



UNIVERSIDAD
PRIVADA
DEL NORTE

FACULTAD DE INGENIERÍA

Carrera de Ingeniería de Minas

“IMPACTO AMBIENTAL POR EL USO DE MERCURIO EN MINERÍA AURÍFERA”: una revisión de la literatura científica entre los años 2009 - 2019

Trabajo de investigación para optar al grado de:

Bachiller en Ingeniería de Minas

Autor:

Carlos Alberto Villegas Rosas

Asesor:

Mg. Ing. Wilson Gómez Hurtado

Trujillo - Perú

2020

DEDICATORIA

Le dedico todo mi esfuerzo a mis padres, ellos que son el motor y motivo para seguir adelante en todo momento, muchas gracias por su dedicación, consejos y confianza brindada a lo largo de mi vida.

A Dios por ser el inspirador y darme fuerza para continuar en cada caída que tuve.

A cada uno de mis compañeros por haber sido parte de esta gran etapa y por el apoyo mutuo, y a los docentes que con tanto esmero y dedicación me impartieron sus conocimientos.

AGRADECIMIENTO

El agradecimiento eterno a Dios y mis padres por la vida y la salud.

A la Universidad Privada del Norte que por medio de sus docentes permitieron
formarme profesionalmente.

Tabla de contenido

DEDICATORIA	2
AGRADECIMIENTO	3
ÍNDICE DE TABLAS	5
ÍNDICE DE FIGURAS	6
RESUMEN	7
CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN	8
CAPÍTULO II: METODOLOGÍA	13
CAPÍTULO III: RESULTADOS	17
CAPÍTULO IV: DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES	23
REFERENCIAS	29
ANEXOS	32

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Artículos seleccionados según los criterios	15
Tabla 2 Número de publicaciones por tipo de documento	18
Tabla 3 Distribución de artículos por años	18
Tabla 4 Distribución de publicaciones por institución científica	19
Tabla 5 Distribución de los artículos por categorías	19
Tabla 6 Categorización de los estudios	20

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Matriz de registro de artículos	17
Figura 2 Características de las diferentes formas químicas del mercurio	32
Figura 3 Modelo toxicocinético del mercurio inorgánico	32
Figura 4 Marco de la exposición al mercurio	33

RESUMEN

En Perú, desde hace décadas atrás la población viene luchando por los problemas de contaminación ambiental. Dentro de las causas que fomentan la contaminación, se encuentra la minería informal e ilegal, ocasionado por malas decisiones y maniobras en las operaciones mineras, lo cual también provoca problemas sociales con la comunidad de alrededor del proyecto minero. Es por ello que en este estudio su objetivo es ampliar el conocimiento respecto a los impactos ambientales ocasionados a raíz de un uso antiético del mercurio en la minería aurífera; también se pretende llegar a toda la población para que tomen consciencia en sus acciones, lo cual les ayudará a vivir en un ambiente libre, saludable y sin contaminación. La revisión se basa en publicaciones científicas de distintas bases de datos; repositorios de universidades nacionales e internacionales, bases de datos científicas (Scielo, Redalyc, etc.), buscando información por criterios de selección: años, que respondan a la pregunta planteada, búsquedas cerradas, etc.

PALABRAS CLAVES: Impacto ambiental, mercurio, minería aurífera, contaminación.

CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

En la minería, uno de los minerales más peligrosos es el mercurio que puede causar daños irreversibles tanto al ser humano, como al medio ambiente, lo cual hace que al tener un mínimo contacto con este mineral es altamente tóxico. Sin embargo, el uso de mercurio ha aumentado debido al aumento de la minería aurífera que cada vez toma más impulso dado a los altos precios que alcanza este metal precioso. La explotación de estas minas se da en la extracción del oro a través de procesos que hacen uso de elementos químicos que, posteriormente, sus residuos son liberados al medio ambiente. La minería de oro en Perú se desarrolla mayormente a pequeña escala (artesanal, informal e ilegal) la cual conlleva a la creación de daños irreversibles en el medio ambiente donde se trabaja, porque se realiza de una manera antiética, sin respetar el Decreto Supremo N° 014-92-EM donde establece todos los puntos clave para realizar una minería sostenible, es por ello que el desconocimiento del decreto genera en primera instancia daños ambientales, de salud y sociales, muchas veces rompiendo ecosistemas del medio ambiente. En un reporte del Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (UNEP por sus siglas en inglés) en el 2017 indicó que 680 toneladas de mercurio fueron utilizadas en minería artesanal solo en Sudamérica, de las cuales 145 toneladas fueron utilizadas en Perú, es decir utilizó el 21% de las toneladas. Los impactos ambientales producto de la fiebre aurífera son temas de permanente discusión y lucha con el fin de minimizarlos. Estos impactos pueden verse reflejados en distintos aspectos: ambientalmente, principalmente por la destrucción de los suelos, bosques o cuerpos de agua donde se ejecuta el trabajo; daños por ruido que es generado por las máquinas que operan haciendo que la fauna presente en la zona se aleje; socialmente, causando incomodidad si es que afecta a zonas pobladas cercanas a la operación. Los daños directos por la explotación del

oro son principalmente: la emisión de mercurio al aire y agua, degradación del suelo y contaminación de los ríos; por otra parte, en los impactos sociales se refleja la trata de personas para trabajar en las mineras informales, y la delincuencia, muchas veces quieren posicionarse en terrenos u concesiones que no les pertenece, y utilizan a personas de mal vivir para atemorizar a los verdaderos propietarios de las tierras, asimismo se ha presenciado obra de mano infantil.

La amalgamación (lavado de oro con mercurio) es empleada de manera no controlada para el beneficio del oro. El mercurio llega al medio ambiente por medio del vertimiento de efluentes o relaves que arrojan los mineros luego de sus operaciones al río o lagunas, también es por la evaporización de este. El medio más afectado es el agua, especialmente cuando el cuerpo hídrico es utilizado para consumo humano o de animales, dejando a su paso daños irreversibles, causando graves problemas de salud, muchas veces mortales. Es por ello que se requiere mucho cuidado, además de conocimientos técnicos para el manejo del mercurio, porque un manejo incorrecto conlleva a pérdidas letales y económicas, es importante tener conocimiento que al usar el mercurio para la recuperación del oro, se volatiliza con mucha facilidad y es absorbido por los trabajadores dañando su organismo, de igual manera al terminar la recuperación del oro, los relaves que son desechados a los ríos o lagunas sin conciencia alguna, esto es por tener escaso conocimiento respecto a los relaves, porque en la actualidad existen ciertos químicos que ayudan a los relaves a disminuir al 90% la toxicidad. Por otra parte, se hace uso del mercurio en la recuperación de oro por el simple hecho de ser barato, eficaz y por ser una técnica de beneficio “sumamente” sencilla de realizar.

El mercurio es un metal altamente tóxico que, por sus características fisicoquímicas solo puede cambiar de estado, convirtiéndose en un material sumamente peligroso aún en

pequeñas cantidades. La acumulación de mercurio en poblaciones mineras informales e ilegales está incrementando dado a la constante alza del precio del oro, lo que hace que se explote más mineral o se exploten más minas. Cuando el mercurio se evapora permanece en un intervalo de 50% a 60% de manera gaseosa y luego se extiende en el aire, el otro porcentaje restante retorna inmediatamente a estado líquido cayendo al área donde se realiza la recuperación del oro separándolo de la ganga. Se puede encontrar a través de tres tipos: inorgánico, orgánico o elemental, así como la cantidad y tiempo de exposición hace que el daño sea netamente severo e irreversible. De acuerdo a lo indicado líneas arriba, el mercurio tiene tres tipos de formas químicas; de tipo elemental (Hg^0), inorgánico (Hg^+ y Hg^{2+}) y las orgánicas que se conjugan con el átomo e hidrógeno; el metilmercurio ($HgCH_3$) y el dimetilmercurio ($Hg(CH_3)_2$) son las formas orgánicas más tóxicas que afectan al sistema inmunológico, alteran los sistemas genéticos, enzimáticos, dañan el sistema nervioso, incluyendo la coordinación y sentidos del tacto, gusto y vista. Casi un 70% del mercurio es expuesto a la atmósfera por la amalgamación sin el uso de la retorta y el otro 30% se vierten a los ríos. Mason (2009) estima que el mercurio que es liberado al medio ambiente por medio de fuentes antrópicas, es decir son aquellos riesgos que las mismas personas provocan, comprende una concentración de entre 2200 y 2900 Mg por año; mientras que las fuentes naturales particularmente oscilan entre 800 a 5200 Mg. La mayor consecuencia negativa de contaminación por mercurio se produce por diferentes vías; una de ellas es el aire, que puede entrar por la piel o la respiración; otra es el ingreso por la cadena trófica; es decir, el mercurio por medio de la acción bacteriana se biotransforma en metilmercurio que luego las especies que habitan en el agua lo digieran, lo cual lo convierte más dañino y tóxico. En general, quienes resultan más afectados de la fauna, son los peces porque estos absorben con mayor y gran

facilidad el metilmercurio ocasionando que los tejidos formen enlaces con grupos sulfhidrilo proteínico haciendo que la eliminación del mercurio sea sumamente larga. Es importante resaltar que los efectos del mercurio en animales son también dañino, provocándole daños renales, hepáticos, estomacales además en todo lo que concierne en reproducción y ADN.

El mercurio al acumularse en los suelos se degrada con la ayuda de microorganismos que intervienen en la biometilación a su vez se puede oxidar formando Hg^{2+} . El metilmercurio que está libre en el medio ambiente sufre una descomposición que forma el mercurio elemental, lo que en su proceso de volatilización desprende vapores que después estos son inhalados por las personas, que más adelante será transportado por distintos agentes geológicos externos afectando en su totalidad la vida microbiológica, lo cual es la fuente de alimento de los peces que luego estos serán consumidos por los humanos creando así una cadena de contaminación. Rocha (2016) indica que para prevenir los efectos ecológicos por mercurio en suelos orgánicos, han establecido límites máximos permisibles de 0.07 a 0.30 mg/kg de concentración total en el suelo.

El Perú enfrenta una gran lucha contra la contaminación ambiental originada a causa de la minería irresponsable, haciendo uso indiscriminado del mercurio, un metal altamente tóxico para todo ser vivo y el ambiente. La zona más afectada en el Perú por esta actividad es Madre de Dios, donde se explotan yacimientos auríferos tipo aluviales. Con esta revisión sistemática se pretende conocer los principales daños que ocasiona el mercurio: ambiental y socialmente, usando como primera fuente investigaciones científicas, utilizando distintas bases de datos nacionales e internacionales comprendidas en los años 2009 a 2019.

Esta revisión tiene como objetivo dar a conocer a profundidad la problemática de los impactos ambientales que ocasiona el mercurio y se pretende también que llegue a muchas personas para que tomen conciencia y así se pueda tener un ambiente libre de contaminación.

Asimismo, el estudio se realiza para conocer, compartir e informar acerca de los impactos que genera el uso de mercurio descontrolado y antiético en la minería aurífera por lo cual, cada vez el uso de este metal altamente tóxico está tomando más impulso.

CAPÍTULO II. METODOLOGÍA

El estudio se elaboró en base al método de revisión sistemática de la literatura científica, por lo que se precisó el estudiar y analizar las investigaciones que aborden a los temas de impacto ambiental por el uso de mercurio. En efecto, se estudiaron diversos patrones tanto del impacto ambiental como del mercurio y la minería aurífera. La pregunta de investigación que se hizo en esta revisión fue ¿cuáles son los impactos que genera el mercurio en el medio ambiente por su uso en la minería aurífera?

La información seleccionada se tomó en base a criterios: que estén en los idiomas español e inglés y que comprendan un periodo de tiempo, en este caso se estableció entre los años 2009 a 2019 con investigaciones que aborden en su totalidad las variables de investigación: impacto ambiental y mercurio, englobándose en la minería aurífera. Se consideraron mayormente las investigaciones de minería a pequeña escala (artesanal, informal e ilegal), puesto que hacen más énfasis en la investigación. El periodo establecido fue máximo de 10 años (comprendido entre 2009 a 2019) debido a que la información en dicho periodo es más actualizada de acorde a estudios ambientales realizados en distintas partes del Perú, así como del mundo. En la búsqueda de información se hizo uso de las siguientes bases de datos:

- a) Repositorios de universidades nacionales e internacionales
 - Repositorio Pontificia Universidad Católica del Perú
 - Repositorio Universidad Nacional de Trujillo
 - Repositorio Universidad Nacional San Agustín de Arequipa
 - Repositorio Universidad Nacional de San Martín de Tarapoto
 - Repositorio Universidad Nacional Amazónica de Madre de Dios
 - Repositorio Universidad Nacional del Centro del Perú

- Repositorio Universidad Nacional Agraria La Molina
 - Repositorio Universidad de la Salle
 - Repositorio Universidad Peruana Unión
 - Repositorio Universidad Nacional Federico Villarreal.
- b) SciELO
- c) Redalyc
- d) Google Académico

Para una mejor búsqueda de información se hicieron búsquedas cerradas con combinaciones de términos: “daño ambiental por mercurio”, “cómo afecta el mercurio al medio ambiente”, “el mercurio y sus efectos” “el mercurio en el medio ambiente”, “contaminación por mercurio”, “mercurio y la pequeña minería”, “el mercurio y los peces”, “el mercurio en la minería aurífera”, en el idioma inglés “mercury contamination”, “mercury effects”, “mercury and environment”. Para el uso de operadores booleanos se buscaron las variables con los conectores: “impacto ambiental y mercurio”, “medio ambiente y mercurio”, “mercurio y minería aurífera”, “mercury and gold mining”.

En la búsqueda de información, se obtuvo un total de 78 artículos, entre ellos siendo en su gran mayoría de revistas científicas (49), seguido de las tesis profesionales (29) conformando un total de 78 artículos obtenidos; sin embargo, aplicando los criterios de selección crítica se redujeron a 23 los artículos para los resultados, pues, se eliminaron todos los que estén duplicados, no respondan a la pregunta planteada o se acerque al objetivo de la investigación, y que su traducción de otro idioma al español conlleve una gran demanda de tiempo para su correcta traducción e interpretación.

Tabla 1 Artículos seleccionados según los criterios

N°	Base de datos	Autor(es)	Año	Título del artículo de investigación
1	SciELO	Arana, M.	2009	El caso de derrame de mercurio en Choropampa y los daños a la salud en la población rural expuesta
2	Revista Acta Médica Peruana	Osores, F.; Grández, J.; Fernández, J.	2010	Mercurio y salud en Madre de Dios, Perú
3	Repositorio PUCP	Moschella, P.	2011	IMPACTOS AMBIENTALES DE LA MINERIA AURIFERA Y PERCEPCION LOCAL EN LA MICROCUENA HUACAMAYO, MADRE DE DIOS
4	Revista Biomédica		2012	Contaminación con mercurio por la actividad minera
5	Redalyc	Muñoz, L.; García, L.; Rodríguez, M.	2012	Percepción sobre daños a la salud y utilidad de medidas de protección de personas expuestas ocupacionalmente al mercurio en la minería del oro
6	SciELO	Osores, F.; Rojas, J.; Lara, C.	2012	Minería informal e ilegal y contaminación con mercurio en Madre de Dios: Un problema de salud pública
7	Repositorio UNT	Ramos, S.; Terán, A.	2012	Determinación de la concentración de mercurio en tierras de cultivo impactadas por la minería artesanal en el Cerro El Toro, Shiracmaca-Huamachuco, La Libertad-2012
8	SciELO	Güiza, L.; Aristizabal, J.	2013	Mercury and gold mining in Colombia: a failed state
9	SciELO	Díaz, F.	2014	Mercurio en la minería del oro: impacto en las fuentes hídricas destinadas para consumo humano
10	Revista Diseño, Tecnología y Desarrollo	Hernández, M.; Sanz, L.; Mancebo, J.	2014	Tratamiento de bajo coste para aguas contaminadas por actividades de minería
11	SciELO	Olivero, J.; Young, F.; Caballero, K.	2014	Contaminación por mercurio en aire del distrito minero de San Martín de Loba en el departamento de Bolívar, Colombia
12	SciELO	Agudelo, C.; Quiroz, L.; García, J.; Robledo, R.; García, C.	2015	Evaluación de condiciones ambientales: aire, agua y suelos en áreas de actividad minera en Boyacá, Colombia
13	Revista Universidad y Salud	Garzón J.; Rodríguez J	2015	Gestión ambiental de aguas residuales industriales con mercurio proveniente de la minería aurífera a nivel mundial: Estado del arte
14	Repositorio UNSA	Chacnama, E.	2016	Recuperación de mercurio físico proveniente de relaves auríferos de amalgamación, concentrados y gravimetría en cianuración por agitación
15	Repositorio UNSM	Gonzalez, N.	2016	Impactos de la minería aurífera aluvial, en el deterioro de la microcuenca del río Huepetuhe, Madre de Dios

16	Repositorio UNAMAD	Huayllani, M.	2016	Presencia de metales pesados en la estructura vegetal de <i>Apeiba membranacea</i> Spruce ex Benth. (Peine de mono), <i>Ochroma pyramidale</i> (Cav, ex. Lam.) Urb. (Topa), <i>Ceiba pentandra</i> (L.) Gaerth. (Lupuna), <i>Erythrina ulei</i> Harms (Amasisa) Instaladas en áreas intervenidas por la minería aurífera en el sector Manuani – Inambari – Tambopata – Madre de Dios
17	Repositorio UNCP	Ramirez, W.	2017	IMPACTO AMBIENTAL DE LA PEQUEÑA MINERÍA Y MINERÍA ARTESANAL EN LA SUB CUENTA DEL RÍO INAMBARÍ MADRE DE DIOS
18	Repositorio UNALM	Velásquez, M.	2017	Metales en suelos explotados por la pequeña minería aurífera aluvial en Madre de Dios, Perú
19	Repositorio ULASALLE	Arteaga, A.; Plata, S.	2018	Evaluación del índice de riesgo ecológico potencial en suelo y sedimento por mercurio en minería para tres regiones colombianas, apoyado en el análisis de metadatos
20	SciELO	Molina, C.; Arango, C.; Sepúlveda, H	2018	Contaminación por mercurio de leche materna de madres lactantes de municipios de Antioquia con explotación minera de oro
21	SciELO	Rocha, L.; Olivero, J.; Caballero, K	2018	IMPACTO DE LA MINERÍA DEL ORO ASOCIADO CON LA CONTAMINACIÓN POR MERCURIO EN SUELO SUPERFICIAL DE SAN MARTÍN DE LOBA, SUR DE BOLÍVAR (COLOMBIA)
22	Repositorio UPeU	Vilcapaza, J.	2018	Evaluación de la capacidad fitorremediadora del Garbancillo (<i>Astragalus arequipensis</i>) en función de tres tipos de enmiendas orgánicas sobre la remoción de mercurio del suelo contaminado por la actividad minera del centro poblado la Rinconada - Región Puno, 2018
23	Repositorio UNFV	Mandros, P.	2019	Niveles de mercurio en suelos alterados por la minería ilegal, en la comunidad de San Jacinto, provincia de Tambopata-Madre de Dios

Fuente: Elaboración propia

En los artículos seleccionados se conocieron los distintos tipos de impactos que genera el uso de mercurio en la minería aurífera, los principales son los impactos socioeconómicos y ambientales, siendo este último el enfoque de esta investigación. Dentro de este impacto se consideraron el impacto al agua, aire, biológicos y salud.

CAPÍTULO III. RESULTADOS

Posterior a la selección crítica de artículos en el presente estudio, el total de artículos seleccionados fueron 23, donde los criterios fueron principalmente el año de publicación y que responda la pregunta de investigación planteada, a continuación se detalla la tabla de los artículos seleccionados:

Figura 1 Matriz de registro de artículos

N°	Base de datos	Autor(es)	Año	Título del artículo de investigación
1	SciELO	Arana, M.	2009	El caso de derrame de mercurio en Choropampa y los daños a la salud en la población rural expuesta
2	Revista Acta Médica Peruana	Osores, F.; Grández, J.; Fernández, J.	2010	Mercurio y salud en Madre de Dios, Perú
3	Repositorio PUCP	Moschella, P.	2011	IMPACTOS AMBIENTALES DE LA MINERÍA AURÍFERA Y PERCEPCIÓN LOCAL EN LA MICROCUENCA HUACAMAYO, MADRE DE DIOS
4	Revista Biomédica		2012	Contaminación con mercurio por la actividad minera
5	Redalyc	Muñoz, L.; García, L.; Rodríguez, M.	2012	Percepción sobre daños a la salud y utilidad de medidas de protección de personas expuestas ocupacionalmente al mercurio en la minería del oro
6	SciELO	Osores, F.; Rojas, J.; Lara, C.	2012	Minería informal e ilegal y contaminación con mercurio en Madre de Dios: Un problema de salud pública
7	Repositorio UNT	Ramos, S.; Terán, A.	2012	Determinación de la concentración de mercurio en tierras de cultivo impactadas por la minería artesanal en el Cerro El Toro, Shiracmaca-Huamachuco, La Libertad-2012
8	SciELO	Góiza, L.; Aristizabal, J.	2013	Mercury and gold mining in Colombia: a failed state
9	SciELO	Díaz, F.	2014	Mercurio en la minería del oro: impacto en las fuentes hídricas destinadas para consumo humano
10	Revista Diseño, Tecnología y Desarrollo	Hernández, M.; Sanz, L.; Mancebo, J.	2014	Tratamiento de bajo costo para aguas contaminadas por actividades de minería
11	SciELO	Olivero, J.; Young, F.; Caballero, K.	2014	Contaminación por mercurio en aire del distrito minero de San Martín de Loba en el departamento de Bolívar, Colombia
12	SciELO	Agudelo, C.; Quiroz, L.; García, J.; Robledo, R.; García, C.	2015	Evaluación de condiciones ambientales: aire, agua y suelos en áreas de actividad minera en Boyacá, Colombia
13	Revista Universidad y Salud	Garzón J.; Rodríguez J.	2015	Gestión ambiental de aguas residuales industriales con mercurio proveniente de la minería aurífera a nivel mundial: Estado del arte
14	Repositorio UNSA	Chacnama, E.	2016	Recuperación de mercurio físico proveniente de relaves auríferos de amalgamación, concentrados y gravimetría en cianuración por agitación
15	Repositorio UNSM	Gonzalez, N.	2016	Impactos de la minería aurífera aluvial, en el deterioro de la microcuenca del río Huepetuhe, Madre de Dios
16	Repositorio UNAMAD	Huayllani, M.	2016	Presencia de metales pesados en la estructura vegetal de <i>Apeiba membranacea</i> Spruce ex Benth. (Peine de mono), <i>Ochroma pyramidale</i> (Cav. ex Lam.) Urb. (Topa), <i>Ceiba pentandra</i> (L.) Gaerth. (Lupuna), <i>Erythrina ulei</i> Harms (Amasisa) instaladas en áreas intervenidas por la minería aurífera en el sector Manuani – Inambari – Tambopata – Madre de Dios
17	Repositorio UNCP	Ramirez, W.	2017	IMPACTO AMBIENTAL DE LA PEQUEÑA MINERÍA Y MINERÍA ARTESANAL EN LA SUB CUENTA DEL RIO INAMBARÍ MADRE DE DIOS
18	Repositorio UNALM	Velásquez, M.	2017	Metales en suelos explotados por la pequeña minería aurífera aluvial en Madre de Dios, Perú
19	Repositorio ULASALLE	Arteaga, A.; Plata, S.	2018	Evaluación del índice de riesgo ecológico potencial en suelo y sedimento por mercurio en minería para tres regiones colombianas, apoyado en el análisis de metadatos
20	SciELO	Molina, C.; Arango, C.; Sepúlveda, H.	2018	Contaminación por mercurio de leche materna de madres lactantes de municipios de Antioquia con explotación minera de oro
21	SciELO	Rocha, L.; Olivero, J.; Caballero, K.	2018	IMPACTO DE LA MINERÍA DEL ORO ASOCIADO CON LA CONTAMINACIÓN POR MERCURIO EN SUELO SUPERFICIAL DE SAN MARTÍN DE LOBA, SUR DE BOLÍVAR (COLOMBIA)
22	Repositorio UPeU	Vilcapaza, J.	2018	Evaluación de la capacidad fitorremediadora del Garbancillo (<i>Astragalus arequipensis</i>) en función de tres tipos de enmiendas orgánicas sobre la remoción de mercurio del suelo contaminado por la actividad minera del centro poblado la Rinconada - Región Puno, 2018
23	Repositorio UNFV	Mandros, P.	2019	Niveles de mercurio en suelos alterados por la minería ilegal, en la comunidad de San Jacinto, provincia de Tambopata-Madre de Dios

La figura anterior muestra los 23 artículos finales que fueron escogidos a partir de los criterios de selección mencionados anteriormente donde todos responden a la pregunta planteada y engloban el tema de estudio.

Tabla 2 Número de publicaciones por tipo de documento

Tipo de documento	F	%
Artículo de revista	13	56.5
Tesis de pregrado	9	39.1
Tesis de maestría	1	4.3
Total	23	100

Fuente: Elaboración propia

La presente tabla detalla el número de artículos según su naturaleza de estudio, indicando que la mayoría son artículos científicos con un 56.5%, seguido de las tesis profesionales que abarca el 39.1% del total.

Tabla 3 Distribución de artículos por años

Año	F	%
2009	1	4.3
2010	1	4.3
2011	1	4.3
2012	4	17.4
2013	1	4.3
2014	3	13
2015	2	8.7
2016	3	13
2017	2	8.7
2018	4	17.4
2019	1	4.3
Total	23	100

Fuente: Elaboración propia

La tabla 3 detalla que entre los años 2009 a 2011 el estudio respecto a los conceptos fue totalmente bajo; mientras que, para el 2012 tuvo un alza considerable obteniendo un 17.4%, repitiéndose este último patrón en el 2018.

Tabla 4 Distribución de publicaciones por institución científica

Base de datos	F	%
SciELO	8	34.8
Revista Acta Médica Peruana	1	4.3
Repositorio PUCP	1	4.3
Revista Biomédica	1	4.3
Redalyc	1	4.3
Repositorio UNT	1	4.3
Revista Diseño, Tecnología y Desarrollo	1	4.3
Revista Universidad y Salud	1	4.3
Repositorio UNSA	1	4.3
Repositorio UNSM	1	4.3
Repositorio UNAMAD	1	4.3
Repositorio UNCP	1	4.3
Repositorio UNALM	1	4.3
Repositorio ULASALLE	1	4.3
Repositorio UPeU	1	4.3
Repositorio UNFV	1	4.3
Total	23	100

La tabla 4 indica que la revista científica SciELO posee más publicaciones respecto al tema en estudio; mientras que las demás bases de datos carecen de investigación, esto indica que la investigación científica respecto al tema es muy pobre en las universidades.

Tabla 5 Distribución de los artículos por categorías

Tipo de documento	I. Aire	I. Salud	I. Biológico	I. Acuático
Artículo	8	12	4	7
Tesis maestría			1	1
Tesis pregrado	2	3	7	6
Total	10	15	12	14

Fuente: Elaboración propia

La tabla 5 nos indica las veces que se encontró una categoría de acuerdo al tipo de documento, por ejemplo, el impacto al aire se encontró en ocho (8) artículos de los 23. Esta tabla nos demuestra que tanto el impacto a la salud (15 artículos) como el acuático (14 artículos) son los más estudiados ya que es donde más contaminación se presenta.

Tabla 6 Categorización de los estudios

Categorías	Aporte
Impacto al aire	<p>Luego de la explotación y lavado del oro se hace una integración con el mercurio formando una amalgama que al final se le quema con el fin de separar o precipitar al oro, este proceso provoca la evaporización del mercurio así como también derrames accidentales, luego entra en acción la erosión y es la que arrastra al mercurio a diferentes medios, creando una cadena de contaminación sin parar. Cabe decir que aquí los mineros no usan la retorta por cuestiones de tiempo o por desconocer su uso. A todo esto, con el pasar del tiempo, la bioacumulación entra a tallar, originando así concentraciones muy elevadas a las permisibles 20 µg/m³. (Olivero, Young & Caballero 2014).</p> <p>La concentración porcentual de este metal en el ambiente comprende entre un 80 a 95% cuando los trabajadores hacen el refogado de la amalgama sin la retorta; el resto se queda impregnado en el oro hasta su segundo procesamiento en las tiendas donde se comercializa. (Osores, Rojas & Lara 2012)</p> <p>La OMS estableció un nivel máximo permisible de concentración de mercurio de 1 µg/m³, pasado eso, se vuelve totalmente letal aun presentándose en muy bajas concentraciones. En la forma metálica del mercurio, este puede sufrir una conversión en ion mercúrico en el medio airoso; mientras que, en el medio acuoso o en suelos puede sufrir la volatilización de dimetilmercurio. El mercurio presenta la propiedad de que aun así en muy bajas concentraciones es totalmente letal y esto se logra mediante el refogado en donde los mineros no hacen uso absoluto de la retorta. (Ramírez 2017).</p>
Impacto a la salud	<p>Distintas investigaciones pasadas evidencian que son los cuerpos hídricos los que exponen más contaminación por metilmercurio, lo que se traduce en concentraciones altas para la cadena trófica y vida biológica en general dentro del medio, afectando a la larga a los humanos con el consumo del pescado y generando daños irreversibles de acuerdo a la toxicocinética. (Arana 2009)</p> <p>La inhalación del vapor de mercurio es de suma preocupación, puesto que el 80% del vapor de este metal penetra las fosas nasales con facilidad, llegando a invadir en muy poco tiempo todo el organismo, puesto que atraviesa las barreras sangre/placenta/cerebro. Las lesiones a las células neuronales del cerebro, cerebelo y sistema nervioso son irreversibles. (Osores, Grández & Fernández 2010)</p> <p>El mercurio, uno de los principales y más reconocidos de los metales pesados, que aun desde muy bajas concentraciones logra ser muy dañino y peligroso para la salud, este provoca diversas enfermedades en los seres vivos al ingresar a través de las vías respiratorias o adhiriéndose a los tejidos. (MINAM 2011)</p> <p>El mercurio afecta los alveolos pulmonares debido a que el organismo retiene un porcentaje muy alto y rápido, entre un 75 a 80% del vapor. También indica que afecta al sistema nervioso central, traumatismos renales y trastornos en el comportamiento; asimismo, en los adultos produce efectos neurotóxicos y en fetos de madres expuestas. Las sales de este metal pesado en forma inorgánica impactan directamente a los riñones. (Muñoz, García & Rodríguez 2012)</p>

Impacto biológico

El mercurio afecta los alveolos pulmonares debido a que el organismo retiene un porcentaje muy alto y rápido, entre un 75 a 80% del vapor. Esto provoca un enorme daño en las especies marinas ya que se acumula en el tejido de los mismos (especialmente a las especies de los niveles tróficos más altos), en donde el daño más notorio y perjudicial es el cambio en su materia de reproducción, viabilidad de espermas, tasa de eclosión y acortando en una gran porción la producción de huevos. En términos de concentraciones, para los peces de 1 a 5 $\mu\text{gHg/g}$ es subletal; mientras que desde 10 a 20 $\mu\text{gHg/g}$ son sumamente letales. En la cadena trófica también se ven afectados los piscívoros, especialmente los superpredadores como la *Pteronura brasiliensis* (nutria gigante) y la *Panthera onca* (jaguar). (Huayllani 2016; Ramos & Terán 2012)

Los peces son severamente afectados en su desarrollo, pues, genera la carencia de oxígeno y alimento a causa de la excesiva turbidez en el agua; así como también daña su defensas inmunológicas debido a la reacción de los peces ante la excesiva carga de sólidos en suspensión. Estos mismos afectan seriamente las branquias de los peces, pudiendo morir por asfixia. (Agudelo, Quiroz, García, Robledo & García 2015)

Impacto acuático

En la actualidad se ha colocado de nuevo en evidencia información respecto a toda la problemática asociada a los niveles de contaminación de las fuentes hídricas, indicando al mercurio como el principal causante de la contaminación acuática, pues, al tener contacto con el elemento hídrico, por acción bacteriana se convierte en metilmercurio, acumulándose en la fauna acuática, afectando gravemente la salud de la población ribereña, pues, su principal fuente de alimentación es el consumo de peces depredadores. (Garzón & Rodríguez 2015; Rocha, Olivero & Caballero, 2018)

Los medios de disposición y reproducción de los peces se ven en total afecto debido a la gran turbidez que presenta el agua. El lavado del material aluvial deteriora la calidad del agua, esto con el vertimiento directo de los sedimentos, es decir, sólidos en suspensión, impidiendo que los rayos solares penetren y ocasionando la limitación del desarrollo de la vida acuática. (Díaz 2014)

En su estado natural, la turbidez de los ríos debe ser de 100 NTU (Unidad nefelométrica de turbiedad); no obstante, en los cuerpos hídricos cercanos a actividades mineras auríferas, en este caso Madre de Dios, estudios revelan que están entre 280 a 1000 NTU. De igual manera, el color natural que presentan deben ser menor o igual a 75 UC (Unidad de color); sin embargo, los cuerpos hídricos cercanos a Madre de Dios presentan entre 80 a 280 UC. (Hernández, Sanz & Mancebo 2014; Gonzáles 2016)

Las concentraciones de mercurio se verán incrementadas en gran porcentaje dado que la movilización de este es muy fluida en los suelos o cuerpos de agua cuando sus valores de pH oscilan entre cinco y siete. (Moschella 2011)

Fuente: Elaboración propia

En observación a la tabla anterior de la categorización, los resultados presentan los cuatro impactos más notorios o de más carácter de estudio. Los cuatro impactos están relacionados o hacen forma de un ciclo, pero el de mayor énfasis es el impacto a la salud, ya que es el primer contacto que tiene el trabajador cuando realiza las actividades mineras indicando así que afecta seriamente el sistema nervioso central como primera línea; por otra parte el metilmercurio es concentrado en mayor proporción en el hígado y cerebro y para ello se estima que el promedio retenido del mercurio en el organismo es de 100 a 190 días para su eliminación (desmetilación), donde esta es sumamente lenta dándose por medio de las heces y orina.

En el impacto al aire se puede observar que este es a raíz de la amalgama, cuando esta es quemada para separar el oro del mercurio. Todos los estudios indican que este medio es el más contaminante ya que el vapor de mercurio es expuesto al medio ambiente, durante este proceso, los mineros omiten el uso de la retorta por supuestas razones de tiempo.

En el impacto acuático y biológico se dan cuando los residuos de los distintos procesos mineros son desechados a los ríos o suelos y se ven totalmente afectados los medios de disposición y reproducción de los peces o la vida presente en el medio.

En resumen, como se mencionó líneas arriba, los impactos están relacionados debido a que de cierto modo cualquier medio se ve afectado, es decir, si el impacto fue acuático y este afectó totalmente la vida biológica del medio, en un tiempo cuando las personas consuman pescado esa contaminación tuvo lugar a una concentración mucho mayor debido al tiempo de exposición, lo que genera una contaminación total al organismo del ser humano.

CAPÍTULO IV. DISCUSIONES Y CONCLUSIONES

DISCUSIONES

La actividad minera aurífera de pequeña escala conforma procesos rudimentarios para la recuperación del oro, ello se ve reflejado en la contaminación absoluta de los medios donde se disponen estas actividades.

Haciendo un desprendimiento del estudio, la gran mayoría de investigaciones coinciden en que la contaminación por mercurio se da de manera natural y también por acción del hombre, en este último se registran contaminaciones a nivel mundial con grandes niveles de concentración cuando hacen el refogado sin la retorta, el mercurio se evapora y se desprende volátilmente al medio ambiente, siendo en primera línea inhalado por los mineros, por otra parte, también es transportado por agentes geológicos depositándose en distintas fuentes.

En el impacto al aire se pone en evidencia la mayor contaminación, estudios e informes técnicos indican que en zonas de no minería en Madre de Dios los valores admisibles para personas que no tienen contacto directo con la actividad son menores de 0.01 $\mu\text{g/L}$ en general y para la orina menores de 0.02 $\mu\text{g/L}$; mientras que para los trabajadores directos en zona de minería hay data que indica que presentan hasta concentraciones mayores de 20 $\mu\text{g/m}^3$, valores altamente peligrosos (Olivero, Young & Caballero 2014). Esto se concierne con las encuestas realizadas en Huacamayo (Moschella 2011) en donde la mayoría de pobladores (62%) opina que el respirar el vapor de mercurio afecta seriamente el cuerpo; asimismo, otro 58% supone que este vapor llega al agua, siendo los peces los más afectados. Esto sin duda está demostrado

ya que en el beneficio del oro se quema la amalgama, provocando su vaporización que posteriormente se distribuye a los distintos medios.

Como ya se mencionó anteriormente, el principal medio de contaminación por mercurio es la inhalación inmediata de este en el proceso de refogado. Su exposición, aguda o crónica, causa efectos muy dañinos en el desarrollo, diversas investigaciones del mundo señalan que hasta ahora no se ha evidenciado que una mínima concentración sea segura para el organismo. Ahora, con respecto a cómo afecta el mercurio al organismo va a depender de la forma en la que se encuentre; sin embargo, la toxicidad de este sigue siendo muy alta, poniendo en peligro la salud. Si el mercurio es de la forma inorgánica va a crear efectos en el sistema nervioso, renales, cardiovasculares, cutáneos y respiratorios; si es de la forma metilmercurio, efectos sobre el sistema nervioso, toxicidad para el desarrollo neurológico y efectos cardiovasculares. Aunque no sean mucho los efectos descritos sobre el metilmercurio, se ha demostrado que este es el más tóxico y peligroso porque ataca principalmente al sistema inmunológico, altera los sistemas genéticos y enzimáticos y daña el sistema nervioso incluyendo la coordinación y sentidos del tacto, gusto y vista. (Mason 2009)

En relación a cómo se distribuye el mercurio en el organismo, este es transportado por la misma sangre en un patrón glóbulo rojo/plasma entre 1.5 a 3 haciendo que exista una relación mayor entre mercurio y encéfalo, donde la carga circulante del mercurio va en mayor proporción al cerebro, más que al hígado o riñón. Si todo esto se engloba en una manifestación clínica, sería la Enfermedad de Minamata donde esta abarca los daños neurológicos como la ataxia, tremor, parestesias, parálisis cerebral, disminución de capacidad visual y auditiva, etc. (Español, S. 2012)

En cuanto al impacto biológico, este se da principalmente por la contaminación de los peces de río debido al mercurio, luego también está el deterioro extremo de hábitats de la fauna presente en la zona de contaminación, proliferación de insectos, remoción de suelos, etc. En la contaminación de los peces, estos son totalmente contaminados a causa del metilmercurio, también esta contaminación al agua es por problemas de turbidez (sedimentos arrojados al río) tal cual indica (Agudelo *et al.* 2015) en su estudio Evaluación de condiciones ambientales: aire, agua y suelos en áreas de actividad minera en Boyacá, Colombia, donde detalla que el desarrollo de los peces se ve afectado en su totalidad debido a la turbidez, pues esta genera una deficiencia de oxígeno y alimento. De otro modo, en un reporte técnico elaborado por el Ministerio del Ambiente (2011), se detalla que si los niveles de concentración de mercurio en peces oscilan entre 10 a 20 ugHg/g supone un peligro potencial para el consumo humano ya que están muy por encima de los establecidos por la OMS, a raíz de esto, EEUU mediante la Agencia de Protección Ambiental y Agencia de Alimentos y Medicamento (FDA) propuso una serie de recomendaciones a las mujeres en estado de gestación, indicó que solo consumieran 340 g de pescado a lo mucho por semana, pero que omitieran el tiburón, blanquillo del Golfo de México, pez espada y caballa debido a la alta contaminación que presentan estos últimos (> 1 ug/g de pescado).

En el impacto acuático se registra una alta contaminación por sedimentos o residuos que son arrojados a los ríos, provocando la contaminación de todo el hábitat acuático presente de la zona. Tal es así que por ejemplo, en la zona minera de Filipinas, Diwalwal, se encontraron concentraciones de hasta 103 µg/L; en Indonesia, Talawaan 13.5 µg/L; y en Brasil en el río Madeira 10 µg/L. Las zonas adyacentes a actividades mineras auríferas contienen mercurio por encima del límite máximo permisible, las investigaciones consultadas manifiestan que en las

zonas de influencia de la actividad minera aurífera como zonas de cultivo y cauces de río el contenido de mercurio excede los límites máximos permisibles afectando la calidad del agua que es consumida por la población y las especies que habitan en él. Dichos efectos se manifiestan en mayor medida cuando se tratan de operaciones ilegales donde no existe ningún control por parte de las mismas, ni supervisión por parte del estado como en Madre de Dios, donde el pescado más consumido en la región supera el 1 ppm dispuesto por la OMS (1.1280 ppm) (Fernández & Gonzáles 2009), asimismo, la turbidez de los ríos de la zona superan en más del 150% (280 NTU) con máximos de 1000 NTU. De la mano a esta investigación, se da el estudio en la población de Mollendo (Llerena & Mendiola 2019) en donde los tres pescados más consumidos por la población como son el Bonito, Jurel y Pejerrey, mediante muestras de laboratorio por espectrofotometría se encontraron valores de 0.031 ± 0.047 mg/kg, 0.029 ± 0.043 mg/kg y 0.010 ± 0.014 mg/kg respectivamente, reflejando una contaminación muy menor en comparación a la de Madre de Dios, pero esto no quiere decir que no sea dañino por el hecho de no sobrepasar el límite 0.5 mg/kg, lo es ya que el mercurio tiene la característica de incrementar su concentración debido a la acumulación en el organismo (biomagnificación y bioacumulación) por el consumo frecuente de las especies marinas.

Por último, las desventajas que se presentaron al realizar este estudio, fue que las investigaciones en las distintas base de datos usadas se encontraban en inglés lo cual solo se revisaron las que contaban con más frecuencia de búsqueda, ya que revisar toda la bibliografía demandaba una cantidad de tiempo considerable para la traducción e interpretación de los mismos. Asimismo, los años de antigüedad y acceso a las investigaciones también fueron una limitante.

CONCLUSIONES

Los impactos que genera la minería aurífera a pequeña escala son varios, entre ellos impacto al medio ambiente en fase de explotación y beneficio, desatándose en deforestación, contaminación de mercurio al aire y agua, afectación a la flora y fauna, efectos del mercurio sobre la salud humana, remoción de suelos, alteración de morfología y cauces, emisiones de ruido, contaminación por hidrocarburos, etc.; sin embargo, la materia de estudio en esta investigación fueron los más perceptibles: Impacto al Aire, Impacto a la Salud, Impacto Biológico e Impacto Acuático.

Los impactos más estudiados son los de salud y acuáticos, ya que son donde más efectos negativos generan, además de que son la primera fuente de exposición durante las operaciones.

Se conoció la preocupación de los impactos que genera el uso de mercurio, a partir de esto, se han dispuesto las autoridades legales y ambientales en la creación de leyes para reducir en su totalidad o mejor aún eliminar del todo el uso indiscriminado de mercurio, mediante diversos procesos para la recuperación de oro.

El presente estudio nos evidencia que la minería de pequeña escala, informal o ilegal, representa muchos riesgos para los medios en donde se practica esta actividad, esto debido a los residuos que genera, afectando así no solo al medio ambiente en general, sino también a las poblaciones aledañas ya que estos desechos son vertidos en los ríos o lagos contaminando así la cadena alimenticia que luego es transmitido al ser humano por medio del consumo de pescado.

Se recomienda que en el beneficio del oro se haga uso de la retorta o la recuperación de mercurio mediante el proceso de agitación, generando así un impacto positivo tanto ambiental

como económico, pues, las concentraciones de mercurio emitidas al medio ambiente se disminuirían considerablemente, ocasionando así un impacto menor. La pérdida estimada de mercurio en este proceso es de 8.5 y 15 gramos de mercurio por cada 100 gramos de oro producido, con un patrón de 3 kg/Hg por 1 tonelada de mineral.

Se recomienda, a priori, crear, idear o proponer alternativas donde los mineros puedan manejar de manera adecuada sus vertientes o efluentes producto de la recuperación de oro. Es de suma importancia el crear una minería aurífera pequeña más eficaz con respecto a lo ambiental, económico y social.

REFERENCIAS

- Agudelo, C., Quiroz, L., García, J., Robledo, R., García, C. (2015). Evaluación de condiciones ambientales: aire, agua y suelos en áreas de actividad minera en Boyacá, Colombia. *SciELO*. 18(1).
- Arana, M. (2009). El caso de derrame de mercurio en Choropampa y los daños a la salud en la población rural expuesta. *SciELO*. 26(1).
- Arteaga, A., & Plata, S. (2018). *Evaluación del índice de riesgo ecológico potencial en suelo y sedimento por mercurio en minería para tres regiones colombianas, apoyado en el análisis de metadatos* (tesis de pregrado). Universidad de la Salle, Bogotá.
- Chacnama, E. (2016). *Recuperación de mercurio físico proveniente de relaves auríferos de amalgamación, concentrados y gravimetría en cianuración por agitación* (tesis de pregrado). Universidad Nacional de San Agustín, Arequipa.
- Díaz, F. (2014). Mercurio en la minería del oro: impacto en las fuentes hídricas destinadas para consumo humano. *SciELO*. 16(6).
- Español, S. (2012). Contaminación con mercurio por la actividad minera. *Biomédica*, 32(3).
- Garzón J., Rodríguez J. (2015). Gestión ambiental de aguas residuales industriales con mercurio proveniente de la minería aurífera a nivel mundial: Estado del arte. *Universidad y Salud*. 17(1). 132-144.
- Gonzalez, N. (2016). *Impactos de la minería aurífera aluvial, en el deterioro de la microcuenca del río Huepetuhe, Madre de Dios* (tesis de pregrado). Universidad Nacional de San Martín, Tarapoto.
- Güiza, L., Aristizabal, J. (2013). Mercury and gold mining in Colombia: a failed state. *SciELO*. 18(1).
- Hernández, M., Sanz, L., Mancebo, J. (2014). Tratamiento de bajo coste para aguas contaminadas por actividades de minería. *DisTecD*. 1(1).
- Huayllani, M. (2016). *Presencia de metales pesados en la estructura vegetal de Apeiba membranacea Spruce ex Benth. (Peine de mono), Ochroma pyramidale (Cav, ex.*

- Lam.) Urb. (Topa), *Ceiba pentandra* (L.) Gaerth. (Lupuna), *Erythrina ulei* Harms (Amasisa) Instaladas en áreas intervenidas por la minería aurífera en el sector Manuani – Inambari – Tambopata – Madre de Dios (tesis de pregrado). Universidad Nacional Amazónica de Madre de Dios, Puerto Maldonado.
- 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 pregrado). Universidad Nacional de San Agustín, Arequipa.
- Mandros, P. (2019). *Niveles de mercurio en suelos alterados por la minería ilegal, en la comunidad de San Jacinto, provincia de Tambopata-Madre de Dios* (tesis de pregrado). Universidad Nacional Federico Villarreal, Lima.
- Ministerio del Ambiente & Instituto de la Amazonía Peruana (2011). Minería aurífera en Madre de Dios y contaminación con mercurio: una bomba de tiempo (1). Recuperado de http://siar.minam.gob.pe/puno/sites/default/files/archivos/public/docs/mineria_aurifera_en_madre_de_dios.pdf
- Molina, C., Arango, C., Sepúlveda, H. (2018). Contaminación por mercurio de leche materna de madres lactantes de municipios de Antioquia con explotación minera de oro. *SciELO*. 38(1).
- Moschella, P. (2011). *IMPACTOS AMBIENTALES DE LA MINERÍA AURÍFERA Y PERCEPCIÓN LOCAL EN LA MICROCUENA HUACAMAYO, MADRE DE DIOS* (tesis de pregrado). Pontificia Universidad Católica del Perú, Lima.
- Muñoz, L., García, L., Rodríguez, M. (2012). Percepción sobre daños a la salud y utilidad de medidas de protección de personas expuestas ocupacionalmente al mercurio en la minería del oro. *Redalyc*. 9(1). 53-61.
- Olivero, J., Young, F., Caballero, K. (2014). Contaminación por mercurio en aire del distrito minero de San Martín de Loba en el departamento de Bolívar, Colombia. *SciELO*. 30(1).

- Osores, F., Grández, J., Fernández, J. (2010). Mercurio y salud en Madre de Dios, Perú. *Revista Acta Médica Peruana*. 27(4). 310-314.
- Osores, F., Rojas, J., Lara, C. (2012). Minería informal e ilegal y contaminación con mercurio en Madre de Dios: Un problema de salud pública. *SciELO*. 29(1).
- Ramirez, W. (2017). *"IMPACTO AMBIENTAL DE LA PEQUEÑA MINERÍA Y MINERÍA ARTESANAL EN LA SUB CUENTA DEL RÍO INAMBARI MADRE DE DIOS"* (tesis de pregrado). Universidad Nacional del Centro del Perú, Huancayo.
- Ramos, S., Terán, A. (2012). *Determinación de la concentración de mercurio en tierras de cultivo impactadas por la minería artesanal en el Cerro El Toro, Shiracmaca-Huamachuco, La Libertad-2012* (tesis de pregrado). Universidad Nacional de Trujillo, Trujillo.
- Rocha, L., Olivero, J., Caballero, K. (2018). IMPACTO DE LA MINERÍA DEL ORO ASOCIADO CON LA CONTAMINACIÓN POR MERCURIO EN SUELO SUPERFICIAL DE SAN MARTÍN DE LOBA, SUR DE BOLÍVAR (COLOMBIA). *SciELO*. 34(1).
- Velásquez, M. (2017). *Metales en suelos explotados por la pequeña minería aurífera aluvial en Madre de Dios, Perú* (tesis de maestría). Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima.
- Vilcapaza, J. (2018). *Evaluación de la capacidad fitorremediadora del Garbancillo (Astragalus arequipensis) en función de tres tipos de enmiendas orgánicas sobre la remoción de mercurio del suelo contaminado por la actividad minera del centro poblado la Rinconada - Región Puno, 2018* (tesis de pregrado). Universidad Peruana Unión, Juliaca.

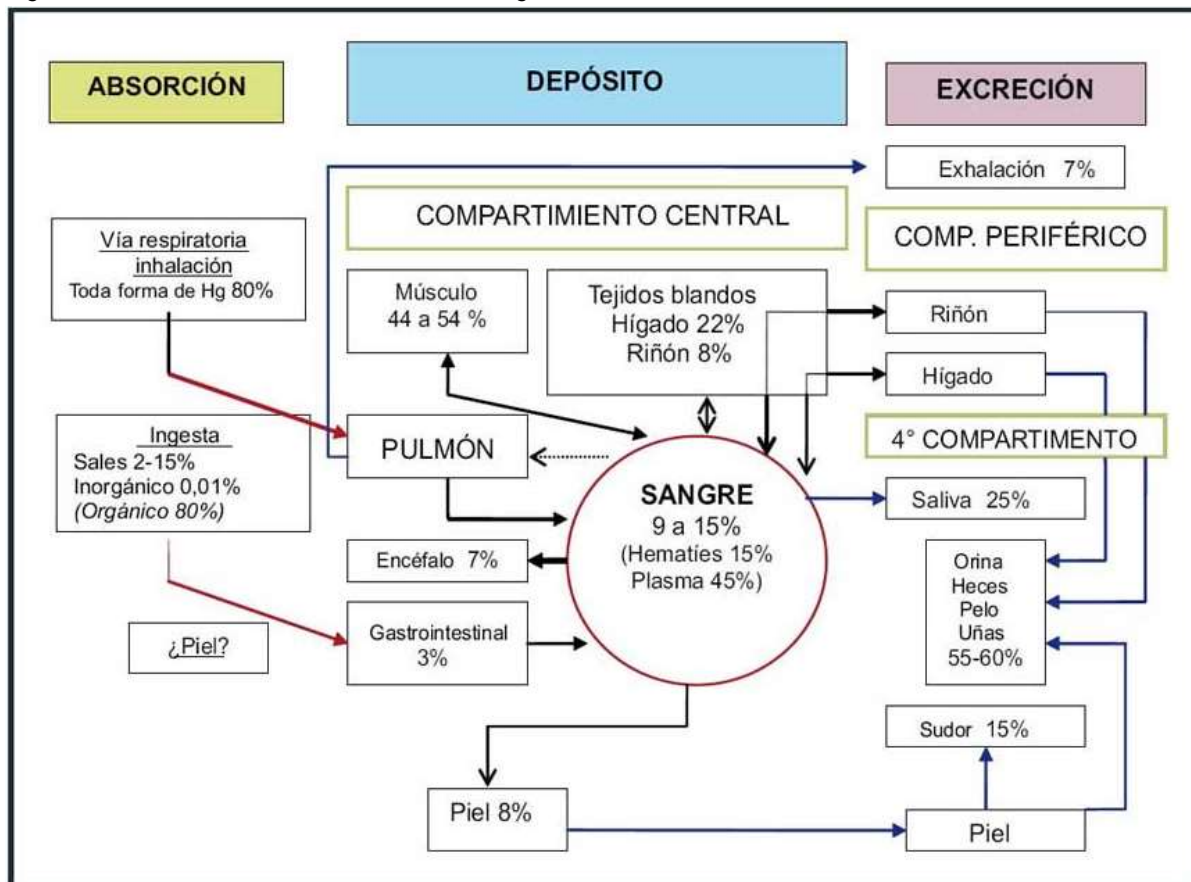
ANEXOS

Figura 2 Características de las diferentes formas químicas del mercurio

Mercurio	Fuente	Ruta de exposición	Eliminación	Toxicidad
Metálico o elemental	Amalgamas dentales Orfebrería artesanal Termómetro Esfigmomanómetro Remedios folclóricos Erupciones volcánicas	Inhalatoria	Orina Heces	SNC Renal Piel Pulmonar
Inorgánico o sales de mercurio	Timerosal Cosméticos Ampolletas Productos fotográfico Desinfectantes	Digestiva Cutánea	Orina	SNC Renal Piel Pulmonar
Orgánico o metil mercurio	Pescados Preservantes Fungicidas	Digestiva Transplacentaria Parenteral	Heces	SNC Cardiovascular

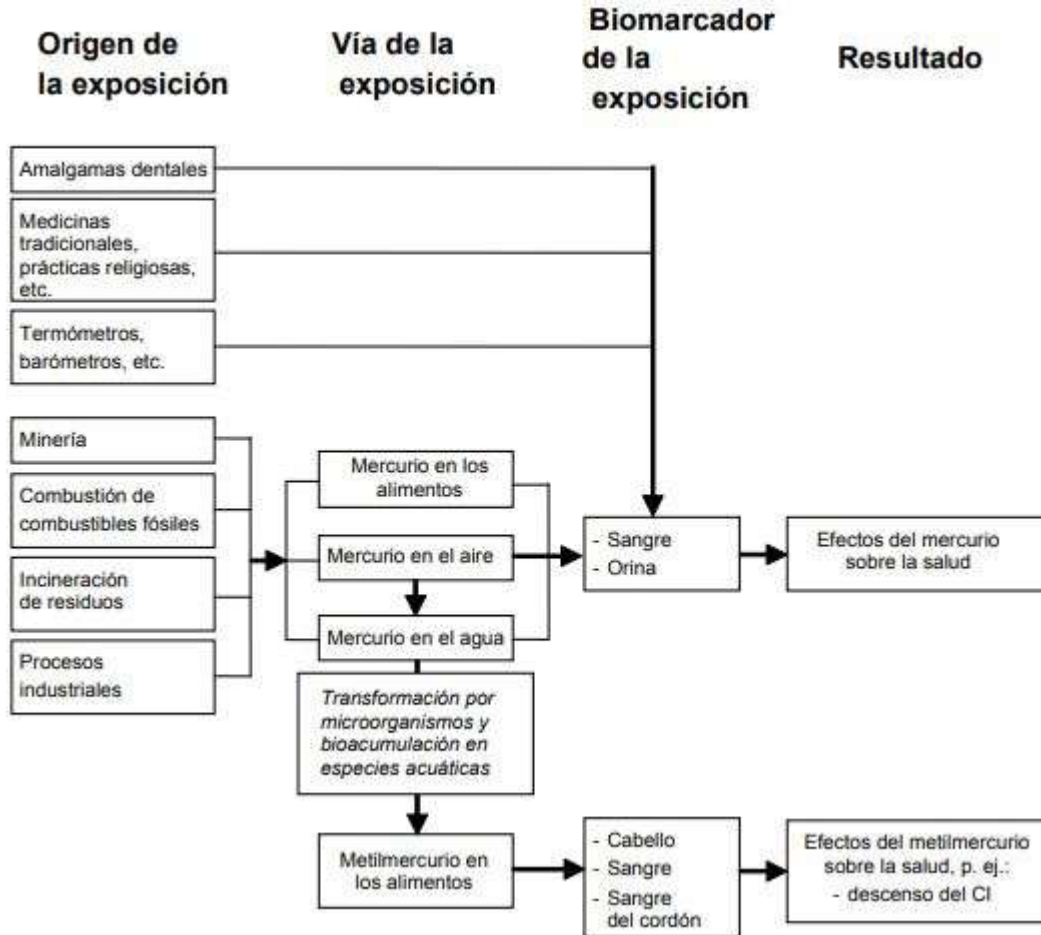
Fuente: Osore, Rojas & Lara 2012

Figura 3 Modelo toxicocinético del mercurio inorgánico



Fuente: Chacnama 2016

Figura 4 Marco de la exposición al mercurio



Fuente: Moschella 2011