustancias tóxicas que alteran el equilibrio orgánico de este, y, en consecuencia, se produce una disminución en la fertilidad. Por último, la degradación biológica es aquella que conlleva a la reducción de materia orgánica en los suelos y, por ende, disminución de la fauna (Jiménez, 2017).

Cabe precisar que la recuperación de los suelos es bastante lenta, y, en algunos casos, su destrucción es definitiva. Por esa razón es importante concientizar a los sectores industriales, agrícolas, mineros y a la población en general sobre los efectos de la contaminación de los suelos y sobre la importancia de cuidarlos.

**Figura 7.** Tipos de degradación de suelos



*Nota. Tomado de Jiménez (2017).*

### 2.2.2 *Los sedimentos*

Un sedimento es, en palabras de Gonzales (2015), una capa superficial ubicada en el fondo de un cuerpo de agua y se forma por un proceso de sedimentación; es decir, por un proceso continuo, donde ciertas partículas sólidas que se encuentran suspendidas precipitan y se acumulan. Las partículas pueden formarse por la actividad de organismos vivos (origen biogénico), por procesos químicos (precipitación, vaporización, etc.) y por actividad volcánica.

Los sedimentos son materiales sólidos que, para formarse, atraviesan por una serie de procesos desarrollados en la superficie terrestre o en el agua, a saber: erosión, transporte, precipitación y diagénesis. Quispe (2017) sostiene que el agua y los vientos representan los principales medios de erosión y transporte y que los sedimentos pueden formarse por fuentes naturales o artificiales. Además, señala que existen ciertos parámetros físico-químicos para analizar los sedimentos:

- PH
- Capacidad de intercambio iónico
- Proporción de materia orgánica
- Presencia de Nitrógeno
- Presencia de fósforo
- Presencia de metales (estos pueden presentarse como nutrientes o como indicadores de contaminación)

Es importante mencionar que los sedimentos, aunque la mayoría de las veces sean percibidos como elementos nocivos, pueden ser también beneficiosos. Por ejemplo, Díaz, citado en Quispe (2017) sostiene que los sedimentos son una muestra de que la

productividad primaria se está realizando con regularidad; además sirven como fuente de energía para organismos autótrofos, y, de modo indirecto, para los heterótrofos. Asimismo, Mato (2019) argumenta que la existencia de sedimentos hace posible la configuración de superficies terrestres, por ejemplo, los continentes.

### **2.3. Ecosistema acuático**

Como es sabido, la mayor proporción del mundo está conformado por agua, la cual funciona como hábitat de innumerables especies (principalmente las aguas tropicales); es decir funcionan como ecosistemas, y, por ende, representan una fuente de alimentación importante para los seres humanos, razón por la cual estudiarlos representa una tarea necesaria. Entre los ecosistemas marinos se encuentran: los océanos, los lagos, los ríos, entre otros (Rodiles-Hernández et al., 2013).

#### *2.3.1. Océanos*

La Unesco, citada en De la Torre (2018) señala que los océanos son una fuente de vital importancia en la calidad de vida de las personas por las siguientes razones:

- Fuente de alimentación.
- Fuente de economía: brinda millones de empleos, y, por ende, millones de ingresos económicos.
- Regula la temperatura a través de las corrientes marinas.
- Regula las condiciones climáticas.
- Es la principal fuente de oxígeno: la proporción brindada supera a todos los bosques del planeta).

Por todas esas razones, es importante establecer medidas que puedan protegerlo de la excesiva contaminación producida, principalmente por el hombre. Según NCYT, citado en De La Torre (2018), en las últimas dos décadas se ha observado una reducción de oxígeno en los océanos, producto de la descontrolada contaminación, entre las principales se encuentran:

- La presencia de elementos químicos procedentes de industrias y de actividades domésticas.
- Arrojo de petróleo que inhibe el pase de luz para la flora marina.
- Uso de fertilizantes agrícolas: destruyen la flora marina.
- Presencia de plásticos. Este es posiblemente uno de los causantes de mayor impacto negativo, no solo por la cantidad que se expulsa a los océanos sino por el tiempo que un plástico tarda en desintegrarse.

En ese sentido, urge promover políticas de cuidado a los océanos y una concientización poblacional masiva. En el sector industrial-empresarial urge establecer medidas prudentes de vertidos contaminantes, es decir fortalecer la Responsabilidad Social Empresarial; y en la población promover hábitos de reciclaje y reducir o regular el consumo de productos contaminantes. Estas acciones contribuirán con el desarrollo sostenible del mundo y permitirán, sin duda, una mejor calidad de vida.

### *2.3.2. Lagos*

Los lagos se conciben como masas de agua depositadas en espacios terrestres llamadas depresiones. Según Muñoz (2015) los lagos pueden contener aguas dulces o saladas, aunque los que contienen agua dulce dan lugar a los asentamientos, ya que su uso se presta para

actividades vitales. Cabe resaltar que los lagos desde un punto de vista histórico han sido utilizados como mecanismos de defensa, ya que aislaban cierta parte del espacio geográfico. Por ejemplo, en el límite de Perú y Bolivia, se encuentra el lago Titicaca, que es uno de los más destacados en el mundo por su navegabilidad y en consecuencia medio de interacción de los distintos pueblos del entorno. El autor señala también que los lagos son muy comunes en todos los continentes, entre los destacados por su tamaño se encuentran los siguientes:

- Mar Caspio (ubicado entre Asia y Europa)
- Lago Superior (Norteamérica)
- Lago Victoria (África)
- Lago Michigan (EE. UU)
- El gran lago del Oso (Canadá)
- Entre otros.

### *2.3.3. Ríos*

Los ríos se conciben comúnmente con corrientes de agua dulce que se conectan con otros cuerpos de agua mayores como los mares, lagos, etc. Los ríos sirven, generalmente, como medio de intercomunicación entre distintas regiones, como ecosistema de un gran número de especies, y, debido a que contienen agua dulce, resultan medulares para la vida. Pueden clasificarse por su longitud, su altura, su caudal, su profundidad, su salinidad, su sistema lacustre, por su influencia económica o por su nivel de navegabilidad. A nivel mundial, los ríos más destacados por su extensión son los siguientes: El río Nilo y el río Congo, en África; el río Amazonas, en América del Sur; el río Missouri-Mississippi, en Norteamérica; el río Yangtsé, en Asia, entre otros (Muñoz, 2015).

A nivel nacional, el Perú cuenta con una amplia variedad de ríos. Según Apaéstegui y Peña (2017), el Perú cuenta con aproximadamente 1007 ríos que se organizan en tres vertientes: vertiente del Pacífico, conformada con 53 cuencas; vertiente del Atlántico o Amazónico, conformada por 84 cuencas; y vertiente del Titicaca, conformada por 13 cuencas. Cabe precisar que la denominación de las cuencas responde a los nombres de los mares o Lagos en los que desembocan los ríos que las conforman. Entre los ríos más destacados se encuentran: el Ucayali, el Marañón y el Huallaga (pertenecientes a la cuenca amazónica): los dos primeros conforman el río Amazonas, que es el más caudaloso del mundo.

### *Cuenca Azángaro*

*Azángaro* es el nombre de una cuenca fluvial ubicada en la provincia de Azángaro (Puno), Representa una subcuenca de una mayor llamada Cuenca del río Ramis. La subcuenca Azángaro tiene como río principal al Azángaro, con una longitud de 94.28 km; no obstante, destacan también otros como Arreromayo, Yanamayo y Chuño Jani. Asimismo, cuenta con tres lagunas importantes, a saber: San Juan de Salinas, Quequerani y Quearia. Su área, en kilómetros cuadrados, es de, aproximadamente, 676.41. La parte más elevada de la cuenca (cota 4,560 msnm) se encuentra en el cerro Veluyo y la más baja, que está en la cota 3,825 msnm, confluye con el río Ayaviri, para dar lugar a l río Ramis (INRENA, 2008).

Según lo expuesto por Incahuanaco (2018), la cuenca Azángaro y los ríos que la conforman están siendo gravemente afectados por la contaminación de distintas mineras, las mismas que se muestran en la siguiente tabla:

**Tabla 1.** *Compañías mineras activas que tienen unidad en la cuenca del río Azángaro*

Nombre de la minera	Planta	Distrito	Provincia	Estado
<b>Minera Ananea</b>	Ana María	Ananea	San Antonio de Putina	Activa
<b>MINSUR Mina Cecilia</b>	San Rafael Cecilia	Antauta Putina	Melgar San Antonio de Putina	Activa Activa

En ese sentido, es importante enfatizar el estudio de esta cuenca con la finalidad de reducir daños que genera la minería, pues esta influye, no solo en el aspecto medioambiental, sino en el aspecto socioeconómico y de salubridad poblacional: las descargas vertidas en los ríos de esta cuenca desembocan en un lago de gran importancia en términos medioambientales: el lago Titicaca.

#### 2.4. Contaminantes atmosféricos frecuentes

La contaminación atmosférica se concibe como la alteración que sufre la atmósfera debido a la presencia de sustancias nocivas que afectan la salud, los ecosistemas o la naturaleza de cualquier ser vivo. Esta puede ser local o general, de acuerdo con los efectos que ocasionen los contaminantes (Amable et al, 2017).

MITECO (2019) señala que no existe un nivel mínimo considerable que sirva como indicador para definir si la contaminación del aire es perjudicial: su simple aparición ya representa un riesgo. Además, menciona 4 elementos que conforman los contaminantes más resaltantes de la atmósfera, a saber, el material particulado, el dióxido de nitrógeno, el ozono, y el dióxido de azufre.

- Material particulado (PM). Son partículas dañinas: orgánicas o inorgánicas; líquidas o sólidas; de fuentes naturales o químicas, que se encuentran suspendidas en el aire

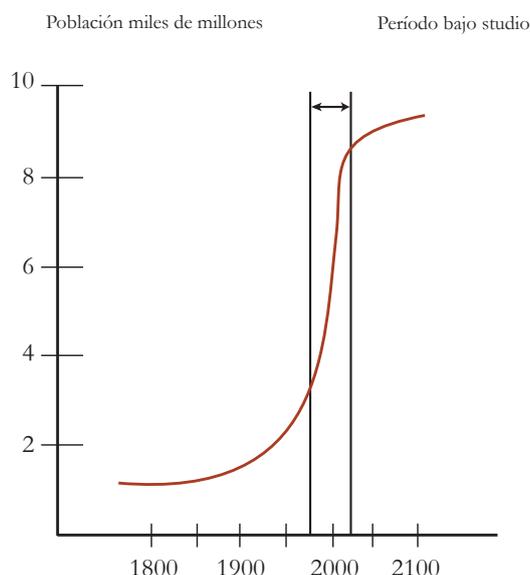
y están compuestos generalmente por sulfatos, nitratos, amonios, metales, dioxinas, sales y carbón negro.

- Dióxido de nitrógeno. Es un contaminante generado a partir de la combustión de elementos fósiles (principalmente campo automotor). Tiene alto nivel de toxicidad.
- Ozono. Es un elemento contaminante que se encuentra en la primera capa de la atmósfera (considerando que el orden es ascendente partiendo del contacto con la superficie terrestre). Este surge a partir de ciertas reacciones fotoquímicas, donde intervienen el dióxido de nitrógeno y los compuestos orgánicos volátiles. Se puede presenciar con mayor claridad durante rangos de tiempo calurosos.
- Dióxido de azufre. Es el principal factor tóxico que origina la lluvia ácida y se encuentra en estado gaseoso.

Por su parte Amable et al. (2017) sostiene que la contaminación de la atmósfera es un problema de índole global, pues perjudica a todos los países indiferentemente del nivel de desarrollo que tengan: muy desarrollados o tercermundistas. Las fuentes pueden ser biogénicas (naturales) o antropogénicas, siendo esta última la principal, ya sea de forma masiva como el funcionamiento de industrias o las actividades del campo automotor, o de forma individual como el consumo de cigarrillos, el uso de aerosoles, entre otros. Las formas de contaminar la atmósfera son múltiples, y, entre las principales se encuentran aquellas relacionadas con los procesos de combustión que regularmente forman parte de las industrias, pues estas emiten gases contaminantes, tales como: dióxido de carbono, óxidos de nitrógeno y de azufre, monóxido de carbono, etc. Esta postura es compartida por Hernández, Reinoso y Hernández (2017), quienes señalan que la principal fuente de contaminación ambiental es la quema de hidrocarburos.

Otras formas de contaminar la atmósfera se efectúan mediante el desarrollo urbano, la variación de la superficie terrestre, etc. Todo ello responde, posiblemente a la explosión demográfica mundial que se evidencia desde hace varios años y hasta la actualidad. (Amable et al, 2017).

**Figura 1.** *Crecimiento y proyección de la población mundial para 2030.*



*Nota. Tomado de Badii (2017).*

Entre las causas de la problemática ambiental se encuentran la deforestación, la contaminación (de agua, suelo y aire), la sobrepoblación, entre otras. De las cuales la sobrepoblación representa un foco alarmante, ya que se percibe un aumento de población mundial de modo descontrolado. Las poblaciones en vías de desarrollo se duplican cada 35 años, lo cual permite predecir que en algunos años la cantidad de recursos resultará escasa para las demandas de consumo existentes. Esto responde, entre otras causas, a la repartición desigual de los recursos naturales y económicos: “la quinta parte de la gente más rica del mundo consume 86 % de todos los productos y servicios, mientras que la quinta parte más pobre consume sólo un 1.3 %” (Badii, 2017).

Respecto a la clasificación de los contaminantes, Ubilla y Yohannessen (2017) la realizan en dos grandes grupos, a saber: contaminantes primarios y contaminantes secundarios. Cabe precisar que esta clasificación es compartida por múltiples estudiosos de la materia:

- Contaminantes primarios. Son aquellos cuya emisión se da de forma directa a la atmósfera. Ejemplo: dióxido de azufre (cuya fórmula molecular es  $\text{SO}_2$ ), monóxido de Carbono ( $\text{CO}$ ).
- Contaminantes secundarios. Son el resultado de procesos químicos producidos en la atmósfera a partir de la combinación de contaminantes primarios con elementos naturales como luz solar, oxígeno, agua, etc. Ejemplo: dióxido de nitrógeno ( $\text{NO}_2$ ), ozono ( $\text{O}_3$ ), lluvia ácida.

De acuerdo a lo expuesto por Ubilla y Yohannessen (2017), El dióxido de nitrógeno se forma a partir de la combinación de monóxido de nitrógeno y oxígeno; es el resultado de la combustión a elevadas temperaturas, por ejemplo, las emisiones vertidas por los vehículos. Por otro lado, el ozono es el resultado de “reacciones de contaminantes primarios: compuestos orgánicos volátiles (COVs) y óxidos de nitrógeno ( $\text{NO}_x$ ). Por su lado, la lluvia ácida se produce de la interrelación de óxido de nitrógeno o dióxido de azufre con  $\text{H}_2\text{O}$  (agua).

## 2.5. Importancia de cuidar la atmósfera

La importancia de la atmósfera es abismal, pues gracias a ella es posible la vida. Esta capa proporciona a los seres vivos un elemento básico vital: el oxígeno. Además, de acuerdo a lo expuesto por Mato (2019), tiene otras funciones más específicas que se muestran a continuación:

### *Regula la respiración superficial de la Tierra*

La atmósfera disminuye el pase de las radiaciones solares, logrando una regulación de temperatura planetaria. También evita que las reemisiones de energía solar efectuadas por la Tierra sean desbordantes, manteniendo una temperatura regular de 15°C. Si esta no existiera, probablemente las temperaturas oscilarán entre los -18°C (temperatura que no permitiría la vida de muchas especies).

### *Permite la difusión de la luz y la transición del sonido*

En términos físicos, la luz se compone de pequeños elementos denominados fotones y el sonido, de ondas sonoras. El sonido, además, requiere de dos fuentes para denominarse como tal: una fuente que produzca vibraciones y otra que posibilite la transmisión de las mismas. Esta segunda fuente es la atmósfera (aire).

### *Evita el impacto directo de los meteoritos*

La atmósfera sirve como amortiguadora de impactos meteorológicos, pues en ella se produce la desintegración de múltiples partículas meteóricas, y solo algunas son incorporadas a la superficie terrestre (forman cráteres). Esto, sin duda, influye en la modelación de la superficie terrestre, pues de lo contrario, los impactos meteóricos generarían transformaciones terrestres abismales.

### *Sirve de escudo protector de la tierra*

Esta envoltura gaseosa filtra y retiene en sus diferentes capas las radiaciones del sol, de modo que las partículas electrizadas se queden atrapadas en la ionósfera y los rayos ultravioletas en la estratósfera (capa de ozono), permitiendo la vida en la Tierra. Permite el vuelo de las aves y los aviones.

Las aves —en su mayoría— y los aviones tienen una característica en común: pueden volar; y lo hacen gracias al corte de aire que se realiza mediante las alas (naturales o artificiales), pues esto, a su vez, genera fuerza (sustentación) en el viento que fluye en su entorno, y le da impulso para volar. La atmósfera es importante porque hace posible la sustentación en las alas.

Es apreciable entonces la gran importancia que tiene la atmósfera en la Tierra; sin embargo, su contaminación es tan amplia que todas las personas están expuestas a ella, como señalan Ubilla y Yohannessen (2017), la exposición de la población a la contaminación del aire es ubicua e involuntaria y puede ocasionar desde efectos fisiológicos imperceptibles hasta enfermedades y muerte. En ese sentido, debido a que hace posible la vida, muchos países han adoptado medidas de cuidado medioambiental para combatir este nefasto accionar. Amable et al (2017) cita algunas medidas adoptadas por países europeos y americanos:

En Londres, en 1952, debido a una excesiva emisión de humo durante 5 días, se produjo la muerte de miles de ciudadanos; hecho que generó indignación y sobresalto en la población, y que también fue el detonante para que el Gobierno establezca normas de reducción de contaminantes con la finalidad de preservar el medio ambiente. De ese modo en 1956 (en Reino Unido) se estipula una Ley que incentiva la utilización de combustibles limpios, con miras de reducir las emisiones de humo.

En Francia, desde 1961, se practica una Ley relacionada con la contaminación del aire. Francia es, posiblemente, uno de los primeros países en establecer leyes en protección de la atmósfera: la mayoría establece medidas en fechas posteriores.

En España, debido a la existencia de Comunidades Autónomas (espacios territoriales que poseen cierta autonomía ejecutiva, administrativa, etc.), la organización respecto al

cuidado ambiental es hasta cierto punto más sólida. En cada una de ellas se han instalado puntos de vigilancia interrelacionados entre sí para controlar y medir —con sistemas de captación de distintas partículas— la contaminación atmosférica producida por óxidos de azufre, óxidos de nitrógeno, hidrocarburos, etc.

En Cuba, el estudio de las enfermedades respiratorias es muy exhaustivo —tanto en niños como en adultos— y, con este, los agentes que lo provocan: contaminantes atmosféricos. Estas investigaciones han permitido dar cuenta de la estrecha relación existente entre las enfermedades respiratorias y la contaminación de la atmósfera; algunas de las investigadas son las siguientes: Enfermedades respiratorias agudas (IRA), cáncer pulmonar, asma, entre otras. Un importante investigador de la materia es Enrique Molina, Magíster en ciencias, junto con algunos colaboradores del Instituto Nacional de Higiene, Epidemiología y Microbiología.

Por su parte, Estados Unidos implementó la primera ley sobre cuidado atmosférico en 1963: la llamada *Ley de aire limpio*, con la finalidad de controlar los niveles de contaminación efectuados en todo el territorio, en general, principalmente en las zonas urbanas.

# CAPÍTULO III

## MEDICIÓN DEL IMPACTO DEL MERCURIO EN EL MEDIOAMBIENTE Y LA VIDA DEL HOMBRE

**E**l mercurio se presenta en la naturaleza de diversas maneras: metálico, con el cual los mineros se exponen a contraer múltiples enfermedades, y orgánico, principalmente el metilmercurio, el cual ingresa al cuerpo humano por la cavidad bucal digestiva. Estos difieren por el nivel de toxicidad y sus efectos sobre los sistemas nervioso e inmunitario, el aparato digestivo, la piel y los pulmones riñones y ojos.

Desde una perspectiva antropológica, las actividades realizadas por el hombre son la principal causa de las emisiones de mercurio, puesto que se tienen como acciones procedentes los procesos que se derivan de la combustión de carbón, de procesos industriales, de la quema de residuos, y de la extracción minera de mercurio y de diversos metales pesados.

En el proceso de liberación del mercurio, hay evidencia de que las bacterias se transforman en metilmercurio. Este se acumula en concentraciones elevadas al interior del organismo de peces y de mariscos. Así pues, existe mayor probabilidad que los peces depredadores presentan niveles elevados de mercurio, puesto que se alimentan de los que han ingresado mercurio a su organismo mediante el plancton.

En el presente capítulo, se tratan los procesos mediante los cuales las personas se exponen a las formas de mercurio en diversas circunstancias, las consecuencias que generan en la salud pública y los estándares nacionales y mundiales que limitan el desprendimiento del metal pesado en procesos industriales y en el consumo de alimentos.

### **3.1. Toxicocinética**

Farré, Rodríguez y Mané (2011) indican que la toxicocinética es la subdisciplina de la Química y de la Farmacéutica que estudia el recorrido de las concentraciones de los fármacos y de elementos químicos en un organismo determinado, por lo que los especialistas construyen modelos que les permita interpretar esos datos.

Esta subdisciplina permite al investigador obtener un conocimiento determinado respecto a la información importante que brinda el análisis de la sustancia a fin de valorar o de predecir la toxicidad o la no toxicidad de una sustancia química en un organismo específico.

Del mismo modo, Mañas (2018) señala que la toxicocinética es el estudio farmoquímico que posibilita comprender a cabalidad el accionar y el flujo por el que transcurren las distintas sustancias químicas en el organismo, y de qué manera ese comportamiento afecta la toxicidad de estas.

De acuerdo con lo señalado, la toxicocinética de una sustancia describe la concentración de esta en el organismo en un proceso determinado bajo circunstancias específicas a fin de determinar las alteraciones producidas en el individuo respecto al contacto de las sustancias químicas.

### 3.1.1 Fases del proceso toxicocinético de las sustancias químicas del mercurio

Distintos químicos, toxicólogos e instituciones especializadas señalan que el proceso toxicocinético se constituye de cinco fases, las cuales son las siguientes: absorción, distribución, metabolismo y eliminación. Estas etapas suceden tras la exposición de un individuo a una sustancia química, y que, tras la interacción de dicha sustancia, se evidencia su toxicidad sobre el tejido u órgano objeto de análisis, y, de esa manera, se permite explicar la toxicidad.

#### *Absorción*

Coppola y Mondola, y Prosser y Nelson, citados por Lugo-Vargas et al. (2020), afirman que el proceso de absorción es aquel en el que la velocidad y la intensidad con la que se evidencian los efectos activos en distintos sistemas del cuerpo de un individuo, por lo que “dependen de la capacidad de las catinonas sintéticas para permear las membranas biológicas, y está a su vez varía a merced de la estructura química de la molécula”.

En este sentido, las catinonas, las cuales muestran un anillo de pirrolidina (compuesto orgánico que se explicita mediante la fórmula  $(CH_2)_4 NH$ ) en su estructura tienen una mayor capacidad y un potencial elevado para cruzar la barrera hematoencefálica que se presenta en los tejidos afectados debido a la baja polaridad de esa barrera.

Por su parte, Paz et al. (2017) indican, respecto a la toxicocinética del mercurio, que las vías por las que ingresa la sustancia química al organismo dependen del tipo de compuesto. Por lo tanto, el vapor de mercurio accede al organismo del individuo por vía respiratoria. De manera general, los autores postulan que la exposición al mercurio es común en trabajadores de minas de mercurio o de industrias como la de las plantas cloro alcalinas.

Asimismo, los autores anotan que los niveles de mercurio en aire situado en las minas de mercurio son mayores a los 5 mg/m<sup>3</sup>. Por otro lado, los compuestos inorgánicos de mercurio pueden ingresar en el cuerpo por vía digestiva. Es decir, la absorción depende de su transformación en compuestos solubles o sales, como la sal de mercurio divalente o el mercurio elemental. También, pueden ser absorbidos por vía cutánea.

Llerena y Mendiola (2019) afirman que las sustancias químicas que contienen mercurio se absorben rápidamente a través del tracto gastrointestinal y posteriormente se distribuyen en todo el organismo. La sustancia penetra sin mayores obstáculos la barrera hematoencefálica y la gesta tanto en animales como en seres humanos.

En términos cuantitativos, la absorción del mercurio inorgánico es de máximo 38%; por otra parte, la del metilmercurio (Mehg) es del 95% a través del tracto gastrointestinal. Después de un lapso de 30 a 40 horas, es transportado a la sangre a fin de distribuirse a los distintos órganos.

Ochoa (2020) afirma que los compuestos orgánicos de mercurio se absorben mediante distintas vías (cutánea, respiratoria y digestiva); es por ello por lo que la vía mayoritaria es la absorción por vía digestiva, puesto que absorbe en torno al 95%; seguida de la absorción por vía respiratoria, la cual absorbe el 80% y causa graves cuadros de intoxicación en el hombre.

### *Transporte y distribución*

Paz et al. (2017) indican que el proceso de transporte y distribución se relaciona con la forma química del compuesto mercurio. En este sentido, los autores indican que el vapor de mercurio presenta afinidad con los constituyentes externos del cerebro, ya que

permanece durante un tiempo corto en la sangre como  $Hg^0$ , por lo que atraviesa la barrera hematoencefálica, donde es ionizado y se une a las proteínas del axón y esfingolípidos y, de esta manera, ocasionan un conjunto de daños reversibles e irreversibles.

Por otro lado, el mercurio inorgánico se sedimenta en fracciones liposómicas mitocondriales, tanto en el hígado como en el riñón. Ello genera que la distribución de las sustancias químicas (cuyo componente principal es el mercurio) sea más amplia, ya que su principal sitio de acción es el cerebro, ganglios espinales, hígado y riñón, aunque, una fracción de éste se mantiene en movimiento por el organismo, pudiendo afectar a otras partes del cuerpo.

Por su parte, Camargo y Yanayaco (2018) indican que el proceso de transporte y distribución se basa en las diversas fuentes de importancia que alteran el ciclo global del mercurio (océanos, combustibles fósiles, y depósitos de incineración municipales y médicos), puesto que se emiten la mayoría de los gases de  $Hg^0$  y, en menor magnitud, gases y partículas de  $Hg(II)$ , los cuales se delimitan a procesos de eliminación en seco y húmedo y, así, limita su transporte a largo alcance que el mercurio divalente ( $Hg(II)$ ) pueda ser rápidamente reducido a mercurio elemental ( $Hg^0$ ) mediante procesos naturales en ecosistemas tanto terrestres como acuáticos.

### *Biotransformación*

Paz et al. (2017) postulan que la biotransformación del mercurio en el cuerpo depende del tipo de compuesto mercurio. El vapor de mercurio es rápidamente oxidado a mercurio inorgánico. Esta oxidación está mediada por la enzima catalasa. De esta forma, la liposolubilidad del vapor de mercurio disminuye (1,28).

Numerosos estudios han concluido que el metilmercurio puede sufrir una bio desmetilación, por la reacción entre grupos tiol de la cisteína, glutatión o de las proteínas, transformándose en mercurio inorgánico. Este proceso puede ocurrir en el hígado y en el bazo. Otros estudios han demostrado que también se produce la desmetilación en el cerebro y otros tejidos (28).

El JECFA, citado por Jadán (2017), señala que la biotransformación que experimenta el compuesto inorgánico del mercurio se evidencia mediante reacciones de conjugación con grupos tipo. Jadán (2017) acota que en los estudios de EFSA (2012) se comprobó que, en los ratones, una cantidad pequeña de mercurio inorgánico se reduce a mercurio elemental, el cual es expulsado como vapor de mercurio.

### *Eliminación*

Paz et al. (2017) proponen que el vapor de mercurio se elimina en forma de mercurio divalente. No obstante, diversos estudios han demostrado que una pequeña parte del vapor de mercurio se elimina por exhalación; en este sentido, la proporción de excreción depende de la dosis. Hirsh et al., citados por Paz et al. (2017) indican que, en investigaciones hechas a diferentes grupos sociales, se evidencia que el 80% del mercurio acumulado en el cuerpo, es excretado en dos meses, aproximadamente.

Ninaja (2020) enfatiza que la orina y las heces son las rutas preferentes de eliminación para los compuestos inorgánicos. La mayor parte del metilmercurio, hasta un 90 %, se excreta en heces desde el hígado vía biliar, presentando el llamado “Ciclo Enterohepatico”: durante su eliminación, el metilmercurio sufre la recirculación enterohepática pasando al tracto gastrointestinal de donde parte, es eliminado por las heces y parte reabsorbido hacia el plasma, cerrándose este ciclo.

Asimismo, Berlín, Zalups y Fowler (2007) concuerdan que las principales vías de eliminación de metilmercurio son mediante el hígado por la bilis y por la orina. Acota, también, que la mayor parte de la excreción es por vía fecal, ya que el metilmercurio excretado en la bilis es absorbido por el intestino, por lo que, produce una circulación enterohepática de metilmercurio. Rowland, Davies y Grasso, citados por Paz et al. (2017), postulan que un porcentaje del metilmercurio absorbido por el intestino es descompuesto por el microbiota en mercurio inorgánico, por lo tanto, contribuye a que el organismo afectado lo excrete.

### **3.2. Toxicodinámica**

Huamaní-Azorza et al. (2020) señalan que la toxicodinámica es el estudio de la Bioquímica que se centra en los procesos en los cuales los xenobióticos o sus metabolitos ejercen sus efectos a través de interacciones moleculares con lugares de acción específicos en las células, con el resultado de un efecto tóxico.

En ese sentido, la toxicodinámica se centra en analizar el mecanismo de acción de una sustancia mediante las interacciones moleculares con los sistemas, órganos, tejidos de un organismo en específico. De esta manera, la toxicidad inducida por dicha sustancia química es producto de una lesión bioquímica inicial, la cual es responsable de la aparición de alteraciones fisiológicas y anatomopatológicas derivadas.

Repetto y Repetto (2009) afirman que la toxicodinámica es el estudio de la Química y de la Farmacéutica en la que se analizan los mecanismos de penetración de los xenobióticos en un organismo específico, puesto que se distribuyen, se biotransforman y se eliminan; además, los xenobióticos evidencian su accionar al interactuar con las moléculas.

Los autores coinciden que la toxicodinámica es el proceso que corresponde a una tercera fase de la acción de toxicidad de las sustancias químicas (principalmente aquellas que contienen metales pesados), en el cual se evidencian los mecanismos de interacción moleculares de la sustancia original o de sus metabolitos con los sistemas biológicos del organismo huésped, se describen, y se comparan sus efectos tóxicos.

Por su parte, Ibarra, citado por Guillén (2020), afirma que la toxicodinámica es la rama de la Toxicología que estudia la relación entre la dosis que penetra en el organismo y la respuesta medida. En este sentido, la toxicodinámica es el modo de acción o mecanismos de interacción molecular de la sustancia original o de sus metabolitos, con los sistemas biológicos del huésped, a partir de las cuales se producen efectos tóxicos.

### *3.2.1. Acción de toxicidad del mercurio*

De acuerdo con la Academia Nacional de Medicina de Colombia (2006), la acción que genera el tóxico de metales pesados como el mercurio se clasifica en dos tipos: i) la toxicidad global, en la cual se evidencia una destrucción total e intensa de los organismos que reciben el metal (principalmente, la ocasionada por ácidos y bases fuertes); ii) la toxicidad selectiva, en la cual se muestra una destrucción en regiones específicas de los tejidos que constituyen un sistema corporal, especialmente, a ciertas células.

La Academia Nacional de Medicina de Colombia (2006) indica que los efectos tóxicos del mercurio, inorgánico y orgánico se generan, puesto que, en el proceso de toxicidad los componentes metálicos se unen a los constituyentes orgánicos celulares predominantes en grupos sulfhidrilos y, de esa manera, afectan a los sistemas metabólicos y enzimáticos de la célula y de su pared. Esta última depende de la presencia de dianas susceptibles de ser atacadas y de que se presente una concentración efectiva del tóxico en el lugar de acción.

### 3.2.2. *Efectos de toxicidad del mercurio*

Guzman (2020) indica que la acción tóxica del mercurio se produce en los sistemas enzimáticos, debido a que precipita las proteínas que se sintetizan mediante la célula, especialmente las neuronas, puesto que inhibe los grupos de varias enzimas esenciales.

Guzmán también propone que el componente iónico de mercurio está asociado con poblaciones celulares ricas en radicales sulfhidrilo. Esto se debe a que el componente mercurio altera la composición de varios sistemas metabólicos y enzimáticos en las células y las paredes celulares, inhibe la síntesis de proteínas en las mitocondrias y afecta a las células.

### 3.2.3 *Efectos tóxicos en los órganos excretores*

Ninfa et al. (2010) y Ramírez (2008) enfatizan que la actividad tóxica del mercurio genera que el riñón reduzca la actividad de las fosfatasas alcalinas (enzimas que eliminan los fosfatos de estructuras moleculares como nucleótidos, proteínas y otros compuestos fosforilados) presentes en los túbulos proximales, puesto que modifica el mecanismo de transporte del potasio y de la ATPasa situadas en la membrana.

Diferentes científicos han evidenciado que, en el sistema constituido por la enzima *per se* (apoenzima), por los sustratos, por un grupo proteico, por coenzimas y por sustancias activadoras, se inhiben las denominadas enzimas esenciales. Es por ello que, se muestra que el mercurio causa lesiones celulares en cualquier tejido en donde se acumula en concentraciones suficientes.

Guzmán (2020) también señala que el mercurio induce la formación del pequeño receptor proteico metalotioneína en varios órganos, incluido el riñón, y se une a la metalotioneína saturando sus receptores. Citado por el mismo Guzmán (2020), Ramírez señala que la

metalotioneína, cuando se sobreforma debido a la presencia de grandes cantidades de toxinas, provoca cambios orgánicos en sus sitios de producción.

#### *Disminución de los anticuerpos humorales*

Guzman (2020) propone que el metilmercurio, según Halliday y Davey (2007), un catión organometálico extremadamente tóxico para el hombre y que se explicita mediante la fórmula  $[\text{CH}_3\text{Hg}]^+$ , provoca una disminución de los anticuerpos humorales. Es por ello que, se ha observado que puede producirse un estímulo de la respuesta inmunitaria inicialmente tras cortas exposiciones. Asimismo, también puede fijarse sobre los ácidos desoxirribonucleicos con desnaturalización o asociaciones reversibles a la adenina y timina, lo cual podría explicar las aberraciones cromosómicas y anomalías congénitas observadas durante las intoxicaciones alimentarias con metilmercurio.

### **3.3. Límites máximos establecidos por el ECA (Estándar de Calidad Ambiental)**

El Ministerio del Ambiente del Perú (2017) señala que la Norma de Calidad Ambiental (ECA) es el instrumento equivalente de gestión ambiental, regulado y establecido con el propósito de medir el estado de la calidad ambiental en el territorio peruano. En este sentido, los ECA determinan cuáles deben ser las concentraciones de elementos y sustancias presentes en un determinado ambiente para que no supongan un riesgo para la salud pública o el medio ambiente.

#### *3.3.1. Estándar de Calidad Ambiental para Aire de Mercurio Gaseoso Total*

El ECA corresponde al aire cuantificable para el parámetro mercurio gaseoso total y está definido en el Decreto Supremo N° 003-2017-MINAM y publicado en el Protocolo Nacional de Monitoreo de la Calidad del Aire.

**Tabla 2.** Estándares de calidad ambiental del aire

Parámetros	Período	Valor [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	Criterios de evaluación	Método de análisis <sup>[1]</sup>
Benceno ( $\text{C}_6\text{H}_6$ )	Anual	2	Media aritmética anual	Cromatografía de gases
Dióxido de Azufre ( $\text{SO}_2$ )	24 horas	250	NE más de 7 veces al año	Fluorescencia ultravioleta (Método automático)
Dióxido de Nitrógeno ( $\text{NO}_2$ )	1 hora	200	NE más de 24 veces al año	Quimioluminiscencia (Método automático)
	Anual	100	Media aritmética anual	
Material Particulado con diámetro menor a 2,5 micras ( $\text{PM}_{2,5}$ )	24 horas	50	NE más de 7 veces al año	Separación inercial/ filtración (Gravimetría)
	Anual	25	Media aritmética anual	
Material Particulado con diámetro menor a 10 micras ( $\text{PM}_{10}$ )	24 horas	100	NE más de 7 veces al año	Separación inercial/ filtración (Gravimetría)
	Anual	50	Media aritmética anual	
Mercurio Gaseoso Total ( $\text{Hg}$ ) <sup>[2]</sup>	24 horas	2	No exceder	Espectrometría de absorción atómica de vapor frío (CVAAS) o Espectrometría de fluorescencia atómica de vapor frío (CVAFS) o Espectrometría de absorción atómica Zeeman. (Métodos automáticos)
Monóxido de Carbono ( $\text{CO}$ )	1 hora	30000	NE más de 1 vez al año	Infrarrojo no dispersivo (NDIR) (Método automático)
	8 horas	10000	Media aritmética móvil	
Ozono ( $\text{O}_3$ )	8 horas	100	Máxima media diaria NE más de 24 veces al año	Fotometría de absorción ultravioleta (Método automático)
Plomo (Pb) en $\text{PM}_{10}$	Mensual	1,5	NE más de 4 veces al año	Método para $\text{PM}_{10}$ (Espectrofotometría de absorción atómica)
	Anual	0,5	Media aritmética de los valores mensuales	
Sulfuro de Hidrógeno ( $\text{H}_2\text{S}$ )	24 horas	150	Media aritmética	Fluorescencia ultravioleta (Método automático)

Nota: Tabla extraída del Decreto Supremo N.º 003-2017-MINAM

### 3-2.2. Estándares de Calidad Ambiental para Agua

Puesto que el principal medio de contaminación de mercurio es acuático, el Ministerio del Ambiente del Perú (2017), en el Decreto Supremo N.º 004-2017-MINAM propone un conjunto de categorías de los Estándares de Calidad Ambiental para Agua, los cuales son los siguientes: (i) poblacional y recreacional, (ii) extracción, cultivo y otras actividades marino-costeras y continentales, (iii) riego de vegetales y bebida de animales y (iv) conservación del ambiente acuático.

**Tabla 3.** Categoría 1: Poblacional y recreacional. Subcategoría A: Aguas superficiales destinadas a la producción de agua potable.

Parámetros	Unidad de medida	A1	A2	A3
		Aguas que pueden ser potabilizadas con desinfección	Aguas que pueden ser potabilizadas con tratamiento convencional	Aguas que pueden ser potabilizadas con tratamiento avanzado
<b>FÍSICOS- QUÍMICOS</b>				
Aceites y Grasas	mg/L	0,5	1,7	1,7
Cianuro Total	mg/L	0,07	**	**
Cianuro Libre	mg/L	**	0,2	0,2
Cloruros	mg/L	250	250	250
Color (b)	Color verdadero Escala Pt/Co	15	100 (a)	**
Conductividad	( $\mu$ S/cm)	1 500	1 600	**
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO <sub>5</sub> )	mg/L	3	5	10
Dureza	mg/L	500	**	**
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg/L	10	20	30
Fenoles	mg/L	0,003	**	**
Fluoruros	mg/L	1,5	**	**
Fósforo Total	mg/L	0,1	0,15	0,15

Parámetros	Unidad de medida	A1	A2	A3
		Aguas que pueden ser potabilizadas con desinfección	Aguas que pueden ser potabilizadas con tratamiento convencional	Aguas que pueden ser potabilizadas con tratamiento avanzado
Materiales Flotantes de Origen Antropogénico		Ausencia de material flotante de origen antrópico	Ausencia de material flotante de origen antrópico	Ausencia de material flotante de origen antrópico
Nitratos (NO <sub>3</sub> ) (c)	mg/L	50	50	50
Nitritos (NO <sub>2</sub> ) (d)	mg/L	3	3	**
Amoniaco- N	mg/L	1,5	1,5	**
Oxígeno Disuelto (valor mínimo)	mg/L	≥ 6	≥ 5	≥ 4
Potencial de Hidrógeno (pH)	Unidad de pH	6,5 – 8,5	5,5 – 9,0	5,5 - 9,0
Sólidos Disueltos Totales	mg/L	1 000	1 000	1 500
Sulfatos	mg/L	250	500	**
Temperatura	°C	Δ 3	Δ 3	**
Turbiedad	UNT	5	100	**
<b>INORGÁNICOS</b>				
Aluminio	mg/L	0,9	5	5
Antimonio	mg/L	0,02	0,02	**
Arsénico	mg/L	0,01	0,01	0,15
Bario	mg/L	0,7	1	**
Berilio	mg/L	0,012	0,04	0,1
Boro	mg/L	2,4	2,4	2,4
Cadmio	mg/L	0,003	0,005	0,01
Cobre	mg/L	2	2	2
Cromo Total	mg/L	0,05	0,05	0,05
Hierro	mg/L	0,3	1	5
Manganeso	mg/L	0,4	0,4	0,5
Mercurio	mg/L	0,001	0,002	0,002
Molibdeno	mg/L	0,07	**	**

Nota: Tabla extraída del Decreto Supremo N.º 004-2017-MINAM.

**Tabla 4.** Categoría 1: Poblacional y recreacional. Subcategoría B: Aguas superficiales destinadas para recreación

Parámetros	Unidad de medida	B1	B2
		Contacto primario	Contacto secundario
Berilio	mg/L	0,04	**
Boro	mg/L	0,5	**
Cadmio	mg/L	0,01	**
Cobre	mg/L	2	**
Cromo Total	mg/L	0,05	**
Cromo VI	mg/L	0,05	**
Hierro	mg/L	0,3	**
Manganeso	mg/L	0,1	**
Mercurio	mg/L	0,001	**
Níquel	mg/L	0,02	**
Plata	mg/L	0,01	0,05
Plomo	mg/L	0,01	**
Selenio	mg/L	0,01	**
Uranio	mg/L	0,02	0,02
Vanadio	mg/L	0,1	0,1
Zinc	mg/L	3	**
<b>MICROBIOLÓGICOS Y PARASITOLÓGICO</b>			
Coliformes Termotolerantes	NMP/100 ml	200	1 000
<i>Escherichia coli</i>	NMP/100 ml	Ausencia	Ausencia
Formas Parasitarias	Nº Organismo/L	0	**
<i>Giardia duodenalis</i>	Nº Organismo/L	Ausencia	Ausencia
Enterococos intestinales	NMP/100 ml	200	**
<i>Salmonella spp</i>	Presencia/100 ml	0	0
<i>Vibrio cholerae</i>	Presencia/100 ml	Ausencia	Ausencia

Nota: Tabla extraída del Decreto Supremo N.º 004-2017-MINAM.

**Tabla 5.** *Categoría 2: Extracción, cultivo y otras actividades marino-costeras y continentales*

Parámetros	Unidad de medida	C1	C2	C3	C4
		Extracción y cultivo de moluscos, equinodermos y tunicados en aguas marino-costeras	Extracción y cultivo de otras especies hidrobiológicas en aguas marino-costeras	Actividades marino-portuarias, industriales o de saneamiento en aguas marino-costeras	Extracción y cultivo de especies hidrobiológicas en lagos o lagunas
<b>FÍSICOS- QUÍMICOS</b>					
Aceites y Grasas	mg/L	1,0	1,0	2,0	1,0
Cianuro Wad	mg/L	0,004	0,004	**	0,0052
Color (después de filtración simple) (b)	Color verdadero Escala Pt/Co	100 (a)	100 (a)	**	100 (a)
Materiales Flotantes de Origen Antropogénico		Ausencia de material flotante	Ausencia de material flotante	Ausencia de material flotante	Ausencia de material flotante
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5)	mg/L	**	10	10	10
Fósforo Total	mg/L	0,062	0,062	**	0,025
Nitratos (NO <sub>3</sub> ) (c)	mg/L	16	16	**	13
Oxígeno Disuelto (valor mínimo)	mg/L	≥ 4	≥ 3	≥ 2,5	≥ 5
Potencial de Hidrógeno (pH)	Unidad de pH	7 – 8,5	6,8 – 8,5	6,8 – 8,5	6,0-9,0
Sólidos Suspendidos Totales	mg/L	80	60	70	**
Sulfuros	mg/L	0,05	0,05	0,05	0,05
Temperatura	°C	Δ 3	Δ 3	Δ 3	Δ 3
<b>INORGÁNICOS</b>					
Amoniaco Total (NH <sub>3</sub> )	mg/L	**	**	**	(1)

Parámetros	Unidad de medida	C1	C2	C3	C4
		Extracción y cultivo de moluscos, equinodermos y tunicados en aguas marino-costeras	Extracción y cultivo de otras especies hidrobiológicas en aguas marino-costeras	Actividades marino-portuarias, industriales o de saneamiento en aguas marino-costeras	Extracción y cultivo de especies hidrobiológicas en lagos o lagunas
Antimonio	mg/L	0,64	0,64	0,64	**
Arsénico	mg/L	0,05	0,05	0,05	0,1
Boro	mg/L	5	5	**	0,75
Cadmio	mg/L	0,01	0,01	**	0,01
Cobre	mg/L	0,0031	0,05	0,05	0,2
Cromo VI	mg/L	0,05	0,05	0,05	0,10
Mercurio	mg/L	0,00094	0,0001	0,0018	0,00077
Níquel	mg/L	0,0082	0,1	0,074	0,052
Plomo	mg/L	0,0081	0,0081	0,03	0,0025
Selenio	mg/L	0,071	0,071	**	0,005
Talio	mg/L	**	**	**	0,0008
Zinc	mg/L	0,081	0,081	0,12	1,0
<b>ORGÁNICO</b>					
Hidrocarburos Totales de Petróleo (fracción aromática)	mg/L	0,007	0,007	0,01	**
<b>BIFENILOS POLICLORADOS</b>					
Bifenilos Policlorados (PCB)	mg/L	0,00003	0,00003	0,00003	0,000014
<b>ORGANOLÉPTICO</b>					
Hidrocarburos de Petróleo	mg/L	No visible	No visible	No visible	**
<b>MICROBIOLÓGICO</b>					
Coliformes Termotolerantes	NMP/100 ml	≤ 14 (área aprobada) (d)	≤ 30	1 000	200
	NMP/100 ml	≤ 88 (área restringida) (d)			

Nota: Tabla extraída del Decreto Supremo N.º 004-2017-MINAM.

**Tabla 6.** Categoría 3: Riego de vegetales y bebida de animales

Parámetros	Unidad de medida	D1: Riego de vegetales		D2: Bebida de animales
		Agua para riego no restringido (c)	Agua para riego restringido	Bebida de animales
<b>FÍSICOS- QUÍMICOS</b>				
Aceites y Grasas	mg/L	5		10
Bicarbonatos	mg/L	518		**
Cianuro Wad	mg/L	0,1		0,1
Cloruros	mg/L	500		**
Color (b)	Color verdadero Escala Pt/Co	100 (a)		100 (a)
Conductividad	( $\mu$ S/cm)	2 500		5 000
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO <sub>5</sub> )	mg/L	15		15
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg/L	40		40
Detergentes (SAAM)	mg/L	0,2		0,5
Fenoles	mg/L	0,002		0,01
Fluoruros	mg/L	1		**
Nitratos (NO <sup>-</sup> -N) + 3 Nitritos (NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> -N) -	mg/L	100		100
Nitritos (NO <sup>-</sup> -N) 2	mg/L	10		10
Oxígeno Disuelto (valor mínimo)	mg/L	≥ 4		≥ 5
Potencial de Hidrógeno (pH)	Unidad de pH	6,5 – 8,5		6,5 – 8,4
Sulfatos	mg/L	1 000		1 000
Temperatura	°C	Δ 3		Δ 3
<b>INORGÁNICOS</b>				
Aluminio	mg/L	5		5

Parámetros	Unidad de medida	D1: Riego de vegetales		D2: Bebida de animales
		Agua para riego no restringido (c)	Agua para riego restringido	Bebida de animales
Arsénico	mg/L	0,1		0,2
Bario	mg/L	0,7		**
Berilio	mg/L	0,1		0,1
Boro	mg/L	1		5
Cadmio	mg/L	0,01		0,05
Cobre	mg/L	0,2		0,5
Cobalto	mg/L	0,05		1
Cromo Total	mg/L	0,1		1
Hierro	mg/L	5		**
Litio	mg/L	2,5		2,5
Magnesio	mg/L	**		250
Manganeso	mg/L	0,2		0,2
Mercurio	mg/L	0,001		0,01
Níquel	mg/L	0,2		1
Plomo	mg/L	0,05		0,05
Selenio	mg/L	0,02		0,05
Zinc	mg/L	2		24
<b>ORGÁNICO</b>				
<b>BIFENILOS POLICLORADOS</b>				
Bifenilos Policlorados (PCB)	µg/L	0,04		0,045
<b>PLAGUICIDAS</b>				
Paratión	µg/L	35		35
<b>ORGANOCLORADOS</b>				
Aldrín	µg/L	0,004		0,7
Clordano	µg/L	0,006		7
Dicloro Difenil Tricloroetano (DDT)	µg/L	0,001		30
Dieldrín	µg/L	0,5		0,5
Endosulfán	µg/L	0,01		0,01
Endrin	µg/L	0,004		0,2
Heptacloro y Heptacloro Epóxido	µg/L	0,01		0,03
Lindano	µg/L	4		4

Parámetros	Unidad de medida	D1: Riego de vegetales		D2: Bebida de animales
		Agua para riego no restringido (c)	Agua para riego restringido	Bebida de animales
<b>CARBAMATO</b>				
Aldicarb	µg/L	1		11
<b>MICROBIOLÓGICOS Y PARASITOLÓGICO</b>				
Coliformes Termotolerantes	NMP/100 ml	1 000	2 000	1 000
<i>Escherichia coli</i>	NMP/100 ml	1 000	**	**
Huevos de Helminfos	Huevo/L	1	1	**

Nota: Tabla extraída del Decreto Supremo N.º 004-2017-MINAM.

**Tabla 7.** Categoría 4: Conservación del ambiente acuático

Parámetros	Unidad de medida	E1: Lagunas y lagos	E2: Ríos		E3: Ecosistemas costeros y marinos	
			Costa y sierra	Selva	Estuarios	Marinos
<b>FÍSICOS- QUÍMICOS</b>						
Aceites y Grasas (MEH)	mg/L	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0
Cianuro Libre	mg/L	0,0052	0,0052	0,0052	0,001	0,001
Color (b)	Color verdadero Escala Pt/Co	20 (a)	20 (a)	20 (a)	**	**
Clorofila A	mg/L	0,008	**	**	**	**
Conductividad	(µS/cm)	1 000	1 000	1 000	**	**
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5)	mg/L	5	10	10	15	10
Fenoles	mg/L	2,56	2,56	2,56	5,8	5,8
Fósforo total	mg/L	0,035	0,05	0,05	0,124	0,062
Nitratos (NO <sub>3</sub> ) (c)	mg/L	13	13	13	200	200
Amoniaco Total (NH <sub>3</sub> )	mg/L	(1)	(1)	(1)	(2)	(2)

Parámetros	Unidad de medida	E1: Lagunas y lagos	E2: Ríos		E3: Ecosistemas costeros y marinos	
			Costa y sierra	Selva	Estuarios	Marinos
Nitrógeno Total	mg/L	0,315	**	**	**	**
Oxígeno Disuelto (valor mínimo)	mg/L	≥ 5	≥ 5	≥ 5	≥ 4	≥ 4
Potencial de Hidrógeno (pH)	Unidad de pH	6,5 a 9,0	6,5 a 9,0	6,5 a 9,0	6,8 – 8,5	6,8 – 8,5
Sólidos Suspendidos Totales	mg/L	≤ 25	≤ 100	≤ 400	≤ 100	≤ 30
Sulfuros	mg/L	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002
Temperatura	°C	Δ 3	Δ 3	Δ 3	Δ 2	Δ 2
<b>INORGÁNICOS</b>						
Antimonio	mg/L	0,64	0,64	0,64	**	**
Arsénico	mg/L	0,15	0,15	0,15	0,036	0,036
Bario	mg/L	0,7	0,7	1	1	**
Cadmio Disuelto	mg/L	0,00025	0,00025	0,00025	0,0088	0,0088
Cobre	mg/L	0,1	0,1	0,1	0,05	0,05
Cromo VI	mg/L	0,011	0,011	0,011	0,05	0,05
Mercurio	mg/L	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001
Níquel	mg/L	0,052	0,052	0,052	0,0082	0,0082
Plomo	mg/L	0,0025	0,0025	0,0025	0,0081	0,0081
Selenio	mg/L	0,005	0,005	0,005	0,071	0,071
Talio	mg/L	0,0008	0,0008	0,0008	**	**
Zinc	mg/L	0,12	0,12	0,12	0,081	0,081
<b>ORGÁNICOS</b>						
<b>COMPUESTOS ORGÁNICOS VOLÁTILES</b>						
Hidrocarburos Totales de Petróleo	mg/L	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
Hexaclorobutadieno	mg/L	0,0006	0,0006	0,0006	0,0006	0,0006
<b>BTEX</b>						
Benceno	mg/L	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05
<b>HIDROCARBUROS AROMÁTICOS</b>						
Benzo(a)Pireno	mg/L	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001
Antraceno	mg/L	0,0004	0,0004	0,0004	0,0004	0,0004
Fluoranteno	mg/L	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001

Parámetros	Unidad de medida	E1: Lagunas y lagos	E2: Ríos		E3: Ecosistemas costeros y marinos	
			Costa y sierra	Selva	Estuarios	Marinos
<b>BIFENILOS POLICLORADOS</b>						
Bifenilos Policlorados (PCB)	mg/L	0,000014	0,000014	0,000014	0,00003	0,00003
<b>PLAGUICIDAS</b>						
<b>ORGANOFOSFORADOS</b>						
Malatión	mg/L	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001
Paratión	mg/L	0,000013	0,000013	0,000013	**	**
<b>ORGANOCLORADOS</b>						
Aldrín	mg/L	0,000004	0,000004	0,000004	**	**
Clordano	mg/L	0,0000043	0,0000043	0,0000043	0,000004	0,000004
DDT (Suma de 4,4'- DDD y 4,4-DDE)	mg/L	0,000001	0,000001	0,000001	0,000001	0,000001
Dieldrín	mg/L	0,000056	0,000056	0,000056	0,0000019	0,0000019
Endosulfán	mg/L	0,000056	0,000056	0,000056	0,0000087	0,0000087
Endrin	mg/L	0,000036	0,000036	0,000036	0,0000023	0,0000023
Heptacloro	mg/L	0,0000038	0,0000038	0,0000038	0,0000036	0,0000036

*Nota: Tabla extraída del Decreto Supremo N.º 004-2017-MINAM.*

### *3.3.3. Estándares de calidad ambiental (ECA) para el suelo*

Debido a que varios de los mecanismos de contaminación por mercurio se generan en la superficie del suelo peruano, el Ministerio del Ambiente del Perú (2017), en el Decreto Supremo N.º 002-2017-MINAM, propone los siguientes Estándares de Calidad Ambiental para el Suelo.

**Tabla 8.** Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para suelo

Parámetros en mg/ kg PS	Usos del Suelo			Métodos de ensayo
	Suelo Agrícola	Suelo Residencial/ Parques	Suelo Comercial/ Industrial/ Extractivo	
<b>ORGÁNICOS</b>				
<b>HIDROCARBUROS AROMÁTICOS VOLÁTILES</b>				
Benceno	0,03	0,03	0,03	EPA 8260 EPA 8021
Tolueno	0,37	0,37	0,37	EPA 8260 EPA 8021
Etilbenceno	0,082	0,082	0,082	EPA 8260 EPA 8021
Xilenos	11	11	11	EPA 8260 EPA 8021
<b>HIDROCARBUROS POLIAROMÁTICOS</b>				
Naftaleno	0,1	0,6	22	EPA 8260 EPA 8021 EPA 8270
Benzo(a) pireno	0,1	0,7	0,7	EPA 8270
<b>HIDROCARBUROS DE PETRÓLEO</b>				
Fracción de hidrocarburos F1 <sup>(11)</sup> (C6-C10)	200	200	500	EPA 8015
Fracción de hidrocarburos F2 <sup>(12)</sup> (>C10-C28)	1200	1200	5000	EPA 8015
Fracción de hidrocarburos F3 <sup>(13)</sup> (>C28-C40)	3000	3000	6000	EPA 8015
<b>COMPUESTOS ORGANOCOLORADOS</b>				
Bifenilos policlorados - PCB <sup>(14)</sup>	0,5	1,3	33	EPA 8082 EPA 8270
Tetracloroetileno	0,1	0,2	0,5	EPA 8260
Tricloroetileno	0,01	0,01	0,01	EPA 8260
<b>INORGÁNICOS</b>				
Arsénico	50	50	140	EPA 3050 EPA 3051

Parámetros en mg/ kg PS	Usos del Suelo			Métodos de ensayo
	Suelo Agrícola	Suelo Residencial/ Parques	Suelo Comercial/ Industrial/ Extractivo	
Bario total	750	500	2 000	EPA 3050 EPA 3051
Cadmio	1,4	10	22	EPA 3050 EPA 3051
Cromo total	**	400	1 000	EPA 3050 EPA 3051
Cromo VI	0,4	0,4	1,4	EPA 3060/ EPA 7199 ó DIN EN 15192
Mercurio	6,6	6,6	24	EPA 7471 EPA 6020 ó 200.8
Plomo	70	140	800	EPA 3050 EPA 3051
Cianuro Libre	0,9	0,9	8	EPA 9013 SEMWW-AWWA- WEF 4500 CN F o ASTM D'7237 y/ó ISO 17690:2015

*Nota: Tabla extraída del Decreto Supremo N.º 002-2017-MINAM.*

### 3.4. Límites máximos establecidos por la USEPA (*United States Environmental Protection Agency*)

Panduro et al. (2020) afirman que los valores para las especies de pez que se contaminan con mercurio y con sus compuestos químicos se delimitan en su máximo nivel de la siguiente manera:  $0.50 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$  de Hg para peces frescos (según la UE, el *Codex Alimentarius* FAO/WHO y el UNEP *Environment*).

Por otro lado, se considera como valor de comparación el valor límite de concentración máxima establecido por la *United States Environmental Protection Agency* y por la *U.S. Food and Drug Administration* (2004), el cual se delimita en el valor de  $0.30 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$  de Hg.

### 3.5. Evidencia de concentración de mercurio en el agua

Esmeraldas y Zambrano (2018) afirman que los contaminantes que ingresan a las aguas superficiales por rutas naturales o antropogénicas tienen efectos tóxicos en los sistemas acuáticos. Históricamente, en estos ecosistemas se han detectado contaminantes de todo tipo a través de interacciones con corrientes de agua que hacen circular los contaminantes retenidos y alteran la dinámica general de la masa de agua.

Förstner, citado por Esmeraldas y Zambrano (2018) estimó que más de un millón de sustancias de mercurio ingresaron a las fuentes de agua a través de emisiones antropogénicas en el siglo XXI, alterando significativamente las propiedades organolépticas del agua, destruyendo el ecosistema y dañando directamente a las personas.

#### 3.5.1 Impacto en el medio ambiente

Jiménez (2012) señala que todas las actividades humanas afectan al medio ambiente. Los metales pesados se consideran uno de los contaminantes más peligrosos en los ecosistemas acuáticos porque no son químicamente ni biodegradables y pueden persistir en el medio ambiente. por cientos de años.

Los efectos causados por estos elementos limitan el uso y desarrollo de los recursos naturales ya que su alta toxicidad y acumulación plantean amenazas a largo plazo para el medio ambiente y la salud pública.

Márquez et al. (2012) señalaron que los metales pesados causan serios problemas en los ecosistemas acuáticos porque se distribuyen en los sedimentos formados por la meteorización de las rocas y la erosión del suelo. El seguimiento de los metales pesados procedentes de actividades antropogénicas es importante para evaluar la calidad y la

protección de los ecosistemas, ya que los metales pesados también fluyen hacia las aguas superficiales de los ríos a través del ciclo hidrológico.

### 3.6. Evidencia de concentración de mercurio en sedimentos

Esmeraldas y Zambrano (2018) afirman que los metales pesados provienen en gran medida de fuentes antropogénicas, como desechos domésticos, agrícolas e industriales, y constituyen un peligro para la biota acuática y el ser humano, así como un factor de deterioro ambiental.

Estos elementos se acumulan principalmente en los sedimentos superficiales de los ríos, aunque pueden encontrarse concentraciones relativamente elevadas a una profundidad de 15 cm y guardan una estrecha relación con el tamaño de las partículas que constituyen el sedimento (limo, arcilla y arena) y con la cantidad de materia orgánica sedimentaria, alterando el equilibrio ecológico y biogeoquímico del ecosistema.

Cortes (2017) encontró que el mercurio en los sedimentos es más abundante en su estado divalente, Hg (II), y su reducción a su estado oxidado, Hg (I), tiene un rango de estabilidad limitado, señalando al Hg (0), que está en forma metálica es algo inestable. La coexistencia de especies de mercurio en los sedimentos depende de muchos factores, como el tipo de sedimento, las concentraciones de diversos aglutinantes, la presencia de microbios, el valor del pH, el potencial redox, el contenido de cloruro y azufre y el tipo de azufre. influencia antropogénica.

Marín et al. (2016) señalan que los ecosistemas acuáticos y los sedimentos actúan como trampas naturales para los xenobióticos y son los principales reservorios de la mayoría de las sustancias de origen humano. El mercurio suele quedar atrapado en los sedimentos,

permanece en una forma poco biodisponible y difícil de eliminar debido a la presencia de materia orgánica.

En este contexto, el análisis químico de sedimentos ha adquirido un gran valor científico para el estudio de los ecosistemas, ya que puede proporcionar un registro histórico de los tipos de contaminación que se produjeron en zonas cercanas a sus caminos.

Cogua et al., citados por Esmeraldas y Zambrano (2018) encontraron que los sedimentos son un buen indicador de los niveles de contaminación en un área determinada, dado que los contaminantes orgánicos persistentes tienden a ser absorbidos a los sólidos suspendidos. Se asienta y eventualmente se acumula en los sedimentos superficiales. El análisis de los sedimentos acuáticos desempeña un papel especial en la evaluación de la contaminación por mercurio, ya que proporciona testigos fiables del daño a los ecosistemas. Los resultados pueden proporcionar información sobre el estado actual de la deposición ambiental, porque sus resultados pueden revelar el estatus actual de la deposición ambiental.

### **3.7. Los efectos del mercurio en la población Latinoamericana**

Palma-Parra et al. (2019) encontraron que los niños tienen una frecuencia respiratoria más alta, una mayor superficie pulmonar, son más pequeños que los adultos y realizan actividades como gatear y jugar en pisos con altas concentraciones de vapor de mercurio, lo que se puede decir que es más sensible a los estímulos ambientales.

Vargas (2005) señala que la contaminación del aire interior y exterior, el agua insalubre, la falta de saneamiento y el saneamiento deficiente son responsables de la muerte de 1,7 millones de niños menores de cinco años. Estas exposiciones son responsables de un

tercio de las muertes en el grupo de edad de 0 a 19 años y más de una cuarta parte de las muertes en niños menores de cinco años.

Palma-Parra et al. (2019) informaron que el mercurio causa estrés oxidativo en el sistema nervioso central y la conducción nerviosa, lo que lleva a déficits neurológicos y neurológicos extremos, así como impactos en la capacidad sensorial, cognitiva y psicológica de los niños. Deterioro de la memoria visuoespacial y verbal en la escuela, funciones poco desarrolladas relacionadas con los procesos de aprendizaje y el rendimiento escolar, afectando la personalidad y las relaciones sociales.

Parra et al. (2019) concluyeron que los efectos tóxicos del mercurio dependen de la exposición en términos de tiempo, cantidad y frecuencia, pero informaron una amplia variabilidad en las respuestas individuales al mercurio entre diferentes grupos de población. El mercurio se incorpora al cabello y puede permanecer sin cambios en el cabello durante más de 11 años, lo que hace que esta muestra sea ideal para mediciones de exposición crónica, ya que refleja un historial de exposición previa a largo plazo.



# CAPÍTULO IV

## **EVALUACIÓN DE LA PRESENCIA DE MERCURIO EN LAS AGUAS Y EN LOS SEDIMENTOS DEL RÍO AZÁNGARO Y SU IMPACTO EN LA POBLACIÓN: UN ESTUDIO EN LA LOCALIDAD DE PROGRESO, PROVINCIA DE AZÁNGARO (PUNO)**

Los métodos de extracción de oro que se practican en el Centro Minero Ananea y el Centro Minero La Rinconada son ambientalmente perjudiciales ya que los relaves son vertidos al río Azángaro, con severos impactos en su flora, fauna y en las personas que allí extraen el agua.

La presencia de mercurio en el agua del río Azángaro amenaza la biodiversidad y pone en peligro la vida de personas intoxicadas por comer agua y alimentos contaminados. Se ha demostrado que el mercurio causa retraso en el desarrollo neurológico en adultos, especialmente en niños.

Se ha producido una liberación incontrolada de mercurio en la ciudad de Progreso, estado de Azángaro, lo que requiere un estudio de las concentraciones de mercurio en el agua y los sedimentos del río Azángaro y su impacto en los residentes de Progreso.

Somos conscientes del alcance de la contaminación del río Azángaro y de las enfermedades a las que están expuestos los habitantes de la ciudad de Progreso. Por estas razones, estamos

realizando esta encuesta para concientizar sobre el no uso del agua para la agricultura y el consumo de los habitantes del Río Azángaro y para informar a las autoridades sobre los daños que causa la minería informal e ilegal.

#### **4.1. Objetivo General**

Evaluar la contaminación del río Azángaro en función de las concentraciones de mercurio en agua y sedimentos.

#### **4.2. Objetivos Específicos**

- Determinar la concentración de mercurio en el agua del río Azángaro en la localidad de Progreso.
- Determinar la concentración de mercurio en los sedimentos del río Azángaro en la localidad de Progreso.

#### **4.3. Variables**

##### **Variable Independiente**

Contaminación del río Azángaro

##### *Variables Dependiente*

Concentración de mercurio en agua

Concentración de mercurio en sedimentos

**Tabla 9.** Operacionalización de las variables

VARIABLES	DIMENSIONES	INDICADORES	CRITERIOS DE VALORACIÓN
Concentración de mercurio en el agua	Río Azángaro	Agua	>0,001 mg/L
Concentración de mercurio en los sedimentos	Río Azángaro	Sedimento	0,15 mg/kg
Contaminación	Río Azángaro	Mercurio	0,001-0,15

#### 4.4. Ubicación de Estudio

La región geopolítica estudiada se ubica en el departamento de Azángaro en la región Puno. El área de estudio se limita al pueblo de Progreso, sobre el cual desemboca el río del mismo nombre.

#### 4.5. Tipo y diseño de la investigación

Esta investigación es exploratoria y transversal, ya que se describe la especificidad y escala del problema de campo que determina la contaminación de los recursos hídricos y se evalúan las variables en el tiempo.

#### 4.6. Unidad de análisis

Se seleccionaron tres puntos de muestreo de agua y sedimentos para realizar el estudio basado en el muestreo aguas abajo de la confluencia de los ríos Kalabaya y Kenamalee, el punto de partida de la ruta del río Azángaro. Para interpretar mejor los resultados, el río Azángaro que atraviesa la ciudad de Progreso se dividió en tres áreas de estudio, cada una con sus correspondientes puntos de muestreo.

#### 4.7. Método de selección de muestra

Según Mari (2010), para obtener datos confiables y significativos, las muestras tomadas deben ser representativas del área que se está evaluando. Esto requiere una planificación cuidadosa del proceso de muestreo para determinar el número exacto de muestras a tomar. Muestras para análisis de laboratorio. Es importante elegir un lugar de muestreo considerando los requisitos del lugar elegido:

- 1.- Aguas abajo inmediato a una frontera internacional.
- 2.- Captaciones para riego agrícola.
- 3.- Registros de obras públicas de la ciudad.

Se consideraron criterios ambientales geodésicos para sectorizar el área de estudio teniendo en cuenta las características del río. Esto ayudó a ordenar las correspondencias según las condiciones hidrográficas del sitio. Esta norma estuvo estructurada de la siguiente manera:

##### *Punto inicial del río Azángaro*

Esta cuenca fluvial se ve afectada aguas arriba por la actividad minera de dos regiones ricas en oro (Ananea y Crucero) que vierten sus relaves en los ríos Carabaya y Ken Amalee que forman el río Azángaro. Los puntos de muestreo se toman 100 metros río abajo de los cruces de ríos mencionados anteriormente. Esto se debe a que en las confluencias de los ríos se producen grandes turbulencias y se retienen grandes cantidades de metales pesados y sólidos en suspensión. Las turbulencias en la región pueden impedir obtener datos precisos sobre las concentraciones de mercurio en el agua y los sedimentos.

### *Represa Progreso*

Las secciones de la corriente se cuentan como secciones intermedias y aguas abajo. Se caracteriza por el grado de sedimentación de las partículas debido a la reducción de la turbulencia. Los metales pesados tienden a depositarse en esta zona porque el agua está tranquila. El cauce del río en esta zona se divide en dos partes, una que conduce al pueblo de Progreso y otra que se utiliza con fines agrícolas y ganaderos.

### *Río Progreso*

Finalmente, la evaluación se realiza en la ciudad de Progreso, donde desemboca el río Azángaro. Se eligió este punto de muestreo porque la exposición al mercurio de la población analizada es esencialmente la misma que la de las aguas residuales a través de la orina, lo que puede provocar un aumento de las concentraciones de mercurio en los ríos.

## **4.8. Técnicas de Muestreo**

El protocolo nacional de monitoreo de la calidad natural de las aguas superficiales, aprobado por R.J N° 182-2011-ANA, permite monitorear el aseguramiento y control de la calidad.

### *Técnicas de Muestreo de Agua*

Las muestras de agua se recolectaron en recipientes de polietileno de alta densidad y se pre limpiaron con ácido nítrico a 1 °C en el laboratorio de acuerdo con el protocolo de muestreo. Las muestras se tomaron de un lugar cerca del medio del lecho del río. Después del muestreo, se añadió ácido nítrico al 1% para evitar el intercambio iónico y la precipitación de hidróxido.

Los contenedores que contienen muestras deben estar debidamente sellados y etiquetados con instrucciones de almacenamiento para el envío.

#### *Técnica de Muestreo de Sedimento*

Se recolectaron muestras de sedimento en la localidad de Progreso en formaciones de hasta 15 cm de espesor (primer punto de muestreo) y de 3 a 5 cm de espesor. Para garantizar la representatividad de la muestra, las muestras se recolectaron simultáneamente de diferentes partes del sitio de muestreo utilizando cucharas pequeñas, se mezclaron en recipientes de polietileno de 20 litros y se colocaron en cuatro recipientes de polietileno de 500 ml. Dividir por unos 500 g. Para el almacenamiento, los recipientes se mantuvieron a una temperatura de 4 °C y se enviaron para cada análisis. La muestra tomada debe sellarse y proporcionar la información requerida. La cadena de productos contiene toda la información necesaria además del transporte.

#### **4.9. Metodología empleada en la determinación de mercurio en agua y sedimentos**

Las muestras recolectadas fueron transportadas al Laboratorio de Calidad Ambiental del Instituto de Ecología de la Universidad Mayor de San Andrés de La Paz, Bolivia, donde se midieron las concentraciones de mercurio en muestras de agua y sedimentos.

#### *Determinación del mercurio en agua*

Para la determinación de mercurio en agua se realizó espectroscopía de fluorescencia atómica según las directrices de la norma española UNE-EN 13506 (2002) caracterizada por una alta sensibilidad a concentraciones mínimas.

### Principio

En la medida de mercurio mediante espectroscopía de fluorescencia atómica (AFS) (Norma española UNE-EN 13506, 2002) se suele combinar la detección con la generación de vapor frío. El vapor frío normalmente se produce de dos maneras: química o térmica. Esta técnica utiliza agentes reductores fuertes como el borohidruro de sodio ( $\text{NaBH}_4$ ) y el cloruro de estaño ( $\text{SnCl}_2$ ) para reducir el mercurio iónico divalente ( $\text{Hg}^{2+}$ ) a su forma metálica ( $\text{Hg}^0$ ) en soluciones ácidas. En ambos casos, los átomos de mercurio vaporizados viajan en la corriente de gas para llegar al detector AFS. Sin embargo, la elección del gas fluorescente es muy importante para conseguir la mayor sensibilidad posible. Por esta razón, el argón suele ser el gas elegido en lugar del aire o el nitrógeno, ya que pueden ocurrir procesos de extinción que degradan la señal. Véase la tabla 2.

**Tabla 10.** *Parámetros de operación*

Elemento	Mercurio
Fuente	EDL Lámpara de descarga energética
Longitud de onda(nm)	253.7
Abertura (nm)	0.7
Reductante	3% $\text{NaBH}_4$ en Na OH
Flama	No

### Reactivos

- Ácido Sulfúrico
- Ácido Nítrico
- Permanganato de Potasio
- Borohidruro de sodio al 3%

- Hidróxido de sodio
- Cloruro de Estaño
- Agua desionizada

#### *Condiciones óptimas para el análisis de mercurio*

- Solución Stock: contiene 1000  $\mu\text{g}$  Hg/ml
- Solución estándar: contiene 1  $\mu\text{g}$  Hg/ml (en 1.5% de  $\text{HNO}_3$  estabilizada con la adición de una gota de  $\text{KMnO}_4$  al 5%).

#### *Diluyente*

$\text{HNO}_3$  al 1.5 %.

Volumen de calibración: 10 ml

#### *Solución estándar*

1 $\mu\text{g}$  de Hg/ml (mezcla ácida 1.5% de  $\text{HNO}_3$ , 1.5%  $\text{H}_2\text{SO}_4$  con la adición de 5 gotas de solución de  $\text{KMnO}_4$  al 5%).

Volumen de muestra: 10 ml.

### **Procedimiento**

#### *Preparación de la muestra*

Transfiera 0,5 ml de la muestra de agua al tubo de digestión, teniendo cuidado de no recoger el sedimento del fondo con la pipeta.

Añadir 2,5 ml de ácido nítrico, agitar suavemente y dejar a temperatura ambiente durante 5 minutos.

Agregue 8 ml de agua destilada, agite suavemente para homogeneizar la mezcla y deje reposar por otros 5 min para eliminar cualquier tipo de vapor o neblina en el tubo que pueda interferir con el análisis.

La muestra así preparada se transfiere al recipiente de medición del sistema de generación y eliminación de mercurio.

#### *Preparación de patrones y curva de calibración*

Prepare una solución al 0,05 diluyendo adecuadamente con agua destilada de la solución estándar de mercurio de 1000  $\mu\text{g}/\text{ml}$ . 0,1 y 0,2  $\mu\text{g Hg}/\text{ml}$ . Estas soluciones deben contener aproximadamente 20 mg/L de permanganato de potasio y 1% (v/v) de ácido nítrico para garantizar que el mercurio se conserve en la solución.

#### *Patrones de adición.*

Se prepara añadiendo 0,5 ml de cada uno de estándares acuosos de 0,05, 0,0,1 y 0,2  $\mu\text{g Hg}/\text{ml}$  a dos tubos de digestión que contienen 0,5 ml cada uno de agua destilada.

Blanco. Estos se elaboran añadiendo 0,5 ml de agua destilada a la misma muestra de agua de 0,5 ml en la que se basó el patrón de adición.

Blanco de reactivos. Consiste en tan solo 1 ml de agua destilada en un tubo de digestión. Se debe verificar la presencia de mercurio en los reactivos utilizados en este método y realizar las correcciones apropiadas.

Agregue 2,5 ml de ácido nítrico a los estándares, los blancos de agua y los blancos de reactivos y déjelos reposar durante 5 minutos al igual que las muestras.

Agregue 7,5 ml de agua destilada a los estándares y blancos hasta que el volumen total coincida con el volumen de la preparación de la muestra.

Después de un período de descanso de 5 minutos, las muestras estándar y en blanco se transfieren al recipiente de medición y se analizan.

Una curva estándar se construye trazando los valores de absorbancia o altura de pico obtenidos con los estándares y restando los valores obtenidos con el blanco de cada concentración.

Muestras de agua a 0,1 y 0,2  $\mu\text{g Hg/ml}$ .

### *Determinación*

Se trasvasa el contenido de cada uno de los tubos de digestión correspondientes a blancos, patrones y muestras al recipiente de medida del sistema de producción y arrastre de mercurio e inmediatamente antes de efectuar la determinación se añade 1 ml de cloruro de estaño (II).

Se hace pasar una corriente de aire de aproximadamente 1 L/min de caudal por el sistema de producción y arrastre de mercurio. El mercurio elemental, formado por la acción reductora del cloruro de estaño (II) sobre las especies iónicas presentes en la muestra, es liberado de la disolución por el borboteo que produce la corriente de aire en el seno de la muestra y es arrastrado por dicha corriente hasta la celda de medida.

Se mide la absorbancia o la altura del pico correspondiente al vapor de mercurio elemental presente en la muestra a 253,7 nm.

#### *Determinación del mercurio en sedimentos*

Se utiliza una técnica de digestión ácida asistida por microondas para medir el mercurio total en los sedimentos. En esta técnica, se toma una muestra representativa de 0,5 gramos y se digiere con 9 ml de ácido nítrico concentrado y 3 ml de ácido fluorhídrico durante 15 minutos. Calentamiento por microondas  $180 \pm 5$  °C, tiempo de calentamiento 5,5 minutos, tiempo de mantenimiento 9,5 minutos. Filtrar la solución digerida y completar hasta 100 ml. Posteriormente se sigue el mismo procedimiento para el mercurio en agua utilizando agua destilada.

#### *Instrumentos*

- Cuaderno de apuntes
- Cámara fotográfica
- Espectrofotómetro de fluorescencia atómica
- Botellas de plástico
- Palas de madera

### **4.10. Resultados**

Los asientos mineros, presentes en la parte alta de la cuenca del río Ramis, tales como: la Rinconada, Lunar de Oro, Pampa Blanca, Ananea y Crucero al verter sus relaves mineros al río principalmente compuestos por mercurio (metal pesado utilizado en el proceso de amalgamación del oro), provoca su contaminación, específicamente el río Azángaro; el

mismo que es usado por los pobladores de los distritos circundantes tales como Asillo, Progreso y Azángaro para su consumo, agricultura y ganadería, viéndose afectados los pobladores de estos lugares al consumir estas aguas contaminadas. Para determinar el nivel de contaminación del río Azángaro se analizaron muestras de agua y sedimentos en tres puntos del río Azángaro. Los resultados son presentados en esta sección.

### *Concentración de mercurio en muestras de agua del Río Azángaro*

En este estudio, se designaron tres puntos de muestreo M1, M2 Y M3 los mismos que son elegido por la facilidad en el muestreo, y la representatividad real de la concentración de mercurio en el agua, así como para evaluar la concentración de mercurio en zonas circundantes a la población siendo:

M1, que se consideró como blanco de la zona alta de la localidad de progreso ya que en esta zona se unen los ríos provenientes de dos zonas altamente auríferas (Ananea y Crucero), en ella se encuentra concentraciones iguales a 0,00020 mg/l de mercurio, el mismo que se encuentra dentro de los límites máximos permisibles dados por la ECA.

M2, segundo punto de muestreo, la cual se caracteriza por que en esta zona existe una represa en la que el agua del río se encuentra estancada favoreciendo la precipitación del mercurio por la quietud que presenta, en esta zona el río se divide en dos ramales uno que se dirige hacia la población en estudio y otra se dirige a una laguna llamada Hatunmayo la misma que es usada para uso exclusivo de agricultura y ganadería. El análisis de los resultados reveló una concentración de 0,00020 mg/l.

M3, tercer punto de muestreo en la localidad de Progreso. Allí fluye el río que lleva su nombre: el Azángaro. Este lugar de muestreo se adoptó luego de constantes quejas

del público sobre la contaminación por mercurio. Las concentraciones de mercurio en muestras de agua tomadas en esta área eran anteriormente de 0,00020 mg/L.

La Tabla 3 muestra los resultados de concentración de mercurio en agua obtenidos en el Laboratorio de Control de Calidad de Bolivia.

Por otro lado, los estándares marcados por el Ministerio del Medio Ambiente se muestran en las Tablas 4 a 7. La Tabla 4 presenta los Estándares Ambientales Nacionales para el Agua – Categoría 1: Población y Recreación “I”, la Tabla 5 presenta los Estándares Ambientales Nacionales para el Agua – Para Riego de Alto y Bajo Tallo, la Tabla 6 presenta los Estándares Ambientales Nacionales para el Agua Potable La Tabla 7 establece Normas ambientales nacionales para la conservación del agua en el medio acuático. Teniendo esto en cuenta, se puede observar que los resultados reportados en la Tabla 3 están por debajo de los límites permisibles para la presencia de mercurio enumerados en las Tablas 4, 5 y 6.

Por otro lado, los valores mostrados en la Tabla 3 superan los valores máximos permitidos mostrados en la Tabla 7.

**Tabla 11.** Resultados de la concentración de mercurio en muestras de agua del río Azángaro en el 2012

Puntos de muestreo	Unidad	Concentración de Hg
M1	mg/l	0,00020
M2	mg/l	0,00020
M3	mg/l	0,00020

**Tabla 12.** Estándares nacionales de calidad ambiental para agua – categoría 1: poblacional y recreacional “I”

PARÁMETRO	UNIDAD	Aguas superficiales destinadas a la producción de agua potable			Aguas superficiales destinadas para recreación	
		A1	A2	A3	B1	B2
		Aguas que puede ser potabilizadas con desinfección	Aguas que pueden ser potabilizadas con tratamiento convencional	Agua que pueden ser potabilizadas con tratamiento avanzado	Contacto primario	Contacto secundario
FISICOS- QUIMICOS						
Aceites y grasa (MEH)	mg/L	1	1,00	1,00	Ausencia de película visible	**
Cianuro Libre	mg/L	0,005	0,022	0,022	0,022	0,022
Cianuro Wad	mg/L	0,08	0,08	0,08	0,08	**
Cloruros	mg/L	250	250	250	**	**
Color	Color verdadero escala Pt/Co	15	100	200	Sin cambio normal	Sin cambio normal
Conductividad	us/m>-	1500	1600	**	**	**
D.B.C.	mg/L	3	5	10	5	10
D.Q.O.	mg/L	10	20	30	30	50
Dureza	mg/L	500	**	**	**	**
Detergentes (SAAM)	mg/L	0,5	0,5	Na	0,5	Ausencia
Fenoles	mg/L	0,003	0,01	0,1	**	**
Fluoruros	mg/L	1	**	**	**	**
Fósforo Total	mg/LP	0,1	0,15	0,15	**	**
Nitratos	mg/LN	10	10	10	10	**
Nitritos	mg/LN	1	1	1	1;	**
Nitrógeno amoniacal	mg/LN	1,5	2	3,5	*/*	**
Olor		Aceptable	**	**	Aceptable	**
Oxígeno Disuelto	mg/L	>=6	>=5	>=4	>=6	>=4
PH	Unidad de pH	6,5 - 8,5	5,5 - 9,0	5,5 - 9,0	6 - 1pfl	**

PARÁMETRO	UNIDAD	Aguas superficiales destinadas a la producción de agua potable				Aguas superficiales destinadas para recreación	
		A1	A2		A3	B1	B2
		Aguas que puede ser potabilizadas con desinfección	Aguas que pueden ser potabilizadas con tratamiento convencional		Agua que pueden ser potabilizadas con tratamiento avanzado	Contacto primario	Contacto secundario
Sólidos Disueltos Totales	mg/L	1000	1000	1500	**	**	
Sulfatos	mg/L	250	**	**	**	**	
Sulfuros	mg/L	0,05	**	**	0,05	**	
Turbiedad	UNT <sup>(b)</sup>	5	100	**	100	**	
<b>INORGÁNICOS</b>							
Aluminio	mg/L	0,2	0,2	0,2	0,2	**	
Antimonio	mg/L	0,006	0,006	0,006	0,006	**	
Arsénico	mg/L	0,01	0,01	0,05	0,01	**	
Bario	mg/L	0,7	0,7	1	0,7	**	
Berilio	mg/L	0,004	0,04	0,04	0,04	**	
Boro	mg/L	0,5	0,5	0,75	0,5	**	
Cadmio	mg/L	0,003	0,003	0,01	0,01	**	
Cobre	mg/L	2	2	2	2	**	
Cromo Total	mg/L	0,05	0,05	0,05	0,05	**	
Cromo VI	mg/L	0,05	0,05	0,05	0,05	**	
Hierro	mg/L	0,3	1	1	0,3	**	
Manganeso	mg/L	0,1	0,4	0,5	0,1	**	
Mercurio	mg/L	0,001	0,002	0,002	0,001	**	
Níquel	mg/L	0,02	0,025	0,025	0,02	**	
Plata	mg/L	0,01	0,05	0,05	0,01	0,05	
Plomo	mg/L	0,01	0,05	0,05	0,01	**	
Selenio	mg/L	0,01	0,05	0,05	0,01	**	
Uranio	mg/L	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	
Vanadio	mg/L	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	
Zinc	mg/L	3	5	5	3	**	

**Tabla 13.** Estándares nacionales de calidad ambiental para agua – para riego de tallo alto y bajo

Parámetros para Riego de Vegetales de Tallo Bajo y Tallo Alto		
FISICOQUÍMICOS		
Bicarbonatos	mg/L	370
Calcio	mg/L	200
Carbonatos	mg/L	5
Cloruros	mg/L	100-700
Conductividad	(uS/cm)	<2000
Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/L	15
Demanda química de Oxígeno	mg/L	40
Fluoruros	mg/L	1
Fosfatos – P	mg/L	1
Nitratos (A <sup>r</sup> Q,-N)	mg/L	10
Nitritos-(NO <sub>2</sub> -AQ)	mg/L	0,06
Oxígeno Disuelto	mg/L	>=4
pH	Unidad de pH	6,5 - 8,5
Sodio	mg/L	200
Sulfatos	mg/L	300
Sulfuros	mg/L	0,05
INORGÁNICOS		
Aluminio	mg/L	5
Arsénico	mg/L	0,05
Bario total	mg/L	0,7
Boro	mg/L	0,5 - 6
Cadmio	mg/L	0,005
Cianuro Wad	mg/L	0,1
Cobalto	mg/L	0,05
Cobre	mg/L	0,2
Cromo (6+)	mg/L	0,1
Hierro	mg/L	1
Litio	mg/L	2,5
Magnesio	mg/L	150
Manganeso	mg/L	0,2
Mercurio	mg/L	0,001
Níquel	mg/L	0,2
Plata	mg/L	0,05
Plomo	mg/L	0,05
Selenio	mg/L	0,05

Parámetros para Riego de Vegetales de Tallo Bajo y Tallo Alto		
Zinc	mg/L	2
ORGÁNICOS		
Aceites y Grasas	mg/L	1
Fenoles	mg/L	0,001
S.A.A.M. (detergentes)	mg/L	1
PLAGUICIDAS		
Aldicarb	ug/L	1
Aldrin (CAS 309-00-2)	ug/L	0,004
Clordano (CAS 57-74-9)	ug/L	0,3
DDT	ug/L	0,001
Dieldrín (N° CAS CAS 72-20-8)	ug/L	0,7
Endrin	ug/L	0,004
Endosulfán	ug/L	0,02
Heptacloro (N° CAS 76-44-8) heptacloripoxido	ug/L	0,1
Lindano	ug/L	4
Parathion	ug/L	7,5

**Tabla 14.** Estándares nacionales de calidad ambiental para agua de bebida de animales

Parámetros para bebidas de animales		
UNIDAD	PARÁMETRO	VALOR
FISICOQUÍMICOS		
Conductividad Eléctrica	(uS/cm)	<=5000
Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/L	<=15
Demanda química de Oxígeno	mg/L	40
Fluoruro	mg/L	2
Nitratos-(No.-N)	mg/L	50
Nitritos-(Nt <sup>-</sup> -N)	mg/L	1
Oxígeno Disuelto	mg/L	> 5
pH	Unidad de pH	6,5 - 8,4
Sulfatos	mg/L	500
Sulfuros	mg/L	0,05
INORGÁNICOS		
Aluminio	mg/L	5

Parámetros para bebidas de animales		
	PARÁMETRO	
UNIDAD		VALOR
Arsénico	mg/L	0,1
Berilio	mg/L	0,1
Boro	mg/L	5
Cadmio	mg/L	0,01
Cianuro WAD	mg/L	0,1
Cobalto	mg/L	1
Cobre	mg/L	0,5
Cromo (6+)	mg/L	1
Hierro	mg/L	1
Litio	mg/L	2,5
Magnesio	mg/L	150
Manganeso	mg/L	0,2
Mercurio	mg/L	0,001
Níquel	mg/L	0,2
Plata	mg/L	0,05
Plomo	mg/L	0,05
Selenio	mg/L	0,05
Zinc	mg/L	24
ORGÁNICOS		
Aceites y grasas	mg/L	1
Fenoles	mg/L	0,001
S.A.A.M: (detergentes)	mg/L	1
PLAGUICIDAS		
Aldicarb	ug/L	1
Aldrín (CAS 309-00-2)	ug/L	0,03
Clordano (CAS 57-74-9)	ug/L	0,3
DDT	ug/L	1
Dieldrín (N° CAS 72-20-8)	ug/L	0,7
Endosulfan	ug/L	0,02
Endrin	ug/L	0,004
Heptacloro (N° CAS 76-44-8) y heptacloripoxido	ug/L	0,1
Lindano	ug/L	4
Parathion	ug/L	7,5
Salmonella Sp.		Ausente
Vibrio Cholerae		Ausente

**Tabla 15.** Estándares nacionales de calidad ambiental para agua conservación del ambiente acuático

Parámetros	Unidades	Lagunas y Lagos	Ríos		Ecosistemas Marino Costeras	
			Costa y Sierra	Selva	Estuarios	Marinos
<b>FÍSICOS Y QUÍMICOS</b>						
Aceites y grasas	mg/L	Ausencia de partículas visibles	Ausencia de película visible	Ausencia de película visible	1	1
Demanda Bioquímicas de Oxígeno (DBO <sub>5</sub> )	mg/L	<5	<10	<10	15	10
Nitrógeno Amoniacal	mg/L	<0,02	0,02	0,05	0,05	0,08
Temperatura	Celsius					Delta 3 °C
Oxígeno Disuelto	mg/L	>5	>5	>5	>4	>4
pH	unidad	6,5 - 8,5	6,5 - 8,5		6,8 - 8,5	6,8 - 8,5
Sólidos Disueltos Totales	mg/L	500	500	500	500	
Sólidos Suspendidos Totales	mg/L	<25	<25 -100	<25 - 400	<25 - 100	30,000
<b>INORGÁNICOS</b>						
Arsénico	mg/L	0,01	0,05	0,05	0,05	0 - 1
Bario	mg/L	0,7	0,7	1	1	
Cadmio	mg/L	0,004	0,004	0,004	0,005	0,005
Cianuro Libre	mg/L	0,022	0,022	0,02	0,02	
Clorofila A	mg/L	10				
Cobre	mg/L	0,02	0,02	0,02	0,05	0,05
Cromo VI	mg/L	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05
Fenoles	mg/L	0,001	0,001	0,001	0,001	
Fósforo Total	mg/L	0,4	0,5	0,5	0,5	0,031 - 0,093
Hidrocarburos de Petróleo Aromáticos Totales		Ausente			Ausente	Ausente
Mercurio	mg/L	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001

Parámetros	Unidades	Lagunas y Lagos	Ríos		Ecosistemas Marino Costeras	
			Costa y Sierra	Selva	Estuarios	Marinos
Nitratos (N-No*)	mg/L	5	10	10	10	0,07 - 0,28
<b>INORGÁNICOS</b>						
Nitrógeno Total	mg/L	1,6	1,6			
Níquel	mg/L	0,025	0,025	0,025	0,002	0,0082
Plomo	mg/L	0,001	0,001	0,001	0,0081	0,0081
Silicatos	mg/L					0,14 - 0,7
Sulfuro de Hidrógeno (HS indisociable)	mg/L	0,002	0,002	0,002	0,002	0,06
Zinc	mg/L	0,03	0,03	0,3	0,03	0,081
<b>MICROBIOLÓGICOS</b>						
Coliformes Termotolerantes	NMP/100mL	1 000	2 000		1 000	<30
Coliformes Totales	NMP/100mL	2 000	3 000		2 000	

### *Concentración de mercurio en sedimentos*

Para medir las concentraciones de mercurio en los sedimentos del río Azángaro, se recolectaron muestras de los mismos lugares de muestreo que el agua, arrojando concentraciones de mercurio que correspondían a la concentración de este metal en el agua. Dado que el mercurio es insoluble en agua, los resultados indican que abunda en los sedimentos. El mercurio presente en medios anaeróbicos sufre reacciones de alquilación y se convierte en formas orgánicas como el metilmercurio y el dimetilmercurio, que sólo están presentes en los sedimentos. Los resultados que se muestran en la Tabla 8 indican una concentración de mercurio de 1,5. A 0,20 y 0,20 mg/kg, todos estos valores exceden los límites máximos permitidos de la Encuesta Nacional de Calidad de Sedimentos (ver Tabla 9).

**Tabla 16.** Resultados de la concentración de mercurio en muestras de sedimentos del río Azángaro en el 2012

Puntos de muestreo	Unidad	Concentración de mercurio
M1	mg /kg	1,5
M2	mg /kg	0,20
M3	mg /kg	0,20

**Tabla 17.** Estándares para sedimentos

Estados Unidos de Norte América	Hg
ER-L (Effect range-low)	0,15
ER-M (Effect range-median)	0,71
Aet-l (Apparent effects threshold-low)	0,59
PEL (Probables efectos leves)	0,7

#### 4.11. Discusión

##### *Concentración de mercurio en muestras de agua*

La cuenca del río Carabaya se forma en el Cañón del Cerro Lunar y la Laguna Rinconada. Es un sistema hidrográfico formado por los ríos Grande Crucero, Ayaviri, Azángaro y Ramis, un mismo río con diferentes nombres según la zona geográfica. El río Ramis desemboca en el lago Titicaca. Las ciudades que rodean la cuenca del río Carabaya desde su cabecera hasta el lago Titicaca son: Rinconada, Ananea, Crucero, San Antón, Carmen, Progreso, Pukara, Ikasio, Azángaro, Tirapata, Calapuja, Achaya, Caminaca. Las comunidades mineras de la región vierten escorias a la cuenca, contaminando todos los ríos y zonas pobladas que conforman la cuenca.

Según un estudio realizado, la concentración más baja de mercurio en el río Azángaro es de 0,00020 mg/l, la cual está por debajo del límite máximo permisible establecido por las Normas Ambientales Nacionales de la ECA. Si el tronco está bajo, la concentración

mínima de mercurio debe ser de 0,001 mg. La concentración presente de mercurio en el río Azángaro es inferior a los LMP, debido a que este metal es insoluble en agua siendo más lábil en el sedimento, esto es corroborado por Español (1990) quien manifiesta en aguas continentales el mercurio no se encuentra soluble en forma iónica  $Hg^{2+}$  sino formando complejos como hidróxidos de mercurio que tienden a precipitarse formando sedimentos en el interior del río. Otras investigaciones coincidieron con los resultados de la presente investigación, tales como las realizadas en el lago Titicaca Gamarra (2010) en la cual, muestras de agua de la desembocadura del río Ramis, indican concentraciones iguales a 0,0002 mg/l de mercurio.

Así también la Dirección General de Salud DIGESA (2007) evalúa y analiza el grado de contaminación del Río Ramis y principales tributarios encontrando en el primer punto de muestreo ubicado en el centro poblado Progreso concentraciones de mercurio iguales a 0,000011 mg/l, inferiores a los Límites permisibles expuestos por la ECA (cuadro 6). Investigaciones realizadas por la Universidad Nacional de Altiplano (2009) indican que la concentración de mercurio en agua del Río Ramis se encuentra en concentraciones inferiores dados por la ECA, y OMS, confirmando este resultado a la poca solubilidad que el mercurio presenta en el agua, recomendando realizar investigaciones de mercurio en la forma orgánica como es de metilmercurio.

Cornejo (2009) en el estudio integral de la contaminación en la cuenca del Ramis Puno-Perú, evalúa el impacto ambiental en agua del río Ramis por metales pesados como mercurio, indicando que estos se encuentran en cantidades inferiores dados por la ECA (0,0002 mg/l) como se observa en el estudio llevado a cabo por Cornejo (2009). En el río Azángaro no se han detectado niveles elevados de mercurio, como señalan varios estudios.

Sin embargo, esto no significa que los ríos antes mencionados no estén contaminados con mercurio, ya que el mercurio tiende a precipitarse, provocando reacciones orgánicas que provocan una biomagnificación en los animales y plantas que se alimentan de él, lo que es potencialmente peligroso. un serio problema. Además. Además, en los próximos años se observaron altas concentraciones de mercurio en las aguas del río Azángaro, provocando la muerte de la flora y fauna de las instalaciones del río.

### *Concentración de mercurio en sedimentos*

El proceso de uso de una combinación minera utilizada en la parte superior de la cuenca Lamis para obtener oro. Este proceso significa que los óxidos de mercurio Hg se traducen como óxidos en la atmósfera. En forma de iones, se deposita en el suelo y el conducto de agua existente. Usando los iones del proceso biológico, la actividad bacteriana se convierte en una plata metálica (en forma orgánica) y se muestra en sedimento en un entorno anaeróbico. Según el estudio realizado, las concentraciones de los tres sitios de muestreo (M1, M2, M3) en el río Azángaro fueron iguales a 1,5; El contenido de mercurio fue de 0,20 y 0,20 mg/kg, respectivamente, superando todos los datos del estudio nacional de calidad de sedimentos. (Tabla 9) El límite máximo permitido especificado. Según Housecroft y Sharpe (2008), “todo el mercurio inorgánico disuelto en agua tiende a presentarse en forma de precipitados de  $Hg(OH)_2$ ”, que a su vez se convierten en MeHg por la actividad microbiana y la fauna acuática continental conducen a la bioacumulación de mercurio. metales en los organismos. Un estudio de Gamarra (2010) evaluó metales pesados en sedimentos en puntos clave de afluentes importantes como el lago Titicaca y el río Ramis; indicó que las concentraciones de mercurio en los sedimentos oscilaban entre 0,01 y 3,39 mg/kg. En ocasiones, estos valores amenazan la salud de los ecosistemas acuáticos y la

salud de las personas que dependen de ellos. De igual forma, Cornejo (2012) indicó que los resultados obtenidos en la Cuenca Ramis fueron superiores a las concentraciones de la USEPA. En el estudio de Calcín, “Presencia de metales pesados en la biota acuática de Ramis” (2006), se observó mercurio en concentraciones de 0,2 a 0,3 mg/kg Hg en Karachi. Las concentraciones disponibles muestran la relación entre la concentración de la especie (Karachi en este caso) y la concentración de mercurio (1,5 mg/kg Hg) en el agua y sedimentos en los que vive la especie; Sameka (1999) en su estudio de Karachi, esto fue confirmado en sus estudios de metales pesados, donde determinó que las concentraciones de estas especies se correlacionaron con la biota y la composición del agua.

La Universidad Agrícola de La Molina (1999) determinó una concentración de mercurio de 1,0 mg/kg en los sedimentos y concluyó que la principal fuente de contaminación por mercurio en la cuenca Ramisa es el centro minero. Centros mineros como la Rinconada-Ananea. En general, el río Azángaro ha sido contaminado por el uso irresponsable de mercurio por parte de mineros informales en el proceso de extracción de oro, aunque el mercurio solo está presente en altas concentraciones en los sedimentos y por lo tanto aún no se ha hecho visible en el agua. El mercurio en los sedimentos, en forma orgánica metil mercurio, se bioacumula en la flora y fauna ribereña, provocando problemas ambientales y de salud para las personas que utilizan el agua de los ríos para la agricultura y la ganadería.

#### 4.12. Conclusiones

Los resultados del análisis del agua mostraron que la concentración de mercurio en el río Azángaro (0,00020 mg/L) era menor que la concentración (0,001 mg/L) establecida por la Norma Nacional de Calidad Ambiental de la ECA debido a que el mercurio en su elemento es inestable en el medio ambiente acuático. solución y se oxida

fácilmente La precipitación en forma de sustancias e hidróxidos, forma depósitos. Se detectó mercurio en los sedimentos en una concentración de 1,5 mg/kg, que es mucho más alta que el valor de detección (0,75 mg/kg) del Apéndice D del Estudio Nacional de Calidad de Sedimentos de la EPA de EE. UU. para la Evaluación de Productos Químicos, y en los próximos años, como resultado de la restricción, el mercurio puede convertirse en formas orgánicas como metilmercurio o dimetilmercurio, que son fácilmente absorbidas por la flora y fauna ribereñas.

#### **4.13. Recomendaciones**

Se realizaron estudios similares en rumiantes alimentados en humedales de la región para determinar la bioacumulación de mercurio. Además, en los ríos se realizan estudios de flora y fauna para determinar si el mercurio de los sedimentos realmente pasa a un estado orgánico (metilación). En el río Azángaro, donde no se ha estudiado la concentración de mercurio en formas orgánicas, el potencial de metilación biótico en este caso particular es más rápido y productivo que el potencial de metilación abiótico debido a las condiciones climáticas en las que se encuentra el río. Río. Sin embargo, esta suposición necesita ser monitoreada y confirmada. Se necesita investigación para comprender y cuantificar las tasas de metilación en estos ecosistemas de la región.



# CAPÍTULO V

## IMPORTANCIA DE PRESERVAR EL CUIDADO DEL MEDIO AMBIENTE Y LA SALUD DEL HOMBRE FRENTE A LA ACTIVIDAD EXTRACTIVA DEL MERCURIO

**E**l ecosistema es un espacio conformado por seres vivos en el que cada organismo posee una función importante para mantener el equilibrio. García-Peñalvo (2016) agrega que en dicha comunidad los procesos vitales están interrelacionados, por ello cada ser vivo posee una función o acción importante para el equilibrio de la naturaleza.

Ello se puede apreciar cuando, por ejemplo, el ser humano incluye la ingesta de carne en su dieta, pues su acción debe caracterizarse por ser de consumo responsable, es decir comprendiendo que si bien el individuo puede alimentarse de animales en su medio, debe considerar preservarlos para las futuras generaciones, a este hecho se le conoce como consumo sostenible.

Este tipo de prácticas resultan necesarias para una adecuada convivencia, ya que finalmente, el individuo requiere que el espacio mantenga una armonía, orden, aire puro, el agua no contaminada y los suelos fértiles para su supervivencia. Esto al margen de cualquier sistema de producción al que se pertenezca. Se puede indicar, en tal caso, que el ser humano debe priorizar su salud y alimentación antes que cualquiera otra actividad por más beneficios económicos que ésta le genere, más aún si resulta con perjuicios para toda una población.

Sin embargo, preservar el medioambiente resulta una actividad difícil de lograr debido a que no solo existen factores naturales que modifican el ecosistema, sino que la propia acción humana mediante una serie de actividades de producción o de consumo desestabilizan el equilibrio del medio que los rodea. Al respecto, Hidalgo (2017) detalla que reacciones como el cambio climático, el efecto invernadero, entre otras que se han ido acelerando en los últimos años son consecuencia de la actividad humana que durante las últimas décadas se ha convertido en una amenaza para la naturaleza.

El problema atmosférico es una realidad que afecta a todos los países del mundo, aunque en distintos niveles, mientras que por un lado se puede contaminar los ríos con residuos que no son fáciles de desechar, por otro lado, la explotación de yacimientos de arena, de metales, entre otros generan contaminación por polvo y otros restos.

Respecto al último aspecto, se puede indicar que las actividades mineras son aquellas que se han registrado como generadoras de profundos deterioros en los recursos naturales siendo los relaves mineros los principales responsables de los daños medioambientales, destruyendo con ello el paisaje y el ecosistema de los seres vivos (Martínez et al. 2017). Esto se debe a que no existe una política clara de cuidado ambiental, qué acciones en concreto afectan al ecosistema, cómo se debe hacer para menguar los daños, entre otros.

Si bien, el tipo de planta que se rodea de este tipo de actividades extractivas es relevante, no todas poseen las mismas propiedades o resistencia. Al respecto, Baker (citado en Cahuana y Aduvire, 2019) señala que existen especies de plantas que toleran concentraciones de metales muy elevados, ya que son capaces de impedir el paso de elemento químico a las hojas, sin embargo, existen otras que absorben y acumulan activamente dicha sustancia en su biomasa.

Por otro lado, en relación a medio acuático, como ya se señaló anteriormente, existe el medio natural que genera que existan metales en ambientes acuáticos, ya sea por el resultado de la erosión de rocas, el polvo que es llevado por el viento, actividad volcánica, entre otras acciones no generadas por el hombre, la problemática surge que por actividad humana, los porcentajes metálicos son altos al punto de destruir todo lo que encuentra a su paso (Cahuana y Aduvire, 2019).

De lo expuesto, se infiere que el mercurio es un metal que debe ser tratado con especial cuidado, de lo contrario, las consecuencias pueden ser funestas para el individuo. Esta es una problemática que afecta a diversos países de Latinoamérica, entre los que se encuentra México, que según indican Villanueva y Botello, García-Hernández et al. y Dávila et al. (citado en Covarrubias y Peña, 2017) han identificado metales pesados en ríos, lagos, cultivos, suelos y aire de zonas urbanas, asimismo se ha detectado que tanto los peces como moluscos se encuentran infectados por metales tóxicos, dichos organismos que son parte de la dieta humana.

Por otra parte, en Colombia, de acuerdo con Rocha-Román et al. (2018), la minería aurífera que emplea mercurio ha ocasionado daños en la vegetación, degradación del suelo y la contaminación de recursos hídricos, una situación que se repite a lo largo y ancho del continente sureño.

Por su parte, la situación en Brasil sigue siendo la misma. Heller (2019), sostiene que ante las catástrofes que puedan ocurrir ante actividades económicas los desastres en la minería tienen responsables individuales e institucionales: personas, empresas y entidades gubernamentales. Agentes que provocan crímenes y violan un gran número de derechos humanos de un enorme contingente poblacional, dicho de otra manera, estos atentados

ocurridos en la naturaleza deben sancionarse con la severidad que amerita, de esa manera existe la posibilidad de que un suceso similar vuelva a ocurrir.

Sobre los efectos producidos por la acción humana, Yee-Batista (citado en Meoño, 2015) afirma que el 80% de la población en Latinoamérica vive en zonas y asentamientos próximos a zonas contaminadas, un hecho que debe considerarse relevante perjuicio para el mundo si se tiene en cuenta que el continente de América Latino posee el tercio de fuentes de aguas del mundo. Además, agrega Yee-Batista que las aguas contaminadas no pasan por un tratamiento y que van directamente a la producción agropecuaria y al consumo del ser humano afectando con ello la salud pública.

En relación con lo que viene ocurriendo en el Perú, la Superintendencia Nacional de Servicios de Saneamiento (SUNASS) el 70% de las aguas residuales en el Perú no cuenta con tratamiento y de las 143 que existen, solo el 14% cumplen no lo estipulado por la norma (Larios-Meoño et al., 2015), una situación que deja en el completo desamparo a la comunidad y a las futuras generaciones que encontraran el mundo como un lugar inhóspito.

Sin embargo, aún existen actividades que se pueden realizar desde los hogares para contribuir, en alguna medida, con el cuidado del planeta. Carl Sagan (citado en Roncancio y Tarquino, 2015) resaltó la importancia que existe en la reflexión de cada persona sobre cómo mejorar las condiciones de vida de la humanidad. A continuaciones algunas actividades para reducir el impacto que genera el hombre desde casa:

### **En el cuarto de baño**

De acuerdo con la Agencia de Protección Ambiental de EE. UU, las familias utilizan en promedio 1 512 litros de agua cada día. Por ello, recomienda consumir agua con prudencia, por ejemplo, realizando duchas cortas y en el caso de usar bañeras, hacerlo con un menos nivel de lo que se usa regularmente. Asimismo, es importante que se realice una revisión del inodoro, elemento de los baños que presenta fugas constantes, las cuales pueden ser de 765 litros al día.

### **En la cocina**

Se debe evitar el uso de electrodomésticos de mucha antigüedad, ya que consumen mayor energía y gas. Por otro lado, es recomendable considerar el uso adecuado en relación con el aceite, ya que vaciarlo por el sifón contamina el medio ambiente y contribuye a la contaminación de los suministros de agua. Los aceites de cocina se deben poner en recipientes bien cerrados e irrompibles en la basura, de esa manera se evita la contaminación a los ríos.

### **En el garaje o cochera**

Usualmente son en estos ambientes del hogar donde se guarda el combustible, aceites, gasolinas, pinturas, pesticidas, por lo tanto, es recomendable que estos sean desechados con el adecuado cuidado, pues al colocarlos junto a la basura o al desagüe de manera deliberada contaminan el medio ambiente por el problema de tratamiento de agua que enfrenta el país.



## REFERENCIAS

- Academia Nacional de Medicina de Colombia. (2006). *Seminario Internacional sobre clínica del mercurio. Memorias*. Academia Nacional de Medicina y Fundación Pro – Agua.
- Amable, I., Méndez, J., Bello, B., Benítez, B., Escobar, L., & Zamora, R. (2017). Influencia de los contaminantes atmosféricos sobre la salud. *Revista Médica Electrónica*, 39(5), 1160-1170. [http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1684-18242017000500017&lng=es&tlng=es](http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1684-18242017000500017&lng=es&tlng=es).
- Apaéstegui, J., & Peña, F. (2017). *Disponibilidad de agua*. Pontificia Universidad Católica de Perú. <https://ciga.pucp.edu.pe/wp-content/uploads/2017/09/2.-CAP%C3%8DTULO-2-1.pdf>
- Badii, M. (2017). Desarrollo sustentable: fundamentos, perspectivas y limitaciones. *Innovaciones de negocios*, 1(2). <http://revistainnovaciones.uanl.mx/index.php/revin/article/view/15/12>

- Benítez, J., Guitian, D., Marín, C. Melone, A., Pereira, P., & Méndez, D. (2019). Funciones de Transformación para Evaluar Impactos Ambientales relacionados con Calidad del Aire, Calidad del Agua, Erosión del Suelo, Vegetación Terrestre y Diversidad de Especies. *Tekhne*, 22(2). <http://revistasenlinea.saber.ucab.edu.ve/temas/index.php/tekhne/index>
- Berlin, M., Zalups, R., & Fowler, B. (2007). *Handbook on the Toxicology of Metals*. Academic Press.
- Blesa, M., & Castro, G. (2015). *Historia natural y cultura del mercurio*. Editorial: Asociación Argentina para el Progreso de las Ciencias. [http://aargentinpnciencias.org/wpcontent/uploads/2017/10/libro\\_historia\\_natural\\_cultural\\_mercurio.pdf](http://aargentinpnciencias.org/wpcontent/uploads/2017/10/libro_historia_natural_cultural_mercurio.pdf)
- Cahuana, L. & Aduvire, O. (2019). Bioacumulación de metales pesados en tejidos de vegetación acuática y terrestre evaluados en áreas donde existen pasivos ambientales mineros en el Perú. *Revista de Medio Ambiente Minero y Minería* 4(2), 19-36, [http://www.scielo.org.bo/pdf/mamym/v4n2/v4n2\\_a02.pdf](http://www.scielo.org.bo/pdf/mamym/v4n2/v4n2_a02.pdf)
- Calcina, L., Huaraya, F. (2018). Presencia de metales pesados en la biota acuática (*schoenoplectus tatora* y *orestias* sp.) en las desembocaduras de los ríos ramis e illpa de la reserva nacional del titicaca. *Revista de Postgrado SCIENTLARUM*, 4(2), 47-51. DOI: 10.26696/sci.epg.0084
- Camargo, S., & Yanayaco, R. (2018). *Evaluación de la contaminación de mercurio (Hg) y la salud de dos centros poblados del distrito de Ccochaccasa Provincia de Angaraes-Huancavelica* [trabajo de especialización]. Repositorio de la Universidad Inca Garcilaso de la Vega. <https://bit.ly/38QKyR2>.

- Camilloni, I., Vera, C., & Kornblihtt, A. (s. f.). Ciencias naturales. La atmósfera. *Explora*.  
<http://www.bnm.me.gov.ar/giga1/documentos/EL002316.pdf>
- Cárdenas-Rodríguez, N., & Pedraza-Chaverri, J. (2018). Especies reactivas de oxígeno y sistemas antioxidantes: aspectos básicos. *Educación Química*, 17(2). DOI: 10.22201/fq.18708404e.2006.2.66056
- Cogua, P., Campos, N., & Duque, G. (2016). Concentración de mercurio total y metilmercurio en sedimento y sostén de la bahía de Cartagena, caribe colombiano. *Boletín De Investigaciones Marinas Y Costeras*, 41(2). <https://doi.org/10.25268/bimc.invemar.2012.41.2.88>
- Conde, E., Conde, E., & Carreras, C. (2015). Evaluación de la ingesta de pescado en población gestante en relación a la exposición de metilmercurio. *Nutrición clínica y dietética hospitalaria*, 35(3), 66-73. <https://revista.nutricion.org/PDF/191114-EVALUACION.pdf>
- Cornejo, D. (2009). Estudio Integral de la contaminación en la cuenca del Ramis por metales pesados (mercurio, plomo, arsénico y cobre).
- Cortes, C. (2017). *Determinación de mercurio orgánico e inorgánico en muestras ambientales* [Tesis de maestría]. Repositorio de la Universidad Nacional de Colombia. <https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/61022/52352227.2017.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.
- Covarrubias, S., & Peña, J. (2017). Contaminación ambiental por metales pesados en México: problemática y estrategias de fitorremediación. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 33, 7-21. <https://www.revistascca.unam.mx/rica/index.php/rica/article/view/RICA.2017.33.esp01.01/46640>

- Cuello, S. (2017). *Bioacumulación, toxicidad e interacción de metilmercurio y especies de selenio* [Tesis de maestría]. Repositorio Institucional UCM. <https://eprints.ucm.es/id/eprint/42588/1/T38771.pdf>
- Dammert, A. (2020). Importancia del sector minero para el Perú. *Journal of Economics Finance & International Business*, 4(1), 1-7. <http://revistas.usil.edu.pe/index.php/jefib/article/view/841/1157#>
- De Echave, J. (2016). La minería ilegal en Perú. *Nueva Sociedad*, 263, 131-144. <https://biblat.unam.mx/hevila/Nuevasociedad/2016/no263/11.pdf>
- De la Torre, J. (2018). *La responsabilidad social empresarial: el medio ambiente y la importancia de proteger los océanos de los plásticos*. Universidad Pontificia Comillas. <https://repositorio.comillas.edu/xmlui/bitstream/handle/11531/31236/TFG%20-%20de%20la%20Torre%20de%20Arenzana%2c%20Jaime%20.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Díaz-Arriaga, F. (2014). Mercurio en la minería del oro: impacto en las fuentes hídricas destinadas para consumo humano. *Revista Salud Pública*, 16(6), 947-957. <https://www.scielosp.org/pdf/rsap/2014.v16n6/947-957/es>
- DIGESA (2007). *Vigilancia de la calidad de los recursos hídricos en la cuenca del Ramis*. DIGESA.
- Escala, J. (2017). *Toxicidad crónica de metilmercurio sobre los niveles de creatinina y alteración histológica de riñón en rattus norvegicus variedad sprague dawley* [Tesis de licenciatura]. Repositorio Institucional UNAS. <http://repositorio.unsa.edu.pe/bitstream/handle/UNSA/2950/Biescojs.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

- Esmeraldas, P., & Zambrano, J. (2018). *Evaluación de la concentración de mercurio en agua y sedimento en el río Carrizal* [Trabajo de especialización]. Repositorio de la Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López. <https://bit.ly/390eTMW>.
- Español, S. (1990). *Niveles de mercurio en sangre y orina y su correlación con la morbilidad en una población no expuesta ocupacionalmente servicio prevención riesgos laborales – área salud laboral – Minas de Almadén y Arrayanes S.A.*
- Farré, R., Rodríguez, R., & Manges, M. (2011). *Conceptos fundamentales de Toxicocinética*. En *Toxicología Clínica*, de Morán, I., Martínez, J., Marruecos-Sant, L. & Nogué, S. Editorial Grupo Difusión. [http://www.fetoc.es/asistencia/Toxicologia\\_clinica\\_libro.pdf](http://www.fetoc.es/asistencia/Toxicologia_clinica_libro.pdf).
- Gamarra, C., Siguayro, H., & Segura M. (2010). *Metales pesados en agua. Sedimento en puntos críticos del lago Titicaca y principales afluentes*.
- García-Peñalvo, F. (2016). En clave de innovación educativa. Construyendo el nuevo ecosistema de aprendizaje. *I Congreso Internacional de Tendencias en Innovación Educativa, CITIE 2016, Arequipa*. <https://repositorio.grial.eu/handle/grial/689>
- González, J. (2015). *Caracterización de sedimentos producidos en una explotación intensiva de trucha arco iris (Oncorhynchus mykiss Walbaum, 1792), como un medio para definir estrategias de uso y manejo sostenible de lagunas de oxidación en piscicultura* [Tesis de maestría]. Universidad de La Salle. [https://ciencia.lasalle.edu.co/maest\\_agrociencias/3](https://ciencia.lasalle.edu.co/maest_agrociencias/3)
- Guillén, M. (2020). *Evaluación de metales ecotóxicos en agua, sedimento y disposición final de los residuos sólidos provenientes del tratamiento fisicoquímico de teñido de algodón* [Tesis de Doctorado]. Repositorio Institucional de la Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa. <https://bit.ly/2OGk0eB>.

- Guzman, M. (2020). *Factores de riesgo asociados por exposición a metales pesados en personas evaluadas del distrito de Pallpata, provincia de Espinar departamento de Cusco, enero - diciembre 2019* [Tesis de Doctorado]. Repositorio Institucional de la Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa. <https://bit.ly/3tFl69k>.
- Halliday, T., & Davey, B. (2007). *Water and health in an overcrowded world*. Oxford University Press.
- Heller, L. (2019). Desastres en la minería y la salud pública en Brasil: lecciones (no) aprendidas. *Cadernos de Saúde Pública*, 35(5). <https://www.scielosp.org/article/csp/2019.v35n5/e00073619/es/>
- Hernández, A., Reinoso, M., & Hernández, F. (2017). Contaminantes atmosféricos emitidos por centrales azucareros cienfuegueros. *Universidad y Sociedad*, 9(5), 70-74. <https://rus.ucf.edu.cu/index.php/rus/article/view/713>
- Hidalgo, M. (2017). La preservación del medio ambiente en la Estrategia de Seguridad Nacional 2017, *Documento Informático*. [http://www.ieee.es/Galerias/fichero/docs\\_informativos/2017/DIEEEI112017\\_Preservacion\\_MedAmbiente\\_ESN17\\_MMHG.pdf](http://www.ieee.es/Galerias/fichero/docs_informativos/2017/DIEEEI112017_Preservacion_MedAmbiente_ESN17_MMHG.pdf)
- Housecraft, C., & Sharpe A. (2008). *Química Inorgánica*. Editorial Prentice Hall.
- Huamaní-Azorza, J., Huamolle-Barreto, A., Huamaní-Pacsi, C., & Villa-González, G. (2020). Consideraciones en la estimación de la exposición humana al arsénico. *Boletín Institucional. Instituto Nacional de Salud*, 26(7-8). <https://repositorio.ins.gob.pe/xmlui/bitstream/handle/INS/1195/100-4.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.

- Incahuanaco, V. (2018). *Identificación de puntos críticos por contaminación de metales tóxicos (Cadmio, Mercurio, Plomo y Arsénico) mediante análisis de sedimentos superficiales de la Subcuenca del Río Crucero, Cuenca Azángaro – Puno, 2018* [Tesis de grado]. Universidad Peruana Unión. file:///C:/Users/User/Downloads/Vanesa\_Tesis\_Licenciatura\_2018.pdf
- INRENA (2008). *Actualización del Balance Hídrico de la Cuenca del río Ramis*. Ministerio de agricultura. <http://siar.minam.gob.pe/puno/sites/default/files/archivos/public/docs/581.pdf>
- Jadán, C. (2017). *Estrategias dietéticas para disminuir la biodisponibilidad de mercurio desde alimentos* [Tesis de Doctorado]. Repositorio Institucional de la Universitat Politècnica de València. <https://bit.ly/3luSxZc>
- Jaramillo, M., Zapata, L., & Marulanda, T. (2015). Fitorremediación de mercurio a partir de elodea sp, *Revista Ingenierías USBMed*, 6(2), 42-45. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6007732>
- Jiménez, D. (2012). *Cuantificación de metales pesados (cadmio, cromo, níquel y plomo) en agua superficial, sedimentos y organismos (Crassostrea columbiensis) ostión de mangle en el puente Portete del Estero Salado Guayaquil* [Tesis de Licenciatura]. Repositorio de la Universidad de Guayaquil. <https://bit.ly/30ZGqd0>
- Jiménez, R. (2017). *Introducción a la contaminación de suelos*. Mundi-Prensa Libros.
- Landa, Y. (2017). Renta extractiva y la minería del cobre en el Perú. *Revista Problemas de Desarrollo*, 189(48) <https://reader.elsevier.com/reader/sd/pii/S0301703617300196?-token=920E075CC05958D282E378048A1E36EB3DF76B80F4EF577C9F3F-133CAF02B082FEFA28650D2BB98FF3BA2FA2A0F08A63>

- Larios-Meño, J., González, C., & Morales, Y. (2015). Las aguas residuales y sus consecuencias en el Perú. *Saber y hacer*, 2(1). <http://revistas.usil.edu.pe/index.php/syh/article/view/115/215>
- Llerena, T., & Mendiola, S. (2019). *Concentración de mercurio en productos hidrobiológicos de mayor consumo en la población escolar de las Instituciones Educativas de Mollendo, Arequipa* [Tesis de Licenciatura]. Repositorio de la Universidad Nacional San Agustín de Arequipa. <https://bit.ly/3r07RxZ>.
- Lugo-Vargas, A., Chaves-Silva, D., Quevedo-Buitrago, W., & Martínez-Suárez, J. (2020). Catinonas sintéticas: una revisión del panorama actual y las estrategias de detección analítica. *Revista de Toxicología*, 37(1), 31-40. [https://www.researchgate.net/profile/William-Quevedo/publication/342600735\\_Catinonas\\_sinteticas\\_una\\_revision\\_del\\_panorama\\_actual\\_y\\_las\\_estrategias\\_de\\_deteccion\\_analitica/links/5f0c6f2f-92851c38a519bd4c/Catinonas-sinteticas-una-revision-del-panorama-actual-y-las-estrategias-de-deteccion-analitica.pdf](https://www.researchgate.net/profile/William-Quevedo/publication/342600735_Catinonas_sinteticas_una_revision_del_panorama_actual_y_las_estrategias_de_deteccion_analitica/links/5f0c6f2f-92851c38a519bd4c/Catinonas-sinteticas-una-revision-del-panorama-actual-y-las-estrategias-de-deteccion-analitica.pdf)
- Mañas, F. (2018). *Exposición y disposición de sustancias químicas en el organismo. Tóxicos en el ambiente. ¿Riesgos para la salud?*, de Aiassa, D. y Bosch, B. (26-37). Centro de Estudios de Población y Desarrollo. <https://contaminantesambientales.ar/archivos/2018-toxicologia.pdf#page=24>.
- Mari, R. (2010). *Protocolo para el monitoreo de la calidad de aguas continentales*. Dirección General de Calidad Ambiental.

- Marin, A., Gonzales, V., Lapo, B., Molina, E., & Lemus, M. (2016). Niveles de mercurio en sedimentos de la zona costera de El Oro - Ecuador. *Revista Gayana*, 80(2), 147-153. [https://www.researchgate.net/publication/312530042\\_Niveles\\_de\\_mercurio\\_en\\_sedimentos\\_de\\_la\\_zona\\_costera\\_de\\_El\\_Oro\\_Ecuador\\_Mercury\\_in\\_sediments\\_at\\_El\\_Oro\\_province\\_Ecuado\\_r](https://www.researchgate.net/publication/312530042_Niveles_de_mercurio_en_sedimentos_de_la_zona_costera_de_El_Oro_Ecuador_Mercury_in_sediments_at_El_Oro_province_Ecuado_r)
- Márquez, A., García, O., Senior, W., Martínez, G., González, A., Fermín, I. (2012). Metales pesados en sedimento superficial del río Orinoco - Venezuela. *Boletín del Instituto Oceanográfico de Venezuela*, 51(1), 3-18. [https://www.researchgate.net/publication/269930906\\_METALES\\_PESADOS\\_EN\\_SEDIMENTOS\\_SUPERFICIALES\\_DEL\\_RIO\\_ORINOCO\\_VENEZUELA](https://www.researchgate.net/publication/269930906_METALES_PESADOS_EN_SEDIMENTOS_SUPERFICIALES_DEL_RIO_ORINOCO_VENEZUELA).
- Martínez, J., & Uribe, A. (2015). El mercurio y la contaminación por actividad extractiva, *Revista Ontare*, 3(1), 55-76. [https://www.researchgate.net/publication/282577670\\_El\\_Mercurio\\_y\\_la\\_contaminacion\\_por\\_actividad\\_extractiva](https://www.researchgate.net/publication/282577670_El_Mercurio_y_la_contaminacion_por_actividad_extractiva)
- Mato, J. (2019). *El geosistema terrestre, elementos constitutivos, litósfera hidrósfera, atmósfera y biósfera. Aplicación Didáctica* [Tesis de licenciatura]. Universidad Nacional de Educación Enrique Guzmán y Valle. <https://repositorio.une.edu.pe/bitstream/handle/UNE/3690/MONOGRAF%c3%8dA%20-%20MATO%20BERRIOS.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Méndez-Visag, C. (2014). Manejo responsable del mercurio de la amalgama dental: una revisión sobre sus repercusiones en la salud. *Revista Perú Med. Exp. Salud Pública*, 31(4), 725-732. <http://www.scielo.org.pe/pdf/rins/v31n4/a18v31n4.pdf>

- Minam. (2017a). Decreto Supremo N.º 002-2017-MINAM. Ministerio del Ambiente del Perú.
- Minam. (2017b). Decreto Supremo N.º 003-2017-MINAM. Ministerio del Ambiente del Perú.
- Minam. (2017c). Decreto Supremo N.º 004-2017-MINAM. Ministerio del Ambiente del Perú.
- Ministerio de Salud (2015). *Guía de Práctica Clínica para el Diagnóstico y Tratamiento de la Intoxicación por Mercurio*. Editorial del Ministerio de Salud – Dirección General de Salud de las Personas. <http://bvs.minsa.gob.pe/local/MINSA/3245.pdf>
- Ministerio del Ambiente (2017). *Guía para promotores. Prevención de exposición por mercurio*. Editorial de la Asociación Centro de Innovación Científica Amazónica. <https://www.planetgold.org/sites/default/files/2020-04/Guia-del-Promotor-Prevencion-mercurio-03-17.pdf>
- Miteco (2019). *Elaboración de recomendaciones asociadas a la calidad del aire. Respuesta y desarrollo de la Medida 4 Info presente en el Plan Nacional del Aire 2017-2019 (Plan Aire II)*. [https://www.mscbs.gob.es/ciudadanos/saludAmbLaboral/docs/PLAN\\_AIRE\\_Medida\\_4\\_19\\_12\\_27.pdf](https://www.mscbs.gob.es/ciudadanos/saludAmbLaboral/docs/PLAN_AIRE_Medida_4_19_12_27.pdf)
- Molina, I. (2015). *Análisis de arsénico y metales pesados (cadmio, manganeso, mercurio y plomo) en orina y cabello de población infantil residente en Huelva* [tesis de maestría]. Repositorio Institucional de la Universidad de Granada. <http://hera.ugr.es/tesisugr/24700873.pdf>

- Muñoz, C. (2015). Islas, lagos, cascadas, ríos y cenotes. *ContactoS*, 98, 5-13. <http://www2.izt.uam.mx/newpage/contactos/revista/98/pdfs/islaslagos.pdf>
- Neto, A., Mayo, B., Ruiz, I., Torres, M., & Cantelar, N. (2015). Sistema de información estadística integrado de intoxicaciones agudas como base del sistema de toxicovigilancia en Angola. *Revista Habanera de Ciencias Médicas*, 14(5), 700-714. <https://www.medigraphic.com/pdfs/revhabciemed/hcm-2015/hcm155p.pdf>
- Ninaja, P. (2020). *Determinación de los niveles de mercurio en los pescados de mayor consumo comercializados en los mercados de Tacna, 2017* [Trabajo de especialización]. Repositorio de la Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann. <https://bit.ly/30YfOcG>.
- Ninfa, A., Ballou, D., & Benore, M. (2010). *Biochemistry and Biotechnology*. John Wiley & Sons.
- Ochoa, V. (2020). *Determinación de la relación entre la concentración de mercurio en sangre y el daño genotóxico ocasionado por la exposición en los trabajadores de la actividad de recuperación del oro en Cuzco, Cusco – 2019* [Trabajo de Grado]. Repositorio de la Universidad Tecnológica del Perú. <https://bit.ly/3ltvldO>.
- Oliveira, D., & Silveira, M. (2017). Reação da termosfera a tempestades geomagnéticas. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, 39(3). <https://doi.org/10.1590/1806-9126-rbef-2016-0219>
- Palma-Parra, M., Muñoz-Guerrero, M., Pacheco-García, O., Ortiz-Gómez, Y., & Díaz, S. (2019). Niños y adolescentes expuestos ambientalmente a mercurio en diferentes municipios de Colombia. *Revista de la Universidad Industrial de Santander. Salud*, 51(1), 43-52. <https://revistas.uis.edu.co/index.php/revistasaluduis/article/view/9214/9044>.

- Panduro, G., Rengifo, G., Barreto, J., Arbaiza-Peña, A., Iannacone, J., Alvarino, L., & Crnobrnja, B. (2020). Bioacumulación por mercurio en peces y riesgo por ingesta en una comunidad nativa en la amazonia peruana. *Revistas de Investigaciones Veterinarias del Perú*, 31(3). <https://revistasinvestigacion.unmsm.edu.pe/index.php/veterinaria/article/view/18177/15485>.
- Paz, S., Burgo, A., Gutiérrez, A., Hernández, C., Lozano, G., Rubio, C., & Hardisson, A. (2017a), *Ars Clínica Académica*, 3(3), <https://www.ramedtfe.es/docs/ArsClinicaAcademicaVol3Num3.pdf#page=5>
- Paz, S., Burgos, A., Gutiérrez, Á., Hernández, C., Lozano, G., Rubio, C., & Hardisson, A. (2017b). Mercurio: Contaminante marino y alimentario. *Revista Ars Clínica Académica*, 3(3), 5-11. <https://www.ramedtfe.es/docs/ArsClinicaAcademicaVol3Num3.pdf#page=5>.
- Pérez, F. (2016). Medio ambiente, bienes ambientales y métodos de valoración. *Equidad y Desarrollo*, 1(25), 119-158. <https://doi.org/10.19052/ed.3725>
- Pinzón, C., & Fajardo, C. (2018). Impacto del mercurio en los ecosistemas colombianos y las técnicas aplicables para su biorremediación. *ECAPMA*, 2(1). <https://hemeroteca.unad.edu.co/index.php/workpaper/article/view/2774>
- Pla-García, J., & Menor-Salván, C. (2017). La composición química de la atmósfera primitiva del planeta Tierra. *Anales de Química*, 113(1), 16-26. <https://www.researchgate.net/publication/316036548>

- Portela, M., & Unibo, P. (2017). *Evaluación del marco normativo legal minero ambiental para el desarrollo de la actividad minera de extracción de materiales de construcción. Estudio de caso Soacha – Sibate*, [Trabajo de grado] Repositorio Institucional Universidad Distrital Francisco José de Caldas. <https://repository.udistrital.edu.co/bitstream/handle/11349/6708/EVALUACION%cc%81N%20DEL%20MARCO%20NORMATIVO%20LEGAL%20MINERO%20AMBIENTAL%20PARA%20EL%20DESARROLLO%20DE%20LA%20ACTIVIDAD%20MINERA%20DE%20EXTRACCION%cc%81N%20DE%20MATERIALES%20DE%20CONSTRUCCION%cc%81N.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Quintero, D. (2018). Una breve historia de la atmósfera terrestre. *Arcimís*, 315-326. <http://hdl.handle.net/20.500.11765/10206>
- Quispe, R. (2017). Evaluación de la concentración de metales pesados (cromo, cadmio y plomo) en los sedimentos superficiales en el río Coata, 2017 [Tesis de grado]. Universidad Nacional del Altiplano. <http://repositorio.unap.edu.pe/handle/UNAP/4787>
- Ramírez, A. (2008). Intoxicación ocupacional por mercurio. *Anales de la Facultad de Medicina*, 69(1), 46-51. <http://www.scielo.org.pe/pdf/afm/v69n1/a10v69n1.pdf>.
- Ramírez-Morales, D., Rodríguez-Artavia, B. Sáenz-Vargas, W. Sánchez-Gutiérrez, R., Villalobos-González, W., & Mora-Barrantes, J. (2018). Mineras artesanales para la extracción de otros mediante el uso del mercurio: Estado del arte del impacto ambiental en los medios: agua, aire y suelo. *Tecnología en Marcha*, 32(3), 3-11. [https://revistas.tec.ac.cr/index.php/tec\\_marcha/article/view/4475/4071](https://revistas.tec.ac.cr/index.php/tec_marcha/article/view/4475/4071)

- Repetto, M., & Repetto, G. (2009). *Toxicología fundamental*. Ediciones Díaz de Santos.
- Ribadeneira, R., & Zambrano, F. (2018). *Evaluación de los niveles de mercurio en agua y sedimento en el embalse la esperanza*, [Tesis de titulación,] Repositorio de la Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López. <http://repositorio.espam.edu.ec/bitstream/42000/800/1/TTMA2.pdf>
- Rocha, L. (2014). Determinación de los niveles de mercurio en suelo en San Martín de Loba, sur de Bolívar – Colombia, *Memorias del II Seminario de Ciencias Ambientales Sue-Caribe & VII Seminario Internacional de Gestión Ambiental*, [http://mca.edu.co/wp-content/uploads/2019/09/m2014\\_22.pdf](http://mca.edu.co/wp-content/uploads/2019/09/m2014_22.pdf)
- Rocha, L., Olivero-Verbel, J., & Caballero-Gallardo, K. (2018). Impacto de la minería del oro asociado con la contaminación por mercurio en el suelo superficial de San Martín de Loba, Sur de Bolívar (Colombia), *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 34(1) [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S018849992018000100093](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S018849992018000100093)
- Rodiles-Hernández, R., González-Díaz, A., & González-Acosta, A. (2013). Ecosistemas acuáticos. *Chiapas*, 73(834), 45-57. [https://www.researchgate.net/profile/Rocio-Rodiles-Hernandez/publication/260752925\\_Ecosistemas\\_acuaticos/links/53fb39f00cf2e3cbf5661298/Ecosistemas-acuaticos.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Rocio-Rodiles-Hernandez/publication/260752925_Ecosistemas_acuaticos/links/53fb39f00cf2e3cbf5661298/Ecosistemas-acuaticos.pdf)
- Rodríguez-Villaminzar, L., Jaimes, D., Manquían-Tejo, A. & Sánchez, L. (2015). Irregularidad menstrual y exposición a mercurio en la minería artesanal del oro en Colombia, *Biomédica*, 35(2), 38-45. <https://www.redalyc.org/pdf/843/84340725005.pdf>

- Roncancio, M., & Tarquino, N. (2015). *La importancia del respeto entre las personas y el medio ambiente*, [Tesis de titulación] Repositorio Institucional Libertadores. <https://repository.libertadores.edu.co/bitstream/handle/11371/426/RoncancioC.MartaCecilia.pdf?sequence=2&isAllowed=y>
- Ruiz, I. (2016). Metodologías analíticas utilizadas actualmente para la determinación de mercurio en músculo de pescado, *Revista Pensamiento Actual*, 16(26), 113-122. <https://revistas.ucr.ac.cr/index.php/pensamiento-actual/article/view/25187/25453>
- Samecka, A. (1998). Background concentrations of heavy metals in aquatic briophytes used for biomonitoring in basaltic areas (a cases study from central France). *Environmental Geology*, 39(2), 119-122.
- Sánchez, L., Lucena, M., & Vásquez, C. (2017). Emisiones de mercurio por uso de las lámparas fluorescentes compactas y por generación de energía eléctrica a base de combustibles fósiles, *Revista Científica Ecociencia*, 4(5), 1-18. <http://3.14.189.95/index.php/ecociencia/article/view/51/40>
- Santamaría, I. (2016). *Aplicación de desorción a temperatura programada para la identificación de especies de mercurio en minerales y rocas*, [Tesis de maestría] Repositorio Institucional de la Universidad de Oviedo. [https://digibuo.uniovi.es/dspace/bitstream/handle/10651/38723/TFM\\_Iv%C3%A1n%20Santamar%C3%ADa.pdf?sequence=3](https://digibuo.uniovi.es/dspace/bitstream/handle/10651/38723/TFM_Iv%C3%A1n%20Santamar%C3%ADa.pdf?sequence=3)
- Soriano, L., Ruiz, M. & Ruiz, E. (2015). Criterios de evaluación de impacto ambiental en el sector minero, *Industria Data*, 18(2), 99-112. <https://www.redalyc.org/pdf/816/81643819013.pdf>

- Ubilla, C., & Yohannessen, K. (2017). La contaminación atmosférica tiene efectos en la salud respiratoria en el niño. *Revista médica Clínica Las Condes*, 28(1), 111-118. <https://doi.org/10.1016/j.rmclc.2016.12.003>
- United States Environmental Protection Agency y United States Food and Drug Administration. (2004). *Lo que usted necesita saber sobre el mercurio en los peces y mariscos. Consejos para mujeres que podrían quedar embarazadas, madres lactantes, niños pequeños*. USEDA Y USEFA. 19january2017snapshot.epa.gov/choosefish-and-shellfish-wisely/lo-que-usted-necesita-saber-sobre-el-mercurio-en-el-pescado-y-los\_.html.
- Universidad Nacional Agraria La Molina. (1999). *Investigación y Monitoreo de los Ríos Carabaya -Ramis, Cabanillas y del Lago Titicaca*.
- Valdés, C. (2019). Contaminación ambiental, *Avances. Centro de Información y Gestión Tecnológica*, 21(2), 138. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6989562>
- Vargas, F. (2005). La contaminación ambiental como factor determinante de la salud. *Revista Española de Salud Pública*, 79(2), 117-127.
- Zarco, S. (2017). Nuevos materiales para la especiación de mercurio: biotransformación de metales en organismos modelo, [Tesis de maestría] Repositorio de la Universidad Complutense de Madrid. <https://core.ac.uk/download/pdf/141496192.pdf>

