

Documento de síntesis científica N° 1 | Enero 2022

IMPACTOS AMBIENTALES PREVISTOS DE LA ACTIVIDAD MINERA AURIFERA ILEGAL EN CUERPOS DE AGUA DE LA AMAZONÍA PERUANA

Evidencia de la Literatura Científica



Luis E. Fernández, Cesar F. Ascorra Guanira, Claudia M. Vega, Julio Araujo-Flores, France Cabanillas, Roosevelt García-Villacorta, Jorge M. Pillaca-Ortiz, Marta Torres Cabrera, Carol L. Mitchell, Miles R. Silman

Contenido

Contexto de este Documento de Síntesis Científica	2
Puntos Claves.....	2
Resumen	3
Impactos de la minería aurífera ilegal en ríos Amazónicos	4
IMPACTO 1: Minería ilegal de oro en cuerpos de agua aumenta contaminación por mercurio de ríos, pescados y personas.....	7
IMPACTO 2: Minería ilegal de oro en cuerpos de agua modifica la sedimentación en ríos causando un impacto negativo en los peces, la calidad de agua y el aumento de inundaciones	13
Conclusiones.....	16
Literatura científica citada.....	18

Contexto de este Documento de Síntesis Científica

El Centro de Innovación Científica Amazónica (CINCIA) pone a disposición de las autoridades pertinentes, comunidad científica y colectividad, esta revisión bibliográfica, - para su criterio y propia evaluación - a la luz de la investigación y la ciencia, procurando esclarecer los posibles impactos ambientales que se generan en la actividad minera ilegal en cuerpos de agua en la Amazonía peruana.

Puntos claves

- Una revisión de más de 100 estudios publicados en la literatura científica, en combinación con resultados de estudios propios de CINCIA, indica que la minería ilegal de oro en ríos amazónicos aumenta de forma significativa la contaminación por mercurio, y las concentraciones de metilmercurio en el pescado consumible.
- El consumo de pescado contaminado es la principal vía de exposición al mercurio, por tanto, la actividad minera aurífera ilegal en cuerpos de agua aumenta el riesgo de efectos negativos para la salud de las poblaciones consumidoras de pescado, principalmente en los grupos vulnerables como los niños, las mujeres en edad fértil y las poblaciones indígenas.
- Estudios de largo plazo en otras partes del mundo demuestran que niveles elevados de mercurio en las madres durante el embarazo, exponen al feto a tener defectos posteriores en su desarrollo neurológico y cognitivo (desarrollo mental, aprendizaje, comportamiento). Asimismo, estudios recientes en niños de Madre de Dios expuestos a mercurio por ingesta de pescado estarían revelando efectos similares.
- Múltiples estudios demuestran que la minería ilegal en el cauce de ríos de la Amazonía provoca de 5 a 10 veces mayor carga normal de sedimentos, disminuyendo el hábitat de peces y poniendo en riesgo la pesca local y regional. Asimismo, reduce la calidad del agua para comunidades rurales, y aumenta la vulnerabilidad del río ante eventos extremos (sequías e inundaciones).

Resumen

Habiendo revisado más de 100 estudios científicos, se cuenta con evidencia que demuestra que la actividad minera ilegal en cuerpos de agua amazónicos continuaría incrementando la contaminación por mercurio, una sustancia altamente tóxica para peces y personas. Asimismo, la carga en aumento de sedimentos suspendidos seguiría alterando los cauces de los ríos y quebradas, poniendo en riesgo a las poblaciones ribereñas ante posibles inundaciones en época de lluvias. Además, esta carga sedimentaria perjudica gravemente la actividad pesquera para el consumo local, afectando principalmente la seguridad alimentaria de las poblaciones indígenas y ribereñas.

La minería aurífera ilegal en cuerpos de agua amazónicos peruanos se caracteriza por el uso de las llamadas “dragas”, balsas flotantes de distintos tamaños que utilizan bombas de succión para extraer sedimentos del fondo de los ríos y los lagos. Luego, estos sedimentos concentrados son tratados con mercurio para capturar partículas pequeñas de oro, en el proceso son liberados relaves contaminados por mercurio a los cuerpos de agua y al aire libre. Tanto la remoción del substrato como el uso de mercurio afectan negativamente la viabilidad de los ecosistemas acuáticos, poniendo en riesgo la pesca local, así como la salud de las personas y de la vida silvestre (Science Panel for the Amazon, 2021).

Estudios recientes evidencian que Madre de Dios es la región más impactada por las emisiones de mercurio de toda la Amazonía peruana. Esta contaminación es ocasionada principalmente por la actividad minera aurífera ilegal. Al 2018, se estimó que esta actividad liberaba un promedio de 181 toneladas de mercurio al año. Al respecto, estudios científicos señalan que el aumento de la emisión de mercurio afectaría directamente en la concentración de metilmercurio en peces consumibles. El pescado es una de las proteínas animales preferidas por las familias en toda la Amazonía debido a su bajo costo. El alto consumo de pescado estaría incrementando por consiguiente la exposición al mercurio, poniendo en riesgo la seguridad alimentaria de decenas de miles de personas que dependen de esta importante fuente de proteína.

Asimismo, luego de décadas dedicadas al desarrollo de la actividad minera ilegal en cuerpos de agua, múltiples estudios sugieren una serie de impactos ambientales sinérgicos y acumulativos como el aumento de sedimentos suspendidos, la turbidez del río, la deforestación de las llanuras de inundación y cambios en la hidro-geomorfología de los ríos.

En conclusión, la literatura científica indica que la minería ilegal de oro en ríos amazónicos en el Perú agravaría los impactos ya existentes sobre la salud de las personas, la pesca, la calidad del agua y la vulnerabilidad del río ante eventos extremos (sequías e inundaciones).

Impactos de la minería aurífera ilegal en ríos Amazónicos

Los impactos de la minería aurífera ilegal en los ríos amazónicos pueden separarse en dos categorías generales.

Impacto 1: Minería ilegal de oro en cuerpos de agua aumenta contaminación por mercurio de ríos, pescados y personas

La minería ilegal en cuerpos de agua muy probablemente aumentará la emisión directa de mercurio en ríos y quebradas, contribuyendo a la contaminación por mercurio de peces de consumo y el incremento de la exposición al mercurio de poblaciones humanas consumidoras de pescado y de fauna silvestre. La elevada exposición al mercurio por consumo de pescado contaminado se ha relacionado con la disminución del desarrollo cognitivo (especialmente en niños) y otros problemas neurológicos. A medida que aumenta la exposición al mercurio en la Amazonía peruana, se esperaría un aumento del deterioro cognitivo en la población de la cuenca y la región.

Impacto 2: Minería ilegal de oro en cuerpos de agua modifica la sedimentación en ríos, causando un impacto negativo en los peces, la calidad de agua y el aumento de inundaciones

La minería ilegal en los ríos provoca la alteración del cauce del río, aumenta la erosión y los sedimentos en suspensión en el agua y su deposición aguas abajo. Ello pondría en riesgo la pesca local de las comunidades humanas que dependen de ella. Además, un alto nivel de sedimentos en suspensión en los ríos perjudica la calidad del agua para las comunidades rurales que dependen directamente del agua del río para beber, lavarse y bañarse, y aumenta la vulnerabilidad del río ante eventos extremos (sequías e inundaciones).

En las siguientes dos secciones se proporciona un planteamiento más detallado de cada uno de estos impactos, citando los estudios científicos que respaldan su evaluación y analizando los probables riesgos de la minería aurífera ilegal en los ríos de la Amazonía.



IMPACTO 1

***MINERÍA ILEGAL DE ORO EN CUERPOS DE AGUA
AUMENTA CONTAMINACIÓN POR MERCURIO DE
RÍOS, PESCADOS Y PERSONAS***

IMPACTO 1: MINERÍA ILEGAL DE ORO EN CUERPOS DE AGUA AUMENTA CONTAMINACIÓN POR MERCURIO DE RÍOS, PESCADOS Y PERSONAS

El mercurio es reconocido mundialmente como una peligrosa sustancia altamente neurotóxica (que daña los nervios) y nefrotóxica (que daña los riñones) (WHO/UNEP, 2008). Perú, como país signatario de la Convención de Minamata sobre el Mercurio de las Naciones Unidas (UNEP, 2013), se suma a un esfuerzo ambiental global para reducir y eventualmente eliminar el uso del mercurio en protección de la salud humana y del medio ambiente (MINAM, 2016). Durante décadas, el mercurio liberado por la minería ilegal del oro se ha considerado un alto riesgo para las poblaciones amazónicas y el medio ambiente (Esdaile, 2018; Veiga et al., 2006; Silva-Fosberg, 1999; Pfeiffer, 1988; Martinelli et al., 1988).

En Madre de Dios, un caso emblemático de la Amazonía, se han reportado tasas extremadamente altas de emisiones de mercurio. La problemática de la minería ilegal y el mercurio en Madre de Dios fue plasmada hace 10 años en una publicación fundamental del entonces nuevo Ministerio del Ambiente (Brack et al., 2011). Luego en 2018 se estimó una tasa de emisión de 181 toneladas de mercurio por año en ese mismo departamento (Arana Cardo et al., 2018). Estudios recientes realizados en Madre de Dios reportan altas emisiones de mercurio en aire de tiendas de compra y venta de oro (Brown et al., 2020; Moody et al., 2020). Estos estudios evidencian el uso de mercurio en esta actividad a pesar de las restricciones establecidas a nivel de gobierno.

La minería aurífera ilegal en cuerpos de agua en la Amazonía peruana utiliza invariablemente el tratamiento de sedimentos con mercurio elemental para separar las partículas de oro de los sedimentos del río (Kahhat et al., 2019). Debido a que la amalgamación con mercurio tiene una baja eficiencia en la recuperación del oro (entre el 35% y el 45%), se liberan grandes cantidades de mercurio elemental a los cuerpos de agua a través del vertido por la borda de los residuos (Veiga et al., 2006; Martínez et al., 2021), o a través de la liberación atmosférica de vapor de mercurio cuando las amalgamas de oro se queman para liberar el oro del mercurio (Telmer et al., 2009).

DINÁMICA DEL MERCURIO RELACIONADA CON LA MINERÍA AURÍFERA EN CUERPOS DE AGUA Y TERRESTRE

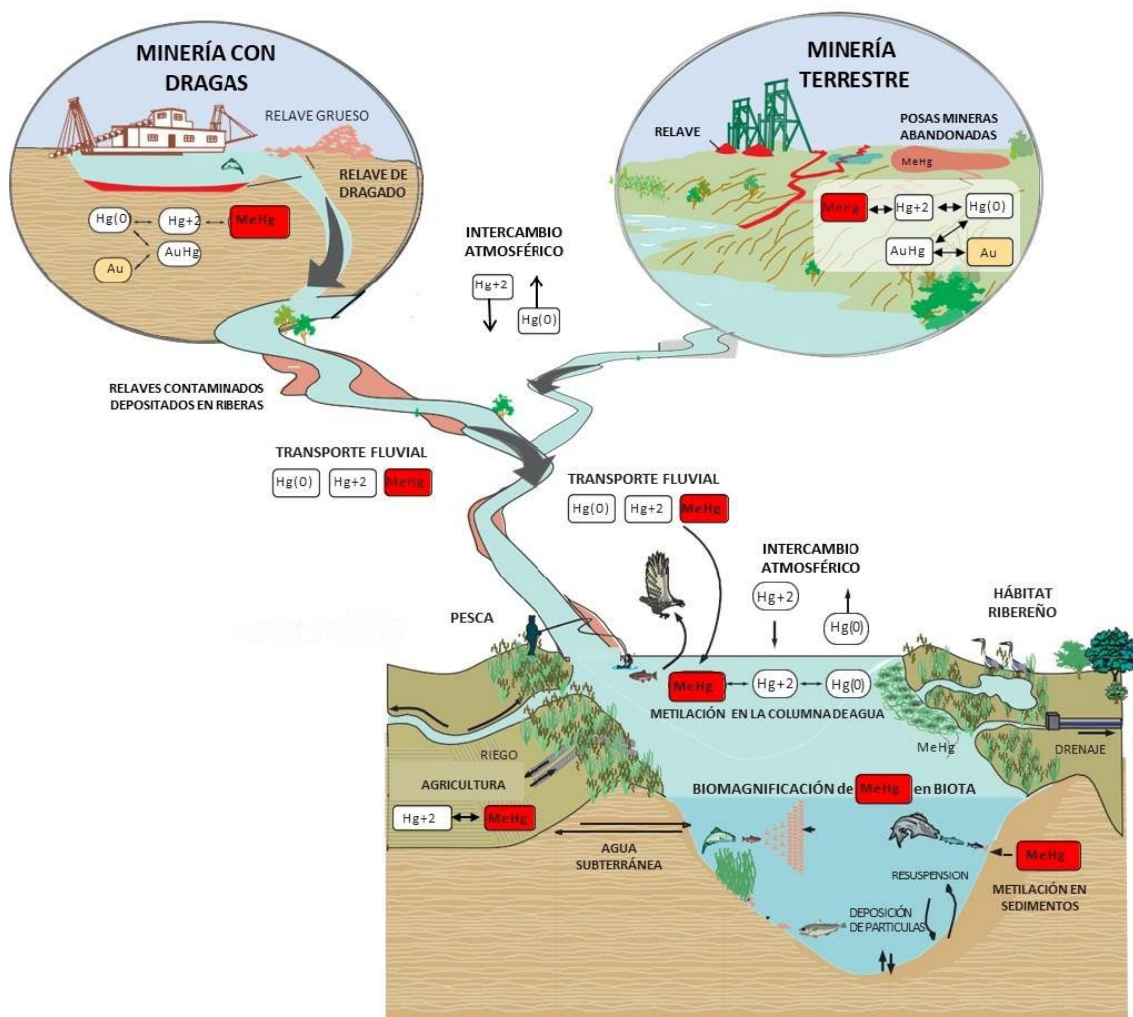


Figura 1. Diagrama esquemático que muestra el transporte y el destino del mercurio en las zonas de minería ilegal en tierra y cuerpos de agua con uso de dragas. Se muestra un ciclo simplificado del mercurio que incluye reacciones generales de metilación y bioacumulación; el ciclo real es mucho más complejo. $Hg(0)$, mercurio elemental; Hg^{+2} , mercurio iónico (ion mercúrico); $MeHg$, metilmercurio; Au , oro; $AuHg$, amalgama oro-mercurio. Diagrama: Luis E. Fernández/CINCIA, adaptado de Alpers et al. USGS (2005).

El dragado de los sedimentos por la minería ilegal de oro facilita el transporte y la disponibilidad del mercurio. Varios estudios han encontrado niveles de mercurio en ríos cientos de kilómetros río abajo de las zonas mineras (Schudel et al., 2019; Diringier et al., 2015), impactando a las poblaciones humanas y animales silvestres a través de la cadena alimenticia; una contaminación que puede permanecer décadas e incluso siglos después del cese de las actividades mineras (Singer et al., 2013; Moreno-Brush et al., 2020).

El mercurio elemental líquido (HgO) liberado en el agua por la minería ilegal de oro es transformado a metilmercurio por las bacterias reductoras de sulfato que existen naturalmente en los fondos de los ríos amazónicos. El metilmercurio (MeHg) es una forma orgánica de mercurio altamente tóxica (Regnell & Watras, 2019), que se biomagnifica en la cadena alimenticia acuática, alcanzando altas concentraciones en peces depredadores (Deza Arroyo, 1997; Sonter et al., 2017; Bastos et al., 2015; Castilhos et al., 2015; Dedieu et al., 2014; Veiga et al., 2006; Bloom, 1992) y en otros animales silvestres (Markham, 2018), como las aves que se alimentan de peces (Shrum, 2009), murciélagos (Moreno-Brush et al., 2018) y los mamíferos acuáticos que consumen pescado, como el emblemático lobo de río amazónico (*Pteronura brasiliensis*) (Gutleb et al., 1993).

La biomagnificación del mercurio también afecta a los seres humanos, siendo el consumo de pescado contaminado la principal vía de exposición al mercurio de las poblaciones humanas (WHO/UNEP, 2008). Las poblaciones amazónicas presentan uno de los consumos de pescado más elevados a nivel mundial (Isaac & Almeida, 2011), ya que el pescado representa una de las principales fuentes de proteína en la cuenca.

Sirén (2021), utilizando dos métodos de cálculo, estima que la captura total anual de pescado en la Amazonia peruana es entre 87000 a 117000 toneladas métricas al año, y que más que el 50% de esta cantidad es pesca de autoconsumo o subsistencia. En Madre de Dios, se estima que los mercados regionales mueven un aproximado de 300 toneladas métricas totales por año, producto de la pesca local (Cañas et al. 2020). Estudios dispersos de consumo de pescado *per capita* en la cuenca del río Amazonas arrojan cifras de 26.5 kg/año en el departamento de Ucayali, Perú (Ministerio de la Producción, 2017, citado en Pari Quispe & Mamani, 2021), hasta

135-292 kg/año en diferentes cuencas de la Amazonía de Brasil (Isaac & de Almeida, 2011), mostrando que la población Amazónica tiene amplio riesgo de ingerir el mercurio por medio de su dieta.

Las poblaciones indígenas y especialmente las poblaciones nativas remotas y alejadas de centros urbanos tienen algunas de las tasas de consumo de pescado más altas (Vega et al., 2020; Wyatt et al., 2019; Fernández et al., 2019; Ouboter et al., 2018; Fernández et al., 2017) y son altamente vulnerables a la exposición del mercurio y sus efectos en la salud (Weinhouse et al., 2020; WHO/UNEP, 2008).

El alto consumo de pescado contaminado a través del tiempo puede provocar daños en el sistema nervioso central de los seres humanos (Gutiérrez-Mosquera et al., 2018). Un estudio reciente realizado en Madre de Dios reporta cómo la minería aurífera ilegal en cuerpos de agua no solo aumenta las concentraciones del metal, sino también potencializa el proceso de metilación (Gerson et al., 2020), lo que consecuentemente incrementa la concentración de mercurio en organismos acuáticos, incluyendo los peces de consumo y aumentando el riesgo de impactos negativos a la salud de poblaciones humanas que consumen pescado en su dieta (UNEP/FAO, 2008). Múltiples estudios en Madre de Dios ya han documentado niveles elevados de mercurio en el pescado consumible capturado de los ríos y lagos de la región (Vega et al., 2020; Martínez et al., 2018; Vega et al., 2018; Diringer et al., 2015; Roach, et al., 2013; Fernández, 2013; Osorio Plenge et al., 2012; Fernández, 2009). Varios estudios también han encontrado niveles elevados de mercurio en poblaciones humanas consumidoras de pescado en Madre de Dios, más de 20 veces superiores a las referencias de nivel de la OMS, tanto en adultos como en niños (Weinhouse et al., 2020; Panduro et al., 2020; Reuben et al., 2020; Feingold et al., 2020; Fernández et al., 2019; González et al., 2019; Langeland et al., 2017; Diringer et al., 2015; Fernández et al., 2013a; Fernández et al., 2013b; Ashe et al., 2012).

TEMA DE ENFOQUE

Efectos del mercurio en la salud y el desarrollo cognitivo

Existe información sobre los efectos negativos del mercurio en la salud humana, desde hace siglos atrás. En tiempos modernos, las tragedias de la Bahía de Minamata (Japón en los 1950's), Niigata (Japón en los 1960's) y de Irak en los 1970's han demostrado al mundo los efectos desastrosos de intoxicación por metilmercurio en personas adultas y en los hijos cuyas madres se contaminaron mientras gestaban (Counter & Buchanan, 2004; Trasande et al., 2005; WHO/UNEP 2008; Woolf, 2022).

Los efectos de mercurio pueden ocurrir por intoxicación aguda (exposición a altos niveles en un periodo corto de tiempo, días o semanas) y/o crónica (exposición a niveles bajos a medianos en periodos largo de tiempo, meses o años). La contaminación aguda puede presentar efectos rápidos, visibles y evidentes; sin embargo, en el caso de la exposición crónica los efectos no son tan obvios y pueden ocurrir de forma gradual, lo que dificulta su asociación con la exposición. Por ello es necesario realizar estudios epidemiológicos a largo plazo para poder rastrear estas manifestaciones (NRC 2000; Gibb & O'Leary, 2014).

Tres estudios de largo plazo han evaluado la relación entre niveles de mercurio en gestantes y los efectos en sus hijos en edad escolar (de 5 a 12 años): Nueva Zelanda (Davidson, 1998), las Islas Faroe (Grandjean et al., 1998; Debes et al., 2006), y las Islas Seychelles (Cohen et al. 2005). En Nueva Zelanda y las Islas Faroe observaron que los niveles de mercurio en las madres durante la gestación estaban asociados con niveles más bajos de habilidades cognitivas en sus hijos (Bose-O'Reilly et al., 2020). Estos dos estudios epidemiológicos de más de 30 años, y los varios programas de investigación relacionados, que detallaron los impactos del metilmercurio en mecanismos de desarrollo neurofisiológico, forman un conjunto importante de trabajos que vinculan la exposición al mercurio en las madres gestantes con la reducción del desarrollo cognitivo infantil. El estudio en las Islas Seychelles no reportó relación entre mercurio y cognición.

La Organización Mundial de la Salud (OMS), establece para el mercurio una disminución del coeficiente intelectual en los niños asociado a la exposición de mercurio en la madre durante la etapa de gestación (Axelrad et al., 2007). En un estudio realizado en la Amazonia brasileña, se estima un aumento del retardo mental leve en poblaciones expuestas a altos niveles de mercurio (Vasconcellos et al., 2018), reportando que con la media de mercurio en cabello (6.48 ppm) en la región estudiada, alrededor de 35% de la población de niños presentaría una pérdida de 2 puntos de Coeficiente Intelectual.

Un equipo de investigadores de la Universidad de Duke analizó niveles de mercurio en cabello juntamente con evaluaciones de habilidad cognitiva en 164 niños de edad escolar (5 a 12 años) en el ámbito de la Reserva Comunal Amarakaeri en Madre de Dios (Reuben et al., 2020). Los niños con niveles de mercurio excedente al límite estipulado por la OMS obtuvieron 4.68 puntos menos en capacidad cognitiva que sus compañeros con menos mercurio. Otros dos estudios, en Guyana Francesa (Cordier et al., 2002) y en Brasil (Grandjean et al., 1999) reportaron efectos negativos en el neurodesarrollo de niños con niveles generalmente altos de mercurio. Adicionalmente, otro estudio reciente en el estado de Rondonia en la Amazonia Brasileña reportó una asociación entre altos niveles de mercurio en cabello de niños y adolescentes, con un bajo desempeño en test de función neurofisiológica que incluye test de memoria, capacidad intelectual, auditiva y verbal (Do Santos-Lima et al., 2020), evidenciando una vez más los impactos negativos de la exposición al mercurio en la región Amazónica.

El Ministerio de Salud del Perú (MINSA) ha liderado estudios de salud pública en el departamento de Madre de Dios (Yard et al., 2012; CENSOPAS, 2010). El estudio en la zona minera de Huepetuhe en Madre de Dios, encontró niveles elevados de mercurio en orina, y en especial en los más jóvenes y los ancianos.



IMPACTO 2

***MINERÍA ILEGAL DE ORO EN CUERPOS DE AGUA
MODIFICA LA SEDIMENTACIÓN EN RÍOS LOGRANDO
UN IMPACTO NEGATIVO EN LOS PECES, LA CALIDAD DE
AGUA Y EL AUMENTO DE INUNDACIONES.***

IMPACTO 2: MINERÍA ILEGAL DE ORO EN CUERPOS DE AGUA MODIFICA LA SEDIMENTACIÓN EN RÍOS LOGRANDO UN IMPACTO NEGATIVO EN LOS PECES, LA CALIDAD DE AGUA Y EL AUMENTO DE INUNDACIONES

Uno de los efectos más observables de la minería ilegal de oro en los ríos amazónicos y sus fajas marginales es la turbidez del agua resultado del movimiento de grandes cantidades de sedimentos por las dragas. Adicionalmente, sedimentos de mayor tamaño (piedras) son depositados en montículos a lo largo de la ribera de los ríos, afectando la movilidad natural de los mismos.

La carga de sedimentos en ríos amazónicos impactados por la minería de oro aumenta aproximadamente entre 5 y 10 veces en comparación con los ríos de referencia libres de minería, con tasas de deposición muy elevadas en las quebradas, canales del río y llanuras de inundación (Dethier et al., 2019; Diringier et al. 2015). Estudios de producción de sedimentos en las llanuras de inundación de los ríos Madre de Dios y sus afluentes (los ríos Colorado, Inambari, Los Amigos, Tambopata) durante el período 2001 al 2018 mostraron un aumento de la escorrentía y las cargas de sedimentos relacionado a la deforestación por actividad minera, que incluía el dragado tanto en los ríos como en las llanuras de inundación (Dethier et al., 2019).

El análisis de la dinámica de producción de sedimentos relacionada con el cambio de uso del suelo de los principales ríos de la región Madre de Dios muestra cambios drásticos en la morfología de los ríos con impactos observables desde las cabeceras de los ríos hasta los tramos aguas abajo (Araujo-Flores, 2015). La morfología de los ríos se desarrolla por un balance dinámico entre el transporte de sedimentos (erosión y sedimentación) y el poder de la corriente del río (determinados por el flujo del río y la pendiente del canal) (Hohensinner et al., 2018). Además, los ríos del oeste de la Amazonía están afectados por la presencia de troncos de árboles caídos naturalmente y arrastrados río abajo, los cuales también contribuyen en la creación de hábitats y refugios para una diversidad de organismos bentónicos, principalmente algas y larvas de insectos acuáticos, entre otros organismos que sirven de sustento para peces y otros animales acuáticos (Montaña et al., 2021).

La turbidez generada por la remoción de sedimentos propio de la minería de oro en ríos reduce la cantidad de luz que puede penetrar en la columna de agua, lo que afecta los procesos fotosintéticos, la producción de oxígeno disuelto y la visibilidad de los organismos acuáticos. Asimismo, pone en riesgo sus necesidades básicas como son la alimentación, la reproducción y el desarrollo de huevos y larvas (Boyd, 2015).

Es conocido que especies de peces de importancia económica tienen hábitats preferidos de reproducción y desove, y que pueden migrar distancias largas para ubicarlas. Se ha comprobado la migración más larga de un pez de agua dulce entre las especies de *Brachyplatystoma* (dorado, saltón), que llegan desde la boca del Amazonas a los ríos del oeste de la cuenca amazónica para desovar (Barthem et al., 2017), y se sabe que otras especies como *Prochilodus nigricans* (bocachico) se mueven no solamente a lo largo de los ríos sino también lateralmente entre el bosque inundado y el río propio en busca de sitios para la reproducción (Silva & Stewart, 2017). Las técnicas de ADN han sido implementadas en la identificación de áreas críticas de reproducción de peces amazónicas en el Beni de Bolivia, reforzando la importancia de las quebradas y ríos del oeste amazónico en la producción pesquera de la cuenca entera (Miranda-Chumacero et al., 2020).

Muchos peces amazónicos de importancia ecológica y comercial dependen para su alimentación de conjuntos de macroinvertebrados bentónicos que requieren rangos normales de turbidez natural (Duarte et al., 2019; Montaña et al., 2021). En ríos pequeños de la Guyana Francesa se comprobó que la estructura funcional de las comunidades de peces fue afectada por las actividades mineras, favoreciendo a los peces más pequeños y comunes, y desfavoreciendo a las especies más grandes con especialidades de hábitat, y que aún después de tiempo de abandono de la minería, la recuperación de la comunidad ictiológica original fue incompleta (Brosse et al., 2011). Un estudio en el este de Brasil demostró que el incremento de sedimentos finos fue asociado a la pérdida de microhábitats para peces en quebradas, y que los hábitats impactados están asociados a cambios en la comunidad de peces (Jacob et al., 2020). En el Perú, los impactos de la minería en la vida acuática en los ríos de Madre de Dios han sido reportados en la literatura científica desde por lo menos 2004 (Ortega & Hidalgo, 2008). Mol &

Ouboter (2004) demostraron para Madre de Dios que las quebradas afectadas por la minería ilegal de oro en cuerpos de agua presentaban una mayor carga de sedimentos y una menor diversidad de hábitats debido a que la deposición de sedimentos alteraba la estructura natural del fondo del río. Estas quebradas, cuando se comparan con quebradas no afectadas por la minería ilegal de oro, tenían una menor diversidad de peces en general y una menor biomasa relativa de peces consumibles.

El efecto negativo de la minería ilegal en la pesca es incluso reconocido en el documento “Caracterización del departamento de Madre de Dios” del Banco Central de Reserva del Perú (BCRP, 2021), que en la sección sobre pesca concluye con las siguientes palabras:

“Cabe señalar que la actividad minera ilegal, establecida en algunas zonas del departamento, se ha convertido en una amenaza para esta actividad [la pesca], puesto que paralelo a la deforestación, los ríos están siendo contaminados con mercurio, elemento que es dañino para la salud.”

Es importante entender que la minería ilegal en río, con los impactos severos que causa en la geomorfología, patrones hidrológicos, y destrucción de hábitats ribereños, tendrá impactos más allá de las comunidades de peces. Se espera impactos negativos también en la biota que requiere de playas ribereñas para su reproducción y búsqueda de alimento: esto incluye las tortugas taricayas (*Podocnemis* spp), varias especies de aves playeras migratorias, y otros.

Estudios de calidad de agua potable y su relación con la minería ilegal de oro aluvial son escasas en Madre de Dios, pero otros estudios han documentado su efecto negativo en la calidad del agua en diversas zonas (Martin et al., 2020). Una tesis de grado de 2015 encontró que la minería tuvo peor impacto en la calidad de agua que la agricultura (Gutiérrez la Torre, 2015). Un estudio de 2010 del Ministerio de Salud en Huepetuhe, recogió entrevistas a 292 personas de todas edades y llevó a cabo ejercicios con los pobladores para que describieran sus percepciones del ambiente “antes”, “hoy” y “a futuro”. En cuanto al agua, ANTES: “No había agua potable, el agua la tomaban del río y antes era limpio”; HOY: “Compran el agua almacenada en pilones” (CENSOPAS, 2010). No hubo descripciones de la calidad de agua al futuro.

El material expuesto por el uso de bombas de agua, dragas y otras maquinarias pesadas tiene un diámetro mayor al de las condiciones naturales del fondo y las márgenes del río, provocando el acorazamiento del fondo del río. Esta condición modifica el comportamiento natural del río, tanto a nivel hidrodinámico como de transporte de sedimentos. Es importante analizar estos cambios de fondo en el río, dado que afectan la capacidad de transporte de agua y sedimento. Es decir, al tener un fondo acorazado, el río, ante situaciones de grandes avenidas (mayor caudal), presenta una situación de mayor riesgo a desborde, erosiones laterales e inundaciones. Ante un escenario de cambio climático, es relevante monitorear las condiciones de un río, no solamente en los niveles de agua sino también las tasas de transporte de sedimento, material y niveles de fondo (CITA-UTEC, 2021).

Conclusiones

Dada la evidencia reportada en múltiples estudios publicados en la literatura científica en los últimos 30 años en la región amazónica, y dadas las tendencias documentadas respecto a las altas tasas de liberación de mercurio por la minería aurífera ilegal en Madre de Dios, y la alta dependencia de las poblaciones locales al consumo de pescado los resultados de la minería en ríos se reflejan en dos tipos de impactos.

Impacto 1: Minería de oro en cuerpos de agua aumenta contaminación por mercurio de ríos, pescados y personas

- Aumento significativo de la contaminación por mercurio de los ríos y quebradas
- Aumento de las emisiones de mercurio resultantes de la minería en ríos probablemente aumentará las concentraciones de metilmercurio altamente tóxico en el pescado consumible.
- Aumento de la exposición al mercurio en las poblaciones humanas de la región, elevando el riesgo de efectos negativos para la salud en las poblaciones consumidoras de pescado, especialmente en los niños, las mujeres en edad fértil y las poblaciones indígenas.
- Efectos negativos graduales pero medibles en la capacidad cognitiva de niños de la región cuya exposición al mercurio afecta su neurodesarrollo.

Impacto 2: Minería de oro en cuerpos de agua modifica la sedimentación en ríos causando un impacto negativo en los peces, la calidad de agua y el aumento de inundaciones

La minería ilegal en ríos aumenta significativamente los sedimentos en suspensión, resultando en:

- Cambios significativos en la morfología de los ríos.
- Efectos negativos en el recurso pesquero y los organismos y hábitats que mantienen su productividad. No solamente se contamina el recurso pesquero, sino también se esperan probables reducciones en la diversidad de peces, sus poblaciones y posibles cambios en la disponibilidad de peces de consumo.
- Efectos negativos en la percepción de la calidad del agua por la población local.
- Aumento de la vulnerabilidad del río ante eventos extremos (sequías e inundaciones).

La evidencia científica hasta el momento indica que estos impactos causados por la minería Aurífera ilegal de oro en la morfología de los ríos y exportación de sedimento son prácticamente permanentes.

LITERATURA CIENTÍFICA CITADA

- Allard, L., Popée, M., Vigouroux, R., & Brosse, S. (2016). Effect of Reduced Impact Logging and Small-Scale Mining Disturbances on Neotropical Stream Fish Assemblages. *Aquat Sci* 78(2), 315-25. <https://doi.org/10.1007/s00027-015-0433-4>
- Alvarez-Berrios, N. L., & Mitchell Aide, T. (2015). Global demand for gold is another threat for tropical forests. *Environmental Research Letters*, 10(1), 14006. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/10/1/014006>
- Arana Cardo, M., Montoyo Vargas, P. (2018). *Reporte de inventario: estimaciones de referencia del uso y consumo de mercurio en la minería de oro artesanal y de pequeña escala en Perú*. Artisanal Gold Council. pp 73. https://www.artisanalgold.org/wordpress/wp-content/uploads/2020/09/Reporte-de-inventario-MAPE_Peru.pdf
- Araújo-Flores, J.M. (2015). *Characterization of the aquatic biodiversity in the Andean-Amazonian Basin of Madre de Dios - Peru*. Ph.D. Thesis. Universidad de Huelva, Dep. de Biología Ambiental y Salud Pública, Huelva - España. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/tesis?codigo=58870>
- Ashe, K. (2012). Elevated mercury concentrations in humans of Madre de Dios, Peru. *PLoS ONE* 2012, 7, e33305. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0033305>
- Asner, G. P., Llactayo, W., Tupayachi, R., & Luna, E. R. (2013). Elevated rates of gold mining in the Amazon revealed through high-resolution monitoring. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 110(46), 18454– 18459. <https://doi.org/10.1073/pnas.1318271110>
- Axelrad, D. A., Bellinger, D. C., Ryan, L. M., & Woodruff, T. J. (2007). Dose–response relationship of prenatal mercury exposure and IQ: an integrative analysis of epidemiologic data. *Environmental health perspectives*, 115(4), 609-615.
- Banco Central de Reserva del Perú – BCRP (2021). *Caracterización del departamento de Madre Dios* [Internet]. Cusco: Banco Central de Reserva del Perú; 2021 p. 10. Disponible en: <https://www.bcrp.gob.pe/docs/Sucursales/Cusco/madre-de-dios-caracterizacion.pdf>
- Barbieri-Noce, G. (2005). *Evaluación de Mercurio Total en Peces, Agua y Sedimentos en la Cuenca del Río Malinowski*. Tesis de Grado, Universidad Nacional Agraria La Molina.
- Barthem, R.B., Goulding, M., Leite, R.G., Cañas, C., Forsberg, B., Venticinque, E., Petry, P., de B. Ribeiro, M.L., Chuctaya, J., & Mercado, A. (2017). Goliath catfish spawning in the far western Amazon confirmed by the distribution of mature adults, drifting larvae and migrating juveniles. *Scientific Reports*: 41784. <https://doi.org/10.1038/srep41784>

- Bloom, N.S. (1992). On the Chemical Form of Mercury in Edible Fish and Marine Invertebrate Tissue. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 49, 1010–1017. <https://doi.org/10.1139/f92-113>
- Bose-O'Reilly, S., McCarty, K. M., Steckling, N., & Lettmeier, B. (2010). Mercury exposure and children's health. *Current Problems in Pediatric and Adolescent Health Care*, 40(8), 186–215. <https://doi.org/10.1016/j.cppeds.2010.07.002>
- Boyd, C.E. (2015). *Water Quality: an introduction*. 440 p. (Springer Nature).
- Brack A, Ipenza C, Alvarez J, & Sotero V. (2011). *Minería Aurífera en Madre de Dios y Contaminación con Mercurio - Una Bomba de Tiempo*, Ministerio del Ambiente, Lima abril del 2011. http://siar.minam.gob.pe/puno/sites/default/files/archivos/public/docs/mineria_aurifera_en_madre_de_dios.pdf
- Brosse, S., Grenouillet, G., Gevrey, M., Khazraie, K., & Tudesque, L. (2011). Small-Scale Gold Mining Erodes Fish Assemblage Structure in Small Neotropical Streams. *Biodivers. Conserv.* 20(5), 1013-1026. <https://doi.org/10.1007/s10531-011-0011-6>
- Brown S.T., Hasan M., Moody K., Loving D., Howe K., Dawson A., Drace K., Hugdahl J., Caryn S, Vega C., Fernandez L., & Kiefer A. (2020). Method for mapping Hg 0 emissions from gold shops in artisanal and small-scale gold mining communities. *Methods X*. 7:101060. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2215016120302806>
- Caballero Espejo, J. C., Messinger, M., Román-Dañobeytia, F., Ascorra, C., & Fernandez, L.E., (2018). Deforestation and forest degradation due to gold mining in the Peruvian Amazon: A 34-year perspective. *Remote Sens.* 2018, 10(12), 1903; <https://doi.org/10.3390/rs10121903>
- Cañas, C. 2000. *Evaluación de los recursos pesqueros en la provincia de Tambopata, Madre de Dios*. Conservación Internacional Perú. Serie Técnica: 67. Ediciones San Isidro-Lima.
- Castello, L., McGrath, D. G., Hess, L. L., Coe, M. T., Lefebvre, P. A., Petry, P., & Arantes, C. C. (2013). The vulnerability of Amazon freshwater ecosystems. *Conservation Letters*, 6(4), 217-229.
- Castilhos, Z., Rodrigues-Filho, S., Cesar, R., Rodrigues, A. P., Villas-Bôas, R., de Jesus, I., Lima M., Faial K., Miranda, A., Brabo, E., Beinhoff, C., & Santos, E. (2015). Human exposure and risk assessment associated with mercury contamination in artisanal gold mining areas in the Brazilian Amazon. *Environmental Science and Pollution Research*, 22(15), 11255– 11264. DOI: [10.1007/s11356-015-4340-y](https://doi.org/10.1007/s11356-015-4340-y)
- Centro Nacional de Salud Ocupacional y Protección del Ambiente para la Salud - CENSOPAS (2010). Niveles de exposición a mercurio en la población de Huepetuhe-Madre de Dios y factores de riesgo de exposición. Informe de Ensayo N° 048/10-LQDEIPCROACENSOPAS: Análisis de mercurio en orina realizado en Julio 2010 en pobladores del distrito de Huepetuhe Región Madre de Dios. Informe del grupo de Investigación del CENSOPAS-INS-MINSA 2010. Informe técnico. Disponible en: <http://mddconsortium.org/wp-content/uploads/2014/11/CENSOPAS-2010-Niveles-de-exposicion-a-mercurio-en-poblacion-de-Huepetuhe-Madre-de-Dios.pdf>

- CITA-UTEC. (2021). *Recomendaciones técnicas para el monitoreo de sedimentos en ríos de las cuencas andino-amazónicas*. Primera edición: Setiembre 2021. Lima, Peru. 44 pp.
<https://www.dancingrivers.com/publicaciones>
- Cohen, J. T., Bellinger, D. C., & Shaywitz, B. A. (2005). A quantitative analysis of prenatal methylmercury exposure and cognitive development. *American Journal of Preventive Medicine*, 29(4), 353-353. <https://doi.org/10.1016/j.amepre.2005.06.007>
- Cordier, S., Garel, M., Mandereau, L., Morcel, H., Doineau, P., Séguert, S., Josse, D., White R., & Amiel-Tison, C. (2002). Neurodevelopmental investigations among methylmercury-exposed children in French Guiana. *Environmental Research* 89(1): 1-11. DOI:10.1006/enrs.2002.4349
- Counter, S.A., & Buchanan, L.H. (2004). Mercury exposure in children: a review. *Toxicol Appl Pharmacol.* 198(2):209-30. [doi: 10.1016/j.taap.2003.11.032](https://doi.org/10.1016/j.taap.2003.11.032).
- Crespo-Lopez, M.E., Augusto-Oliveira, J., Lopes-Araújo, A., Santos-Sacramento, L., Yuki Takeda, P., de Matos Macchi, B., Martins do Nascimento, J.L., S.F. Maia, C., Lima, R.R., & Arrifano, G.P. (2021). Mercury: What Can We Learn from the Amazon? *Environment International* 146 (November 2020). <https://doi.org/10.1016/j.envint.2020.106223>.
- Davidson, P.W., Myers, G.J., Cox, C., et al. (1998). Effects of Prenatal and Postnatal Methylmercury Exposure From Fish Consumption on Neurodevelopment: Outcomes at 66 Months of Age in the Seychelles Child Development Study. *JAMA.* 1998;280(8):701–707.
[doi:10.1001/jama.280.8.701](https://doi.org/10.1001/jama.280.8.701)
- Dedieu, N., Allard, L., Vigouroux, R., & Brosse, S. (2014). Physical Habitat and Water Chemistry Changes Induced by Logging and Gold Mining in French Guiana Streams.
<https://doi.org/10.1051/kmae/2014026>.
- Deza Arroyo, N.E. (1997). *Mercury Accumulation in Fish from Madre de Dios, a Goldmining Area in the Amazon Basin, Peru*. Thesis Master of Science – Oregon State University. Accessible at: <https://ir.library.oregonstate.edu/downloads/9w032573d>
- Debes, F., Budtz-Jørgensen, E., Weihe, P., White, R. F., & Grandjean, P. (2006). Impact of prenatal methylmercury exposure on neurobehavioral function at age 14 years. *Neurotoxicology and Teratology*, 28(5), 536-547. <https://doi.org/10.1016/j.ntt.2006.02.005>
- Dethier, E.N., Sartain, S.L., & Lutz, D.A. (2019). Heightened Levels and Seasonal Inversion of Riverine Suspended Sediment in a Tropical Biodiversity Hot Spot Due to Artisanal Gold Mining. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 1–6.
<https://doi.org/10.1073/PNAS.1907842116>.
- Diringer, S. E., Feingold, B. J., Ortiz, E. J., Gallis, J. A., Araújo-Flores, J. M., Berky, A., ... 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. *Environmental Science: Processes & Impacts* 17(2): 478– 487. <https://doi.org/10.1039/C4EM00567H>

- do Santos-Lima, C., de Souza Mourão, D., de Carvalho, C. F., Souza-Marques, B., Vega, C. M., Gonçalves, R. A., ... & de Souza Hacon, S. (2020). Neuropsychological effects of mercury exposure in children and adolescents of the Amazon Region, Brazil. *Neurotoxicology*, 79, 48-57. [DOI: 10.1016/j.neuro.2020.04.004](https://doi.org/10.1016/j.neuro.2020.04.004)
- Drake, P.L., Rojas, M., Reh, C.M., Mueller, C.A., & Jenkins, F.M. (2001). Occupational exposure to airborne mercury during gold mining operations near El Callao, Venezuela. *Int. Arch. Occup. Environ. Health* 74, 206–212. [DOI: 10.1007/s004200000206](https://doi.org/10.1007/s004200000206)
- Duarte, C., Magurran, A.E., Zuanon, J. & Deus, C.P. (2019) Trophic ecology of benthic fish assemblages in a lowland river in the Brazilian Amazon. *Aquat. Ecol.* 53, 707–718. <https://doi.org/10.1007/s10452-019-09720-5>
- Esdaile, L. J., & Chalker, J. M. (2018). The Mercury Problem in Artisanal and Small-Scale Gold Mining. *Chemistry (Weinheim an der Bergstrasse, Germany)*, 24(27), 6905–6916. <https://doi.org/10.1002/chem.201704840>
- Fernandez, L. E., Ashe, K., Araujo, J., & Field, C.B. (2013a). Mercury in Madre de Dios: Mercury Concentrations in Fish and Humans in Puerto Maldonado. *CAMEP Research Brief Series No. 1*. Carnegie Institution for Science, Stanford, CA, USA. <https://www-legacy.dge.carnegiescience.edu/research/CAMEP/CAMEP%20Research%20Brief%20-%20Puerto%20Maldonado%20English%20-%20FINAL.pdf>
- Fernandez, L. E., Ashe, K., Araujo, J., & Field, C.B. (2013b). Mercury in Madre de Dios: Mercury Concentrations in Human Populations in the Peruvian Amazon. *CAMEP Research Brief Series. No. 2*. Carnegie Institution for Science, Stanford, CA, USA. <https://www-legacy.dge.carnegiescience.edu/research/CAMEP/CAMEP%20Research%20Brief%20-%20Puerto%20Maldonado%20English%20-%20FINAL.pdf>
- Fernández, L.E., Borchers, S., González, D. Ashe, K., Araujo, J., & Morales, A. (2017). Elevated mercury exposure in native populations in the Southern Peruvian Amazon. *Proceedings of the 13th International Conference on Mercury as a Global Pollutant*. Providence, Rhode Island. Doc B. p. 77
- Fernández, L., Vega, C., González, D. J. X., Chabria, R., Hafzalla, G., Culquichicon, C., Lescano, A. G., Silva, J., Mujica, O., Hoops, H., & Sanders, J. (2019). Elevated mercury exposure in Amazonian indigenous populations in Manu National Park, Madre de Dios, Peru. *Proceedings of the 14th International Conference on Mercury as a Global Pollutant*, Krakow, Poland. [DOI: 10.13140/RG.2.2.21694.84804](https://doi.org/10.13140/RG.2.2.21694.84804)
- Fernández, Luis E. (2019). Addressing impacts from ASGM on ecosystems and biodiversity. [PowerPoint slides]. *World Water Week Meeting 2019*. August 2019. Stockholm International Water Institute. Stockholm, Sweden. Disponible en: https://programme.worldwaterweek.org/Content/ProposalResources/PDF/2019/pdf-2019-8358-3-Fernandez%20SIWI%20PPT%20-%2008.27.19_compressed.pdf

- Feingold, B.J., Berky, A., Hsu-Kim, H., Jurado, E.R., & Pan, W.K. (2020). Population-based dietary exposure to mercury through fish consumption in the Southern Peruvian Amazon. *Environmental Research* 183, 108720. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2019.108720>
- Finer M., & Novoa, S. (2016). Illegal Gold Mining Alters the Course of the Malinowski River (border of Tambopata National Reserve). *MAAP*: 33. <https://maaproject.org/2016/malinowski/>
- González, D.J.X., Arain, A., Fernandez, L.E. (2019). Mercury exposure, risk factors, and perceptions among women of childbearing age in an artisanal gold mining region of the Peruvian Amazon. *Environmental Research.*, Vol. 179(A):108786. DOI: [10.1016/j.envres.2019.108786](https://doi.org/10.1016/j.envres.2019.108786)
- Gerson, J.R., Topp, S.N., Vega, C.M., Gardner, J.R., Yang, X., Fernandez, L.E., Bernhardt, E.S., & Pavelsky, T.M. (2020). Artificial Lake Expansion Amplifies Mercury Pollution from Gold Mining. *Science Advances* 6(48): 1–8. DOI: [10.1126/sciadv.abd4953](https://doi.org/10.1126/sciadv.abd4953)
- Gibb, H., & O’Leary, K. G. (2014). Mercury exposure and health impacts among individuals in the artisanal and small-scale gold mining community: a comprehensive review. *Environmental Health Perspectives*, 122(7), 667-672. doi: [10.1289/ehp.1307864](https://doi.org/10.1289/ehp.1307864)
- Grandjean, P., Weihe, P., White, R. F., & Debes, F. (1998). Cognitive performance of children prenatally exposed to “safe” levels of methylmercury. *Environmental Research* 77(2), 165-172. <https://doi.org/10.1006/enrs.1997.3804>
- Grandjean, P., White, R. F., Nielsen, A., Cleary, D., & de Oliveira Santos, E. C. (1999). Methylmercury neurotoxicity in Amazonian children downstream from gold mining. *Environmental Health Perspectives*, 107(7), 587–591. <https://doi.org/10.1289/ehp.99107587>
- Gutiérrez-Mosquera, H., Sujitha, S. B., Jonathan, M. P., Sarkar, S. K., Medina-Mosquera, F., Ayala-Mosquera, H., Morales-Mira, G., & Arreola-Mendoza, L. (2018). Mercury levels in human population from a mining district in Western Colombia. *Journal of Environmental Sciences (China)*, 68, 83– 90. <https://doi.org/10.1016/j.jes.2017.12.007>
- Gutiérrez La Torre, T.A. (2015). *Impactos mineros, agropecuarios y de la conservación en la calidad del agua y los sedimentos, cuenca Tambopata, Madre de Dios*. Tesis de grado. Universidad Nacional Agraria La Molina. Lima, Peru. <http://repositorio.lamolina.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12996/2195/T01-G88-T.pdf>
- Gutleb, A.C., Schenck, C., & Staib, E. (1993). Total Mercury and Methylmercury Levels in Fish from the Department Madre De Dios, Peru. *IUCN Otter Specialist Group Bulletin* 8: 16–18. https://www.iucnosgbull.org/Volume8/Gutleb_Schenk_Staib_1993.html
- Hohensinner S., Hauer, C., & Muhar, S. (2018). River Morphology, Channelization, and Habitat Restoration. *Riverine Ecosystem Management: Science for Governing Towards a Sustainable Future*. Schmutz S, Sendzimir J, editors. Springer International Publishing; p. 41–65. Disponible en: https://www.google.com/books/edition/Riverine_Ecosystem_Management/qE5aDwAAQBAJ

- Isaac, V. J., & De Almeida, M. C. (2011). El consumo de pescado en la Amazonía brasileña. *COPESCAL. Documento Ocasional*, (13), <http://www.fao.org/docrep/014/i2408s/i2408s.pdf>.
- Jacob, L.L., Prudente, B.S., Montag, L.F.A., & Silva, R.R. (2020). The effect of different logging regimes on the ecomorphological structure of stream fish assemblages in the Brazilian Amazon. *Hydrobiologia* 848: 1027-1039. <https://doi.org/10.1007/s10750-020-04508-3>
- Kahhat, R., Parodi, E., Larrea-Gallegos, G., Mesta, C., & Vázquez-Rowe, I. (2019). Environmental Impacts of the Life Cycle of Alluvial Gold Mining in the Peruvian Amazon Rainforest. *Science of the Total Environment* 662: 940–51. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.01.246>.
- 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. *International Journal of Environmental Research and Public Health* 14(3):302. <https://doi.org/10.3390/ijerph14030302>
- Markham, K. & Sangermano, F. (2018). Evaluating Wildlife Vulnerability to Mercury Pollution from Artisanal and Small-Scale Gold Mining in Madre de Dios, Peru. *Tropical Conservation Science*. 11. 194008291879432. 10.1177/1940082918794320.
- Martín, A., Arias, J., López, J., Santos, L., Venegas, C., Duarte, M., Ortiz-Ardila, A., de Parra, N., Campos, C., & Zambrano, C. C. (2020). Evaluation of the effect of gold mining on the water quality in Monterrey, Bolívar (Colombia). *Water*, 12(9), 2523. <https://doi.org/10.3390/w12092523>
- Martinelli, L. A., Ferreira, J. R., Forsberg, B. R., & Victoria, R. L. (1988). Mercury contamination in the Amazon: a gold rush consequence. *Ambio*, 252-254. <https://www.jstor.org/stable/4313470>
- Martínez, G., Restrepo-baena, O.J. and Veiga, M.M., (2021). “The Extractive Industries and Society The Myth of Gravity Concentration to Eliminate Mercury Use in Artisanal Gold Mining.” *The Extractive Industries and Society* 8 (1): 477–85. <https://doi.org/10.1016/j.exis.2021.01.002>.
- Martínez G. , S.A. McCord, C.T. Driscoll, S. Todorova, S. Wu, J.F. Araújo, C.M. Vega, Fernandez LE (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). <https://doi.org/10.3390/ijerph15081584>
- Ministerio del Ambiente, Perú. (2016) Convenio de Minamata sobre Mercurio: ratificación peruana. Ministerio del Ambiente Perú. Lima: 197 pp. <https://www.minam.gob.pe/wp-content/uploads/2018/07/Convenio-de-Minamata-sobre-Mercurio-Ratificacion-peruana.pdf>
- Ministerio de la Producción, Peru. (2011). Bioacumulación de Mercurio en Peces de Mayor Importancia Comercial Recolectados en los Ríos de Madre de Dios. Dirección General de Asuntos Ambientales de Pesquería – DIGAAP. Informe N° 20-2011

- Miranda-Chumacero, G., Mariac, C., Duponchelle, F., Painter, L., Wallace, R. Cochonneau, G. Molina-Rodriguez, J., Garcia-Davila, C., & Renno, J.F. (2020). Threatened fish spawning area revealed by specific metabarcoding identification of eggs and larvae in the Beni River, upper Amazon. *Global Ecology and Conservation* 24. <https://doi.org/10.1016/j.gecco.2020.e01309>
- Mol, J. H., & Ouboter, P. E. (2004). Downstream effects of erosion from small-scale gold mining on the instream habitat and fish community of a small neotropical rainforest stream. *Conservation Biology*, 18(1), 201-214. <https://www.jstor.org/stable/3589131>
- Montaña, C.G., Liverpool, E., Taphorn, D.C., & Schalk, C.M. (2021). The cost of gold: Mercury contamination of fishes in a Neotropical river food web. *Neotrop. Ichthyol.* 19(3):1–23. <https://doi.org/10.1590/1982-0224-2020-0155>
- Moreno-Brush, M., McLagan, D. S., & Biester H. (2020). Fate of mercury from artisanal and small-scale gold mining in tropical rivers: Hydrological and biogeochemical controls. A critical review. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, 50:5, 437-475 <https://doi.org/10.1080/10643389.2019.1629793>
- 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. DOI: [10.1007/s10646-017-1869-1](https://doi.org/10.1007/s10646-017-1869-1)
- Moody, K.H., Hasan, K.M., Aljic, S., Blakeman, V.M., Perry Hicks, L., Loving, D.C., Moore, M.E., Hammett, B.S., Silva-González, M., Seney, C.S., & Keifer, A.M. (2020). Mercury Emissions from Peruvian Gold Shops: Potential Ramifications for Minamata Compliance in Artisanal and Small-Scale Gold Mining Communities. *Environmental Research* 182 (Aug 2019): 109042. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2019.109042>.
- National Research Council (NRC-US) Committee on the Toxicological Effects of Methylmercury. (2000). *Toxicological Effects of Methylmercury*. Washington (DC): National Academies Press (US). DOI: [10.17226/9899](https://doi.org/10.17226/9899)
- Ortega, H., & Hidalgo, M. (2008). Freshwater fishes and aquatic habitats in Peru: Current knowledge and conservation. *Aquatic Ecosystem Health & Management*, 11(3), 257-271.).
- Ormaeche Macassi, M., Llamocca Rodriguez, A. (2020). *Análisis de Situación de Salud de los Pueblos Indígenas de la Amazonía viviendo en el ámbito de las Cuatro Cuencas y el Río Chambira*. Centro Nacional de Epidemiología, Prevención y Control de Enfermedades, Ministerio de Salud del Perú. ISBN: 978-612-48200-1-4. <http://bvs.minsa.gob.pe/local/MINSA/5264.pdf>
- Osores Plenge, F., Rojas Jaimes, J.E., & Manrique Lara Estrada, C.H. (2012). Minería informal e ilegal y contaminación con mercurio en Madre de Dios: Un problema de salud pública. *Acta Médica Peruana*, 29(1), 38-42. Recuperado en 17 de noviembre de 2021, de

http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1728-59172012000100012&lng=es&tlng=es.

- Ouboter, P.E., Landburg, G., Satnarain, G.U., Starke, S.Y., Nanden, I., Simon-Friedt, B., Hawkins, W.B., Taylor, R., Lichtveld, M.Y., Harville, E., & Wickliffe, J.K. (2018). Mercury Levels in Women and Children from Interior Villages in Suriname, South America. *Int J Environ Res Public Health*. May 17;15(5):1007. doi: 10.3390/ijerph15051007.
- Panduro, G., Rengifo, G.C., Barreto, J.L., Arbaiza-Peña, A.K., Iannacone, J., Alvariño, L., & Crnobrna, B. (2020). Bioacumulación por mercurio en peces y riesgo por ingesta en una comunidad nativa en la amazonia peruana. *Revista de Investigaciones Veterinarias del Perú*, 31(3), e18177. <https://dx.doi.org/10.15381/rivep.v31i3.18177>
- Pari Quispe, D., & Mamani Flores, M. (2021). Factores que determinan el consumo de *Prochilodus nigricans* en la ciudad de Pucallpa, Ucayali. *Revista de Investigación en Comunicación y Desarrollo* 12(2): 120-130. <https://doi.org/10.33595/2226-1478.12.2.521>
- Pfeiffer, W.C.; de Lacerda, L.D. (1988). Mercury inputs into the Amazon Region, Brazil. *Environ. Technol. Lett.* 9, 325–330. <https://doi.org/10.1080/09593338809384573>
- Regnell, O., & Watras, C.J. (2019). Microbial Mercury Methylation in Aquatic Environments: A Critical Review of Published Field and Laboratory Studies. *Environmental Science & Technology* 53 (1), 4-19 DOI: 10.1021/acs.est.8b02709
- 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>
- Roach, K.A., Jacobsen, N.F., Fiorello, C.V., Stronza, A., & Winemiller, K.O. (2013). Gold mining and mercury bioaccumulation in a floodplain lake and main channel of the Tambopata River, Perú. *J. Environ. Prot.* 2013, 4, 51–60. DOI: 10.4236/jep.2013.41005
- Science Panel for the Amazon (2021). Drivers and Impacts of Changes in Aquatic Ecosystems. Chapter 20 in Brief. [United Nations Sustainable Development Solutions Network](https://www.un.org/sustainabledevelopment/solutions-network/).
- Silva-Forsberg, M.C., Forsberg, B.R., & Zeidemann, V.K. (1999). Mercury Contamination in Humans Linked to River Chemistry in the Amazon Basin. *P. Ambio*. 28, 519–521. <http://www.jstor.org/stable/4314944>
- Schudel, G., Adler Miserendino, R., Veiga, M., Colon Velasquez-López, P., Lees, P.S.J., Winland-Gaetz, S., Davée Guimarães, J.R., & Bergquist, B.A. (2018). An investigation of mercury sources in the Puyango-Tumbes River: Using stable Hg isotopes to characterize transboundary Hg pollution. *Chemosphere*, Volume 202, 2018, pp. 777-787, <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2018.03.081>

- Shrum, P. (2009). *Analysis of mercury and lead in birds of prey from gold-mining areas of the Peruvian Amazon*. Clemson University. All Theses. 753.
https://tigerprints.clemson.edu/all_theses/753
- Silva, E.A. & Stewart, D.J. 2017. Reproduction, Feeding and Migration patterns of *Prochilodus nigricans* (Characiformes: Prochilodontidae) in northeastern Ecuador. *Neotropical Ichthyology* 15(3). <https://doi.org/10.1590/1982-0224-20160171>
- Singer, M.B., Aalto, R., James, L.A., Kilham, N.E., Higson, J.L., Ghoshal, S. (2013). Enduring legacy of a toxic fan via episodic redistribution of California gold mining debris. *Proceedings of the National Academy of Sciences* Nov 2013, 110 (46) 18436-18441; DOI: [10.1073/pnas.1302295110](https://doi.org/10.1073/pnas.1302295110)
- Sirén, A. (2021). Una aproximación al volumen de la pesca en la Amazonía peruana utilizando datos de consumo y de desembarque. *COPESCAALC Documento Ocasional N.o 17. Roma, FAO*.
<https://doi.org/10.4060/cb5039es>
- Sonter, L.J., Ali, S.H., & Watson, J.E.M. (2018). Mining and Biodiversity: Key Issues and Research Needs in Conservation Science. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences* 285 (1892). <https://doi.org/10.1098/rspb.2018.1926>
- Telmer, K., Veiga M., Mason, R., & Pirrone, N. (2009). Mercury Fate and Transport in the Global Atmosphere: Emissions, Measurements and Models. New York: Springer. World emissions of mercury from small-scale and artisanal gold mining. pp. 131–172. ISBN: 978-0-387-93958-2
- Trasande, L., Landrigan, P.J., & Schechter, C. (2005). Public health and economic consequences of methyl mercury toxicity to the developing brain. *Environ Health Perspect.* May;113(5):590-6.
[doi: 10.1289/ehp.7743](https://doi.org/10.1289/ehp.7743).
- Vasconcellos, A. C. S. D., Barrocas, P. R. G., Ruiz, C. M. V., Mourão, D. D. S., & Hacon, S. D. S. (2018). Carga de Retardo Mental Leve atribuída à exposição pré-natal ao metilmercúrio na Amazônia: estimativas local e regional. *Ciência & Saúde Coletiva*, 23, 3535-3545.
<https://doi.org/10.1590/1413-812320182311.15812016>
- Veiga, M. M., Maxson, P.A., & Hylander, L.D. (2006). Origin and consumption of mercury in small-scale gold mining. *Journal of Cleaner Production*, Volume 14, Issues 3–4, pp.436-447,
<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2004.08.010>.
- Weinhouse, C., Gallis, J.A., Ortiz, E., Berky, A.J., Morales, A.M., Diringer, S.E., Harrington, J., Bullins, P., Rogers, L., Hare-Grogg, J., Hsu-Kim, H., & Pan, W.K. (2020). A population-based mercury exposure assessment near an artisanal and small-scale gold mining site in the Peruvian Amazon. *J Expo Sci Environ Epidemiol* 31, 126–136. <https://doi.org/10.1038/s41370-020-0234-2>
- Wyatt, L., Robey Permar, S., Ortiz, E., Berky, A., Woods, C.W., Fouda Amouou, G., Itell, H., Hsu-Kim, H., & Pan, W. (2019). Mercury Exposure and Poor Nutritional Status Reduce Response to Six Expanded Program on Immunization Vaccines in Children: An Observational Cohort Study of

Communities Affected by Gold Mining in the Peruvian Amazon. *International Journal of Environmental Research and Public Health* 16 (4): 1–22.

<https://doi.org/10.3390/ijerph16040638>.

Woolf, A. D. (2022). Three methylmercury poisoning disasters. In *History of Modern Clinical Toxicology* (pp. 15-33). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-822218-8.00037-5>

World Health Organization (WHO)/ United Nations Environmental Programme (UNEP) (2008). Guidance for Identifying Populations at Risk from Mercury Exposure. <http://www.who.int/foodsafety/publications/chem/mercuryexposure.pdf>.

Yard, E. E., Horton, J., Schier, J. G., Caldwell, K., Sanchez, C., Lewis, L., & Gastañaga, C. (2012). Mercury exposure among artisanal gold miners in Madre de Dios, Peru: a cross-sectional study. *Journal of Medical Toxicology*, 8(4), 441-448. DOI: [10.1007/s13181-012-0252-0](https://doi.org/10.1007/s13181-012-0252-0)

CINCIA | Centro de Innovación Científica Amazónica

CINCIA es un centro de investigación en ciencias aplicadas con sede en Puerto Maldonado - Perú, que realiza investigaciones científicas sobre la dinámica y los impactos ambientales de la minería ilegal de oro en la Amazonía. Durante más de 5 años, CINCIA ha dirigido varios estudios científicos para examinar la contaminación por mercurio relacionada con la minería, la deforestación, la degradación del paisaje y la alteración de las cuencas hidrográficas, y los efectos de estos impactos en la vida silvestre y las poblaciones humanas en y alrededor de las áreas mineras. Los científicos de CINCIA, trabajando con una red de 15 universidades en los EE. UU., Europa y Perú, han sido autores de 37 publicaciones científicas revisadas por pares y más de 80 informes técnicos y presentaciones que informan sobre los impactos ambientales de la minería de oro y métodos innovadores para la reforestación y recuperación de paisajes degradados por las minas en la Amazonía.

Contactos

Dirección: Av. Ucayali Mz 4-Z Lote 9-A, Puerto Maldonado, Madre de Dios, Perú

Web: <http://cincia.wfu.edu>

Facebook: @cinciamdd | Twitter: @cinciamdd | Instagram: @cinciamdd

Cita Sugerida para esta Publicación

Centro de Innovación Científica Amazónica (2021). Impactos ambientales previstos de la actividad minera ilegal de oro en cuerpos de agua de la Amazonía peruana. [Documento Síntesis Científica]. CINCIA Documento Síntesis Científica No. 1. Puerto Maldonado, Perú.

Declaración

Los autores desean agradecer a Leo Guerrero Asmad, Mónica Moreno-Brush y César David Barreto por sus valiosos comentarios y sugerencias sobre este manuscrito.

Esta publicación fue posible gracias al generoso apoyo del pueblo de los Estados Unidos de América a través de la Agencia de los Estados Unidos para el Desarrollo Internacional (USAID). El contenido de este Documento de Síntesis Científica es responsabilidad de los autores y no refleja necesariamente los puntos de vista o posiciones de la Agencia de los Estados Unidos para el Desarrollo Internacional o del Gobierno de los Estados Unidos.

Este trabajo es un producto del proyecto CINCIA-ACIERTA. CINCIA-ACIERTA es una alianza entre CINCIA, Wake Forest University y USAID.