

SERIE DE RESUMENES DE INVESTIGACIÓN

# EXPOSICIÓN ELEVADA AL MERCURIO EN AVES: IMPACTO DE LA MINERÍA ARTESANAL DE ORO EN LA AMAZONÍA PERUANA

Jessica N. Pisconte, Claudia M. Vega, Christopher Sayers II, C. Steven Sevillano-Ríos, Martín Pillaca, Edwin Quispe, Vania Tejeda, Cesar Ascorra, Miles R. Silman & Luis E. Fernández

Resumen de Investigación N°15 | Diciembre 2024

Palabras clave: Mercurio en aves, MAPE (Minería Artesanal y de Pequeña Escala), Contaminación ambiental, Amazonía peruana, Impacto de la minería



## PUNTOS CLAVE

- Las pozas mineras de la MAPE aumentan los niveles de mercurio en las aves. Estas pozas favorecen la producción de metil-mercurio, un contaminante altamente tóxico.
- Aves en zonas mineras tienen el doble de mercurio. Las aves muestreadas en áreas con actividad minera mostraron niveles de mercurio dos veces más altos que en bosques no impactados. Las aves insectívoras en zonas MAPE tienen hasta 5 veces más mercurio que en el sitio control.
- Los hábitos alimenticios influyen en la contaminación por mercurio. Piscívoros e insectívoros, que están en la cima de la cadena alimenticia, presentaron los niveles más altos de mercurio.
- Máximos históricos de mercurio en aves piscívoras. Un martín pescador verde (*Chloroceryle americana*) registró 72.80 µg/g de mercurio, el nivel más alto reportado para aves neotropicales en la literatura científica.
- Riesgo de disminución del éxito reproductivo. El 25% de las especies de aves estudiadas tienen niveles de mercurio que pueden reducir su éxito reproductivo. Algunas especies piscívoras e insectívoras podrían ver una reducción de hasta el 40% en su éxito reproductivo, afectando negativamente a las poblaciones de aves regionales y migratorias.

## INTRODUCCIÓN

El mercurio (Hg) es un metal tóxico, persistente en el ambiente y de amplia distribución, que se considera un importante contaminante de interés global ( Gworek et al., 2020). La Minería Artesanal y de Pequeña Escala (MAPE) incrementan los niveles de Hg en el ambiente (Streets et al., 2019), donde puede ser transformado a metil-mercurio (MeHg), especialmente en ecosistemas acuáticos con condiciones anóxicas, es decir, en ausencia de oxígeno.

El MeHg es una de las formas más tóxicas del Hg, que puede ser acumulado en los organismos vivos y magnificado a través de la cadena alimenticia. De esta forma, los organismos de mayor jerarquía en la cadena pueden alcanzar niveles más altos, teniendo mayor riesgo de exposición. Estudios realizados en el hemisferio norte han demostrado que la exposición al MeHg en la fauna silvestre causa efectos adversos neurológicos, conductuales, fisiológicos, reproductivos y demográficos (Whitney & Cristol, 2017), capaces de reducir las poblaciones aviares. Sin embargo, existen pocos estudios que examinen estos efectos en la fauna silvestre del hemisferio sur, y como resultado, hay pocos datos que reporten efectos adversos producto de la contaminación por MeHg.

Madre de Dios es considerada un hotspot de biodiversidad global que ha experimentado un rápido crecimiento de la Minería de Oro Artesanal y de Pequeña Escala (MAPE) en los últimos 30 años (Caballero et al., 2018), la cual ha emitido alrededor de 181 toneladas Hg/año (Arana & Montoya, 2017). Las emisiones de Hg relacionadas con la minería han elevado los niveles de este metal en la atmósfera (Gerson et al., 2022), ríos (Diringer et al., 2015), sedimentos (Estrada et al., 2023) y peces de Madre de Dios (Barocas et al., 2023;). La MAPE ha generado cambios hidrológicos y terrestres que incrementan las emisiones de Hg al convertir los paisajes boscosos en paisajes desérticos y lagos artificiales (pozas

mineras) que tienen altas tasas de metilación (Gerson et al., 2020). Este ecosistema post-minería tiene el potencial de actuar como fuente de MeHg a ecosistemas terrestres adyacentes a través de la cadena alimenticia. A pesar de que la contaminación es evidente, aún existen pocos estudios que evalúen la exposición y el riesgo para la vida silvestre (Canham et al., 2020). Las aves son bioindicadores efectivos de contaminación debido a que son abundantes, tienen una amplia distribución global y elevada posición trófica (Low et al., 2019;).

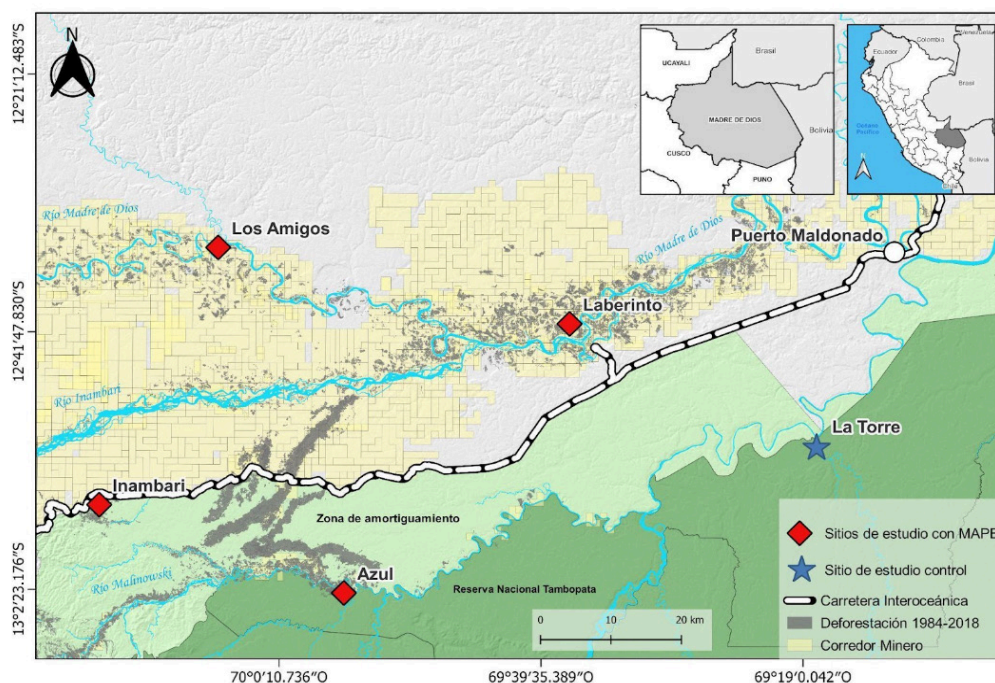
Adicionalmente, las aves de los trópicos son muy vulnerables a las amenazas ambientales (Moller & Liang, 2013) y suelen mantener áreas de distribución más pequeñas (Jirinec et al., 2018), lo que reduce la incertidumbre espacio-temporal de su exposición. El objetivo de esta investigación fue evaluar el impacto de la actividad MAPE en la exposición al Hg en las comunidades de aves de Madre de Dios, y evaluar los posibles factores que puedan incrementarla.

## MÉTODOS

El estudio se desarrolló entre los meses de julio – octubre del 2019 en cuatro localidades con actividad MAPE ubicados en los distritos de Laberinto e Inambari, en la Estación Biológica Los Amigos (EBLA) y en el sector del PVC Azul de la Reserva Nacional Tambopata (RNTAMB). Estos dos últimos sitios representan áreas de conservación que han sido afectadas por actividad minera. También se incluyó un área control (sin MAPE) en el sector del PVC La Torre de la RNTAMB (Figura 1). Estos sitios fueron seleccionados mediante muestreo por conveniencia debido a su relativo fácil acceso y a la existencia de estudios previos realizados.



Procesamiento de datos y toma de muestras en aves capturadas.



**Figura.1 Ubicación de las localidades muestreadas en Madre de Dios. Las localidades afectadas por MAPE se muestran en color rojo y la localidad control en color azul.**

En cada localidad, se realizaron capturas de aves durante tres días consecutivos utilizando redes de neblina ubicadas a diferentes distancias en un transecto lineal de 1000 metros, iniciando en el borde de un cuerpo de agua (poza minera o lago ‘cocha’ natural), con dirección al paisaje boscoso no afectado por la MAPE (Figura 2).

Este diseño nos permitió evaluar en qué medida las pozas mineras y los lagos naturales contribuyen a la contaminación por Hg en la comunidad de aves adyacente.

Las especies de aves fueron identificadas utilizando la guía Aves del Perú (Schulenberg et al., 2007) mientras que, la identificación del gremio de alimentación estuvo basada en la información de la plataforma Birds of the World (<https://www.birdsoftheworld.org/>).

Posteriormente, se colectaron plumas pectorales que se almacenaron en sobres de papel hasta su análisis. Después de la recolección de muestra, se procedió a la liberación de las aves. Se realizó la medición de Hg total en las muestras de plumas siguiendo la técnica de espectrometría de absorción atómica según el método EPA 7473 (US EPA, 2007) y utilizando un analizador directo de Hg (Milestone DMA-80, Direct Mercury Analyzer).

Los análisis de Hg se realizaron en el Laboratorio de Mercurio y Química Ambiental (LAMQA), comanejado por el Instituto de Investigaciones de la Amazonía Peruana (IIAP) y el Centro de Innovación Científica Amazónica (CINCIA), ubicado en la Estación

Roger Beuzeville Zumaeta en Tambopata, Madre de Dios.

Adicionalmente, debido a la variación en la distribución de las pozas mineras en áreas afectadas por la MAPE, se realizó un análisis espacial de estos cuerpos de agua en cada localidad utilizando imágenes L2A, Sentinel-2A y Sentinel-2B con un tamaño de píxel de 10 m (Cortes & Vapnik, 1995; Huang et al., 2002).

Este análisis se realizó considerando un área de 2 km alrededor de cada transecto que representan el área de distribución de aves depredadoras acuáticas neotropicales como los martines pescadores (Bittermann, 2012; Bridge & Kelly, 2013).

Para evaluar los factores que influyen la concentración de mercurio, se utilizó un modelo lineal mixto (LMM), considerando como variables a los gremio alimenticio, la presencia de minería, el área de las pozas y distancia desde un cuerpo de agua (considerada como fuente de contaminación por Hg).

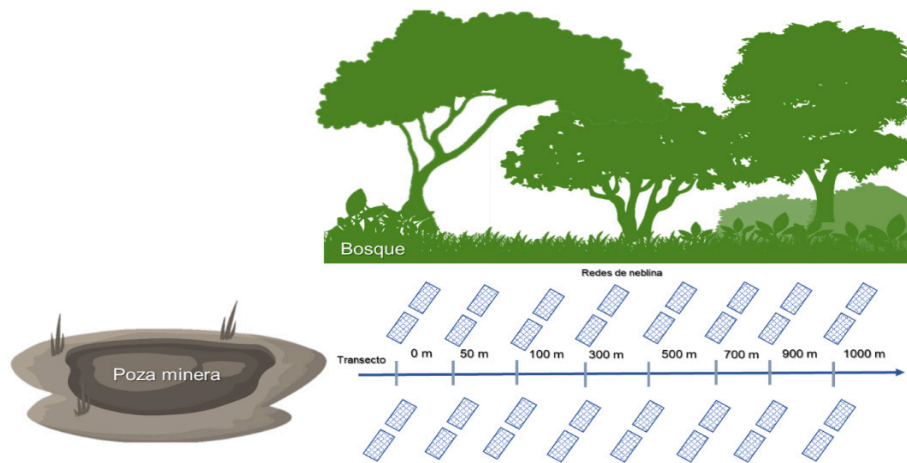


Figura. 2 Esquema del diseño de estudio utilizado para evaluar la extensión espacial de la contaminación por Hg en la comunidad de aves.

## RESULTADOS

### La presencia de múltiples pozas mineras en Madre de Dios incrementan los niveles de Hg en la población de aves.

Se encontraron los niveles más altos de Hg en plumas de aves que habitan sitios afectados por la MAPE, principalmente en las localidades de Laberinto ( $4.15 \pm 9.38 \mu\text{g/g}$ ,  $n = 124$ ) y en el sector Azul ( $3.27 \pm 6.22 \mu\text{g/g}$ ,  $n = 46$ ), seguido de Inambari

( $2.99 \pm 9.17 \mu\text{g/g}$ ,  $n = 81$ ) y Los Amigos ( $1.07 \pm 0.78 \mu\text{g/g}$ ,  $n = 60$ ), mientras que los valores más bajos se reportan en el sitio control La Torre ( $0.44 \pm 0.38 \mu\text{g/g}$ ,  $n = 50$ ) (Figura 3).

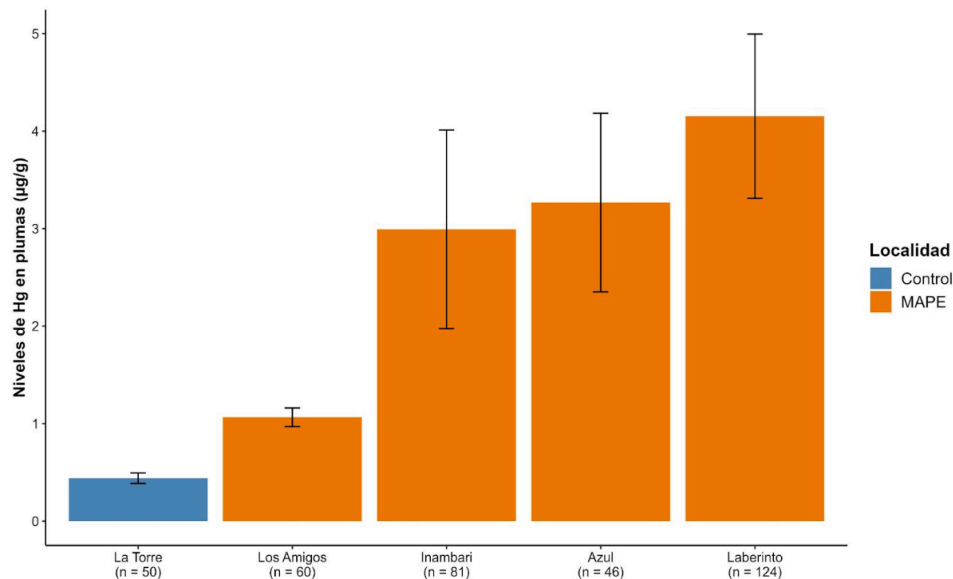


Figura. 3 Niveles de Hg en plumas de todos los lugares muestreados en Madre de Dios. Las líneas negras representan las barras de error, que se basan en los promedios de Hg por lugar y el error estándar.

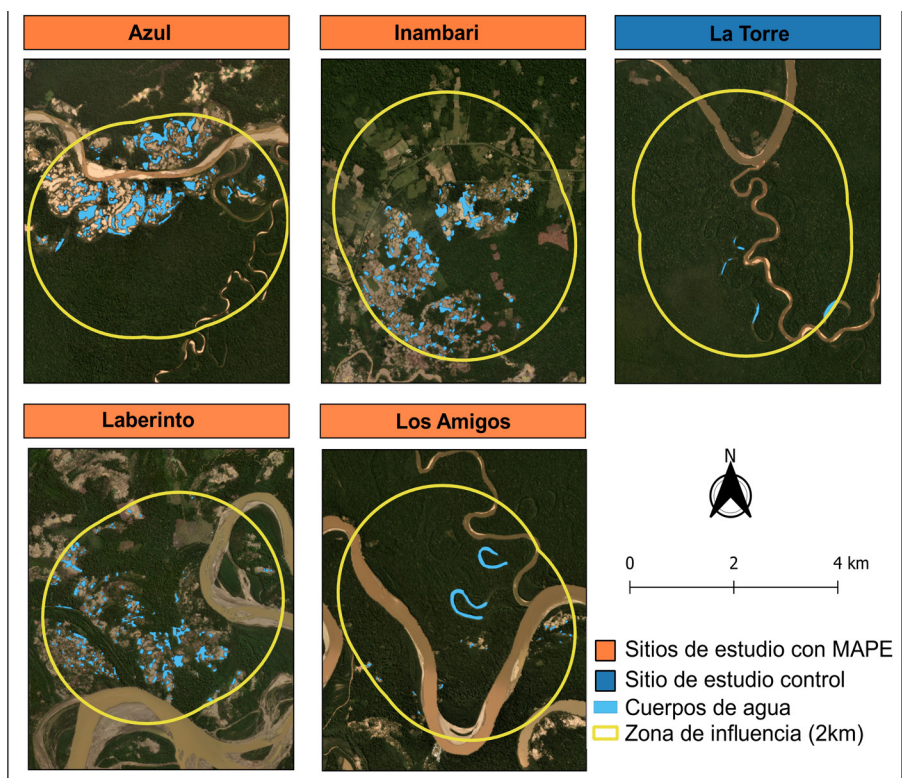
Estos niveles podrían explicarse por la presencia de numerosas pozas mineras y la conexión con los ríos cercanos como el río Madre de Dios (Laberinto) y el río Malinowsky (Azul), que durante las inundaciones estacionales pueden acelerar la colonización de organismos acuáticos (Araújo-Flores et al., 2021) y al mismo tiempo, favorecer el transporte de Hg a estos cuerpos de agua artificiales post minería (Bastos et al., 2006; .

Por otro lado, la falta de conectividad a los ríos puede explicar los niveles más bajos encontrados en la localidad de Inambari, donde a pesar de existir numerosas pozas mineras, la nula influencia directa del río probablemente reduciría la entrada de Hg. Los niveles de Hg encontrados en plumas no mostraron una tendencia espacial clara en los transectos de 1 km (desde la poza minera inicial hacia el bosque) en las localidades estudiadas. La ausencia de esta tendencia espacial puede deberse a la presencia de múltiples pozas mineras (Figura 4) que crean una fuente espacialmente dispersa de Hg para las aves.

Estos resultados sugieren que, a pesar de existir fuentes de emisión de Hg y un hábitat de metilación creado por las pozas mineras, es probable que la transferencia de MeHg desde una poza no sea lineal en los paisajes mineros.

En el análisis espacial de 2 km realizado alrededor de cada sitio de estudio, se observó una distribución heterogénea de pozas mineras. La localidad Azul presentó la mayor área de pozas mineras (126.58 ha), seguido por Inambari (67.28 ha), Laberinto (50.66 ha) y Los Amigos (1.89 ha).

Se determinó que, el área de estas pozas mineras es un factor que incrementa los niveles de Hg en aves probablemente debido a que estos cuerpos de agua son sitios de metilación de Hg en paisajes con MAPE (Gerson et al., 2020), transfiriendo MeHg a las redes tróficas acuáticas y los paisajes boscosos adyacentes.

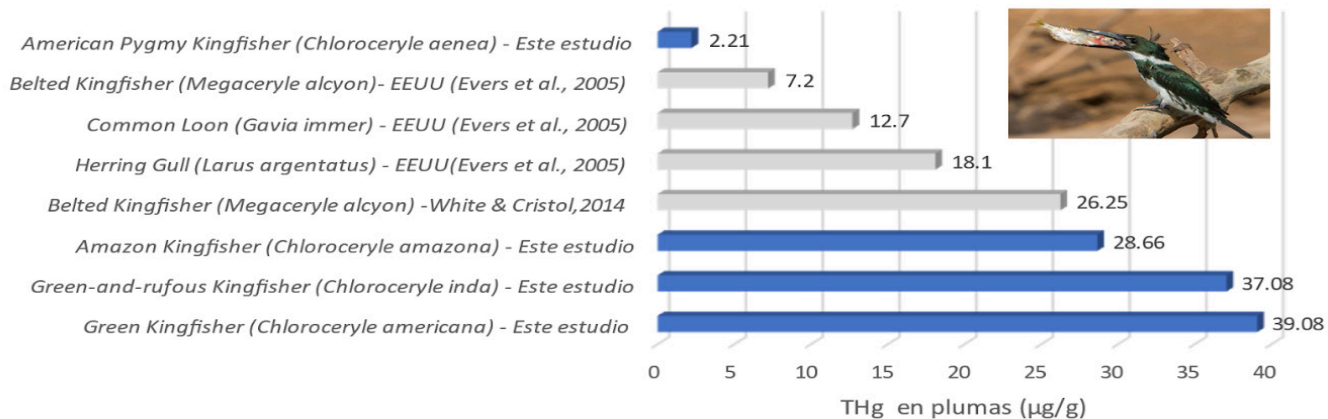


**Figura. 4** Distribución y extensión espacial de cuerpos de agua en las localidades estudiadas en Madre de Dios. Localidades MAPE: Azul (126.58 ha), seguido de: Inambari (67.28 ha), Laberinto (50.66 ha), y Los Amigos (1.89 ha).

Las pozas mineras son fuente de recurso alimenticio contaminado que pueden transferir Hg a la redes tróficas de paisajes adyacentes a sitios con MAPE, afectando especialmente a organismos vivos que ocupan los niveles más altos de la cadena alimenticia como las aves piscívoras.

Se colectaron plumas pectorales de 361 individuos de 119 especies de aves que presentaron niveles de Hg en un rango de 0.03- 72.80  $\mu\text{g/g}$  con un promedio ( $\pm$  SD) de  $2.75 \pm 7.46 \mu\text{g/g}$ . Las aves muestreadas se distribuyeron en 7 gremios alimenti-

cios, donde aquellos reportados en localidades MAPE tuvieron los niveles de Hg más altos ( $3.14 \pm 7.97 \mu\text{g/g}$ ,  $n = 312$ ) y el modelo utilizado sugiere que los niveles fueron hasta dos veces más altos que las de la localidad control ( $0.47 \pm 0.42 \mu\text{g/g}$ ,  $n = 50$ ) (Figura 3).



**Figura. 5 Niveles de Hg en plumas reportados en la literatura incluyendo los valores de este estudio (barras azules), donde se observa que la especie de “Martín pescador verde” *Chloroceryle americana*, presentó los valores más altos.**

Además, se encontró que existe influencia de las preferencias alimenticias en la exposición de Hg, donde el gremio alimenticio con los niveles más elevados fue el grupo de piscívoros ( $31.03 \pm 25.25 \mu\text{g/g}$ ,  $n = 12$ ) y representadas por los “martines pescadores” que fueron capturados sólo en localidades MAPE. Estas aves basan su dieta en el consumo de pescado como principal fuente de proteínas, lo que explica estos altos valores de Hg. En este grupo encontramos un individuo de la especie *Chloroceryle americana* con un valor de  $72.80 \mu\text{g/g}$ , siendo el nivel de Hg más alto reportado hasta ahora para aves neotropicales (Figura 3).

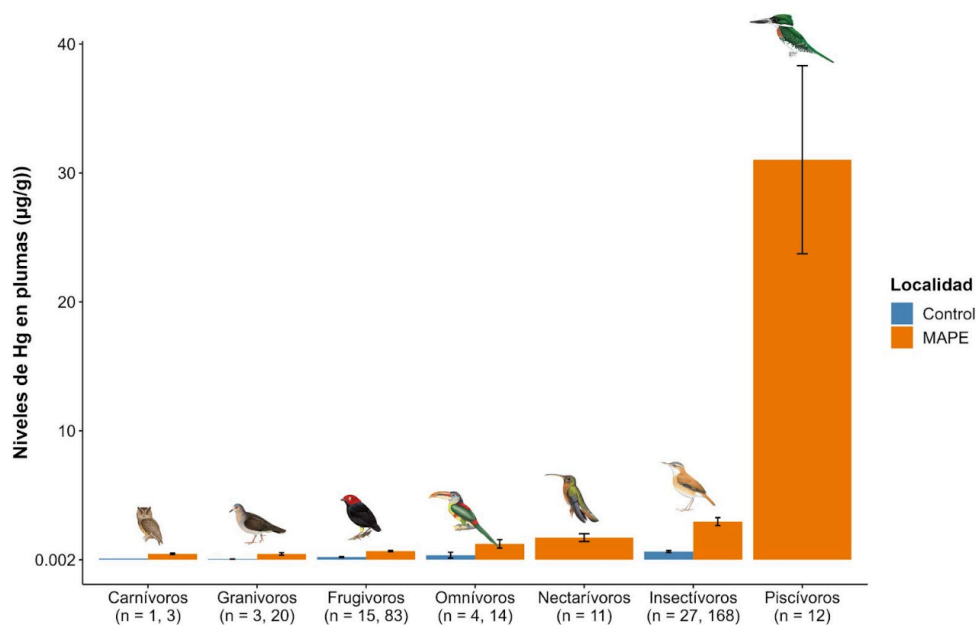
El gremio que presentó el segundo valor promedio más elevado fue el de los insectívoros ( $2.64 \pm 3.73 \mu\text{g/g}$ ,  $n = 195$ ), en este grupo la especie de “hornero” *Furnarius leucopus* ( $18.65 \mu\text{g/g}$ ) y el “gallito de agua” *Jacana Jacana* ( $17.97 \mu\text{g/g}$ ) presentaron los niveles más elevados, estos valores pueden deberse a sus preferencias alimenticias basadas en el consumo de insectos predadores como hormigas y arañas. Adicionalmente, las aves insectívoras son el grupo más abundante y funcional, colocándolos como buenos candidatos para el monitoreo de este contaminante. Observamos que el nivel promedio en localidades MAPE fue casi cinco veces más alto que en la localidad control, que incluso superan valores reportados en otras localidades también contaminadas por Hg, esto producto de actividad MAPE u otras actividades antropogénicas a las que se ven expuestas estas aves (Ackerman et al., 2019; Sierra-Marquez et al., 2018).

Los niveles de Hg reportados para los gremios alimenticios piscívoros e insectívoros excedieron las concentraciones efectivas en las que se reporta la disminución de su éxito reproductivo (Evers, 2018), donde algunas especies de ambos gremios alimenticios mostraron niveles en los que se reporta la disminución del éxito reproductivo de hasta un 40%, siendo estos dos grupos los más vulnerables a la contaminación por Hg. Los niveles intermedios de Hg se encontraron en nectarívoros ( $1.71 \pm 25.25 \mu\text{g/g}$ ,  $n = 11$ ) y omnívoros ( $1.04 \pm 1.15 \mu\text{g/g}$ ,  $n = 18$ ). El grupo de nectarívoros tienen una dieta

basada en nectar, sin embargo, fue muestreado únicamente en las localidades MAPE, lo que podría explicar los altos niveles encontrados, en comparación con el gremio omnívoro. Adicionalmente, el grupo nectarívoro complementa su dieta con arácnidos e insectos (Stiles et al., 2020), que pueden ser una fuente de exposición a Hg en ecosistemas terrestres (Howie et al., 2018). Las especies omnívoras tienen una dieta basada en insectos y, en menor medida, pueden consumir frutas, anfibios, pequeños mamíferos e incluso otras aves, que al igual que los nectarívoros, sus preferencias alimenticias pueden ser la vía para incrementar sus concentraciones de Hg (; Reid & Sanchez-Gutiérrez, 2010).

Finalmente, se observaron los niveles más bajos de Hg en frugívoros ( $0.67 \pm 0.42 \mu\text{g/g}$ ,  $n = 98$ ), granívoros ( $0.40 \pm 0.42 \mu\text{g/g}$ ,  $n = 23$ ) y carnívoros ( $0.37 \pm 0.2 \mu\text{g/g}$ ,  $n = 4$ ). Las bajas concentraciones de Hg en frugívoros y granívoros, son probablemente el producto de su alimentación basada en frutas y semillas, en las que se espera un bajo contenido de Hg. Las aves carnívoras presentaron bajos niveles de Hg a pesar de ser depredadores superiores y de haber sido muestreados en lugares MAPE. Sin embargo, los bajos niveles pueden atribuirse a la diversa ingesta dietética de las especies de este gremio, como las lechuzas del género *Megascops* que tienen preferencia por alimentarse de roedores granívoros, que a menudo tienen niveles bajos de Hg. A pesar de que estos tres grupos presentan menores niveles de Hg, fueron significativamente más altos en localidades MAPE que en el control, lo que coloca en evidencia que el impacto de la contaminación también alcanza a ecosistemas terrestres.

Nuestros resultados demuestran que la presencia de actividad minera es un factor que contribuye a elevar las concentraciones de Hg en todos los grupos de aves y que podría tener como consecuencia impactos negativos en avifauna y potencialmente en toda la fauna silvestre que coloniza estos sitios afectados, cuyo riesgo ecológico debe ser evaluado.



**Figura. 6 Niveles de Hg en plumas de aves distribuidos por gremios alimenticios mostrados en orden ascendente según lo reportado en localidades afectadas por MAPE y el control. Las líneas negras representan las barras de error, que se basan en los promedios de Hg por gremio y el error estándar. También se muestra en paréntesis el número total de individuos por gremio alimenticio según las categorías control y MAPE.**

## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Los resultados de este estudio destacan la gravedad de la contaminación por Hg en aves en áreas afectadas por la MAPE, reportándose los niveles más altos en las aves de localidades con actividad minera, especialmente en Laberinto y en el sector Azul, este último dentro de la Reserva Nacional Tambopata, evidenciando un riesgo para la biodiversidad que habita incluso áreas protegidas.

Adicionalmente, se muestra que el área que ocupan las pozas mineras de sitios MAPE también tiene influencia en el incremento de los niveles de Hg, debido probablemente a su potencial para formar MeHg y representar una fuente de recursos contaminados para aves acuáticas y terrestres.

Se observó que los gremios alimenticios influyen en los niveles de Hg, siendo algunas especies de aves piscívoras e insectívoras las que mostraron los niveles más elevados de los que se han reportado en la literatura. Los niveles de Hg reportados en áreas mineras representan una amenaza potencial para el éxito reproductivo de las poblaciones de aves en Madre de Dios, también agravado por la pérdida de hábitat resultante de la MAPE.

Nuestros resultados resaltan la necesidad de realizar nuevos estudios para evaluar los factores de riesgo asociados a la contaminación por Hg y los posibles efectos toxicológicos en aves de bosques tropicales que aún son desconocidos.

Recomendamos implementar políticas estrictas de regulación y formalización de la minería para limitar emisiones ambientales

de Hg, así como programas de monitoreo continuo de Hg en la fauna en áreas impactadas por actividades MAPE.

De esta forma se pueden generar herramientas de apoyo para las políticas públicas de regulación de las actividades mineras en toda la región amazónica y la generación de planes de gestión eficaces para estos nuevos cuerpos de agua dejados por la MAPE.

## INFORMACIÓN ADICIONAL:

Pisconte, J.N., Vega, C.M., Sayers, C.J. et al. Elevated mercury exposure in bird communities inhabiting Artisanal and Small-Scale Gold Mining landscapes of the southeastern Peruvian Amazon. *Ecotoxicology* (2024).

<https://doi.org/10.1007/s10646-024-02740-4>

## REFERENCIAS

- Ackerman, J. T., Hartman, C. A., & Herzog, M. P. (2019). Mercury contamination in resident and migrant songbirds and potential effects on body condition. *Environmental Pollution*, 246, 797–810. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2018.11.060>
- 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.
- Araújo-Flores, J. M., Garate-Quispe, J., García Molinos, J., Pillaca-Ortiz, J. M., Caballero-Espejo, J., Ascorra, C., Silman, M., & Fernandez, L. E. (2021). Seasonality and aquatic metacommunity assemblage in three abandoned gold mining ponds in the southwestern Amazon, Madre de Dios (Peru). *Ecological Indicators*, 125, 107455. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2021.107455>
- Barocas, A., Vega, C., Alarcon Pardo, A., Araujo Flores, 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 fishes. *Science of the Total Environment*, 886(April), 164024. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.164024>
- Bastos, W. R., Gomes, J. P. O., Oliveira, R. C., Almeida, R., Nascimento, E. L., Bernardi, J. V. E., de Lacerda, L. D., da Silveira, E. G., & Pfeiffer, W. C. (2006). Mercury in the environment and riverside population in the Madeira River Basin, Amazon, Brazil. *Science of the Total Environment*, 368(1), 344–351. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2005.09.048>
- Bridge, E. S., & Kelly, J. F. (2013). Reproductive success of belted kingfishers on the upper Hudson River. *Environmental Toxicology and Chemistry*, 32(8), 1855–1863. <https://doi.org/10.1002/etc.2263>
- 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>
- Canham, R., González-Prieto, A. M., & Elliott, J. E. (2020). Mercury Exposure and Toxicological Consequences in Fish and Fish-Eating Wildlife from Anthropogenic Activity in Latin America. *Integrated Environmental Assessment and Management*, 00, 1–14. <https://doi.org/10.1002/ieam.4313>
- Diringer, S. E., Feingold, B. J., Ortiz, E. J., Gallis, J. A., Araújo-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. *Environmental Sciences: Processes and Impacts*, 17(2), 478–487. <https://doi.org/10.1039/c4em00567h>
- 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.
- Evers, D. (2018). The effects of methylmercury on wildlife: A comprehensive review and approach for interpretation. In *Encyclopedia of the Anthropocene* (Vols. 1–5). Elsevier Inc. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-809665-9.09985-7>
- Gerson, J. R., Szponar, N., Zambrano, A. A., Bergquist, B., Broadbent, E., Driscoll, C. T., Erkenwick, G., Evers, D. C., Fernandez, L. E., Hsu-Kim, H., Inga, G., Lansdale, K. N., Marchese, M. J., Martínez, 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>
- 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. <https://doi.org/10.1126/sciadv.abd4953>
- Gworek, B., Dmuchowski, W., & Baczewska-Dąbrowska, A. H. (2020). Mercury in the terrestrial environment: a review. *Environmental Sciences Europe*, 32(1). <https://doi.org/10.1186/s12302-020-00401-x>
- Howie, M. G., Jackson, A. K., & Cristol, D. A. (2018). Spatial extent of mercury contamination in birds and their prey on the floodplain of a contaminated river. *Science of the Total Environment*, 630, 1446–1452. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.02.272>
- Huang, C., Davis, L. S., & Townshend, J. R. . (2002). An assessment of support vector machines for land cover classification. *International Journal of Remote Sensing*, 23(4), 725–749. <https://doi.org/10.1080/01431160110040323>
- Jirinec, V., Elizondo, E. C., Rutt, C. L., & Stouffer, P. C. (2018). Space use, diurnal movement, and roosting of a variegated ant-pitta (*Grallaria varia*) in central Amazonia. *Ornitologia Neotropical*, 29(January), 13–20. <https://doi.org/10.58843/ornneo.v29i1.325>
- Low, K. E., Ramsden, D. K., Jackson, A. K., Emery, C., Robinson, W. D., Randolph, J., & Eagles-Smith, C. A. (2019). Songbird feathers as indicators of mercury exposure: high variability and low predictive power suggest limitations. *Ecotoxicology*, Furness 2010. <https://doi.org/10.1007/s10646-019-02052-y>
- Moller, A. P., & Liang, W. (2013). Tropical birds take small risks. *Behavioral Ecology*, 24(1), 267–272. <https://doi.org/10.1093>



beheco/ars163

Reid, J. L., & Sanchez-Gutiérrez, A. (2010). Observaciones de dos presas nuevas de vertebrados para el momoto común (*Momotus momot*). *Zeledonia*, 14(2), 68–72.

Schulenberg, T. S., Stotz, D., Lane, D. F., Oneill, J. P., & Parker III, T. A. (2007). *Birds of Perú* (Vol. 6, Issue August).

Sierra-Marquez, L., Peñuela-Gomez, S., Franco-Espinosa, L., Gomez-Ruiz, D., Diaz-Nieto, J., Sierra-Marquez, J., & Olivero-Verbel, J. (2018). Mercury levels in birds and small rodents from Las Orquídeas National Natural Park, Colombia. *Environmental Science and Pollution Research*, 25(35), 35055–35063. <https://doi.org/10.1007/s11356-018-3359-2>

Stiles, F. G., Kirwan, G. M., Boesman, P. F. D., History, S., Behavior, V., & Status, C. (2020). Fork-tailed Woodnymph (*Thalurania*

*furcata*), versión 1.0. In *Birds of the World* (J. del Hoyo, A. Elliott, J. Sargatal, D. A. Christie, and E. de Juana, Editors). Cornell Lab of Ornithology, Ithaca, NY, USA., 130(1), 8–12. <https://doi.org/https://doi.org/10.2173/bow.fotwoo1.01>

Streets, D. G., Horowitz, H. M., Lu, Z., Levin, L., & Thackray, C. P. (2019). Five hundred years of anthropogenic mercury : spatial and temporal release profiles. *Environmental Research Letters*, 14, 084004.

US EPA. (2007). Method 7473. In *Methods* (Issue February), pp. 1–17). <https://www.epa.gov/sites/production/files/2015-07/documents/epa-7473.pdf>

Whitney, M., & Cristol, D. (2017). Rapid depuration of mercury in songbirds accelerated by feather molt. *Environmental Toxicology and Chemistry*, 36(11), 3120–3126. <https://doi.org/10.1002/etc.3888>



*Thamnophilus schistaceus* capturado en sitios mineros.

## SERIE DE RESÚMENES DE INVESTIGACIÓN

Los resúmenes de investigación de CINCIA contienen análisis, resultados y recomendaciones de investigación preliminares. Se distribuyen para estimular el debate oportuno y la retroalimentación crítica, y para influir en el debate en curso sobre cuestiones emergentes. El contenido de los resúmenes de investigación puede ser revisado y eventualmente publicarse en otros formatos.



## AUTORES

**Jessica Pisconte**, Centro de Innovación Científica Amazónica (CINCIA).

**Claudia M. Vega**, Centro de Innovación Científica Amazónica (CINCIA).

**Christopher Sayers II**, University of California, Los Angeles

**C. Steven Sevillano-Ríos**, Centro de Ornitología y Biodiversidad

**Martin Pillaca**, Centro de Innovación Científica Amazónica (CINCIA).

**Edwin Quispe-Flores**, Centro de Innovación Científica Amazónica (CINCIA)

**Vania Tejada**, World Wildlife Fund- Peru

**César Ascorra**, Centro de Innovación Científica Amazónica (CINCIA)

**Miles Silman**, Centro de Innovación Científica Amazónica (CINCIA)

**Luis E. Fernández**, Centro de Innovación Científica Amazónica (CINCIA)

## SOCIOS DE INVESTIGACIÓN

**Instituto de Investigaciones de la Amazonía Peruana (IIAP)**. Puerto Maldonado, Perú

**Sabin Center for Environment and Sustainability, Wake Forest University**. Winston-Salem, NC, USA.

**Servicio Nacional Forestal y de Fauna Silvestre**. Lima, Perú.

**Servicio Nacional de Áreas Protegidas por el Estado (SERNANP)**. Puerto Maldonado, Madre de Dios, Perú.

## SOBRE CINCIA

Fundado en 2016, el Centro de Innovación Científica Amazónica -CINCIA es un centro de investigación científica independiente y sin fines de lucro con sede en la Amazonía peruana.

CINCIA realiza investigaciones para generar conocimiento sobre las amenazas a la biodiversidad y los ecosistemas amazónicos, ofrecer soluciones innovadoras y fortalecer la capacidad científica de la próxima generación de investigadores y líderes de la Amazonía.

## AGRADECIMIENTOS

Agradecemos al Servicio Nacional de Áreas Protegidas por el Estado (SERNANP) por el apoyo logístico, especialmente al personal guardaparque que labora en los PVC Azul y La Torre. También se agradece al Instituto de Investigaciones de la Amazonía Peruana (IIAP) por su invaluable colaboración y comanejo junto a CINCIA del Laboratorio de Mercurio y Química ambiental (LAMQA) que hacen posible el desarrollo de estos estudios en Madre de Dios. Agradecemos a Julio Salvador por su asistencia técnica y a nuestros asistentes de campo Vanesa Orcón, Rodrigo Paiva, Javier Farfán, Emerson Medina y Rolando Chaparrea por su compromiso y trabajo en condiciones de campo difíciles.

## FINANCIAMIENTO

Esta investigación fue financiada por Wake Forest University y USAID a través del proyecto CINCIA, una iniciativa entre el CINCIA, Wake Forest University y USAID becas Jonathan Franzen del Observatorio de aves Los Amigos de Conservación Amazónica, beca de Tambopata Reserve Society (TRees) y Red MercurRed, financiada por el CYTED (Programa Iberoamericano de Ciencia y Tecnología para el Desarrollo) con la subvención n° 420RT0007.

Este estudio 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) bajo el acuerdo de cooperación WFU-USAID N° AID-527-A-16-00001 y 72052721CA005.

Los contenidos de este estudio son responsabilidad de los autores y no reflejan necesariamente las vistas o posiciones de la Agencia de los Estados Unidos para el Desarrollo Internacional ni del Gobierno de los Estados Unidos.

## CITA SUGERIDA

Pisconte, J. N., Vega, C. M., Sayers II, C., Sevillano-Ríos, C. S., Pillaca, M., Quispe, E. Tejada, V., Ascorra, C., Silman, M. & Fernandez, L. E. (2024). Exposición elevada al mercurio en aves: Impacto de la Minería Artesanal de Oro en la Amazonía Peruana. CINCIA Research Brief Series. No. 16. Centro de Innovación Científica Amazónica.



Este trabajo tiene licencia de Atribución No Comercial- SinDerivadas 4.0 Internacional. Para ver una copia de esta licencia, visite <http://creativecommons.org/licenses/by-ncnd/4.0/>

Edición: Centro de Innovación Científica Amazónica  
Av. Ucayali Mz 4-Z Lt. 9-A | Puerto Maldonado,  
Madre de Dios, Perú

Primera edición, [enero, 2024] Hecho en  
Depósito Legal en la Biblioteca Nacional  
del Perú No. 202413180

