CONTAMINACIÓN POR MERCURIO DE **LA MINERÍA DE ORO ARTESANAL** Y EN PEQUEÑA ESCALA (MAPE) EN MADRE DE DIOS



CINCIA
CENTRO DE INNOVACIÓN CIENTÍFICA AMAZÓNICA

Observatorio de minería ilegal y actividades vinculadas en Áreas Claves de Biodiversidad

GORDON AND BETTY MOORE FOUNDATION

PROYECTO

Este reporte se realizó en el marco del proyecto ***"Reduciendo el avance de la minería ilegal de oro y sus impactos en áreas prioritarias de biodiversidad, corredores de conservación y paisajes transfronterizos de Colombia, Perú y Brasil"***, implementado por el Centro de Innovación Científica Amazónica (CINCIA) y Fundación para la Conservación y Desarrollo Sostenible (FCDS), con el apoyo financiero de la Fundación Gordon y Betty Moore

AUTORES

Jessica Pisconte, Especialista del Programa de Mercurio en el Centro de Innovación Científica Amazónica (CINCIA).
Claudia Vega, Coordinadora del Programa de Mercurio en el Centro de Innovación Científica Amazónica (CINCIA).
Luis Fernandez, Director Ejecutivo del Centro de Innovación Científica Amazónica (CINCIA).
Marta Torres, Coordinadora del Programa de Educación y Gestión Integral Sostenible del Centro de Innovación Científica Amazónica (CINCIA).
Katee Salcedo, Comunicadora del Centro de Innovación Científica Amazónica (CINCIA).

AGRADECIMIENTOS

César Ipenza, vocero del Observatorio de Minería Ilegal (OMI)
Claus García, Gerente del Paisaje Yaguas de Sociedad Zoológica de Frankfurt Perú (FZS)
Manuel Zapata, Coordinador de proyectos binacionales de Fundación para la Conservación y Desarrollo Sostenible Perú (FCDS).

CITA SUGERIDA

Pisconte, J. N., Vega, C. M., Torres, M. I., Salcedo, K.D. & Fernandez, L. E. (2024). Contaminación por mercurio de la minería de oro artesanal y en pequeña escala (MAPE) en Madre de Dios, Perú: Centro de Innovación Científica Amazónica (CINCIA)

Índice

I. Resumen Ejecutivo 3
II. Introducción 4
III. Dinámica del mercurio en el ecosistema 5
IV. Minería y mercurio en Madre de Dios 6
V. Estudios sobre la contaminación por mercurio en Madre de Dios 7
- **Mercurio en ambiente** 7
  1. Aire 8
  2. Vegetación y suelos 10
  3. Sedimentos 12
- **Mercurio en humanos** 14
- **Fauna** 17
  1. Fauna acuática (Peces) 18
  2. Fauna terrestre 20

Conclusiones 24
VI. Perspectivas políticas y recomendaciones 26
- **Fortalecimiento de la regulación, fiscalización y monitoreo** 26
- **Fortalecimiento de la formalización minera mediante una normativa adaptada al contexto** 27
- **Promoción de la minería responsable a través de buenas prácticas mineras mediante la implementación tecnologías limpias y alternativas al uso del mercurio** 28
- **Implementación de un sistema de comercio responsable para el oro libre de mercurio** 28
- **Salud y el bienestar de las poblaciones vulnerables** 29
- **Fortalecimiento de la participación de comunidades indígenas y locales**
- **Coordinación multisectorial** 31

VII. Bibliografía 32

I. Resumen Ejecutivo

En Madre de Dios, la Minería de Oro Artesanal y de Pequeña Escala (MAPE) es la principal actividad económica y emplea mercurio en la extracción de oro, un elemento neurotóxico que amenaza la salud humana y el medio ambiente. Este informe analiza la magnitud de la contaminación por mercurio, su impacto en las personas y el ecosistema, y sus implicancias políticas. Los hallazgos reportados confirman niveles elevados de mercurio en el ambiente, las comunidades humanas y la fauna silvestre en Madre de Dios, evidenciando el impacto de la minería artesanal que algunas veces llega a ser ilegal e informal.

Los estudios indican que las tiendas de oro son una fuente importante de emisiones de mercurio (93%), con concentraciones en el aire hasta 14 veces superiores en ciudades mineras. Esta contaminación no solo afecta a los habitantes urbanos, sino que también puede dispersarse grandes distancias y afectar otros ecosistemas, llegando a comunidades indígenas alejadas, donde el consumo de pescado contaminado representa una vía de exposición significativa. Las poblaciones indígenas y rurales que son las más vulnerables, presentan niveles de mercurio en su organismo por encima de las concentraciones recomendadas por la OMS, lo que aumenta el riesgo de daños neurológicos, renales y cardiovasculares, especialmente en niños y mujeres en edad reproductiva. Adicionalmente, los datos reportan que la contaminación por mercurio afecta los ecosistemas acuáticos y terrestres. Se han registrado altos niveles de mercurio en peces de pozas mineras, aves y mamíferos que consumen estos peces contaminados, lo que podría comprometer su éxito reproductivo y alterar el equilibrio ecológico de la región.

A pesar de que, persisten importantes incertidumbres sobre la magnitud y las consecuencias a largo plazo de esta contaminación, especialmente en los ecosistemas amazónicos. Es fundamental proteger a las comunidades vulnerables con programas de monitoreo de salud e intervenciones específicas para comunidades en alto riesgo donde el acceso a fuentes de alimentación segura es fundamental.

Perú enfrenta grandes desafíos para controlar la expansión de la MAPE y reducir la contaminación por mercurio. A pesar de los esfuerzos regulatorios, persisten vacíos normativos y una fiscalización limitada que dificultan el control de la contaminación. Es urgente reforzar el control, mejorar la regulación y el monitoreo de la MAPE, promover tecnologías limpias que reduzcan el uso de mercurio y fortalecer la coordinación multisectorial para mitigar sus impactos. A nivel internacional, resulta clave fortalecer acuerdos que frenen el tráfico de mercurio, mejoren la gestión regional y faciliten información para la toma de decisiones. Este informe pone en evidencia la urgencia de implementar medidas concretas y coordinadas para avanzar hacia una minería más responsable, protegiendo la salud humana y la biodiversidad amazónica de la contaminación de mercurio.

II. Introducción

El mercurio (Hg) está clasificado entre las diez sustancias químicas de mayor riesgo para la salud pública, según la Organización Mundial de la Salud (OMS). Este metal potencialmente tóxico puede permanecer durante varios años en el ambiente, circular por el aire, el agua y los suelos e incluso viajar largas distancias, llegando a áreas remotas y convirtiéndolo en un contaminante de interés global (Li et al., 2020; Selin, 2009).

Consecuentemente, se estableció el Convenio de Minamata, un tratado internacional adoptado en 2013 que fue impulsado por el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA), con el fin de reducir el uso de mercurio para la protección de la salud humana y del medio ambiente donde 128 países adoptaron este compromiso. Perú suscribió el Convenio de Minamata en 2013 y lo ratificó en 2015, reafirmando su compromiso de implementar medidas para reducir las emisiones de mercurio. Asimismo, se comprometió a promover prácticas más sostenibles en sectores clave de contaminación como la Minería Artesanal y de Pequeña Escala (MAPE).

La MAPE es considerada la principal fuente de emisiones de mercurio al ambiente, representando el 38% de las emisiones antropogénicas globales a la atmósfera, de las cuales alrededor del 53% tienen origen en América del Sur y de este porcentaje, el 80% proviene de la Amazonía (Crespo-Lopez et al., 2021; UNEP, 2018). La emisión de mercurio al ambiente es causada en gran parte por prácticas ineficientes en la extracción de oro, que implican un manejo inadecuado del mercurio. Este problema se agrava con la expansión de la minería ilegal, que incrementa la emisión de mercurio, especialmente en ambientes sensibles como la Amazonía.

El mercurio liberado en el medio acuático, es transformado a metilmercurio, una de sus formas más tóxicas. Este compuesto se incorpora a la cadena alimenticia acuática y se acumula de forma progresiva en peces, particularmente en especies carnívoras que pueden alcanzar concentraciones peligrosas. Dado que el pescado es una fuente primaria de proteínas para las comunidades amazónicas, esta contaminación supone un riesgo grave para la salud humana. Así, lo que debería ser una fuente esencial de alimento y nutrición se ha transformado en un foco de contaminación debido a la actividad minera, amenazando el bienestar de las poblaciones amazónicas.

El impacto del mercurio representa un problema global de gran magnitud y se ha convertido en una amenaza local que puede tener serias implicancias en la salud humana y animal. Se conoce que afecta el sistema nervioso de los seres vivos, causando daños neurológicos graves. En los seres humanos, una exposición durante el embarazo puede afectar el desarrollo fetal, resultando en malformaciones, retrasos en el desarrollo neurológico y cognitivo y comprometiendo la capacidad de aprendizaje de las nuevas generaciones. Las poblaciones vulnerables, como mujeres en edad reproductiva y niños pequeños, están particularmente expuestas a los efectos negativos del mercurio. En animales, el mercurio altera el comportamiento y las funciones motoras (movilidad), y debido a su capacidad de acumularse en los seres vivos, alcanza niveles que pueden reducir el éxito reproductivo de diversas especies. Esto amplía potencialmente sus efectos nocivos a nivel poblacional, poniendo en riesgo la biodiversidad global.

Madre de Dios, es una región amazónica peruana declarada por el gobierno como la capital de la biodiversidad, que es el hogar de una enorme diversidad de flora y fauna silvestre endémica incluso aquellas en peligro de extinción. Sin embargo, la MAPE se ha convertido en el principal motor económico de la región que opera en gran medida de manera informal e ilegal y no reinvierte en el desarrollo local ni cumple con los pagos por canon o regalías por la explotación de este recurso. Desde hace más de tres décadas, esta actividad ha causado deforestación y contaminación con mercurio, perturbando hábitats naturales y poniendo en riesgo el equilibrio ecológico de la región.

Este reporte tiene como objetivo revisar la literatura científica publicada en los últimos 15 años para la región de Madre de Dios, y ofrecer una visión integral de la evidencia actual de los impactos de contaminación de mercurio generados por la actividad MAPE, especialmente de la que se realiza de forma ilegal así como de sus posibles impactos negativos para la salud humana y la biodiversidad.

III. Dinámica del mercurio en el ambiente

La dinámica del mercurio es un proceso complejo que incluye interacciones físicas, químicas y biológicas que ocurren en el agua, el suelo, el aire y en los organismos vivos.

El mercurio emitido a la atmósfera por fuentes naturales o antropogénicas como la MAPE es depositado en los fondos de ríos y lagos donde microorganismos transforman el mercurio inorgánico en orgánico o metilmercurio (MeHg). El metilmercurio es una de las formas más tóxicas, que tiene la capacidad de bioacumularse en los seres vivos y biomagnificarse a través de la cadena alimenticia. Es decir su concentración aumenta a través de los niveles de la cadena alimenticia alcanzando las mayores concentraciones en los organismos de los niveles más altos, como los depredadores superiores entre ellos el ser humano.

En cuerpos de agua contaminados, los organismos acuáticos que los habitan, como peces e insectos acuáticos pueden acumular niveles elevados de metilmercurio, y posteriormente ser consumidos por depredadores terrestres, como aves y mamíferos. De este modo, el contaminante continúa su transferencia a través de los distintos niveles tróficos. Este proceso amplía el impacto del mercurio en el medio ambiente, afectando tanto la biodiversidad acuática como la terrestre.

Esta dinámica del mercurio, donde se combinan la volatilización, la deposición, el transporte global, la metilación en cuerpos de agua, la bioacumulación y biomagnificación en las redes alimenticias, evidencia la complejidad del ciclo del mercurio. El alcance mundial del impacto negativo de la contaminación por mercurio es incrementado por actividades humanas como la minería, que lo introducen en el medio ambiente a escalas preocupantes.

IV. Minería y mercurio en Madre de Dios

En la región de Madre de Dios, Perú, la MAPE es una fuente importante de ingresos para la población local y se ha consolidado como una de las principales actividades económicas, generando empleo para miles de trabajadores. Aunque esta práctica comenzó a principios del siglo XX, adquirió relevancia significativa en la década de 1970, impulsada por un aumento global en la demanda de oro (Fritz et al., 2017). Durante los años 2000, el incremento sostenido en los precios del oro aceleró la expansión de esta actividad, atrayendo a un mayor número de mineros, incluidos migrantes de diversas partes del país. Este acelerado crecimiento fue facilitado por la construcción de la carretera interoceánica, que permitió el acceso a zonas remotas, impulsando el establecimiento de nuevos sitios ilegales de extracción minera en áreas no autorizadas como los cauces de río. La expansión de la MAPE ha resultado en una devastadora deforestación, reportando desde 1980 hasta 2022, la pérdida de más de 120 000 hectáreas de bosques amazónicos (Caballero et al., 2018; Velásquez Ramírez et al., 2024). También ha generado una significativa contaminación con mercurio que representa una amenaza para el medio ambiente y la salud humana.

La minería artesanal en Madre de Dios se caracteriza por el uso continuo de mercurio en el proceso de extracción de oro, debido a su capacidad para amalgamar este metal. Se estimó que anualmente se liberan aproximadamente 180 toneladas de mercurio al medio ambiente, lo que representa aproximadamente el 50% del total nacional (Arana & Montoya, 2017). Este mercurio que contamina los ecosistemas amazónicos se concentra principalmente en la cadena alimenticia acuática y luego es transferido a las comunidades locales a través del consumo de pescado.

El consumo de pescado contaminado puede provocar serios problemas de salud, sobre todo en mujeres en edad reproductiva y niños, quienes son especialmente vulnerables a los efectos neurotóxicos del mercurio (OMS, 2024) También se conoce que el mercurio está vinculado a daños neurológicos, cognitivos y motores, así como a enfermedades cardiovasculares (Neisi et al., 2024). Las consecuencias de la contaminación por mercurio en las comunidades de Madre de Dios pueden ser preocupantes, especialmente para las poblaciones indígenas, que dependen de los recursos acuáticos para su subsistencia. En estas poblaciones, la contaminación no solo afecta la salud, sino también sus prácticas culturales y modos de vida (alimentación), estrechamente ligados a los ríos y bosques.

A pesar de la importancia económica de la MAPE en Madre de Dios, la evidencia científica confirma la contaminación con mercurio en las poblaciones humanas y en el ambiente. Aunque aún hay vacíos en el conocimiento sobre sus efectos a largo plazo, los estudios resaltan la urgencia de comprender mejor sus consecuencias y abordar los riesgos que representa para la región.

V. Estudios sobre la contaminación por mercurio en Madre de Dios

Mercurio en ambiente

La MAPE usa el mercurio principalmente porque tiene la capacidad de combinarse con otros metales, como el oro (Clarkson, 1997). Así, cuando el mercurio entra en contacto con el oro presente en los sedimentos de los ríos, forma una mezcla llamada amalgama que facilita su extracción. Durante este proceso de extracción, la amalgama es quemada (refogado) para evaporar el mercurio y recuperar el oro puro, de esta forma se libera el vapor de mercurio a la atmósfera. Debido a la falta de regulación y fiscalización adecuada en su uso, se estima que cada año alrededor de 180 toneladas de mercurio son liberadas al ambiente en Madre de Dios (Arana & Montoya, 2017) y luego depositados en compartimientos acuáticos y terrestres (Fig. 1).

Numerosos estudios han documentado la contaminación de mercurio en el ambiente, y exposición en humanos y en la biota de Madre de Dios. A continuación se muestra una recopilación de investigaciones desarrolladas en esta región para poner en contexto la situación actual sobre este:

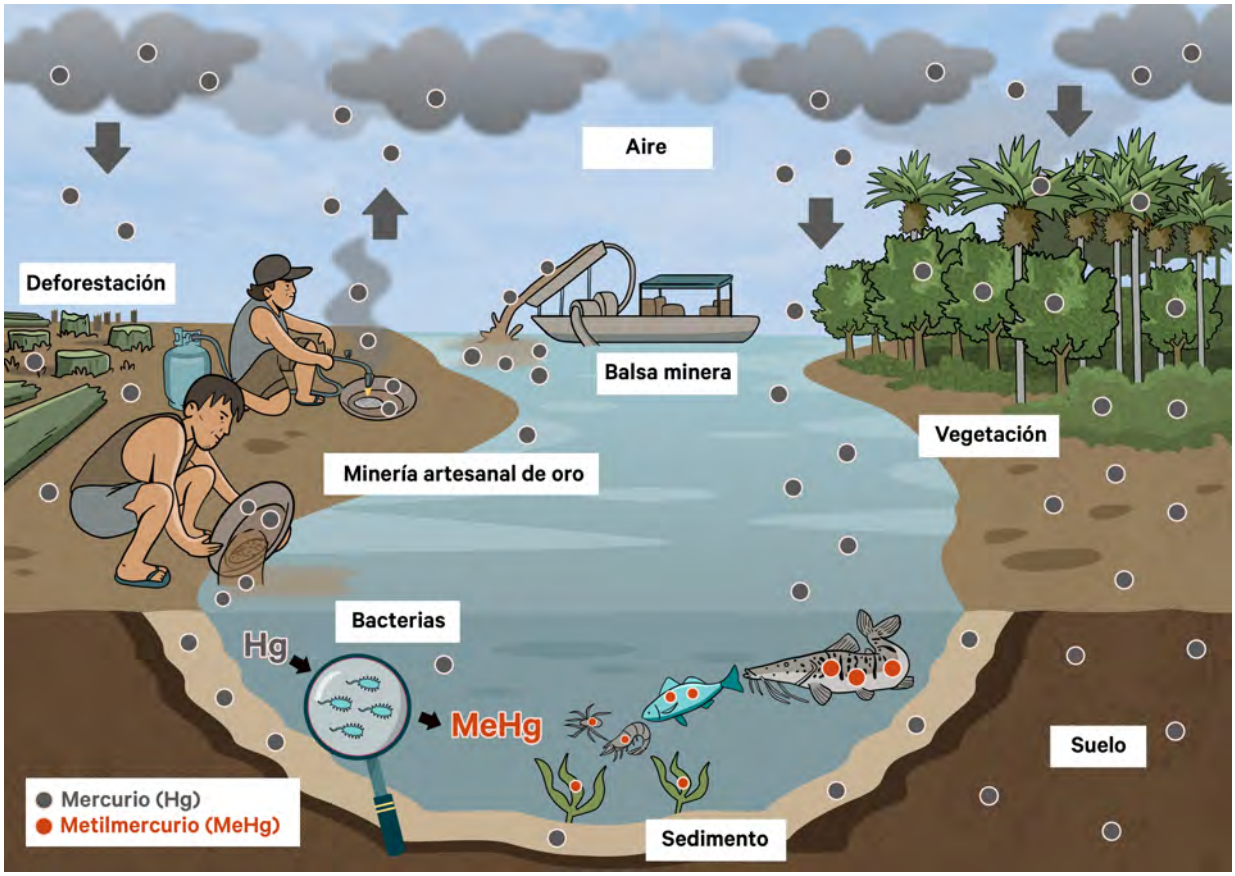


Fig. 1. Distribución del mercurio emitido al ambiente y su deposición en los sedimentos, el suelo y la vegetación. Fuente CINCIA

1. Aire

El mercurio en el aire se encuentra principalmente en su forma gaseosa como mercurio elemental (Hg^0) y puede ser liberado por diversas fuentes naturales como la actividad volcánica, actividades antropogénicas como la quema de combustibles fósiles y en gran medida por la minería artesanal.

La MAPE utiliza métodos poco eficientes para extraer oro, lo que genera liberación de mercurio en diversas fases del proceso, como la amalgamación y purificación del oro. Estudios realizados en Madre de Dios sobre la contaminación por mercurio en el aire han revelado que las concentraciones en zonas cercanas a fuentes de emisión son entre 2 y 14 veces más elevadas que en áreas remotas (Gerson et al., 2022; Szponar et al., 2025).

En la región se ha registrado 01 estudio sobre mercurio en aire, realizando en 2017 y 2018 una evaluación de las concentraciones de mercurio en el aire de la ciudad de Puerto Maldonado y a lo largo de la carretera interoceánica hasta Mazuko.

> “Estudios en Madre de Dios han mostrado que las concentraciones de mercurio en el aire cerca de fuentes de emisión son de 2 a 14 veces más altas que en áreas alejadas.

En Puerto Maldonado, Laberinto y Mazuko, el estudio registró las concentraciones más altas de mercurio cerca de tiendas de oro (~100 a >5000 ng/m³) y en zonas cercanas a sitios mineros activos, como La Pampa (~ 5 a 800 ng/m³), donde se realiza la quema de amalgama u oro para su purificación. También se encontraron concentraciones elevadas de mercurio (20 a 40 ng/m³) en zonas residenciales de Puerto Maldonado, alejadas de fuentes emisoras directas (Fig. 2).

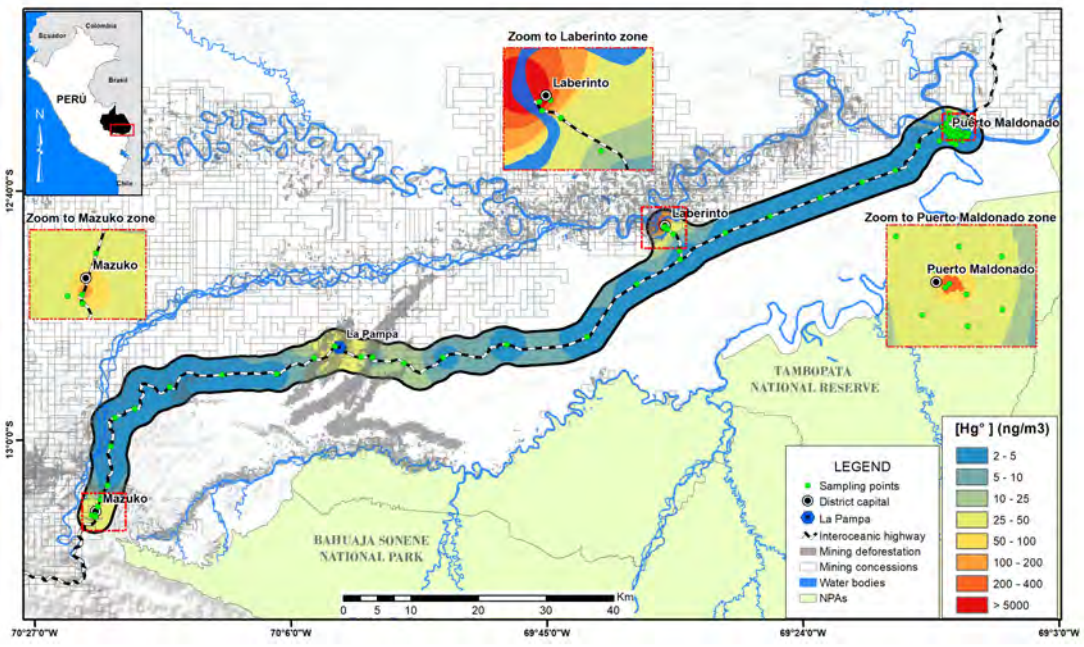


Fig. 2. Distribución de las concentraciones de mercurio a lo largo de carretera interoceanica. Se muestra las concentraciones más elevadas en Laberinto. Fuente: Szponar et al. 2025

Considerando que la concentración promedio de mercurio en el aire en el hemisferio sur es de aproximadamente 1 ng/m³, los resultados de estos estudios indican un incremento significativo del riesgo de contaminación para la población local. Además, se sugiere que prácticas como la quema de amalgama, la volatilización del mercurio remanente y el manejo inadecuado de residuos secundarios contribuyen de manera significativa a la contaminación ambiental. Estos desechos, al estar expuestos a procesos naturales como la lluvia y la erosión, favorecen la dispersión del mercurio en el entorno, agravando el problema (Szponar et al., 2025).

En este estudio, también se identificaron las fuentes de mercurio a través de la aplicación de técnicas de análisis de isótopos que determinan si el mercurio proviene de fuentes naturales o actividades antropogénicas como la minería. Y se reportó que la actividad minera contribuye significativamente con mercurio a la atmósfera, estimando que la misma aporta el 93 % del mercurio en el aire en las ciudades mineras cerca de las tiendas de oro, el 67 % a lo largo de la carretera interoceánica, y un 75 % en áreas boscosas cercanas a la minería artesanal (Fig.3).

> “En Puerto Maldonado, Laberinto y Mazuko, se registraron las concentraciones más altas de mercurio cerca de tiendas de oro (~100 a >5000 ng/m^3) y en sitios mineros activos como La Pampa (~5 a 800 ng/m^3), donde se quema amalgama para purificar el oro.

Emisión de mercurio proveniente de la actividad MAPE

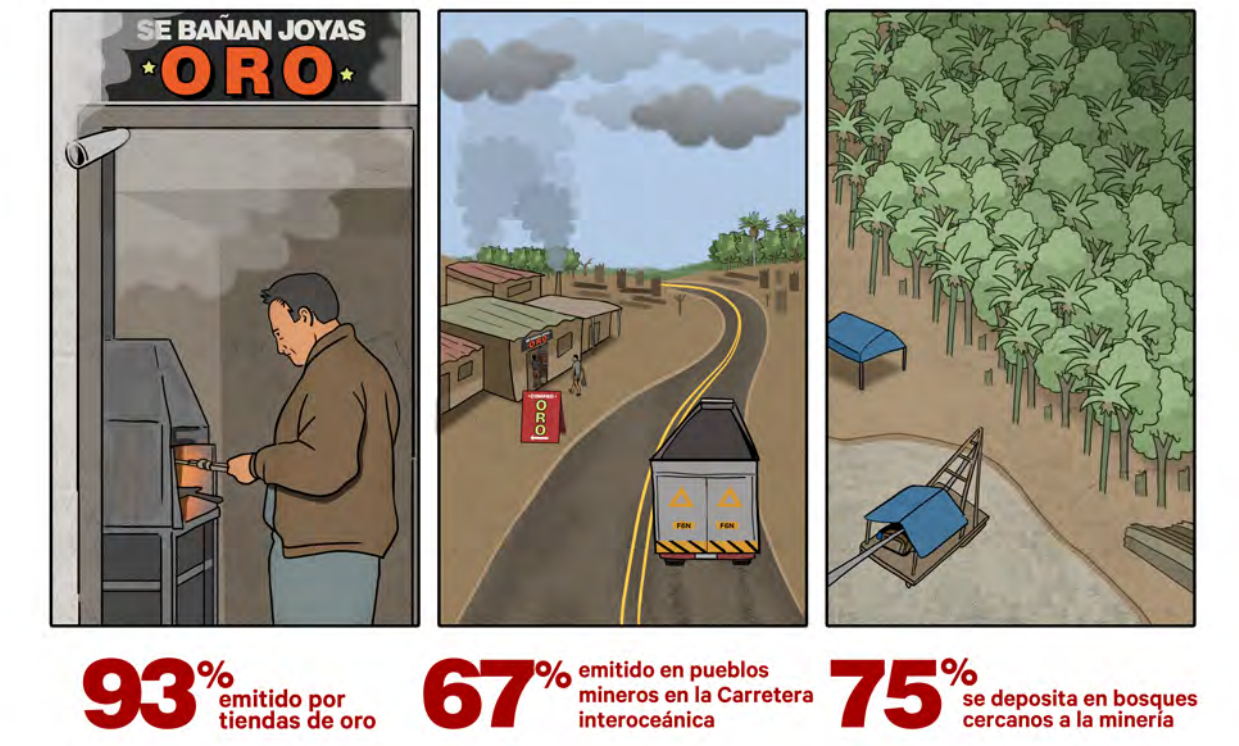


Fig.3. Porcentaje de la emisión de Mercurio en el aire de Madre de Dios. Fuente: CINCIA

Los datos ponen en evidencia que los métodos ineficientes para la extracción de oro actualmente usados por la actividad MAPE en Madre de Dios, han incrementado significativamente las concentraciones de este contaminante en el aire, alcanzando niveles potencialmente peligrosos en tiendas de oro. Esta exposición constante al mercurio en el aire y en los residuos representa un riesgo para la salud humana y los ecosistemas circundantes.

2. Vegetación y suelos

El mercurio liberado por la MAPE se transporta a través de la atmósfera y es captado por las hojas de los árboles, que recibe entre el 60% y el 90% de la deposición terrestre global de mercurio (Zhou et al., 2021) (Fig.4). En Madre de Dios se realizaron 05 estudios que evaluaron mercurio en vegetación y suelos, reportando en áreas con intensa actividad minera como Laberinto y La Pampa, las concentraciones más altas de mercurio en hojas de árboles, estas alcanzaron valores de 0,64 mg/kg, superando lo observado en bosques contaminados globalmente (Rodriguez-Pascual et al., 2024).

> “En áreas mineras como Laberinto y La Pampa, las concentraciones de mercurio en hojas alcanzaron 0,64 mg/kg, superando los niveles en bosques contaminados globalmente.

En uno de los estudios se registró que los bosques cercanos a actividad minera de la Estación Biológica Los Amigos, tienen mayores concentraciones de mercurio en el dosel que aquellos en zonas remotas que se encuentran alejadas de esta actividad. Adicionalmente, revela que los aportes de mercurio atmosférico, medidos en la hojarasca y en el agua de lluvia que atraviesa el dosel (trascolación), son más de 15 veces mayores en áreas boscosas cercanas a la actividad minera en Madre de Dios que en zonas deforestadas, alcanzando niveles comparables a los de regiones industriales de China (Gerson et al., 2022).

Estos resultados destacan la importante función del dosel forestal en la captura del mercurio atmosférico, particularmente en los bosques cercanos a actividad minera.

> “Los aportes de mercurio en hojarasca y agua de lluvia son 15 veces mayores en áreas cercanas a la minería en Madre de Dios, comparables a regiones industriales de China. Esto descataca la capacidad crucial del dosel forestal para capturar mercurio atmosférico.

Investigaciones de la contaminación de mercurio en suelos en la región Madre de Dios reportan que los suelos con cobertura vegetal contienen mayores cantidades de mercurio que aquellos sin cobertura (sustrato desnudo post minero) (Fig.4). Esto dado que el mercurio depositado en las hojas se transfiere y acumula en el suelo tras su caída (Rodriguez-Pascual et al., 2024).

Además, los suelos con cobertura vegetal tienen una mayor capacidad de retención de mercurio, ya que son ricos en materia orgánica (Becerra-Lira et al., 2024; Gerson et al., 2022; Rodriguez-Pascual et al., 2024; Velásquez Ramírez et al., 2021). Al comparar los resultados reportados con valores encontrados en áreas no impactadas, se observó que las concentraciones más bajas de mercurio se encontraron en el Parque Nacional del Manu con valores entre 0.016 y 0.069 mg/kg (Szponar et al., 2025) y los más altos reportados en áreas mineras como Laberinto con un valor promedio de 0.279 mg/kg (Rodriguez-Pascual et al., 2024).

En general en Madre de Dios, los valores de mercurio reportados para suelos de áreas mineras (San Jacinto, Kotsimba, La pampa y Laberinto) se encuentran por debajo de los estándares de calidad para suelos agrícolas y residenciales en Perú (6.6 mg/kg). Sin embargo, es importante señalar que estos criterios fueron adoptados de legislaciones extranjeras debido a la falta de estudios que evalúen los efectos toxicológicos en suelos amazónicos, lo que significa que no se ajustan necesariamente a las características de esta región.

El estudio de Rodriguez-Pascual et al. (2024) sobre mercurio en suelos de áreas con minería, reporta valores que se encuentran dentro de los límites críticos establecidos por el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) en el rango de 0.07-0.30 mg/kg, sugerido para la prevención de efectos ecológicos por la presencia de mercurio en el suelo.

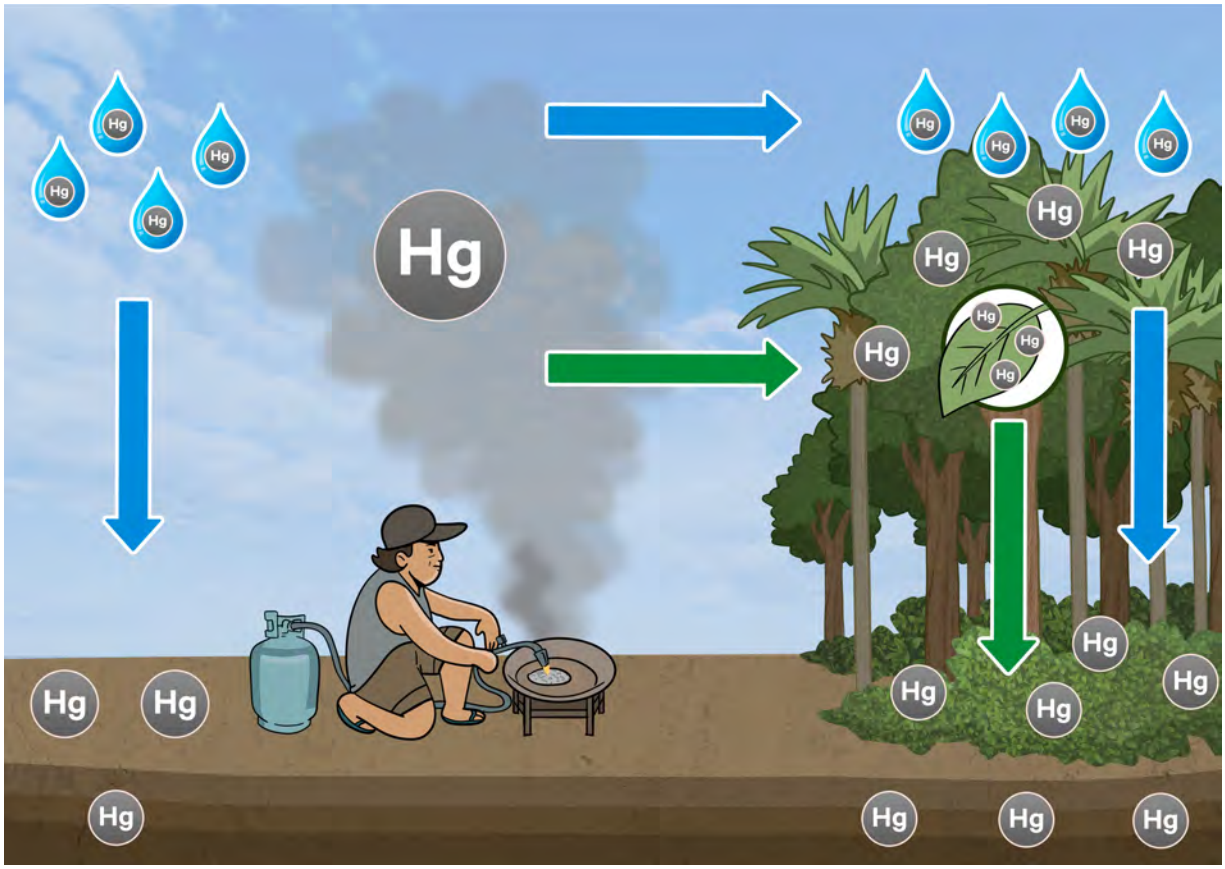


Fig.4. Deposición de mercurio en suelos degradados por minería y bosques circundantes a esta actividad.
Fuente: Adaptado de Gerson et al 2020

3. Sedimentos

La MAPE libera mercurio a la atmósfera y contamina el medio acuático tanto por deposición atmosférica en cuerpos de agua como por su vertido directo en los ríos. Una vez en el agua, el mercurio puede llegar a los sedimentos, facilitando su dispersión y bioacumulación. Se encontraron 04 estudios sobre la presencia de mercurio en sedimentos en la región de Madre de Dios. En 2012, una investigación en el sistema fluvial Malinowski-Tambopata evidenció variaciones en las concentraciones de mercurio en los sedimentos, sin un patrón claro que lo vinculara directamente con la MAPE (Moreno-Brush et al., 2016). Sin embargo, estudios posteriores demostraron que las concentraciones de mercurio en los sedimentos de fondo de los ríos impactados por la actividad minera son significativamente más altas en comparación con aquellas de ríos más alejados de las zonas de influencia (Diringer et al., 2015; Martinez et al., 2018).

> “Estudios han demostrado que las concentraciones de mercurio en los sedimentos de los ríos impactados por la minería son significativamente más altas que en los ríos alejados de las zonas afectadas

El estudio de 2018 en los ríos Malinowski y Tambopata reveló concentraciones de mercurio considerablemente superiores a las de ríos no contaminados, como el río Heath (Martinez et al., 2018) contrario a lo reportado en 2012. Esta diferencia podría explicarse por la ubicación de los puntos de muestreo en 2012, algunos de los cuales no tuvieron influencia directa de actividad minera, lo que puede resultar en concentraciones más bajas en ese periodo. En contraste, el muestreo de 2018 se realizó en áreas directamente afectadas por la minería, donde se registraron niveles más altos de contaminación. Además, la expansión de la actividad minera entre 2012 y 2018 (Finer et al., 2017; Finer & Mamani, 2018) podría haber contribuido al aumento de las concentraciones de mercurio observadas en el estudio más reciente.

Adicionalmente, otro estudio realizado en 2020 estimó que el río Madre de Dios transporta anualmente alrededor de 1 tonelada de mercurio en áreas no afectadas por la MAPE y hasta 12 toneladas en áreas fuertemente impactadas por esta actividad. Esto se debe a que el río Inambari, uno de sus principales afluentes, presenta una alta concentración de operaciones mineras en su tramo superior, lo que incrementa la carga de sedimentos suspendidos y mercurio en el sistema fluvial (Estrada et al., 2023). En este estudio, también se estimó que el río Inambari transporta alrededor de 10 millones de toneladas de

> “Un estudio realizado en 2020 estimó que el río Madre de Dios transporta anualmente alrededor de 1 tonelada de mercurio en áreas no afectadas por la MAPE y hasta 12 toneladas en áreas fuertemente impactadas por esta actividad

sedimentos y 2 toneladas de mercurio al año (Fig.5). Al unirse con el río Madre de Dios, aumenta la carga de sedimentos en un 70% y la de mercurio en un 40%.

La deforestación por MAPE puede acelerar la movilización de mercurio natural y antropogénico hacia cuerpos de agua, agravada por la remoción de suelos y la erosión de residuos mineros. Factores como lluvias intensas también pueden influir en el transporte de sedimentos (Diringer et al., 2015), por lo que se requiere más investigación para comprender mejor estos procesos y su impacto a largo plazo.

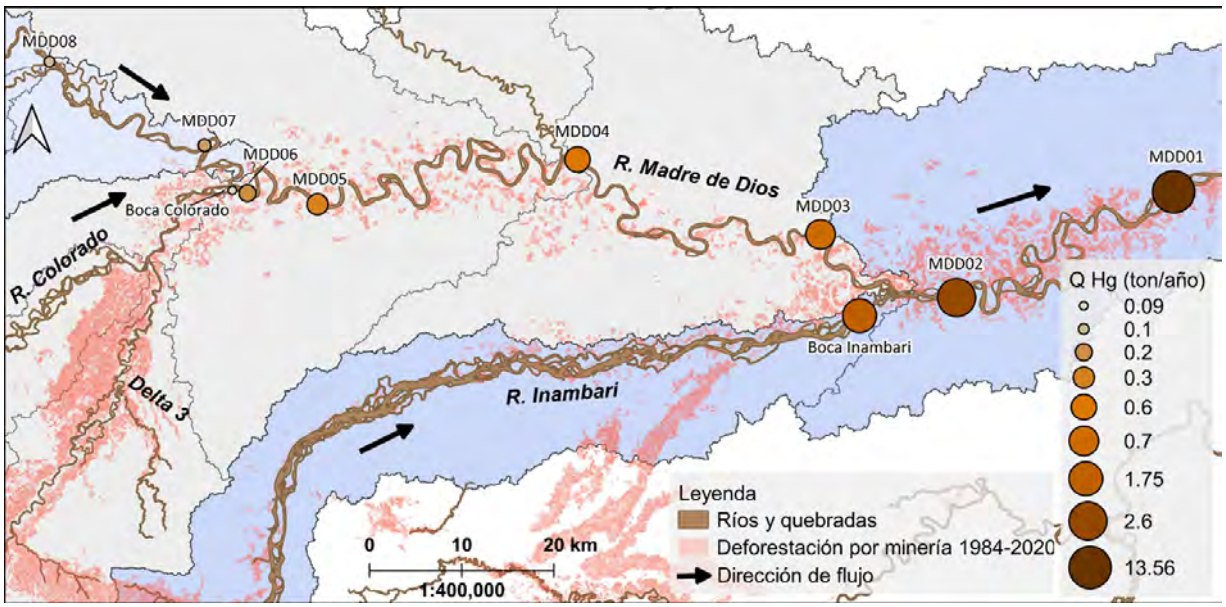


Fig.5. Carga de mercurio (t/año) en el río Madre de Dios. Fuente: Estrada et al 2023

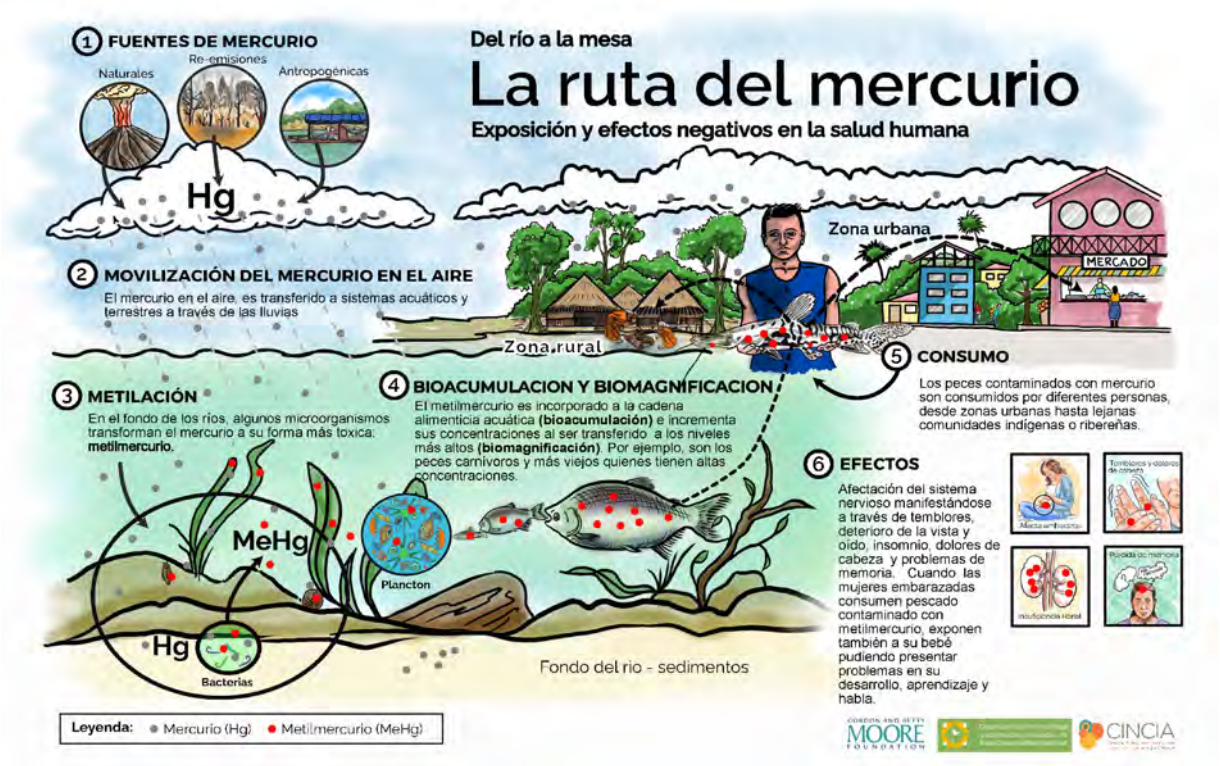


Actividad minera ilegal en el río Madre de Dios, sector Laberinto

Mercurio en humanos

El mercurio es un metal altamente tóxico que puede causar serios efectos en la salud humana, especialmente en su forma orgánica, el metilmercurio. Dado que este contaminante se acumula en la cadena alimenticia, los efectos sobre la salud humana se incrementan en áreas con altos niveles de contaminación ambiental.

La exposición al mercurio suele ocurrir principalmente a través del consumo de pescado contaminado (Figura La Ruta del mercurio). Sin embargo, el hombre también puede estar expuesto de forma ocupacional por la inhalación de vapores en entornos mineros.



Los efectos más críticos se observan en el sistema nervioso, donde el mercurio puede causar trastornos del desarrollo neurológico en fetos y niños pequeños, afectando el aprendizaje, el lenguaje y la coordinación motora. En adultos, la exposición crónica puede provocar temblores, debilidad muscular, trastornos cognitivos y problemas renales (OMS, 2024). El mercurio también puede afectar el sistema cardiovascular, aumentando el riesgo de hipertensión y enfermedades cardíacas.

Se registraron 06 estudios realizados en Madre de Dios, uno reporta que en la ciudad de Puerto Maldonado, se encontró que el 78 % de los adultos presentaron una concentración promedio de mercurio en cabello tres veces superior al límite de referencia de la Agencia de Protección Ambiental de EE. UU (1mg/kg Hg), abajo de este nivel es poco probable de encontrar efectos negativos en la salud.

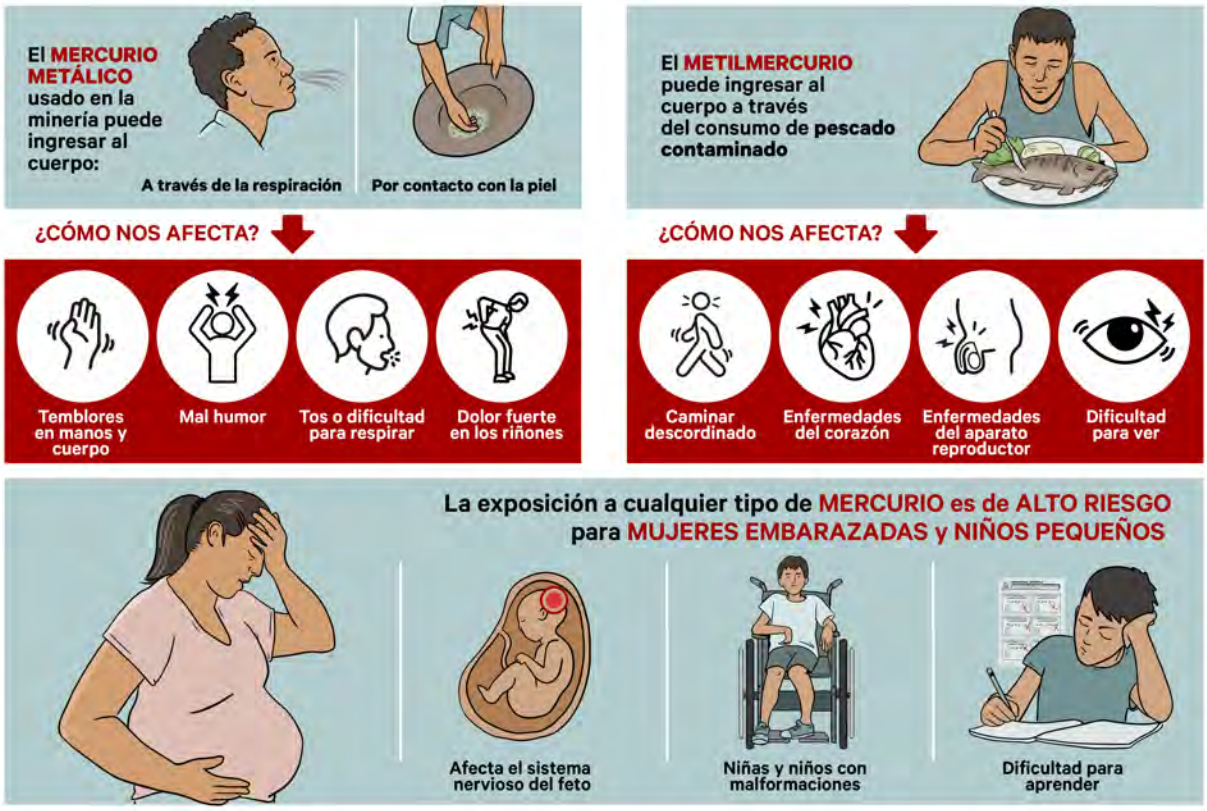


Fig.6. Vías de exposición al mercurio y efectos negativos en la salud de las comunidades. Fuente: CINCIA

Además, se reportó que las mujeres en edad fértil presentaron los niveles promedio de mercurio más elevados, lo que las coloca en una posición muy vulnerable y de alto riesgo para el feto en caso de embarazo. Esto se debe a que el mercurio puede atravesar la placenta y transferirse al feto, causando daños neurológicos severos y permanentes (CAMEP, 2013). Por otro lado, dos investigaciones a lo largo de la carretera interoceánica mostraron que las comunidades cercanas a la actividad MAPE presentaban niveles de mercurio en el cabello significativamente más altos en comparación con aquellas más alejadas (Ashe, 2012; Feingold et al., 2020). En el estudio de Feingold se encontró que aproximadamente el 37% de los participantes tenía niveles elevados de mercurio en el cabello. El consumo de pescado, especialmente de alto nivel trófico, estuvo asociado con mayores concentraciones de mercurio, particularmente en áreas afectadas por la MAPE.

En zonas con reconocida actividad MAPE como Huepetuhe, se reporta que la exposición al mercurio está vinculada con problemas neurológicos y cognitivos en niños y adultos (Reuben et al., 2020). Además, otro estudio en la misma zona que evaluó orina como marcador de exposición ocupacional, encontró altas concentraciones de mercurio en personas que trabajan quemando amalgamas (aleación oro - mercurio). La mitad de los participantes reportó síntomas asociados a la exposición con mercurio como dolor de cabeza, cambios de humor, debilidad muscular, pérdida de memoria y problemas hepáticos especialmente en aquellos que trabajan quemando amalgama. El estudio señala que se debe a que el 80% de los vapores de mercurio inhalados pueden ser absorbidos por el cuerpo (Yard et al., 2012).

La exposición al mercurio, también ha sido estudiada en comunidades nativas, debido a que tienen como principal fuente de proteína el consumo de pescado, la cual es una práctica común en poblaciones indígenas amazónicas. Un estudio realizado alrededor de la Reserva Comunal Amarakaeri comparó comunidades nativas y no nativas, encontrando que las primeras presentaban concentraciones más altas de mercurio en sus organismos y una mayor prevalencia de hipertensión (Manidis & Pan, 2019). En una investigación realizada en comunidades nativas del Parque Nacional del Manu, se observó una asociación positiva entre la exposición de mercurio y afectaciones en la memoria, capacidad de lenguaje y función ejecutiva del cerebro, se reportó que la comunidad Maizal presenta las concentraciones más altas de mercurio, donde se ha observado indígenas con concentraciones alrededor de los 50 mg/Kg. Además, se registró un promedio de mercurio elevado que supera hasta 12 veces el nivel de referencia de 2.2 mg/Kg establecido por la OMS (Vega et al., 2020), representando una exposición significativa y un posible riesgo para la salud.

Según lo observado, actividades como la MAPE aumenta el riesgo de exposición al mercurio en las poblaciones humanas y en el caso de las comunidades indígenas amazónicas, este riesgo puede ser aún mayor, ya que enfrentan una exposición elevada debido a su dieta, basada en el consumo frecuente de pescado, que a menudo es su principal fuente de proteína.

> “La MAPE aumenta el riesgo de exposición al mercurio en las poblaciones humanas, especialmente en las comunidades indígenas amazónicas. Su consumo frecuente de pescado como principal fuente de proteína amplifica este riesgo.

Fauna

El mercurio depositado en bosques y cuerpos de agua puede ser transformado a metilmercurio y bioacumulado en la fauna local. También, es biomagnificado en los tejidos de los organismos a lo largo de la cadena alimenticia, impactando tanto a la fauna acuática como terrestre. En cuerpos de agua, el mercurio contamina especies acuáticas que, al servir como alimento para animales terrestres, facilita la dispersión del metal a estos ecosistemas. Esto convierte a peces, y la fauna que lo consume (aves y murciélagos) en bioindicadores para evaluar la presencia y el impacto del mercurio en el ambiente debido a que estos reflejan la acumulación de mercurio biodisponible (principalmente metilmercurio).

La bioacumulación de mercurio en la fauna silvestre puede provocar efectos adversos neurológicos, conductuales, fisiológicos y reproductivos (Burgess & Meyer, 2008; Whitney & Cristol, 2015; Wolfe et al., 1998), lo que con el tiempo podría llevar a una reducción poblacional en especies como aves. Sin embargo, estos efectos han sido documentados principalmente en el hemisferio norte, y la información aún es limitada en el hemisferio sur, especialmente en regiones tropicales afectadas por la actividad MAPE. Los estudios sobre los efectos del mercurio en la fauna en estas áreas son escasos, lo que resalta la urgencia de investigar su impacto en la biodiversidad única de estas zonas.



1. Fauna acuática (peces)

Los peces son bioindicadores de contaminación por mercurio, ya que este se bioacumula en sus tejidos, aumentando su concentración a medida que ascienden en la cadena alimenticia. Las especies carnívoras, longevas y de gran tamaño suelen tener niveles elevados de mercurio, lo que puede afectar tanto a ellas como a los organismos que las consumen, incluido el ser humano. El mercurio en los peces se encuentra principalmente en forma de metilmercurio, que es la forma tóxica y bioacumulable del mercurio. Este compuesto afecta negativamente la salud de los peces, ya que la exposición al metilmercurio puede perjudicar el desarrollo gonadal, la producción de hormonas sexuales, la capacidad reproductiva y el comportamiento (Drevnick & Sandheinrich, 2006; Friedmann et al., 1996; Matta et al., 2001; Webber & Haines, 2003). Además, estudios indican que la bioacumulación de metilmercurio puede comprometer su capacidad reproductiva, alterando el medio acuático y afectando la biodiversidad y estabilidad de los hábitats (Scheuhammer et al., 2007).

En Madre de Dios se han realizado 09 estudios que evalúan las concentraciones de mercurio en peces en diferentes ríos, cochas, pozas mineras y centros de abastecimiento (mercados y piscigranjas). Entre los ríos evaluados se encuentra el Madre de Dios, donde se reportó concentraciones elevadas de mercurio en peces capturados en sectores afectados por MAPE, superando entre 2 y 3 veces los valores observados en sectores no afectados (Diringer et al., 2015)

> “Se reportaron concentraciones elevadas de mercurio en peces capturados en sectores afectados por minería de oro, superando de 2 a 3 veces los valores observados en sectores no afectados.

Además, otros estudios analizaron peces estudiados en el río Tambopata, Malinowski y Heath (Martinez et al., 2018; Moreno-Brush et al., 2016). Aunque las concentraciones más altas se registraron individualmente en el río Malinowski (más afectado por minería), no se encontraron diferencias significativas entre los valores de los tres ríos mencionados. Además, no fue posible hacer comparaciones claras entre los valores reportados en los estudios entre los diferentes ríos de Madre de Dios debido a diferencias en los tamaños y especies de peces reportados. Sin embargo, todos los estudios identificaron mayores concentraciones de mercurio en especies de niveles tróficos altos, evidenciando el proceso de biomagnificación. También, se reporta que las especies carnívoras y omnívoras como doncella, dorado, piraña, mota fina, mota punteada, marapate, toa, corvina y dentón excedieron la concentración de 0.5 mg/kg recomendado por la OMS para peces de consumo humano. Consecuentemente se recomienda el consumo de sábalo y chambira con una frecuencia de una vez por mes (Diringer et al., 2015).

Por otro lado, dos estudios evaluaron las concentraciones de mercurio en cochas naturales en sitios con y sin actividad MAPE y pozas mineras artificiales formadas por la actividad minera (Barocas et al., 2023; Vega et al., 2018). Ambos estudios reportaron que las concentraciones de mercurio son significativamente más elevadas en pozas mineras y en cochas con presencia de actividades MAPE que en cochas sin presencia de actividad minera.

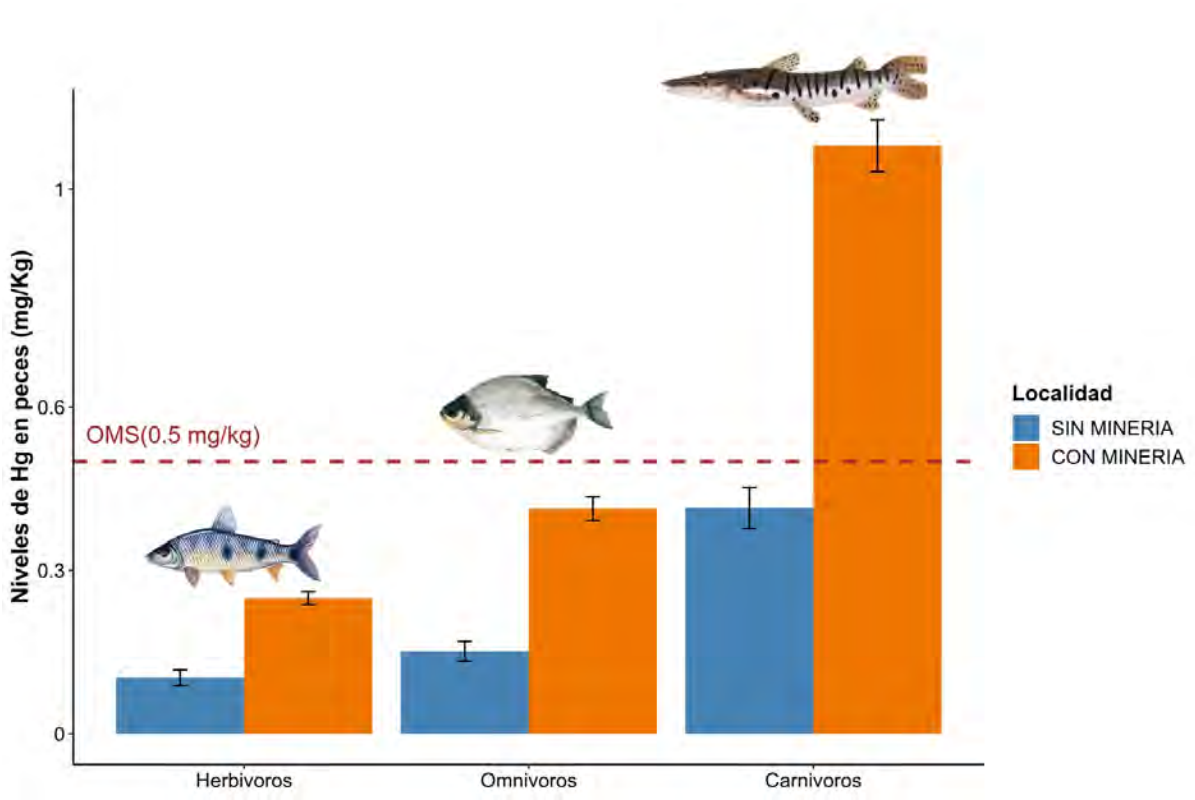


Fig.7. Concentraciones de mercurio en gremios alimenticios.
a) Herbivoros: Lisa b) Omnivoros: Palometa c) Carnívoros: Doncella

En general, los estudios en Madre de Dios reportan evidencia de que la actividad MAPE contribuye al incremento de la concentración de mercurio en peces. Esto no solo afecta a los peces, sino que también podría impactar a especies piscívoras de niveles tróficos superiores, como aves y murciélagos, así como a las comunidades humanas que dependen de estos recursos para su alimentación.

> “Los estudios en Madre de Dios muestran que la actividad MAPE incrementan la concentración de mercurio en los peces, afectando también a especies piscívoras y a las comunidades humanas que dependen de estos recursos.

Adicionalmente, dos estudios evaluaron niveles de mercurio en peces para consumo humano recolectados en mercados de Puerto Maldonado en diferentes años (Fernandez, 2013; Huaypara, 2020). Estos estudios reportan, las concentraciones más elevadas en los peces predadores como mota punteada, chambira y doncella. Finalmente, en 2014 se evaluaron los niveles de mercurio en peces de piscigranja de la especie *Piaractus brachypomus* “paco” (Langeland et al., 2017) donde los valores de mercurio encontrados (de 0.01 a 0.23 mg/Kg) presentaron concentraciones seguras para consumo humano según la OMS (por debajo de < 0 .5 mg/Kg). Paralelamente, también observamos que el consumo de peces de piscigranja puede representar una opción segura de consumo cuando los mismos son producidos de manera adecuada y lejos de fuente de contaminación.



Restos utilizados en campamento minero en Madre de Dios

2. Fauna terrestre

Especies clave en el medio terrestre, como aves y murciélagos están particularmente expuestas al mercurio debido a su consumo de insectos y otros animales que han sido contaminados con este metal. A largo plazo, esto puede afectar la fauna silvestre, comunidades y ecosistemas cercanos a cuerpos de agua contaminados.

a) Aves

Las aves son buenos bioindicadores de contaminación por mercurio debido a su amplia distribución, longevidad y posición en la cadena trófica. Esto las convierte en valiosas herramientas para monitorear la salud ambiental en áreas vulnerables por prácticas de minería.

La exposición al mercurio afecta gravemente a las aves, suprimiendo el sistema inmunológico y aumentando la agresividad en especies territoriales, lo que dificulta la interacción social y el acceso a recursos (Parra, 2014). También altera la regulación hormonal, reduciendo el éxito reproductivo con nidadas más pequeñas y menos huevos (Bouland et al., 2012), y provoca cascarones más delgados y daños en los embriones (Wolfe et al., 1998). En términos de comportamiento, disminuye la frecuencia de anidación, afecta el cuidado parental y genera comportamientos atípicos, como parejas del mismo sexo (Frederick & Jayasena, 2011), lo que puede impactar negativamente en el éxito reproductivo de sus poblaciones. Además, daña el sistema nervioso, afectando la coordinación y habilidades esenciales para la supervivencia.

En 04 estudios realizados en Madre de Dios, se ha evaluado concentraciones de mercurio en aves de áreas impactadas por MAPE y se encontró que pueden ser de 2 a 5 veces más altas que en áreas no impactadas demostrando que la minería tiene una fuerte influencia en las concentraciones de mercurio en aves (Gerson et al., 2022; Pisconte et al., 2024; Sayers et al., 2023; Shrum, 2009). Adicionalmente, se reportó que las aves de gremios alimenticios de mayor nivel trófico, como insectívoros y piscívoros, están más expuestas al mercurio, principalmente en ambientes impactados por la minería. Esto se debe al proceso de biomagnificación, en el que los contaminantes se concentran progresivamente en los organismos a medida que se asciende en la cadena trófica.

Se encontró que las concentraciones de mercurio en plumas de las aves fueron más de cuatro veces mayor en sitios afectados por minería artesanal de oro (MAPE) en comparación con otros lugares del Neotrópico (Sayers et al., 2023). Las concentraciones más altas se registraron en especies piscívoras como los martines pescadores, alcanzando un récord para la concentración más alta de mercurio en plumas de aves en Sudamérica. La especie *Chloroceryle americana* alcanzó 72 mg/kg, el valor más alto reportado para aves en el neotrópico, lo que podría explicarse en su dieta basada principalmente en pescado proveniente de cuerpos de agua contaminados (Pisconte et al., 2024). Resultados de otro estudio, indican que el consumo de casi el 50% de los peces reportados en sitios con minería podrían ocasionar un deterioro reproductivo en aves piscívoras pequeñas y medianas. Considerando que aproximadamente el 45% de las especies de aves peruanas se encuentran en Madre de Dios, es necesario prestar atención al posible riesgo ecotoxicológico que asumen las aves piscívoras de áreas impactadas por la minería (García V. et al., 2023).

Por otro lado, resultados para aves carnívoras, como las lechuzas, no mostraron concentraciones elevadas debido a su dieta basada en ratones (que no acumulan grandes cantidades de mercurio), un estudio adicional en rapaces encontró que *Micrastur ruficollis*, una especie carnívora, presentó concentraciones de hasta 10 mg/kg (Shrum, 2009).

Además, aves insectívoras mostraron también una alta vulnerabilidad, especialmente especies como *Oneillornis salvini* y *Phlegopsis nigromaculata*, que siguen a las hormigas legionarias (depredadoras), lo que aumenta su exposición al mercurio. Se encontró que el 32 % de las especies insectívoras en áreas afectadas por MAPE superaron el umbral crítico, lo que podría reducir su éxito reproductivo en un 10 %. La alta abundancia de este grupo y sus elevados niveles de mercurio refuerzan su potencial como bioindicadores de contaminación.

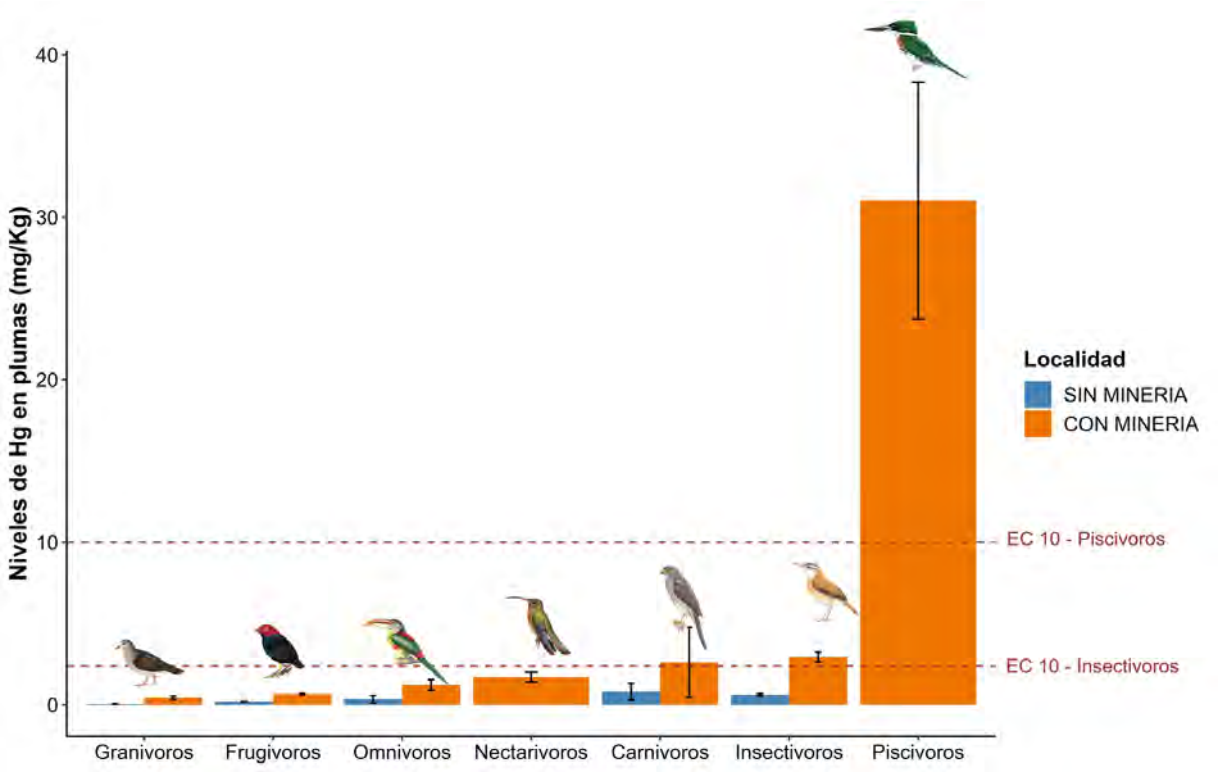


Fig.8. Concentraciones de mercurio en gremios alimenticios. a) Granivoros: *Leptotila rufaxilla* b) Frugivoros: *Ceratopipra chloromeros* c) Omnivoros: *Pteroglossus inscriptus* d) Nectarivoros: *Threnetes leucurus* e) Carnivoros: *Micrastur ruficollis* f) Insectivoros: *Furnarius leucopus* g) Piscivoros: *Chloroceryle americana*

Estos hallazgos subrayan la necesidad urgente de evaluar las consecuencias de la actividad MAPE, especialmente en regiones como Madre de Dios, que alberga aproximadamente el 44% de las especies de aves de Perú. Los altos niveles de mercurio reportado en aves de áreas mineras podrían reducir las poblaciones de grupos vulnerables (piscívoros, carnívoros e insectívoros) y alterar funciones ecológicas clave, como el control de insectos y la dispersión de semillas.

b) Murciélagos

Su amplio rango de posiciones en la cadena trófica, basado en una variada dieta (insectos, frutas, néctar) y su longevidad son características de los murciélagos que los convierten en buenos bioindicadores de contaminación. En áreas mineras y contaminadas por mercurio, los murciélagos que se alimentan de insectos acuáticos o terrestres, al igual que las aves tambien pueden acumular niveles más elevados de mercurio en sus tejidos, lo que refleja los niveles de contaminación ambiental en la región.

El impacto del mercurio en los murciélagos es especialmente preocupante debido a su papel ecológico como controladores biológicos, polinizadores y dispersores de semillas. La bioacumulación de este contaminante en su organismo podría tener consecuencias ecológicas en cadena. Además, el mercurio puede afectar varias funciones biológicas críticas, reportando que concentraciones superiores a 10 mg/kg pueden causar desordenes neuroconductuales en pequeños mamíferos (Burton et al., 1977), afectando su capacidad para volar y buscar alimento, lo cual es vital para su supervivencia. También puede afectar el sistema inmunológico (Nam et al., 2012) y provocar daños en el material genético, lo que puede comprometer funcionamiento y producción de energía en los murciélagos (Beckers & Rinklebe, 2017).



Evaluación de murciélago en la Reserva Nacional Tambopata en el año 2019

En Madre de Dios, existen 3 estudios (Carrasco-Rueda et al., 2020; Moreno-Brush et al., 2018; Portillo et al., 2023) que evalúan el mercurio en murciélagos y reportan tendencias similares a los estudios en aves. Estos estudios confirman que la MAPE incrementa el riesgo de exposición al mercurio en la fauna silvestre, y además demuestra que los murciélagos acumulan este metal principalmente a través de su dieta. Además, dado que tienen áreas de desplazamiento restringido a su actividad de descanso y alimentación, su exposición a este metal refleja el proceso de bioacumulación local (Portillo et al., 2023). *Rhynchonycteris naso* es la especie de insectívoros que reportó las concentraciones de mercurio más altas (117 mg/kg) de ambos estudios encontrada en lugares con MAPE. Además, las concentraciones medidas en piscívoros e insectívoros superaron >10 mg/kg, valor umbral de toxicidad a partir del cual se han descrito efectos neurológicos adversos en pequeños mamíferos (Burton et al., 1977; Nam et al., 2012).

En conclusión, los estudios realizados en Madre de Dios sobre la acumulación de mercurio en murciélagos confirman que la MAPE representa una fuente significativa de contaminación afectando a estos mamíferos de manera similar a las aves. Dado que las concentraciones de mercurio registradas en algunos individuos superan los niveles considerados tóxicos (>10 mg/kg), es preocupante el potencial impacto sobre su comportamiento, capacidad de vuelo, alimentación y reproducción, lo que podría derivar en una reducción de sus poblaciones en el tiempo.

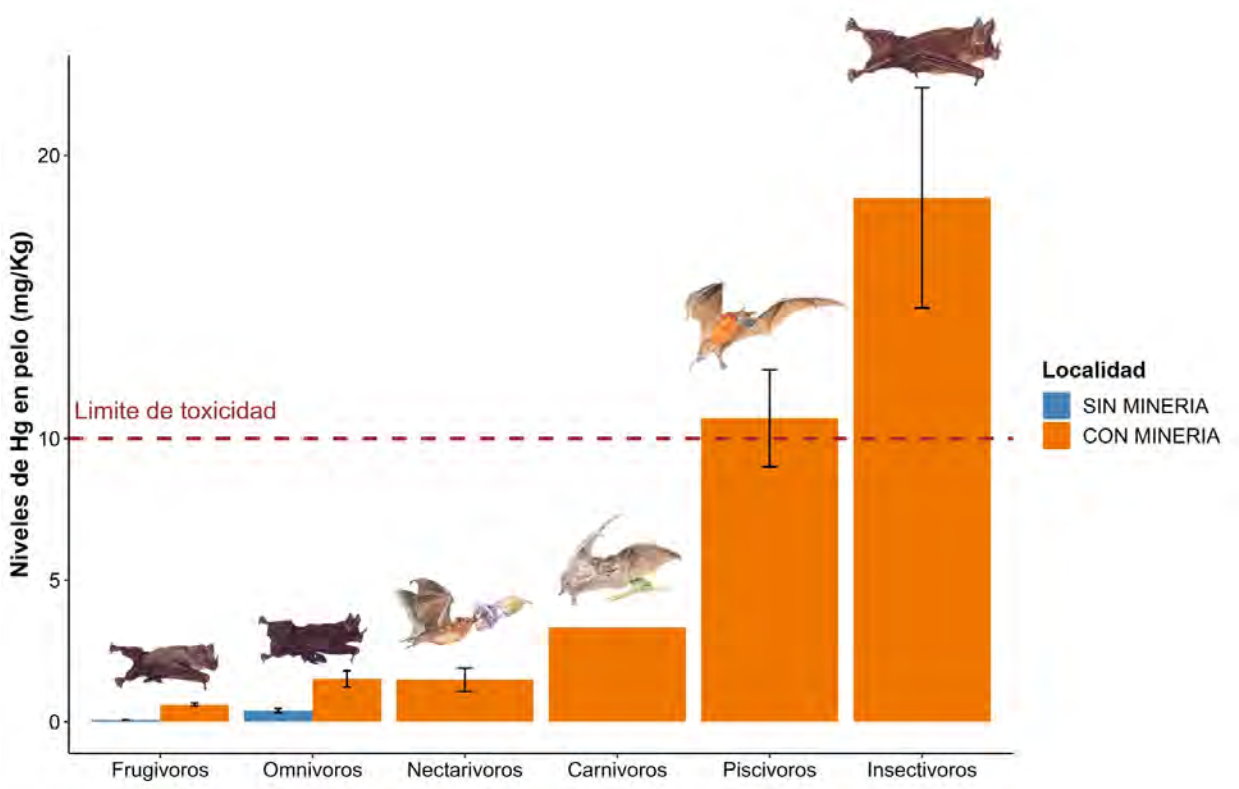


Fig.9. Concentraciones de mercurio en gremios alimenticios. a) Frugivoros: *Artibeus sp*. b) Omnivoros: *Phyllostomus sp* c) Nectarivoros: *Glossophaga soricina* d) Carnivoros: *Trachops cirrhosus* e) Piscivoros: *Noctilio sp*. f) Insectivoros: *Eptesicus furinalis*

Conclusiones

- **En Madre de Dios, comunidades enteras y ecosistemas frágiles enfrentan una amenaza persistente: la contaminación por mercurio proveniente de la Minería Artesanal y de Pequeña Escala (MAPE), debido a las malas prácticas asociadas a su realización ilegal**. Esta actividad ha generado concentraciones elevadas de mercurio en el ambiente y en las poblaciones cercanas, exponiéndolas a riesgos significativos. La contaminación por mercurio no solo impacta los ecosistemas, sino que también representa una amenaza directa para la salud humana, especialmente en personas que consumen peces o están expuestas de forma constante. Este riesgo se incrementa en contextos de minería ilegal, donde el uso del mercurio carece de controles ambientales, favoreciendo su dispersión en distintos componentes del ecosistema. En contraste, las actividades mineras formalizadas o en proceso pueden estar sujetas a ciertos mecanismos de regulación que contribuyen a mitigar parcialmente su impacto.

- **Las tiendas de oro representan una fuente significativa de emisiones de mercurio, evidenciando el impacto de la MAPE en la contaminación del aire**. Esta actividad ha sido identificada como la principal responsable de la contaminación atmosférica por mercurio en la región, llegando a aportar hasta el 93□% con origen en centros poblados donde operan estos establecimientos. En áreas con alta intensidad minera, se han registrado concentraciones ambientales más elevadas de mercurio, lo que representa un riesgo para la salud tanto de los trabajadores como de las comunidades cercanas.
  A pesar de su impacto desproporcionado, las tiendas de oro continúan operando con escasa regulación ambiental, sin estándares específicos de emisión ni monitoreo continuo. Abordar esta brecha normativa es fundamental para reducir la exposición urbana al mercurio y salvaguardar la salud pública.

- **La exposición alimentaria representa una de las vías más persistentes de contacto con el mercurio**. El pescado es una de las principales fuentes de exposición alimentaria al mercurio en muchas comunidades amazónicas, especialmente en aquellas indígenas y rurales. Para mitigar la exposición al mercurio, es fundamental desarrollar y difundir recomendaciones de consumo adaptadas a cada público. Estas estrategias deben enfocarse en mejorar la comprensión del problema y fomentar hábitos de consumo más seguros.

- **Grupos vulnerables, como mujeres embarazadas, niños y las comunidades indígenas que habitan áreas remotas, se encuentran expuestos al mercurio a través del consumo de pescado contaminado, un recurso alimenticio vital en la región**. Esto sugiere una dispersión más amplia del mercurio en el ambiente, alcanzando a comunidades remotas a través del consumo de alimentos contaminados y la exposición prolongada a fuentes indirectas. Las poblaciones indígenas se encuentran entre los grupos más vulnerables, ya que dependen del

pescado como fuente principal de proteína. Esta situación afecta de forma particular a mujeres embarazadas y niños, quienes son más sensibles a los efectos del mercurio. La exposición continua a este contaminante puede causar efectos neurológicos, inmunológicos y reproductivos, especialmente en etapas sensibles como la infancia y el embarazo, representando una amenaza significativa para la salud pública y la seguridad alimentaria de las comunidades amazónicas.

- **La biodiversidad de Madre de Dios está expuesta a la contaminación por mercurio, especialmente en áreas afectadas por la MAPE**. Estudios han reportado que aves y murciélagos en estas áreas presentan algunas de las concentraciones de mercurio más altas registradas en Sudamérica. Estos niveles podrían estar asociados con una reducción de hasta un 40 % en el éxito reproductivo de aves piscívoras, así como con alteraciones neuroconductuales en murciélagos, lo que evidencia el impacto potencial de esta contaminación en la salud y viabilidad de la fauna silvestre.

- **La información recopilada durante más de una década, documenta una amenaza latente con potenciales consecuencias de gran magnitud para las poblaciones expuestas**. Esta situación exige una respuesta articulada y urgente por parte del Estado, la comunidad científica y los actores territoriales, orientada a mitigar los impactos del mercurio, prevenir daños irreversibles y promover una gestión más responsable y sostenible de los territorios afectados.



Vista de campamento minero en La Pampa – Madre de Dios

Recomendaciones

La contaminación por mercurio derivada de la MAPE en Madre de Dios representa una grave amenaza y persistente para la salud pública y los ecosistemas amazónicos. Los hallazgos de este informe reafirman la urgencia de enfrentar esta problemática, que continúa a pesar de esfuerzos normativos como la ratificación del Convenio de Minamata por parte del Perú. No obstante, aún existen desafíos en la reducción de emisiones y en la mitigación de sus impactos.

Como país signatario del Convenio de Minamata y del Acuerdo de Escazú, el Perú tiene el deber de actuar frente a esta problemática, promoviendo medidas que garanticen una gestión ambiental más transparente y responsable.
En ese marco, las siguientes recomendaciones se orientan a fortalecer la capacidad institucional del Estado, salvaguardar a las poblaciones más vulnerables y promover una transición hacia una minería libre de mercurio:

Fortalecimiento de la regulación, fiscalización y monitoreo

Para reducir la contaminación por mercurio, es necesario establecer normativas específicas que regulen su uso y comercialización en la Minería Artesanal y de Pequeña Escala (MAPE). Siguiendo el ejemplo de países como Ecuador y Colombia, estas regulaciones deben orientarse hacia la reducción progresiva del mercurio hasta su eliminación definitiva. Estas normativas deben complementarse con acciones específicas, como restringir el acceso y distribución del mercurio, establecer un sistema de registro y seguimiento regional de fuentes de emisión, fortalecer la fiscalización a los establecimientos de compra y venta de oro.

Se requiere una regulación más clara y estricta sobre el funcionamiento de los establecimientos de compra y venta de oro, muchos de los cuales incluyen la quema de amalgamas con mercurio en zonas urbanas y sin control, representan una fuente importante de emisiones atmosféricas en la región, y generan riesgos significativos para la salud pública. Las autoridades competentes deben asegurar que estos establecimientos funcionen bajo licencias ambientales que incluyan medidas de control de emisiones de mercurio y condiciones de seguridad laboral, con inspecciones periódicas para verificar su cumplimiento.

Para enfrentar la contaminación por mercurio, se propone implementar un sistema de monitoreo ambiental en tiempo real en zonas de alto riesgo como Laberinto, Mazuko y Puerto Maldonado, donde se han reportado altas emisiones por la quema de amalgama en tiendas de oro. Este sistema debe incluir aire, agua, suelo y biota, ser de acceso público y actualizarse con regularidad para informar a la población y facilitar decisiones basadas en evidencia. También es clave impulsar la investigación científica sobre los efectos del mercurio en la biodiversidad y la salud humana, de modo que sus resultados orienten estrategias de mitigación más

efectivas. La ejecución de estas acciones debe contar con la participación del MINAM, OEFA, MINEM (a través de las DREMEH) y los gobiernos regionales.

Fortalecimiento de la formalización minera mediante una normativa adaptada al contexto

La formalización de los mineros artesanales es clave para mejorar la sostenibilidad del sector y reducir sus impactos ambientales y sociales. No obstante, este proceso debe ir más allá del cumplimiento administrativo, incorporando estándares ambientales claros, asistencia técnica y un control efectivo del uso de mercurio. La formalización debe comprender una gestión integral de las concesiones mineras, que contemple desde la fase de exploración hasta el cierre y post-cierre de operaciones, con un enfoque preventivo y de mitigación de impactos.

Las normativas deben considerar un adecuado proceso de cierre de minas, enfocado especialmente en regiones amazónicas, donde la recuperación de los ecosistemas es más compleja y la aplicación de mecanismos de remediación de contaminantes todavía no está bien entendida. El cierre de minas debe incluir la restauración de áreas degradadas, asegurando que las zonas de extracción no queden en estado de abandono. Este enfoque de gestión no solo contribuye a mitigar los impactos en la biodiversidad y la salud pública, sino que también fomenta prácticas más responsables dentro del sector, alineándose con estrategias sostenibles de desarrollo en la Amazonía.

Además, la formalización debe incluir estrategias específicas para mejorar las condiciones laborales de los mineros artesanales, quienes enfrentan una continua exposición al mercurio, especialmente en actividades como la amalgamación y la quema del oro. También se vuelve importante su acceso a seguridad social, derechos laborales y mercados formales diferenciados para la comercialización de oro responsable. De esta manera, la minería artesanal puede evolucionar hacia un modelo más responsable, alineado con los principios de sostenibilidad y conservación ambiental.

Promoción de la minería responsable a través de buenas prácticas mineras mediante la implementación tecnologías limpias y alternativas al uso del mercurio

Entre las tecnologías limpias disponibles, destacan las mesas gravimétricas, que permiten recuperar el oro sin recurrir al uso de mercurio. Estas herramientas representan una alternativa viable para su reducción progresiva, pero su adopción efectiva depende del fortalecimiento de las capacidades locales, especialmente en contextos amazónicos donde las condiciones operativas pueden representar un gran reto para su implementación y sostenibilidad a largo plazo.

El Estado debe asumir un rol activo en la promoción e implementación de estas tecnologías limpias, no solo a través del establecimiento de normativas claras, sino también mediante el acompañamiento técnico, la capacitación continua y la creación de condiciones adecuadas para su uso sostenido en el tiempo.

Para facilitar esta transición, se recomienda la implementación de pilotos regionales, promovidos mediante alianzas público-privadas, que permitan validar, adaptar y escalar estas tecnologías en contextos específicos. Asimismo, se propone aprovechar o fortalecer infraestructuras existentes en la región, como centros de formación técnica o estaciones experimentales, para convertirlos en espacios de demostración y capacitación práctica. Estos espacios pueden contribuir al intercambio de experiencias, la articulación con actores locales y la construcción de redes que impulsen una minería más responsable y ambientalmente segura.
Adicionalmente, se sugiere establecer incentivos económicos y tributarios que reduzcan las barreras de acceso a estas tecnologías. Asimismo, se podrían otorgar beneficios diferenciados en los procesos de formalización para aquellos mineros que opten por abandonar el uso de mercurio, promoviendo así una transición más justa y efectiva hacia una minería responsable y sostenible.



Mesa gravimétrica utilizada en la extracción de oro sin mercurio

Implementación de un sistema de comercio responsable para el oro libre de mercurio

En Madre de Dios, uno de los principales desafíos para consolidar una minería sin mercurio es la falta de incentivos comerciales que valoren el oro obtenido mediante prácticas limpias y provenientes de operaciones legalmente constituidas. A pesar de los esfuerzos por promover tecnologías alternativas, la ausencia de un mercado diferenciado limita su adopción a mayor escala.

Para revertir esta situación, se propone implementar un sistema de comercio responsable para el oro libre de mercurio y de origen legal, que reconozca su valor ambiental y lo promueva en el mercado bajo

condiciones más justas. Este sistema debe incluir incentivos económicos y tributarios diferenciados para los mineros que adopten tecnologías limpias, integrando estos requisitos dentro del proceso de formalización.

Además, se recomienda desarrollar programas de capacitación dirigidos tanto a mineros como a tiendas de compra y venta de oro, para asegurar que comprendan y se adecuen al manejo de un nuevo producto: el oro sin mercurio. Este producto debe estar respaldado por un mecanismo de trazabilidad robusto y verificable, diseñado por las autoridades competentes, que asegure el cumplimiento de criterios mínimos como la formalidad del productor, la verificación en campo mediante visitas inopinadas para confirmar el uso efectivo de tecnologías limpias en su concesión, y, de ser posible, el respaldo con análisis físico-químicos complementarios del oro comercializado. Estas medidas contribuirían a garantizar la transparencia del proceso y a diferenciar en el mercado el oro libre de mercurio producido bajo condiciones legales, promoviendo una minería responsable.

Madre de Dios debe ser considerada una región prioritaria para implementar este tipo de sistemas de comercio responsable, dado el nivel de afectación ambiental que presenta y la concentración de actividad minera en su territorio. La experiencia en esta región podría servir de referencia para replicar estos esquemas en otras zonas amazónicas donde la MAPE está en proceso de expansión.

Salud y el bienestar de las poblaciones vulnerables

La contaminación por mercurio representa un riesgo significativo para la salud de la población, afectando tanto a los propios trabajadores mineros como a comunidades urbanas, rurales e indígenas. El impacto es particularmente severo en grupos vulnerables como mujeres embarazadas y niños, quienes son más sensibles a los efectos neurotóxicos, inmunológicos y reproductivos del mercurio.

En regiones amazónicas con actividad minera, se recomienda que el Ministerio de Salud (MINSA) desarrolle e implemente protocolos específicos de atención médica para personas expuestas al mercurio, previa identificación de las rutas de exposición y considerando las condiciones socioambientales de cada territorio. Además, se propone realizar evaluaciones periódicas de salud en comunidades vulnerables, con el objetivo de detectar de forma oportuna posibles efectos asociados a la exposición y aplicar medidas preventivas eficaces.

Dado que el pescado es la principal fuente de proteína animal para muchas poblaciones amazónicas, es clave una coordinación multisectorial entre los ministerios de Salud, Producción, Desarrollo Agrario e Inclusión Social para diseñar estrategias que garanticen una alimentación segura frente al riesgo por mercurio. Entre ellas, se propone elaborar y difundir una guía de consumo de pescado adaptada a distintos públicos, que informe sobre las especies más seguras, y sobre las cantidades recomendadas de consumo. La guía debe incluir estrategias de difusión adaptadas a distintos públicos: en las ciudades, puede distribuirse en supermercados y en puestos de venta de pescado en mercados locales, mientras que en comunidades rurales e indígenas, debe presentarse mediante materiales culturalmente apropiados y en lenguas locales, para facilitar su comprensión y aplicación.

Asimismo, resulta relevante fomentar la piscicultura en zonas no contaminadas como una medida complementaria para reducir la exposición al mercurio. Esta práctica puede contribuir a diversificar las fuentes de proteína y disminuir la dependencia del pescado capturado en ambientes contaminados, fortaleciendo así la seguridad alimentaria en poblaciones vulnerables.



Evaluación de salud de comunidad Machiguenga ubicada al sureste de la cuenca amazónica de Perú, en los departamentos de Cusco y Madre de Dios.

Fortalecimiento de la participación de comunidades indígenas y locales

Es clave asegurar la participación activa de las comunidades indígenas y locales en las decisiones relacionadas con actividades mineras que afecten sus territorios. Esto implica respetar su derecho a la consulta previa, así como garantizar que sus demandas y preocupaciones sean tenidas en cuenta en los procesos de toma de decisiones, especialmente en contextos donde han ocurrido invasiones o se han otorgado concesiones mineras sin su consentimiento (InfoRegión, 2024).

Además, es fundamental reconocer que estas poblaciones cumplen un rol estratégico en la vigilancia de sus territorios, ya que pueden contribuir a la detección temprana de actividades contaminantes y generar alertas que permitan una respuesta oportuna por parte de las autoridades competentes. Incluirlas en sistemas de monitoreo ambiental participativo no solo fortalecería la vigilancia territorial, sino que también permitiría salvaguardar sus vidas, al reducir su exposición a contextos peligrosos derivados de la minería ilegal.

Por ello, se recomienda fomentar su participación activa en la formulación e implementación de políticas públicas, así como fortalecer sus capacidades técnicas y organizativas. Esto contribuirá a empoderar a las comunidades como actores clave en la defensa de sus territorios y en la construcción de una gobernanza ambiental más justa e inclusiva.



Red Regional de Mujeres de la MAPE Responsable de Madre de Dios

Coordinación multisectorial

Para enfrentar la minería ilegal y reducir la contaminación por mercurio, es fundamental fortalecer la coordinación interinstitucional y multisectorial, ya que esto permite impulsar políticas, planes y programas más eficaces. Una articulación sólida entre sectores facilita la definición de estrategias claras, el establecimiento de objetivos concretos, así como la asignación de indicadores, metas y presupuestos para una mejor gestión de esta problemática.

En este marco, se recomienda la creación de una Mesa Técnica Interinstitucional sobre Mercurio, bajo el liderazgo de la Presidencia del Consejo de Ministros (PCM) o del Ministerio del Ambiente (MINAM), que articule esfuerzos entre instituciones nacionales, regionales y locales. Esta instancia debe incorporar mecanismos de participación ciudadana y rendición de cuentas, asegurando la transparencia y legitimidad del proceso.

La presencia del Estado en las zonas más afectadas debe ir más allá de la erradicación de la minería ilegal, integrando acciones de recuperación ambiental y promoviendo alternativas económicas sostenibles para las comunidades que dependen de esta actividad. En este contexto, la creación de alianzas estratégicas entre el sector público, la sociedad civil, la academia y el sector privado resulta clave para fortalecer la investigación, mejorar el monitoreo ambiental y fomentar el desarrollo de actividades de minería responsables.

Un enfoque integral que incorpore el monitoreo de la salud pública, la seguridad alimentaria, el control de fuentes de contaminación, el fortalecimiento de capacidades locales y la participación activa de las comunidades es esencial para reducir la exposición al mercurio y proteger a las poblaciones amazónicas vulnerables.

VII. Bibliografía

Arana, M., & Montoya, P. (2017). Reporte de Inventario: Estimaciones de referencia del uso y consumo de mercurio en la minería de oro artesanal y de pequeña escala en Perú. In Artisanal Gold Council.

Ashe, K. (2012). Elevated mercury concentrations in humans of madre de dios, Peru. PLoS ONE, 7(3), 1–6. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0033305

Barocas, A., Vega, C., Alarcon, A., Araujo, J. M., Fernandez, L., Groenendijk, J., Pisconte, J., Macdonald, D. W., & Swaisgood, R. R. (2023). Local intensity of artisanal gold mining drives mercury accumulation in neotropical oxbow lake fi shes. Science of the Total Environment, 886(April), 164024. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.164024

Becerra-Lira, E., Rodriguez-Achata, L., Muñoz Ushñahua, A., Corvera Gomringer, R., Thomas, E., Garate-Quispe, J., Hilares Vargas, L., Nascimento Herbay, P. R., Gamarra Miranda, L. A., Umpiérrez, E., Guerrero Barrantes, A., Pillaca, M., Cusi Auca, E., Peña Valdeiglesias, J., Russo, R., Del Castillo Torres, D., & Velasquez Ramirez, M. G. (2024). Spatio-temporal trends of mercury levels in alluvial gold mining spoils areas monitored between rainy and dry seasons in the Peruvian Amazon. 245(September 2023). https://doi.org/10.1016/j.envres.2023.118073

Beckers, F., & Rinklebe, J. (2017). Cycling of mercury in the environment: Sources, fate, and human health implications: A review. Critical Reviews in Environmental Science and Technology, 47(9), 693–794. https://doi.org/10.1080/10643389.2017.1326277

Bouland, A. J., White, A. E., Lonabaugh, K. P., Varian-Ramos, C. W., & Cristol, D. A. (2012). Female-biased offspring sex ratios in birds at a mercury-contaminated river. Journal of Avian Biology, 43(3), 244–251. https://doi.org/10.1111/j.1600-048X.2012.05612.x

Burgess, N. M., & Meyer, M. W. (2008). Methylmercury exposure associated with reduced productivity in common loons. Ecotoxicology, 17(2), 83–91. https://doi.org/10.1007/s10646-007-0167-8

Burton, G. V., Alley, R. J., Rasmussen, G. L., Orton, P., Cox, V., Jones, P., & Graff, D. (1977). Mercury and behavior in wild mouse populations. Environmental Research, 14(1), 30–34. https://doi.org/10.1016/0013-9351(77)90063-9

Caballero, J., Messinger, M., Román-Dañobeytia, F., Ascorra, C., Fernandez, L. E., & Silman, M. (2018). Deforestation and forest degradation due to gold mining in the Peruvian Amazon: A 34-year perspective. Remote Sensing, 10(12). https://doi.org/10.3390/rs10121903

CAMEP. (2013). Mercury concentratios in fish and humans in Puerto Maldonado. 0–1.

Carrasco-Rueda, F., Loiselle, B. A., & Frederick, P. C. (2020). Mercury bioaccumulation in tropical bats from a region of active artisanal and small-scale gold mining. Ecotoxicology. https://doi.org/10.1007/s10646-020-02195-3

Clarkson, T. W. (1997). The toxicology of mercury. Critical Reviews in Clinical Laboratory Sciences, 34(3), 369–403. https://doi.org/10.3109/10408369708996351

Crespo-Lopez, M. E., Augusto-Oliveira, M., Lopes-Araújo, A., Santos-Sacramento, L., Yuki Takeda, P., Macchi, B. de M., do Nascimento, J. L. M., Maia, C. S. F., Lima, R. R., & Arrifano, G. P. (2021). Mercury: What can we learn from the Amazon? Environment International, 146(January). https://doi.org/10.1016/j.envint.2020.106223

Diringer, S. E., Feingold, B. J., Ortiz, E. J., Gallis, J. A., Araujo-Flores, J. M., Berky, A., Pan, W. K. Y., & Hsu-Kim, H. (2015). River transport of mercury from artisanal and small-scale gold mining and risks for dietary mercury exposure in Madre de Dios, Peru. The Royal Society of Chemistry, 0. https://doi.org/10.1039/C4EM00567H

Drevnick, P. E., & Sandheinrich, M. B. (2006). Effects of dietary methylmercury on reproductive behavior of fathead minnows (Pimephales promelas). Environmental Toxicology and Chemistry, 25(11), 3053–3057. https://doi.org/10.1897/05-641R.1

Estrada, Y., Guerrero, L., Sisniegas, P., Valdivia, G., Vega, C. M., Fernandez, L. E., & Moreno-Brush, M. (2023). Distribución y transporte del mercurio en la cuenca Madre de Dios , Amazonía peruana : influencia de los sedimentos y la hidrodinámica. Proyecto River Mining (PEER 8-235).

Feingold, B. J., Berky, A., Hsu-Kim, H., Rojas Jurado, E., & Pan, W. K. (2020). Population-based dietary exposure to mercury through fish consumption in the Southern Peruvian Amazon. Environmental Research, 183(September 2019), 108720. https://doi.org/10.1016/j.envres.2019.108720

Fernandez, L. (2013). El mercurio en madre de dios: Concentraciones de mercurio en peces y seres humanos en Puerto Maldonado. Carnegie Institution for Science, February, 1–4.

Finer, M., & Mamani, N. (2018). Hotspots de Deforestación del 2018 en la Amazonía Peruana. MAAP, 98. https://maaproject.org

Finer, M., Novoa, S., & Garcia, R. (2017). El Papa visitará Madre de Dios, región con una crisis de deforestación". MAAP, 75.

Frederick, P., & Jayasena, N. (2011). Altered pairing behaviour and reproductive success in white ibises exposed to environmentally relevant concentrations of methylmercury. Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences, 278(1713), 1851–1857. https://doi.org/10.1098/rspb.2010.2189

Friedmann, A. S., Watzin, M. C., Brinck-Johnsen, T., & Leiter, J. C. (1996). Low levels of dietary methylmercury inhibit growth and gonadal development in juvenile walleye (Stizostedion vitreum). Aquatic Toxicology, 35(3–4), 265–278. https://doi.org/10.1016/0166-445X(96)00796-5

Fritz, M., McQuilken, J., Collins, N., & Weldegiorgis, F. (2017). Global trends in Artisanal and Small-Scale Mining (ASGM): A review of key numbers and issues.

García V., M. P., Vega R., C. M., Fernandez, L. E., Araujo-Flores, J., & Moreno-Brush, M. (2023). Mercurio en peces y el riesgo ecotoxicológico para peces y aves piscívoras de Madre de Dios , Amazonía peruana. Proyecto River Mining (PEER 8-235), 16.

Gerson, J. R., Szponar, N., Zambrano, A. A., Bergquist, B., Broadbent, E., Driscoll, C. T., Erkenswick, G., Evers, D. C., Fernandez, L. E., Hsu-Kim, H., Inga, G., Lansdale, K. N., Marchese, M. J., Martinez, A., Moore, C., Pan, W. K., Purizaca, R. P., Sánchez, V., Silman, M., … Bernhardt, E. S. (2022). Amazon forests capture high levels of atmospheric mercury pollution from artisanal gold mining. Nature Communications, 13(1), 1–10. https://doi.org/10.1038/s41467-022-27997-3

Huaypara, K. H. (2020). Exposicicón a mercurio por consumo de pescado en la poblacion de Puerto Maldonado, región Madre de Dios.

InfoRegión. (2024, marzo 7). Amazonía: 799 concesiones mineras se superponen con territorios indígenas y ecosistemas clave. InfoRegión. https://inforegion.pe/amazonia-799-concesiones-mineras-se-superponen-con-territorios-indigenas-y-ecosistemas-clave/

Langeland, A. L., Hardin, R. D., & Neitzel, R. L. (2017). Mercury Levels in Human Hair and Farmed Fish near Artisanal and Small-Scale Gold Mining Communities in the Madre de Dios River Basin , Peru. https://doi.org/10.3390/ijerph14030302

Li, C., Chen, J., Angot, H., Zheng, W., Shi, G., Ding, M., Du, Z., Zhang, Q., Ma, X., Kang, S., Xiao, C., Ren, J., & Qin, D. (2020). Seasonal Variation of Mercury and Its Isotopes in Atmospheric Particles at the Coastal Zhongshan Station, Eastern Antarctica. Environmental Science and Technology, 54(18), 11344–11355. https://doi.org/10.1021/acs.est.0c04462

Manidis, T., & Pan, W. (2019). Association of mercury exposure with blood pressure among adults near artisanal and small-scale gold mining in Madre de Dios , Peru by.

Martinez, G., McCord, S. A., Driscoll, C. T., Todorova, S., Wu, S., Araújo, J. F., Vega, C. M., & Fernandez, L. E. (2018). Mercury contamination in riverine sediments and fish associated with artisanal and small-scale gold mining in Madre de Dios, Peru. International Journal of Environmental Research and Public Health, 15(8), 1–15. https://doi.org/10.3390/ijerph15081584

Matta, M. B., Linse, J., Cairncross, C., Francendese, L., & Kocan, R. M. (2001). Reproductive and transgenerational effects of methylmercury or Aroclor 1268 on Fundulus heteroclitus. Environmental Toxicology and Chemistry, 20(2), 327–335. https://doi.org/10.1002/etc.5620200213

Moreno-Brush, M., Portillo, A., Brändel, S. D., Storch, I., Tschapka, M., & Biester, H. (2018). Mercury concentrations in bats (Chiroptera) from a gold mining area in the Peruvian Amazon. Ecotoxicology, 27(1), 45–54. https://doi.org/10.1007/s10646-017-1869-1

Moreno-Brush, M., Rydberg, J., Gamboa, N., Storch, I., & Biester, H. (2016). Is mercury from small-scale gold mining prevalent in the southeastern Peruvian Amazon? Environmental Pollution, 218, 150–159. https://doi.org/10.1016/j.envpol.2016.08.038

Nam, D. H., Yates, D., Ardapple, P., Evers, D. C., Schmerfeld, J., & Basu, N. (2012). Elevated mercury exposure and neurochemical alterations in little brown bats (Myotis lucifugus) from a site with historical mercury contamination. Ecotoxicology, 21(4), 1094–1101. https://doi.org/10.1007/s10646-012-0864-9

Neisi, A., Nasab, F. K., Sepahvand, A., Falahi, B., Taherian, M., Farhadi, A., Asban, P., Pour, N. T., Farhadi, M., & Dargahi, A. (2024). Exposure to Mercury in the Air and its Effect on Cardiovascular Diseases (CVD): A Systematic Review. Iranian Journal of Public Health, 53(5), 1033–1046. https://doi.org/10.18502/ijph.v53i5.15583

OMS. (2024). Mercury: training for health care providers, third edition. In: WHO training package for the health sector: children's health and the environment (3rd ed.). https://www.who.int/publications/i/item/WHO-HEP-ECHCHE-%0A24.02

Parra, E. (2014). Aves silvestres como bioindicadores de contaminación ambiental y metales pesados Wild birds as bioindicators of environmental pollution and heavy metals. CES Salus Pública, 59–69.

Pisconte, J. N., Vega, C. M., Pillaca-Ortiz, J. M., Quispe, E., Sevillano-Ríos, C. S., Tejeda, V., Ascorra, C., Silman, M. R., & Fernandez, L. E. (2024). Elevated mercury exposure to bird communities inhabiting Artisanal and Small-Scale Gold Mining landscapes of the southeastern Peruvian Amazon. https://doi.org/10.1007/s10646-024-02740-4

Portillo, A., Vega, C. M., Silman, M. R., Fernandez, L. E., Mena, J. L., Bonifaz, E., & Ascorra, C. (2023). Mercury bioaccumulation in bats in Madre de Dios , Peru□: implications for Hg bioindicators for tropical ecosystems impacted by artisanal and small-scale gold mining. Ecotoxicology. https://doi.org/10.1007/s10646-023-02719-7

Reuben, A., Frischtak, H., Berky, A., Ortiz, E. J., Morales, A. M., Hsu-Kim, H., Pendergast, L. L., & Pan, W. K. (2020). Elevated Hair Mercury Levels Are Associated With Neurodevelopmental Deficits in Children Living Near Artisanal and Small-Scale Gold Mining in Peru. GeoHealth, 4(5). https://doi.org/10.1029/2019GH000222

Rodriguez-Pascual, M. J., Vega, C. M., Andrade, N., Fern, L. E., Silman, M. R., & Torrents, A. (2024). Hg distribution and accumulation in soil and vegetation in areas impacted by artisanal gold mining in the Southern Amazonian region of Madre de. 361(May).

Sayers, C. J., Evers, D. C., Evan, V. R., Claudia, A., Pisconte, J. N., Tejeda, V., Regan, K., Lane, O. P., Ash, A. A., Cal, R., Reneau, S., Martínez, W., Welch, G., Hartwell, K., Teul, M., Tzul, D., Arendt, W. J., Tórrez, M. A., Watsa, M., … Gerson, J. (2023). Mercury in Neotropical birds□: a synthesis and prospectus on 13 years of exposure data. Ecotox, 1096–1123. https://doi.org/10.1007/s10646-023-02706-y

Scheuhammer, A. M., Meyer, M. W., Sandheinrich, M. B., & Murray, M. W. (2007). Effects of environmental methylmercury on the health of wild birds, mammals, and fish. Ambio, 36(1), 12–18. https://doi.org/10.1579/0044-7447(2007)36[12:EOEMOT]2.0.CO;2

Selin, N. E. (2009). Global biogeochemical cycling of mercury: A review. Annual Review of Environment and Resources, 34, 43–63. https://doi.org/10.1146/annurev.environ.051308.084314

Shrum, P. L. (2009). Analysis of Mercury and Lead in Birds of Prey from Gold mining areas of the Peruvian Amazon. Clemson University.

Szponar, N., Vega, C. M., Gerson, J., McLagan, D. S., Pillaca, M., Delgado, S., Lee, D., Rahman, N., Fernandez, L. E., Bernhardt, E. S., Kiefer, A. M., J., C. P. M., Wania, F., & Bergquist, B. A. (2025). Tracing Atmospheric Mercury from Artisanal and Small-Scale Gold Mining.

UNEP. (2018). Global Mercury Assessment 2018.

Vega, C. ., Araujo-Flores, J., Mujica, O., Farfán, J., Torres, M., Ascorra, C., Silman, M., & Fernández, M. (2020). Mercurio en el Parque Nacional Del Manu. Exposición a mercurio ambiental en comunidades Matsigenkas. Cinca, 6, 1689–1699.

Vega, C. M., Araujo, J., Román, F., & Fernandez, L. E. (2018). Mercurio en peces de pozas mineras en Madre de Dios, Perú (Issue 2). http://cincia.wfu.edu/wp-content/uploads/CINCIA-Research-Brief-2-v7.2-Mercurio-en-peces-de-pozas-mineras.pdf

Velásquez Ramírez, M. G., Nazario Rios, J. C., Gobin, A., Pillaca, M., Thomas, E., Guerrero Barrantes, J. A., Román, U., Becerra Lira, E., Muñoz Ushñahua, A., Nascimento Herbay, P., Rodriguez Achata, L., Garate-Quispe, J., Malpica, S., Russo, R., Abril, M., Dionisio, L. F. S., Corvera Gomringer, R., & del Castillo Torres, D. (2024). Degradation, Classification, and Management of Soils From Alluvial-Gold Mine Spoils in the Southeastern Peruvian Amazon. Land Degradation and Development, 375–391. https://doi.org/10.1002/ldr.5365

Velásquez Ramírez, M. G., Vega Ruiz, C. M., Corvera Gomringer, R., Pillaca, M., Thomas, E., Michael Stewart, P., Gamarra Miranda, L. A., & Roman Dañobeytia, F. (2021). Mercury in soils impacted by alluvial gold mining in the Peruvian Amazon. 288(October 2020). https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2021.112364

Webber, H. M., & Haines, T. A. (2003). Mercury effects on predator avoidance behavior of a forage fish, golden shiner (Notemigonus crysoleucas). Environmental Toxicology and Chemistry, 22(7), 1556–1561. https://doi.org/10.1897/1551-5028(2003)22<1556:MEOPAB>2.0.CO;2

Whitney, M. C., & Cristol, D. A. (2015). Impacts of Sublethal Mercury Exposure on Birds A Detailed Review. How to Recruit Voluntary Donors in the Third World?, 238(December), 22–28. https://doi.org/10.1007/398

Wolfe, M. F., Schwarzbach, S., & Sulaiman, R. A. (1998). Effects of mercury on wildlife: A comprehensive review. Environmental Toxicology and Chemistry, 17(2), 146–160. https://doi.org/https://doi.org/10.1002/etc.5620170203

Yard, E. E., Horton, J., Schier, J. G., Caldwell, K., Sanchez, C., Lewis, L., & Gasta, C. (2012). Mercury Exposure Among Artisanal Gold Miners in Madre de Dios , Peru : A Cross-sectional Study. 441–448. https://doi.org/10.1007/s13181-012-0252-0

Zhou, J., Obrist, D., Dastoor, A., Jiskra, M., & Ryjkov, A. (2021). Vegetation uptake of mercury and impacts on global cycling. Nature Reviews Earth and Environment, 2(4), 269–284. https://doi.org/10.1038/s43017-021-00146-y



CINCIA
CENTRO DE INNOVACIÓN CIENTÍFICA AMAZÓNICA

Observatorio de minería ilegal y actividades vinculadas en Áreas Claves de Biodiversidad

GORDON AND BETTY MOORE FOUNDATION