



**UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO**  
**ESCUELA DE POSGRADO**

**MAESTRÍA EN CIENCIAS**

**MENCIÓN ECOLOGÍA Y GESTIÓN AMBIENTAL**

**TESIS**

**DETERMINACIÓN DEL MERCURIO EN AVES DE BOSQUES  
PRÍSTINOS Y COLINDANTES A ZONAS CON ACTIVIDAD DE  
MINERÍA ARTESANAL Y DE PEQUEÑA ESCALA (MAPE) EN  
MADRE DE DIOS, 2019**

**PARA OPTAR AL GRADO ACADÉMICO DE MAESTRO EN CIENCIAS**  
**MENCIÓN ECOLOGÍA Y GESTIÓN AMBIENTAL**

**AUTOR:**

Br. JESSICA NATALY PISCONTE CAMARGO

**ASESOR:**

Dr. DAVID ORLANDO GONZALES GAMARRA

**ORCID:** 0000-0002-3985-261X

**CUSCO -PERÚ**

**2025**



# Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco

## INFORME DE SIMILITUD

(Aprobado por Resolución Nro.CU-321-2025-UNSAAC)

El que suscribe, el Asesor DAVID ORLANDO GONZALES GAMARRA.....  
..... quien aplica el software de detección de similitud al  
trabajo de investigación/tesis titulada: DETERMINACIÓN DEL MERCURIO EN AVES  
DE BOSQUES PRÍSTINOS Y COLINDANTES A ZONAS CON ACTIVIDAD  
DE MINERÍA ARTESANAL Y DE PEQUEÑA ESCALA (MAPE) EN  
MADRE DE DIOS, 2019.....

Presentado por: JESSICA NATALY PISCONTE CAMARGO..... DNI N° 47035994 ;

presentado por: ..... DNI N°: .....

Para optar el título Profesional/Grado Académico de MAESTRO EN CIENCIAS  
EN MENCIÓN ECOLOGÍA Y GESTIÓN AMBIENTAL.....

Informo que el trabajo de investigación ha sido sometido a revisión por 2 veces, mediante el  
Software de Similitud, conforme al Art. 6° del **Reglamento para Uso del Sistema Detección de**  
**Similitud en la UNSAAC** y de la evaluación de originalidad se tiene un porcentaje de 7 %.

### Evaluación y acciones del reporte de coincidencia para trabajos de investigación conducentes a grado académico o título profesional, tesis

Porcentaje	Evaluación y Acciones	Marque con una (X)
Del 1 al 10%	No sobrepasa el porcentaje aceptado de similitud.	<input checked="" type="checkbox"/>
Del 11 al 30 %	Devolver al usuario para las subsanaciones.	<input type="checkbox"/>
Mayor a 31%	El responsable de la revisión del documento emite un informe al inmediato jerárquico, conforme al reglamento, quien a su vez eleva el informe al Vicerrectorado de Investigación para que tome las acciones correspondientes; Sin perjuicio de las sanciones administrativas que correspondan de acuerdo a Ley.	<input type="checkbox"/>

Por tanto, en mi condición de Asesor, firmo el presente informe en señal de conformidad y adjunto las primeras páginas del reporte del Sistema de Detección de Similitud.

Cusco, 15 de DICIEMBRE de 2025.....

  
Firma

Post firma DAVID ORLANDO GONZALES GAMARRA

Nro. de DNI 23872153

ORCID del Asesor 0000-0002-3985-261X

#### Se adjunta:

- Reporte generado por el Sistema Antiplagio.
- Enlace del Reporte Generado por el Sistema de Detección de Similitud: **oid:** 27259:540868618.....

# Jessica Pisconte

## g. Borrador de Tesis - Mercurio en aves - Jessica Pisconte (Final corregido)2.pdf

 Universidad Nacional San Antonio Abad del Cusco

### Detalles del documento

Identificador de la entrega

trn:oid:::27259:540868618

Fecha de entrega

15 dic 2025, 12:10 p.m. GMT-5

Fecha de descarga

15 dic 2025, 12:23 p.m. GMT-5

Nombre del archivo

g. Borrador de Tesis - Mercurio en aves - Jessica Pisconte (Final corregido)2.pdf

Tamaño del archivo

15.5 MB

169 páginas

36.071 palabras

191.130 caracteres




# 7% Similitud general

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para ca...

## Filtrado desde el informe


- Bibliografía
- Coincidencias menores (menos de 10 palabras)
- Fuentes de Internet

## Fuentes principales

- 0%  Fuentes de Internet
- 3%  Publicaciones
- 6%  Trabajos entregados (trabajos del estudiante)

## Marcas de integridad

### N.º de alerta de integridad para revisión

-  **Caracteres reemplazados**  
46 caracteres sospechosos en N.º de páginas  
Las letras son intercambiadas por caracteres similares de otro alfabeto.

Los algoritmos de nuestro sistema analizan un documento en profundidad para buscar inconsistencias que permitirían distinguirlo de una entrega normal. Si advertimos algo extraño, lo marcamos como una alerta para que pueda revisarlo.

Una marca de alerta no es necesariamente un indicador de problemas. Sin embargo, recomendamos que preste atención y la revise.





## UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO ESCUELA DE POSGRADO

### INFORME DE LEVANTAMIENTO DE OBSERVACIONES A TESIS


Dra. NELLY AYDE CAVERO TORRE, Directora (e) General de la Escuela de Posgrado, nos dirigimos a usted en condición de integrantes del jurado evaluador de la tesis intitulada **DETERMINACIÓN DEL MERCURIO EN AVES DE BOSQUES PRÍSTINOS Y COLINDANTES A ZONAS CON ACTIVIDAD DE MINERÍA ARTESANAL Y DE PEQUEÑA ESCALA (MAPE) EN MADRE DE DIOS, 2019..** de la Br. Br. JESSICA NATALY PISCONTE CAMARGO. Hacemos de su conocimiento que el (la) sustentante ha cumplido con el levantamiento de las observaciones realizadas por el Jurado el día **TREINTA DE JUNIO DE 2025**.

Es todo cuanto informamos a usted fin de que se prosiga con los trámites para el otorgamiento del grado académico de MAESTRO EN CIENCIAS MENCIÓN ECOLOGÍA Y GESTIÓN AMBIENTAL.

Cusco, 15 de diciembre del 2025

  
DR. PERCY TACO PALMA  
Primer Replicante

  
MTRO. WILIAN NAZARIO GARDENAS ENRIQUEZ  
Segundo Replicante

  
DRA. VIOLETA EUGENIA ZAMALLOA ACURIO  
Primer Dictaminante

  
DRA. VERONIKA ISELA VERA MARMANILLO  
Segundo Dictaminante

## **Dedicatoria**

A mi madre, Karina, por su amor incondicional, esfuerzo incansable y el apoyo constante en cada etapa de mi vida. Gracias por creer en mí siempre, por asumir sacrificios que solo ahora comprendo, y por hacer posible, con tus consejos y fortaleza, que este trabajo vea la luz. Esta tesis es también tuya.

A mi querida abuela Margarita, quien fue una figura fundamental en mi vida. Gracias por tu cuidado, tu compañía constante y por alentarme siempre a seguir estudiando y aprendiendo. Aunque ya no estés físicamente, tu amor y tus enseñanzas siguen conmigo. Te extraño profundamente, y estaré por siempre agradecida por todo el tiempo compartido.

A mi padre Juan, quien con sus consejos y fortaleza me enseñó a seguir adelante frente a las adversidades. Su experiencia y conocimiento fueron un soporte invaluable que me ayudó a mantenerme enfocada en el camino de la investigación científica desde los inicios de mi carrera profesional.

A mis tíos Jorge y Miguel, por su constante apoyo, enseñanzas y por acompañarme siempre como segundos padres a lo largo de mi formación. Su presencia ha sido clave en este camino.

A mis amigas Liz Huamaní, Massiel Cueto y Paula Sisniegas, quienes han sido un gran soporte y cuya compañía durante este proceso me ha mantenido firme para lograr su culminación.

## **Agradecimientos**

La realización de esta tesis ha sido posible gracias al financiamiento de las becas para investigación de Tambopata Reserve Society (TReeS) y Jonathan Franzen Fellowship del Observatorio de aves de Los Amigos, Conservación Amazónica.

Al Dr. Steven Sevillano por su asesoramiento en la conceptualización de la investigación y apoyo para la aplicación al financiamiento.

Al Dr. David Gonzales Gamarra, por su valiosa orientación y por el tiempo brindado durante el desarrollo del presente trabajo de investigación.

Al Centro de Innovación Científica Amazónica (CINCIA), a quien agradezco profundamente, en especial a la Dra. Claudia Vega. Su guía científica y apoyo constante fueron fundamentales para este trabajo. Gracias a ella no solo comprendí mejor la problemática del mercurio, sino también el compromiso y la rigurosidad necesarios para hacer ciencia en contextos tan desafiantes como la Amazonía. Extiendo mi agradecimiento al Laboratorio de IA, Drones y Análisis Espacial, en especial a los Ing. Martín Pillaca y Edwin Quispe, por su valioso apoyo y experticia en el análisis espacial aplicado en esta investigación. Así también, a mis amigos y colegas de CINCIA, quienes, más allá del ámbito profesional, me brindaron su compañía, motivación y apoyo constante durante este proceso.

A la Reserva Nacional Tambopata (RNTAMB) del Servicio Nacional de Áreas Naturales Protegidas por el estado (SERNANP), por haberme apoyado con la gestión de permisos, logística de campo y brindar sus instalaciones para la estancia del equipo. Especialmente a mis excompañeros guardaparques Asunción Guevara, Abner Guevara y Victor Yumbato por su colaboración y asistencia en campo.

Al Blgo. Julio Salvador y a la Bach. Ing. Vanessa Orccón por su apoyo incondicional y muy valioso durante las largas jornadas de trabajo en campo, así como por su persistencia en situaciones complejas, muchas gracias.

## INDICE

<b>RESUMEN .....</b>	<b>1</b>
<b>INTRODUCCION .....</b>	<b>3</b>
<b>CAPITULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....</b>	<b>5</b>
1.1    Situación problemática .....	5
1.2    Formulación del problema .....	7
a)    Problema general .....	7
b)    Problemas específicos.....	7
1.3    Justificación de la investigación .....	8
1.4    Objetivos de la investigación.....	9
A) Objetivo General.....	9
B) Objetivo Específicos .....	9
<b>CAPITULO II: MARCO TEORICO Y CONCEPTUAL.....</b>	<b>10</b>
2.1 Bases teóricas .....	10
2.1.1 Propiedades y biogeoquímica del mercurio .....	10
2.1.2 Fuentes de emisión de mercurio.....	11
2.1.3 Ciclo biogeoquímico del mercurio.....	12
2.1.4 Bioacumulación y biomagnificación del mercurio .....	13
2.1.5 Toxicocinética y toxicodinámica del mercurio .....	14
2.1.6 Efectos del mercurio en aves.....	15
2.1.7 Bioindicadores.....	16
2.1.8 Análisis espacial.....	17
2.1.9 Muestreadores pasivos de aire para mercurio (MerPAS).....	19
2.2    Marco Conceptual.....	21
2.2.1 Minería Artesanal y de Pequeña Escala .....	21
2.2.2 Pozas mineras.....	21
2.2.3 Contaminación .....	21
2.2.4 Gremios alimenticios .....	21

2.3	Antecedentes del estudio .....	22
2.3.1	Internacionales .....	22
2.3.2	Nacionales .....	27
2.3.3	Locales .....	28
2.4.	Hipótesis .....	30
A)	Hipótesis general.....	30
B)	Hipótesis específicas .....	30
2.5	Identificación de variables e indicadores .....	31
A)	Variable dependiente .....	31
B)	Variables independientes .....	31
2.6	Operacionalización de variables .....	32
<b>CAPITULO III: METODOLOGIA.....</b>		<b>35</b>
3.1	Ámbito de estudio: localización política y geográfica.....	35
3.1.1	Ubicación política .....	36
3.1.2	Ubicación geográfica .....	37
3.2	Tipo y nivel de investigación .....	42
3.3	Unidad de análisis .....	42
3.4	Población de estudio .....	42
3.5	Tamaño de muestra .....	43
3.6	Técnicas de selección de muestra .....	43
3.7	Técnicas de recolección de información .....	43
3.7.1	Gestión de permisos de investigación .....	43
3.7.2	Evaluación de la población de aves y colecta de muestras .....	44
3.7.3	Evaluación de la extensión espacial del mercurio.....	45
3.7.3	Determinación de factores ecológicos.....	46
3.7.4	Evaluación de mercurio en el aire .....	47
3.6.6	Análisis de mercurio .....	49
3.8	Técnicas de análisis e interpretación de la información.....	50



3.8.1 Estadística descriptiva.....	50
3.8.2 Supuestos y pruebas de normalidad .....	50
3.9 Técnicas para demostrar la verdad o falsedad de las hipótesis planteadas .....	51
3.9.1 Comparaciones entre grupos .....	51
3.9.2 Modelos lineales mixtos.....	51
3.9.3 Selección del mejor modelo .....	52
<b>CAPITULO IV: RESULTADOS Y DISCUSION .....</b>	<b>54</b>
4.1 Procesamiento, análisis, interpretación y discusión de resultados .....	54
4.1.1 Determinación de los niveles de mercurio en aves de bosques prístinos y colindantes a actividad de Minería Artesanal y de Pequeña Escala (MAPE) en Madre de Dios.....	54
4.1.2 Evaluación de las diferencias entre niveles de mercurio en aves de bosque prístinos y bosques colindantes a minería aurífera en Madre de Dios.....	69
4.1.3 Análisis de la extensión espacial del mercurio en aves desde un lugar potencial de contaminación hacia el interior de los bosques colindantes a actividad de Minería Artesanal y de Pequeña Escala (MAPE) en Madre de Dios.....	72
4.1.4 Identificación de los factores ecológicos que influyen en las concentraciones de aves de los bosques colindantes a actividad de Minería Artesanal y de Pequeña Escala (MAPE) en Madre de Dios. 2019 .....	76
4.1.5 Determinación de niveles de mercurio en el ambiente.....	80
4.2 Resultados prueba de Hipótesis .....	84
<b>CAPITULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....</b>	<b>87</b>
5.1 Conclusiones .....	87
5.2 Recomendaciones.....	88
<b>REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.....</b>	<b>86</b>
<b>ANEXOS.....</b>	<b>98</b>

## LISTA DE TABLAS

<b>Tabla 1</b>	Operacionalización de variables .....	32
<b>Tabla 2</b>	Ubicación geográfica y características de los sitios de estudio .....	37
<b>Tabla 3</b>	Coordenadas de ubicación de los muestreadores de aire .....	48
<b>Tabla 4</b>	Especies identificadas y concentraciones de mercurio total (THg) en plumas (µg/g, peso seco) por lugar y presencia de minería .....	56
<b>Tabla 5</b>	Cantidad de capturas realizadas en el sitio control La Torre .....	63
<b>Tabla 6</b>	Cantidad de capturas realizadas en el sitio control La Torre .....	65
<b>Tabla 7</b>	Concentraciones efectivas de mercurio en plumas en los que se ven efectos adversos del éxito reproductivo en aves .....	66
<b>Tabla 8</b>	Resultados del análisis espacial sobre los cuerpos de agua .....	73
<b>Tabla 9</b>	Modelos lineales mixtos construidos .....	77
<b>Tabla 10</b>	Resultados de concentraciones de Hg gaseoso (ng/m <sup>3</sup> ) por sitio de muestreo .....	82

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1</b> Componentes de un muestreador de aire pasivo (PAS) .....	20
<b>Figura 2</b> Mapa de ubicación del ámbito de estudio. ....	38
<b>Figura 3</b> Ámbito de estudio en la Estación Biológica Los Amigos.....	39
<b>Figura 4</b> Ámbito de estudio en el sector La Torre de la Reserva Nacional Tambopata	40
<b>Figura 5</b> Ámbito de estudio en el Sector Azul de la Reserva Nacional Tambopata.....	41
<b>Figura 6</b> Diseño de la colocación de redes de niebla a lo largo de un transecto de 1 km desde la poza hacia el bosque .....	45
<b>Figura 7</b> Concentraciones de mercurio total (THg) en plumas de aves en el área control .....	64
<b>Figura 8</b> Concentraciones de mercurio total (THg) en plumas de aves de áreas afectadas por minería .....	67
<b>Figura 9</b> Comparación entre las concentraciones de mercurio total (THg) de las áreas afectadas por minería y el área control .....	70
<b>Figura 10</b> Concentraciones de mercurio total (THg) en plumas de aves en los 03 sitios de estudio .....	72
<b>Figura 11</b> Análisis espacial de los cuerpos de agua (pozas mineras) en los 03 sitios de estudio.....	75

## LISTA DE ANEXOS

<b>Anexo 1.</b> Matriz de consistencia.....	99
<b>Anexo 2.</b> Fotografías de las áreas de estudio.....	102
<b>Anexo 3.</b> Permisos para el desarrollo de investigación científica dentro de Áreas Naturales Protegidas .....	105
<b>Anexo 4.</b> Permisos para el desarrollo de investigación científica fuera de Áreas Naturales Protegidas .....	113
<b>Anexo 5.</b> Permisos para el desarrollo de investigación científica dentro de Áreas Naturales Protegidas en colaboración con el Centro de Innovación Científica Amazónica (CINCA).....	117
<b>Anexo 6.</b> Constancia de apoyo en identificación y manejo de aves.....	121
<b>Anexo 7.</b> Sesión de colecta de datos y muestras .....	122
<b>Anexo 8.</b> Ficha de campo utilizada para la colecta de datos de aves y sus atributos morfológicos.....	123
<b>Anexo 9.</b> Códigos estandarizados para el llenado de la ficha de datos .....	125
<b>Anexo 10.</b> Coordenadas de los sitios de muestreo y disposición de redes de niebla por distancia en los transectos.....	130
<b>Anexo 11.</b> Instalación de los muestreadores pasivos de aire (PAS).....	132
<b>Anexo 12.</b> Procesamiento de muestras en el Laboratorio de Mercurio y Química Ambiental (LAMQA) .....	133
<b>Anexo 13.</b> Resultados de laboratorio para análisis de mercurio en plumas .....	135
<b>Anexo 14.</b> Resultados de los controles de calidad del análisis de mercurio en plumas .....	139
<b>Anexo 15.</b> Base de datos procesada y validada de capturas, metadatos y Hg (2019) ..	140
<b>Anexo 16.</b> Lista de especies e individuos capturados según punto de muestreo.....	150
<b>Anexo 17.</b> Fotografías de especies capturadas .....	153
<b>Anexo 18.</b> Resultados de laboratorio para análisis de mercurio en aire (carbón activado) .....	155
<b>Anexo 19.</b> Resultados de los controles de calidad del análisis de mercurio en aire (carbón activado) .....	156

## RESUMEN

El presente trabajo de investigación tuvo como objetivo cuantificar los niveles de mercurio en aves de bosques colindantes a actividades de Minería Artesanal y de Pequeña Escala (MAPE) en la región de Madre de Dios, Perú. Se evaluó las diferencias en las concentraciones de mercurio en aves de bosques prístinos y aquellas provenientes de áreas colindantes a zonas mineras, así como la extensión espacial del contaminante desde pozas mineras hacia el interior del bosque.

El presente trabajo de investigación determinó el mercurio total (THg) en plumas de aves capturadas durante 2019 a lo largo de transectos de 1 km dos ubicados en zonas impactadas por MAPE y uno dentro de un área protegida sin actividad minera. Las muestras fueron analizadas mediante espectrofotometría de absorción atómica en el Laboratorio de Mercurio y Química Ambiental (LAMQA), cogestionado por el Instituto de investigaciones de la Amazonía Peruana y el Centro de Innovación Científica Amazónica.

Los resultados del presente trabajo de investigación indicaron que las concentraciones de THg fueron significativamente mayores en aves de sitios con presencia de minería en comparación con el sitio control. Asimismo, el gremio alimenticio emergió como un predictor clave, evidenciándose valores elevados de THg en aves predadoras, reflejando el proceso de biomagnificación.

El presente trabajo de investigación concluye que la MAPE intensifica la acumulación de mercurio en ecosistemas terrestres, representando un riesgo potencial para la fauna silvestre en una región de alta biodiversidad como Madre de Dios.

**Palabras clave:** Mercurio, Aves, Bioindicadores, Minería Artesanal



## ABSTRACT

This study aimed to quantify mercury levels in birds from forests adjacent to artisanal and small-scale gold mining (ASGM) activities in the Madre de Dios region, Peru. We assessed differences in mercury concentrations between birds from pristine forests and those inhabiting areas adjacent to mining sites, as well as the spatial extent of mercury dispersion from mining ponds into surrounding forest habitats.

Total mercury (THg) was measured in feathers of birds captured in 2019 along 1-km transects at three study sites: two located in areas affected by ASGM and one within a protected area without mining activity. Samples were analyzed by atomic absorption spectrophotometry at the Mercury and Environmental Chemistry Laboratory (LAMQA), jointly managed by the Peruvian Amazon Research Institute and the Amazon Scientific Innovation Center.

Results showed that THg concentrations were significantly higher in birds from mining-impacted sites than in the control site. Feeding guild emerged as a key predictor of mercury accumulation, with predatory birds exhibiting the highest THg levels, consistent with biomagnification processes.

We conclude that ASGM intensifies mercury accumulation in terrestrial ecosystems, posing a potential risk to wildlife in a region of exceptionally high biodiversity such as Madre de Dios.

**Keywords:** Mercury, Birds, Bioindicators, Artisanal mining.

## INTRODUCCION

El mercurio (Hg) es un metal potencialmente tóxico, persistente y con gran capacidad de dispersión que se encuentra en el ambiente de forma natural y por aportes antrópicos. La Minería Artesanal y de Pequeña Escala (MAPE) es la principal actividad antropogénica responsable de la emisión del 38% de mercurio al ambiente debido a su extensivo uso para amalgamar las partículas del fondo de los ríos y recuperar oro puro (Crespo-Lopez et al., 2021). Esta actividad sustenta a miles de trabajadores en varios países de América Latina y ha tomado relevancia con los años debido a los beneficios económicos superiores frente a otros sectores.

La región Amazónica de Madre de Dios, ha experimentado el acelerado proceso de expansión de la MAPE generando la migración de personas de diferentes partes del Perú, atraídos por la “fiebre del oro”, convirtiendo a esta actividad en la principal fuente de ingresos, con el único objetivo de extraer el oro dejando en segundo plano las consecuencias para la salud y el medio ambiente. En esta región, se reportan pérdidas de alrededor de 95 000 ha de bosque desde 1985 hasta 2017 (Caballero et al., 2018) como producto de la MAPE generando espacios deforestados con presencia de nuevos cuerpos de agua como las conocidas pozas mineras. Estos espacios poseen condiciones anóxicas favoreciendo la formación de metil-mercurio (MeHg), siendo esta una de las formas más tóxica del mercurio. En estos nuevos ecosistemas, las tasas de producción de metil-mercurio, son entre 5 a 7 veces más alta que en sistemas lóticos representados por los ríos (Gerson et al., 2020), siendo posible la potencialización de la bioacumulación y biomagnificación de este contaminante a través de la cadena alimenticia acuática. Sin embargo, el MeHg también puede ser transferido a organismos terrestres a través del consumo de insectos acuáticos emergentes y depredadores (Cristol et al., 2008; Howie et al., 2018; Jackson, Evers, Etterson, et al., 2011) generando mayor vulnerabilidad a la contaminación por este metal principalmente en individuos de posiciones tróficas más altas.

Entre los grupos indicadores de biodisponibilidad de mercurio en el ambiente, se encuentran las aves, donde características como: su amplia distribución en la cadena trófica, distribución, capacidad de vivir largos periodos de vida y la sensibilidad a la contaminación antropogénica (Carravieri et al., 2014; Low et al., 2019; Parra, 2014), las han convertido en valiosas herramientas para estudios toxicológicos.

Madre de Dios es considerada como la “Capital de la biodiversidad del Perú” (Gobierno del Perú, 1994) gracias a su gran riqueza de flora y fauna silvestre, donde habitan cerca de 873 especies de aves (<https://ebird.org/>) que representan el 46% de las 1882 especies de aves registradas en el Perú (Plenge, 2023), convirtiéndose en grupo taxonómico de interés científico para el estudio de sus poblaciones, sin embargo, a pesar de su alto valor ecológico, actividades como la MAPE han invadido los territorios que ellas habitan.

A pesar del creciente número de estudios sobre los efectos del mercurio en aves, la mayoría provienen de regiones templadas del hemisferio norte, donde las condiciones ecológicas, la composición de especies y las rutas de exposición difieren significativamente de las que se presentan en ecosistemas tropicales. Esta limitada representatividad geográfica ha dejado importantes vacíos de conocimiento sobre cómo se manifiesta la contaminación por mercurio en aves que habitan regiones altamente biodiversas como Madre de Dios, especialmente en áreas influenciadas por la MAPE.

Frente a esta carencia de información en contextos tropicales, el presente estudio se orienta a generar evidencia científica sobre la exposición al mercurio en aves terrestres que habitan bosques colindantes a zonas de minería aurífera, utilizando un enfoque sistemático y espacialmente explícito. Este esfuerzo contribuirá a identificar posibles patrones de bioacumulación asociados a la proximidad de fuentes de contaminación y a mejorar la comprensión del riesgo ecológico que enfrentan estas comunidades en uno de los territorios más biodiversos del planeta.

## **CAPITULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

### **1.1 Situación problemática**

La minería aurífera es una de las principales fuentes de contaminación por mercurio (Hg) a nivel mundial. Según el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (UNEP, 2019), la Minería Artesanal y de Pequeña Escala (MAPE) es responsable de aproximadamente el 38% de las emisiones antropogénicas globales de mercurio, siendo la fuente más importante de este metal en el ambiente. Este contaminante, altamente tóxico y persistente, es capaz de transportarse a grandes distancias, permanecer en el ambiente por largos periodos y bioacumularse en los organismos. Una de sus formas más peligrosas, el metil-mercurio, se forma en ambientes acuáticos y puede ingresar fácilmente a las cadenas tróficas, generando efectos adversos en la salud de la fauna silvestre, especialmente en organismos situados en niveles tróficos superiores como las aves (Kopec et al., 2018; Scheuhammer et al., 2007). La MAPE se ha extendido ampliamente en regiones tropicales de América del Sur, particularmente en la cuenca amazónica, donde las actividades extractivas informales han proliferado rápidamente.

En el contexto sudamericano, Perú es uno de los países más afectados por la expansión de la MAPE, especialmente en regiones amazónicas donde se desarrollan actividades extractivas informales o ilegales. En la región de Madre de Dios, ubicada al sureste del país, esta problemática se manifiesta de manera crítica. Esta región ha sido reconocida como la capital de la biodiversidad en el Perú (Álvarez et al., 2011), al albergar alrededor del 40% de las especies de aves del país, y presenta ecosistemas únicos conservados en áreas naturales protegidas como los Parques Nacionales Manu, Bahuaja Sonene y Alto Purús, así como la Reserva Nacional Tambopata y la Reserva Comunal Amarakaeri. Además, desde la década de 1980, la expansión de la minería de oro ha generado una creciente degradación ambiental. Hasta el año 2017, se estimaba la pérdida de aproximadamente 95 000 hectáreas de bosque por esta actividad (Caballero et al., 2018), posicionando a Madre de Dios como una de las regiones con mayores tasas de deforestación en la Amazonía sur peruana. La actividad minera en esta región no solo transforma físicamente el paisaje, sino que también genera focos de contaminación, principalmente a través de pozas mineras que actúan como fuentes puntuales de mercurio.

En estos cuerpos de agua, se ha estudiado que las condiciones favorecen la metilación del Hg, transformándolo en metil-mercurio, una forma altamente tóxica y bioacumulativa, capaz de incorporarse a las cadenas tróficas tanto acuáticas como terrestres (Cristol et al., 2008). Otros estudios han demostrado que el MeHg puede transferirse desde ambientes acuáticos hacia ecosistemas terrestres a través de insectos emergentes, facilitando la exposición de aves insectívoras, piscívoras y de otros gremios tróficos a este contaminante (Cristol et al., 2008; Jackson et al., 2011). Entre los efectos más preocupantes del mercurio en aves se encuentran alteraciones en los sistemas inmune, endocrino y nervioso; cambios en el comportamiento; disfunciones reproductivas como la disminución del éxito reproductivo, menor tasa de eclosión y reducción en el crecimiento y supervivencia de los polluelos; así como afectaciones neuroconductuales que comprometen la capacidad de respuesta ante depredadores o la eficiencia en la búsqueda de alimento (Burger, 1996; D. C. Evers et al., 2008; Parra, 2014; Scheuhammer et al., 2007). Estas consecuencias representan una amenaza seria para la viabilidad de las poblaciones silvestres, sobre todo en regiones con alta presión minera.

A pesar de la magnitud del problema, en el Neotrópico hay pocos estudios sobre mercurio en aves, y en Madre de Dios casi no existen evaluaciones sistemáticas que evalúen la extensión del mercurio y su exposición en la fauna. La mayoría de la evidencia viene del hemisferio norte con ambientes distintos, por lo que no se puede asumir que los efectos sean iguales en la Amazonía. Este estudio busca llenar ese vacío, midiendo mercurio en plumas y analizando cómo varía con la distancia a cuerpos de agua y con factores ecológicos para identificar gremios más expuestos.

En este contexto, el estudio se ubica en Madre de Dios y se centra en aves terrestres de distintos gremios que habitan bosques colindantes a zonas con presencia de MAPE y bosques prístinos sin influencia minera. El problema abordado es la exposición a mercurio en estas áreas y su posible extensión espacial desde fuentes puntuales de contaminación asociadas a la minería, como pozas, hacia el interior del bosque; en los sitios control se emplearán cuerpos de agua naturales como referencia. Para ello se cuantificarán las concentraciones de mercurio en plumas, se evaluará la extensión espacial de la exposición mediante gradientes de distancia a los cuerpos de agua y se analizará la influencia de factores ecológicos que podrían modular los niveles observados.



Este trabajo busca responder la pregunta central: ¿cuáles son los niveles de mercurio en aves de bosques prístinos y de bosques colindantes a actividad de Minería Artesanal y de Pequeña Escala en Madre de Dios durante 2019? Su determinación permitirá establecer una línea de base de exposición al mercurio, identificar áreas de mayor riesgo por la extensión espacial del contaminante hacia el interior del bosque y priorizar los gremios potencialmente más vulnerables. Con ello se esclarecerán causas y rutas de exposición asociadas a la MAPE, se anticiparán posibles consecuencias para las comunidades de aves y se aportará evidencia útil para el monitoreo y la gestión del riesgo ecológico en paisajes amazónicos.

## **1.2 Formulación del problema**

### **a) Problema general**

¿Cuáles son los niveles de mercurio en aves de bosques colindantes a bosques prístinos y actividad de Minería Artesanal y de Pequeña Escala (MAPE) en Madre de Dios. 2019?

### **b) Problemas específicos**

- ¿Qué diferencias existen entre los niveles de mercurio aves de bosques prístinos y bosques colindantes a actividad de Minería Artesanal y de Pequeña Escala (MAPE) en Madre de Dios. 2019?
- ¿Cómo varía la extensión espacial del mercurio en aves desde una fuente potencial de contaminación hacia el interior de los bosques prístinos y colindantes a actividad de Minería Artesanal y de Pequeña Escala (MAPE) en Madre de Dios. 2019?
- ¿Cuáles son los factores ecológicos que influyen en las concentraciones de mercurio en aves de los bosques colindantes a actividad de Minería Artesanal y de Pequeña Escala (MAPE) en Madre de Dios? 2019

### **1.3 Justificación de la investigación**

La determinación de las concentraciones de mercurio en aves de Madre de Dios permite establecer una línea de base sobre la exposición en bosques prístinos y en bosques colindantes a la MAPE. Esta línea base hará posible priorizar áreas, especies y gremios para acciones de monitoreo y conservación, y orientar la asignación eficiente de recursos en un territorio de gran valor biológico.

Los resultados permitirán identificar el estado de la exposición al mercurio en aves. Al diferenciar grupos y relacionar las concentraciones de Hg con gradientes de distancia a cuerpos de agua, se identificarán los componentes del ensamblaje más sensibles, las zonas de mayor vulnerabilidad y las posibles rutas de transferencia del contaminante desde ambientes acuáticos hacia el medio terrestre, aportando criterios para resguardar no solo especies, sino también funciones ecosistémicas esenciales. Además, los hallazgos serán útiles para la toma de decisiones de autoridades, gestores y comunidades, porque convierten el riesgo en datos claros y comparables entre paisajes con y sin actividad minera; con esta información se facilitan estrategias de prevención, mitigación y comunicación del riesgo en contextos amazónicos de alta sensibilidad.

Aun cuando Madre de Dios concentra una de las mayores diversidades biológicas del país, sigue siendo limitada la evidencia sobre cómo la contaminación por mercurio asociada a la minería afecta a la fauna terrestre. Este estudio ayuda a cerrar ese vacío al dimensionar la exposición en aves, analizar la extensión del Hg desde cuerpos de agua hacia el interior del bosque y contrastar gremios tróficos con distinta vulnerabilidad, afinando hipótesis sobre bioacumulación y transferencia trófica en ecosistemas tropicales del hemisferio sur.

Finalmente, la propuesta aporta un marco metodológico replicable porque se centra en el uso de gradientes de distancia desde cuerpos de agua hacia el interior del bosque para estimar la extensión del contaminante, una estrategia aplicable incluso cuando el acceso directo a frentes de MAPE es limitado. El muestreo con plumas, matriz no letal de fácil almacenamiento y transporte, reduce costos y exigencias logísticas y permite repetir mediciones en el tiempo y ampliar la cobertura espacial. Este enfoque favorece la construcción de series temporales, la estandarización entre cuencas y la adopción de protocolos compatibles que generen evidencia comparable.

## **1.4 Objetivos de la investigación**

### **A) Objetivo General**

Determinar los niveles de mercurio en aves de bosques prístinos y colindantes a actividad de Minería Artesanal y de Pequeña Escala (MAPE) en Madre de Dios en 2019.

### **B) Objetivo Específicos**

- Evaluar las diferencias entre niveles de mercurio en aves de bosque prístinos y bosques colindantes a actividad de Minería Artesanal y de Pequeña Escala (MAPE) en Madre de Dios en 2019.
- Analizar la extensión espacial de los niveles de mercurio en aves desde un lugar potencial de contaminación de hacia el interior de los bosques colindantes a actividad de Minería Artesanal y de Pequeña Escala (MAPE) en Madre de Dios en 2019.
- Identificar la influencia de factores ecológicos en los niveles de mercurio en aves de los bosques colindantes a actividad de Minería Artesanal y de Pequeña Escala (MAPE) en Madre de Dios 2019.

## **CAPITULO II: MARCO TEORICO Y CONCEPTUAL**

### **2.1 Bases teóricas**

#### **2.1.1 Propiedades y biogeoquímica del mercurio**

El mercurio es un metal pesado de símbolo químico Hg y número atómico 80. Es líquido y de color plateado a temperatura ambiente, muy denso ( $13.534 \text{ g/cm}^3$ ) y forma aleaciones con otros metales, como el oro, conocidas como amalgamas (Clarkson, 1997; Jasinski, 1995), lo que lo hace útil para la minería artesanal. Además, presenta un peso atómico estándar  $\approx 200.592$ , punto de fusión  $-38.8 \text{ }^\circ\text{C}$ , ebullición  $356.7 \text{ }^\circ\text{C}$ , presión de vapor  $\sim 1.2 \times 10^{-3} \text{ mmHg}$  a  $20 \text{ }^\circ\text{C}$  y solubilidad en agua muy baja ( $\sim 5.6 \times 10^{-7} \text{ g/L}$  a  $25 \text{ }^\circ\text{C}$ ); es mal conductor del calor pero conduce la electricidad moderadamente, tiene siete isótopos estables y su mineral más abundante es el cinabrio (HgS) (Beckers & Rinklebe, 2017). Químicamente puede encontrarse como  $\text{Hg}^0$ ,  $\text{Hg(I)}$  y  $\text{Hg(II)}$  (Beckers & Rinklebe, 2017; O'Driscoll, Rencz, & Lean, 2005). En cuanto a su distribución ambiental por compartimentos,  $>95 \%$  del Hg atmosférico es  $\text{Hg}^0$  (mercurio elemental), mientras que en aguas, suelos y sedimentos domina  $\text{Hg(II)}$  y en la biota predomina el (mono) metilmercurio ( $\text{CH}_3\text{Hg}^+$ ) (Beckers & Rinklebe, 2017; O'Driscoll et al., 2005), este patrón es coherente con el papel dominante de la atmósfera en el ciclo global del Hg y su capacidad de dispersión a gran escala (Fitzgerald & Clarkson, 1991).

#### **A) Mercurio elemental ( $\text{Hg}^0$ )**

Predomina en la atmósfera como vapor. Es altamente volátil, ligeramente soluble en agua y posee vida media atmosférica de  $\sim 0.5\text{--}1$  año reportada en síntesis recientes, lo que favorece su transporte a larga distancia y mezcla a gran escala (Selin, 2009; Bank, 2012). Estas propiedades son coherentes con sus constantes fisicoquímicas (baja solubilidad y presión de vapor medible a temperatura ambiente) y con la observación de que  $>95 \%$  del Hg gaseoso atmosférico es  $\text{Hg}^0$  (Beckers & Rinklebe, 2017).

#### **B) Mercurio inorgánico ( $\text{Hg(II)}$ )**

Deriva del cinabrio (HgS) y de la oxidación de  $\text{Hg}^0$ . En medios naturales es más soluble y reactivo que  $\text{Hg}^0$ , tiende a asociarse a partículas y ligandos (en particular grupos azufrados de la materia orgánica), y domina en aguas, suelos y sedimentos. En ambientes

acuáticos puede ser transformado biológicamente a metil-mercurio por microorganismos (M. Bank, 2012; Selin, 2009).

### **C) Mercurio orgánico ( $\text{CH}_3\text{Hg}^+$ )**

El metil-mercurio ( $\text{MeHg}$ ) es una de las formas más tóxicas y la predominante en la biota; aun cuando sus concentraciones disueltas en agua son muy bajas, presenta alta afinidad por tejidos (grupos sulfhidrido) y capacidad de bioacumulación y biomagnificación en redes tróficas (Beckers & Rinklebe, 2017; O'Driscoll et al., 2005). Constituye el principal vector de exposición a través del consumo de peces (y, en ciertos contextos, arroz) (Fitzgerald & Clarkson, 1991).

### **2.1.2 Fuentes de emisión de mercurio**

El mercurio es un metal que se encuentra en el ambiente gracias a procesos naturales y antropogénicos que emiten mercurio a los ecosistemas. Las emisiones pueden variar en espacio y tiempo, estimando que ambas fuentes emiten a la atmosfera alrededor de 5000 a 6000 tons/año (Guangliang et al., 2012) y se encuentra en tres principales formas, como mercurio elemental ( $\text{Hg}^0$ ), mercurio inorgánico ( $\text{HgII}$ ) y metil-mercurio ( $\text{CH}_3\text{Hg}^+$ ).

#### **A) Fuentes naturales**

Entre los procesos naturales tenemos a las emisiones por actividad volcánica o la erosión en las rocas, emisiones geotérmicas e hidrotérmicas, sin embargo, cuantificar los recursos naturales en el aire es difícil debido a la gran variedad de tipos de fuente. La variabilidad de emisiones naturales puede estar relacionada al mercurio antropogénico, generando las re-emisiones como los incendios forestales y emisiones de los océanos que tienen partes de mercurio antropogénico. Se estima que las emisiones geogénicas pueden liberar 500 tons/año, los incendios forestales 600 tons/año, las hidrotermas 800 tons/año, y en mayor cantidad el suelo y la vegetación con 1000 tons/año (Bank, 2014; Guangliang et al., 2012; UNEP, 2018), sin embargo, estas emisiones pueden variar en el tiempo y espacio debido a factores como la presencia de cordilleras volcánicas, formaciones geológicas con alto contenido de mercurio como los depósitos de cinabrio, procesos de intercambio entre agua y atmósfera y otros procesos de re-emisión como la emisión de depósitos de mercurio de la superficie de los suelos (Pirrone & Mason, 2009)



## **B) Fuentes antropogénicas**

Las fuentes antropogénicas de mercurio contribuyen significativamente a las concentraciones ambientales. Estas comprenden las operaciones de minería, los procesos industriales, la combustión de combustibles fósiles, la producción de cemento y la incineración de residuos sanitarios, químicos y municipales. Una gran parte del mercurio presente en estos momentos en la atmósfera es el resultado de muchos años de emisiones antropogénicas. Datos disponibles parecen indicar que las actividades antropogénicas han incrementado los niveles de mercurio en la atmósfera en 20% desde el 2010 y que específicamente la minería de oro artesanal de pequeña escala actualmente libera el 38% (PNUMA, 2018).

### **2.1.3 Ciclo biogeoquímico del mercurio**

El ciclo biogeoquímico del mercurio comprende una serie de transformaciones físicas, químicas y biológicas que este metal experimenta en el ambiente, permitiéndole movilizarse entre la atmósfera, la hidrosfera, la litosfera y la biosfera. Estas transformaciones están influenciadas por factores tanto naturales como antropogénicos, siendo la MAPE una de las principales fuentes de emisión de mercurio en regiones amazónicas.

En la MAPE, el mercurio es empleado por su capacidad de formar amalgamas con partículas de oro presentes en los sedimentos aluviales. Este proceso consiste en mezclar mercurio con los sedimentos auríferos para formar una amalgama sólida, la cual es posteriormente calentada (refogada) para evaporar el mercurio y recuperar el oro. Esta práctica rudimentaria libera grandes cantidades de mercurio elemental ( $\text{Hg}^0$ ) a la atmósfera en forma de vapor (Crespo-Lopez et al., 2021).

El mercurio elemental, altamente volátil, puede permanecer en la atmósfera durante semanas o incluso meses, permitiendo su transporte a largas distancias por acción de los vientos. Durante su permanencia atmosférica, puede sufrir oxidación parcial por interacción con ozono, radicales libres y otras especies presentes en las nubes, transformándose en formas más reactivas como el mercurio inorgánico divalente ( $\text{Hg}^{2+}$ ). Esta forma oxidada del mercurio es más soluble en agua, lo que facilita su incorporación al ciclo hidrológico a través de las precipitaciones.

Una vez depositado en el suelo o en cuerpos de agua, el mercurio puede asociarse a partículas orgánicas e inorgánicas, quedando retenido en sedimentos o siendo reemitido al ambiente. En ambientes acuáticos, se produce la metilación, proceso en el que bacterias anaerobias transforman el mercurio inorgánico en metil-mercurio (MeHg), una forma orgánica altamente tóxica y biodisponible. Esta transformación ocurre principalmente en sedimentos ricos en materia orgánica, como cochas y ríos amazónicos. (Driscoll et al., 2013; Gilmour et al., 2013).

El metil-mercurio tiene una gran afinidad por los tejidos biológicos, lo que facilita su entrada y acumulación inicialmente en los organismos acuáticos y luego es capaz de transferirse a los organismos terrestres (Aparicio, 2015; Crespo-Lopez et al., 2021; Gerson et al., 2022). Además, representa una de las formas más peligrosa de este metal debido a su persistencia y capacidad de biomagnificarse a través de las redes tróficas. Una vez incorporado a la base de la cadena alimenticia, se transfiere progresivamente a niveles superiores, incluyendo peces piscívoros, aves y mamíferos, alcanzando concentraciones significativamente mayores que las del ambiente circundante. Este proceso tiene consecuencias ecológicas y sanitarias importantes, especialmente en zonas de alta biodiversidad como la Amazonía.

#### **2.1.4 Bioacumulación y biomagnificación del mercurio**

Los metales pesados, ya sean de origen natural o antropogénico, pueden ingresar a los ecosistemas y acumularse en los organismos a través de la cadena alimentaria. La bioacumulación ocurre cuando la concentración de un contaminante en un organismo es mayor que la del medio ambiente circundante. Por esta razón, ciertos organismos pueden emplearse como indicadores de bioacumulación, ya que reflejan la distribución de los contaminantes a lo largo de los diferentes niveles tróficos (Gonzalez, 2015).

Por otro lado, la biomagnificación se refiere al incremento progresivo de la concentración de un contaminante a medida que se avanza en la cadena alimenticia. Incluso cuando un contaminante está presente en bajas concentraciones en el agua o en los sedimentos, puede acumularse en niveles más altos de la cadena, alcanzando concentraciones peligrosas en los tejidos de organismos superiores (Bowles et al., 2001).

Las concentraciones elevadas en los seres vivos pueden provocar una variedad de efectos nocivos en los organismos, entre ellos daño al sistema nervioso, alteraciones del

comportamiento y afectaciones a nivel genético. Para estudiar los procesos de bioacumulación y biomagnificación de contaminantes, se recurre comúnmente al uso de organismos como las aves, debido a que ocupan distintos niveles tróficos y son especialmente sensibles a los cambios en su entorno (Tsipoura et al., 2011).

### **2.1.5 Toxicocinética y toxicodinámica del mercurio**

La toxicocinética hace referencia a los procesos mediante los cuales un compuesto químico, como el mercurio, es absorbido, distribuido, metabolizado y excretado por un organismo. Este enfoque permite entender la dinámica interna del contaminante desde su ingreso hasta su eliminación, así como su permanencia y acumulación en tejidos biológicos. En el caso del mercurio, su forma orgánica, el metil-mercurio, presenta una alta biodisponibilidad, particularmente por vía digestiva, lo que favorece su rápida absorción y posterior distribución sistémica.

En aves, el metil-mercurio ingerido a través de la dieta es absorbido a través del epitelio intestinal y se transporta por la sangre, asociado principalmente a proteínas plasmáticas. Se distribuye con afinidad hacia tejidos ricos en azufre, como el hígado, riñones, cerebro y plumas en formación, donde puede permanecer ligado a grupos sulfhidrilos. A diferencia de otros compuestos, el mercurio tiene una lenta tasa de eliminación, lo cual contribuye a su acumulación. La excreción en aves ocurre por diversas rutas, incluyendo las heces, los huevos y, de manera significativa, mediante el depósito en las plumas durante la muda, lo cual representa una vía fisiológica relevante de eliminación del metal (Lewis & Furness, 1993; Scheuhammer et al., 2007; Whitney & Cristol, 2017).

Por su parte, la toxicodinámica se refiere a los mecanismos de acción mediante los cuales el contaminante ejerce sus efectos tóxicos a nivel molecular, celular y sistémico. Este enfoque permite analizar cómo interactúa el mercurio con proteínas, enzimas, receptores u otros blancos biológicos en el organismo, alterando procesos fisiológicos clave como la señalización celular, la síntesis de proteínas o el equilibrio oxidativo (Newman, 2015). Aunque el sistema nervioso suele ser el blanco primario del metil-mercurio, en aves también se han documentado afectaciones en el sistema inmune, endocrino y reproductivo, incluso a niveles subletales.

El estudio conjunto de la toxicocinética y la toxicodinámica del mercurio permite comprender la persistencia del contaminante en organismos superiores como las aves, y justifica su uso como bioindicadores de exposición ambiental a metales pesados.

#### **2.1.6 Efectos del mercurio en aves**

El metil-mercurio, es una de las formas más tóxicas del mercurio y es una potente neurotoxina que incluso a bajas concentraciones, puede causar daños en la fauna silvestre (Wolfe et al., 1998). Entre los efectos negativos del mercurio tenemos:

**A) Función Neurológica:** Se ha demostrado que la exposición al mercurio en modelos aviares tiene efectos neurotóxicos, con pruebas de degeneración axonal y otros problemas neurológicos. Efectos como una migración neuronal alterada, degeneración de los axones, desmielinización contracción neuronal han sido reportados, así como la disminución de la unión a los receptores NMDA (de N-metil-D-aspartato), sin embargo este efecto no se ha observado de forma consistente entre especies de aves (Wolfe et al., 1998).

**B) Reproducción:** Se ha reportado la disminución del éxito reproductivo, donde se ha observado la afectación del tamaño de nidada, la reducción del número de huevos (Wolfe et al., 1998) e incluso la alteración en las proporciones del sexo de la nidada, inclinándose a la producción de más individuos machos (Bouland et al., 2012). Así también se ha observado el adelgazamiento de los cascarones del huevo y afectaciones a los embriones en estudios de laboratorio al aplicar mercurio en la superficie de los huevos (Wolfe et al., 1998). Algunos estudios han examinado la existencia de un efecto de la exposición al mercurio sobre la supervivencia de las crías de aves en el nido en torno a la época de volantones (Evers et al., 2008), también se ha observado un descenso relacionado con el mercurio en la proporción de huevos que eclosionan (Hallinger et al., 2011).

**B) Comportamiento:** La exposición al mercurio puede afectar significativamente al comportamiento parental de varias especies de aves. Se ha observado una reducción de los intentos de anidamiento (Albers et al., 2007; Evers et al., 2008) y un aumento de parejas del mismo sexo, entre machos (Frederick & Jayasena, 2011). También se ha reportado una disminución del tiempo de incubación y del esfuerzo de aprovisionamiento de recursos y abandono de nidos (Jackson et al., 2011). En aves de sitios contaminados con mercurio se observó que estas tenían cantos menos complejos y con menor frecuencia

(Hallinger et al., 2010), además se observó la reducción del tiempo acicalándose y nadando (Evers et al., 2008). En estudios de dosificación, las aves estudiadas mostraron signos de ataxia, letargo y alteración de las habilidades motoras (Swaddle et al., 2017).

**D) Función endocrina:** Aunque no hay pruebas de que el mercurio sea una sustancia química alteradora endocrina clásica que imite o compita con hormonas específicas, hay datos que sugieren que la exposición al mercurio está asociada a alteraciones en los perfiles de varias hormonas incluyendo la testosterona y corticosterona. Estudios sugieren del potencial de este contaminante biomagnificador persistente para alterar la condición física y el tamaño efectivo de la población en la vida silvestre dado que puede existir un efecto sobre la proporción de sexos de la descendencia (Bouland et al., 2012).

### **2.1.7 Bioindicadores**

Son organismos que permiten evaluar la calidad ambiental de un ecosistema. Su estado de salud, abundancia o composición química refleja los efectos de contaminantes o cambios ecológicos. Son herramientas clave para estudios ecotoxicológicos, especialmente cuando se trata de metales pesados como el mercurio (Newman, 2015).

#### **A) Aves como bioindicadores**

Los animales silvestres han sido ampliamente usados como monitores ambientales, ya que humanos y animales comparten el ambiente local, el aire, el agua y forman parte de la cadena alimenticia. El uso de estos organismos como indicadores de bioacumulación permite evaluar la calidad del ambiente de acuerdo con la exposición de contaminantes en los hábitats que estos ocupen, estimando los niveles de estos contaminantes, su abundancia y biodisponibilidad en distintos niveles trófico. El estudio de la concentración de metales pesados en aves ha sido una preocupación desde hace varios años, donde se realizaron estudios enfocados en aves rapaces y aves marinas convirtiendo a las aves en indicadores de exposición para valorar la salud ambiental ya que estas ocupan un amplio rango en los niveles tróficos y en la cadena alimenticia, están ampliamente distribuidas, además presentan un periodo de vida largo y son sensibles a cambios atmosféricos del ambiente (Parra, 2014).

## **B) Plumas como bioindicadores**

Las plumas son utilizadas como monitores de contaminantes, ya que guardan la información de la exposición de metales pesados, durante el desarrollo y crecimiento de la pluma. Representan una de las principales vías de excreción de metales pesados como el mercurio (Carravieri et al., 2014; Espín et al., 2014; Zebral Dornelles et al., 2022). Durante su crecimiento, mientras están vascularizadas, reflejan con precisión los niveles de mercurio en sangre, y una vez desarrolladas, mantienen estos niveles de forma estable e inerte (Burger & Gochfeld, 1997; Dauwe et al., 2000). Al finalizar este proceso, la pluma es sellada y deja de tener interacción en la fisiología del ave (Burger et al., 2008; Dauwe et al., 2003). Durante la muda de plumas, los niveles de algunos metales pesados en tejidos internos pueden disminuir (ya que son depositados en las plumas) y al finalizar este proceso, los niveles de algunos metales pesados vuelven a incrementarse en los tejidos internos (Dauwe et al., 2003). Se estima que entre el 95 % y el 99 % del mercurio total presente en plumas corresponde a metil-mercurio (Bond & Diamond, 2009; Rimmer et al., 2005). Esta característica, junto con su facilidad de colecta no invasiva y bajo costo, las convierte en una herramienta efectiva para estudios de monitoreo ambiental (Burger & Gochfeld, 2009; Di Marzio et al., 2018; Espín et al., 2014; Pacyna-Kuchta, 2023).

### **2.1.8 Análisis espacial**

El análisis espacial integra la teledetección (sensoramiento remoto) y los Sistemas de Información Geográfica (SIG) para caracterizar la distribución geográfica de fenómenos ambientales, identificar patrones y gradientes y relacionarlos con factores naturales o antrópicos; su fortaleza es combinar información multiespectral, espacial y temporal para el diagnóstico y la toma de decisiones (Chuvieco, 2002; Weng, 2010).

#### **A) Sensoramiento remoto**

El sensoramiento remoto se define como la adquisición de información de la superficie terrestre y la atmósfera a partir de la radiación electromagnética reflejada o emitida, registrada por sensores en plataformas aéreas o satelitales. Cada tipo de material interactúa con la energía de forma característica, generando una firma espectral (patrón de reflectancia y/o emisión por banda) que permite diferenciarla en las imágenes. La utilidad de la información obtenida está condicionada por las resoluciones del sistema

espacial, espectral, radiométrica y temporal que determinan el nivel de detalle, la capacidad de discriminación y el potencial de monitoreo (Chuvieco, 2002; Lillesand et al., 2015; Weng, 2010).

En este marco, las imágenes satelitales constituyen el insumo principal del sensoramiento remoto debido a que proveen registros multispectrales y multitemporales con cobertura sinóptica del territorio a partir de los cuales se derivan índices, clasificaciones y productos biofísicos para cartografiar coberturas, delimitar cuerpos de agua y analizar cambios en el paisaje (Jensen, 2005; Lillesand et al., 2015).

## **B) Imágenes satelitales**

Las imágenes satelitales son registros digitales captados por sensores orbitales y se describen por cuatro propiedades: resolución espacial (tamaño de píxel), espectral (número/anchura y posición de bandas), radiométrica (profundidad de bits) y temporal (frecuencia de revisita), que condicionan la idoneidad para cartografía de cuerpos de agua, vegetación, suelos, detección de cambios y seguimiento de procesos de degradación ambiental (Chuvieco, 2002; Jensen, 2005; Lillesand et al., 2015). Ejemplos de misiones ampliamente usadas incluyen Landsat (OLI/TIRS), Sentinel-2 (MSI), ASTER, sensores de alta resolución (WorldView, QuickBird, PlanetScope), y sensores de media/baja resolución para cobertura regional (MODIS) (Jensen, 2005; Lillesand et al., 2015).

## **C) Sensores**

Los sensores remotos convierten la radiación reflejada/emitada en señales medibles para su análisis e interpretación (Jensen, 2005).

**Pasivos:** dependen de la iluminación solar (visible, NIR, SWIR) o de la emisión térmica (TIR); son idóneos para cobertura/uso del suelo, agua y temperatura de superficie.

**Activos:** emiten su propia señal (RADAR/SAR, LiDAR) y operan de día/noche; el SAR es resistente a la nubosidad, ventaja crítica en regiones tropicales.

Parámetros clave de diseño espacial, espectral, radiométrica y temporal, determinan el nivel de detalle, la discriminación de materiales (ejemplo: bandas red-edge para vegetación), la sensibilidad (profundidad de bits) y la capacidad de monitoreo (Weng,

2010; Lillesand et al., 2015). Para productos temáticos confiables se recomienda evaluación de exactitud (matriz de confusión, exactitud por clase) y documentación de incertidumbres (Congalton & Green, 2009).

#### **D) Imágenes Sentinel**

La misión Sentinel-2 del programa Copernicus, ESA/CE) provee datos abiertos y de alta frecuencia para monitoreo terrestre. El instrumento MSI registra 13 bandas en el visible, NIR y SWIR, con resoluciones de 10/20/60 m, profundidad radiométrica de 12 bits y revisita de ~5 días con los satélites 2A/2B (ESA, 2015). Estas especificaciones permiten series temporales densas y diagnóstico biofísico robusto en cobertura y/o uso del suelo, agricultura, bosques y agua (ESA, 2015).

A continuación se define la agrupación funcional de bandas:

- **Detalle óptico (10 m)**

B2 (azul), B3 (verde), B4 (rojo), B8 (NIR) → delimitación fina de coberturas; índices de vegetación; detección de cambios y cuerpos de agua.

- **Diagnóstico biofísico (20 m):**

B5–B7, B8A (red-edge) para clorofila/estructura del dosel; B11–B12 (SWIR) para humedad y discriminación de suelos

- **Soporte atmosférico (60 m):**

B1 (aerosoles), B9 (vapor de agua), B10 (cirros) → máscaras/correcciones que mejoran la calidad de productos biofísicos.

#### **2.1.9 Muestreadores pasivos de aire para mercurio (MerPAS)**

Los muestreadores pasivos de aire (MerPAS) son dispositivos diseñados para ampliar la cobertura espacial y mejorar la resolución de las mediciones de mercurio elemental gaseoso ( $\text{Hg}^0$ ) sin requerir energía externa. Funcionan mediante una membrana de difusión que dirige el  $\text{Hg}^0$  hacia un medio de captura compuesto por carbón activado impregnado con azufre, material con alta área superficial y porosidad, cuya eficiencia de adsorción aumenta con la impregnación de azufre (Kumar et al., 2014). Estos dispositivos pueden ser desplegados en campo por períodos de hasta 30 días (McLagan et al., 2016).

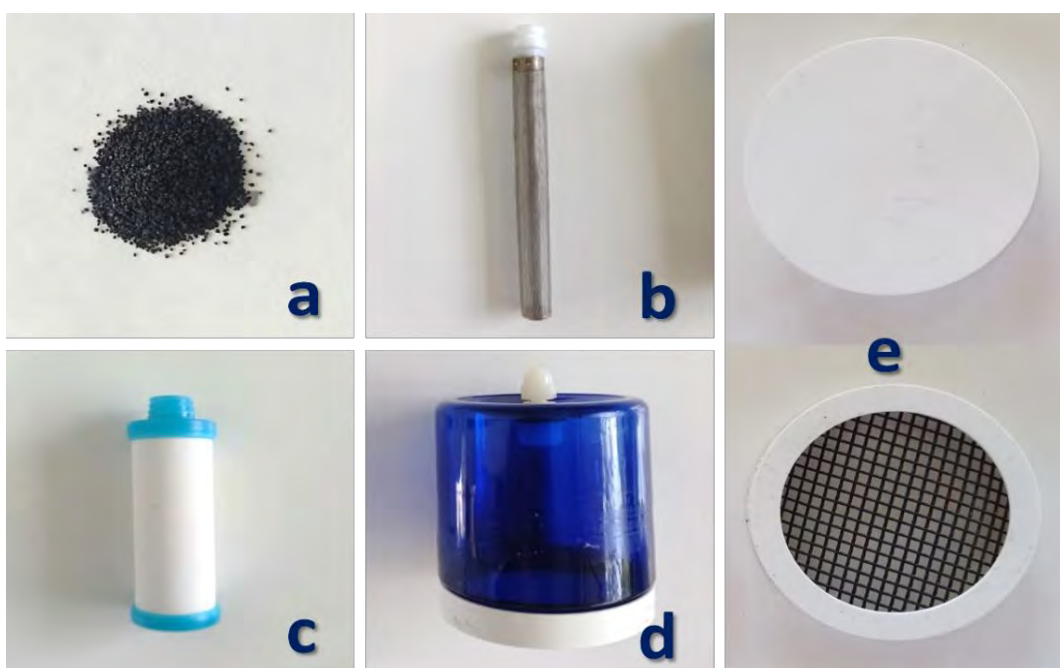
Cada muestreador pasivo está conformado por los siguientes elementos (Figura 6):



- A) Carbón activado sulfatado:** Este material destaca por su alta capacidad de adsorción de mercurio, gracias a su amplia superficie y porosidad. La impregnación con azufre mejora aún más su eficiencia, al aumentar la afinidad química con el mercurio (Kumar et al., 2014).
- B) Cartucho de acero inoxidable:** Cartucho de malla de forma cilíndrica donde se coloca carbón activado sulfatado para el monitoreo de la calidad del aire.
- C) Radiello®:** Dispositivo compuesto por membranas de microporos que contienen cartuchos con material adsorbente. Su diseño maximiza el área de difusión, lo que incrementa la eficiencia y la tasa de muestreo de mercurio en el aire (McLagan, 2018; McLagan et al., 2016).
- D) Frasco protector:** Es un contenedor cilíndrico de material PET (Tereftalato de polietileno) que protege al radiello del viento, la luz solar, las lluvias, y fuertes flujos de aire.
- E) Tapas de frascos protectores:** Los PAS utilizan dos tipos de tapas: 1) tapa cerrada, utilizada para almacenamiento y 2) tapa con rejilla, utilizada durante el monitoreo de mercurio en aire.

**Figura 1**

*Componentes de un muestreador de aire pasivo (PAS)*



## **2.2 Marco Conceptual**

### **2.2.1 Minería Artesanal y de Pequeña Escala**

Según el Convenio de Minamata sobre el Mercurio se define como la extracción de oro llevada a cabo por mineros particulares o pequeñas empresas con una inversión de capital y una producción limitadas; y la Organización Internacional del Trabajo (OIT) describe como la gran cantidad de mano de obra con un nivel bajo y básico de mecanización (PNUMA, 2017).

### **2.2.2 Pozas mineras**

Son cuerpos de agua artificiales creados por la remoción de sedimentos durante actividades de minería aluvial, especialmente en la extracción de oro en zonas de selva tropical como Madre de Dios. Pueden formarse intencionalmente como parte del proceso de lavado del material aurífero y suelen presentar altas concentraciones de sedimentos, mercurio y otros contaminantes, y alteran significativamente el entorno hidrológico y ecológico local (Araujo-Flores et al., 2024; Caballero et al., 2018).

### **2.2.3 Contaminación**

Es la introducción directa o indirecta de sustancias, como el mercurio, en el ambiente natural, generando efectos negativos sobre los ecosistemas y la salud humana. En el contexto de la minería artesanal y de pequeña escala (MAPE), la contaminación se vuelve crítica debido a la emisión descontrolada de mercurio en aire, agua y suelo. Esta contaminación no solo afecta a los ecosistemas locales, sino que puede tener impactos regionales debido al transporte atmosférico (Suthar & Singh, 2015; UNEP, 2019).

### **2.2.4 Gremios alimenticios**

Son grupos de especies que comparten estrategias ecológicas similares, especialmente en cuanto a dieta y uso del hábitat. En ecotoxicología, el estudio de gremios alimenticios permite entender cómo distintas especies (por ejemplo, insectívoras, piscívoras o frugívoras) presentan diferentes niveles de exposición y acumulación de mercurio. Esto ayuda a identificar patrones de riesgo asociados al tipo de alimentación y nivel trófico (Root, 2012; Wolfe et al., 1998).

## 2.3 Antecedentes del estudio

### 2.3.1 Internacionales

**Li et al. (2021)**, En el estudio “*Biomagnificación y transferencia trófica de mercurio total (THg) y metil-mercurio (MeHg) en una red trófica de un bosque montano subtropical, suroeste de China*”, determinó los niveles de mercurio total (THg) y metil-mercurio (MeHg), así como la composición isotópica del carbono (d13C) y el nitrógeno (d15N) en muestras de suelos, plantas, invertebrados y plumas de aves passeriformes para construir redes tróficas en un remoto bosque montano subtropical del monte Ailao, ubicado en el suroeste de China para entender el proceso de bioacumulación, biomagnificación y transferencia de mercurio en los niveles tróficos de la cadena alimenticia. Sus resultados mostraron que los niveles tróficos de todos los consumidores seguían el orden de: aves passeriformes > arañas > insectos omnívoros > insectos herbívoros > plantas, donde las concentraciones de mercurio en aves se encontraban en el rango 0.35 – 5.27 µg/g THg y una media de  $1.66 \pm 1.02$  µg/g THg (n =102). Las concentraciones en plumas de passeriformes principalmente insectívoros tuvieron mayores concentraciones de THg que las de aves omnívoras y frugívoras, mientras que las concentraciones en plumas de aves omnívoras mostraron concentraciones de THg ligeramente superiores a las de aves frugívoras, aunque esta diferencia no fue significativa ( $p > 0,05$ ). Las concentraciones encontradas evidenciaron el proceso de biomagnificación en la cadena trófica desde plantas-insectos herbívoros/omnívoros-arañas-aves passeriformes y entre los gremios alimenticios en aves.

**Zhou et al. (2021)**, en el estudio “*Captación de mercurio por la vegetación y su impacto en el ciclo global*”, realizaron una revisión global del papel de la vegetación en la absorción, acumulación y redistribución del mercurio atmosférico. Analizaron datos de diversos ecosistemas a partir de estudios previos y modelos globales de flujo de mercurio, enfocándose en la transferencia desde la atmósfera hacia los compartimentos vegetales. Los autores encontraron que las plantas absorben mercurio atmosférico principalmente en forma de Hg(0), el cual se acumula en tejidos foliares y se transfiere al suelo mediante la caída de hojas y hojarasca. Determinaron que la mayor parte del mercurio se retiene en las raíces y en la materia orgánica del suelo, con una transferencia limitada hacia frutos y semillas. Concluyeron que la vegetación actúa como un sumidero importante de mercurio

atmosférico, afectando su distribución global y contribuyendo a la deposición terrestre del metal.

**Ackerman et al. (2019)**, En el estudio *“Contaminación por mercurio en aves cantoras residentes y migratorias y efectos potenciales sobre la condición corporal”*, midió las concentraciones de mercurio en sangre y plumas y la condición corporal de casi 1 200 individuos de aves passeriformes residentes o migratorias de 52 especies y 5 gremios alimenticios. El estudio se realizó en la cuenca de sedimentación Cache Creek Settling, ubicado en el Valle Central de California en Estados Unidos, los autores encontraron que las concentraciones de mercurio de los passeriformes difirieron entre especies, grupos de alimentación, estatus de residencia, fechas y edades, donde el promedio de THg en plumas de aves adultas fue de  $1.00 \pm 0.06 \mu\text{g/g}$ . También reportan que los insectívoros ( $0.26 \pm 0.05 \mu\text{g/g}$  de peso vivo) tenían mayores concentraciones de THg que los omnívoros ( $0.08 \pm 0.02 \mu\text{g/g}$ ) y los granívoros ( $0.002 \pm 0.001 \mu\text{g/g}$ ). Concluyó que la ecología de forrajeo y migración tiene influencia en las concentraciones de mercurio en aves. Además determinó que existe una disminución de la condición corporal cuando existe un incremento de la exposición a este metal en aves passeriformes.

**Evers (2018)**, en el estudio *“Los efectos del metil-mercurio en la vida silvestre: una revisión integral y enfoque para su interpretación”*, se realizó en una recopilación global de investigaciones sobre fauna silvestre, sin enfocarse en un lugar específico, pero integrando información principalmente de Norteamérica y regiones boreales. La metodología consistió en una revisión de estudios científicos sobre concentraciones de metil-mercurio en tejidos de diferentes especies de aves, mamíferos y peces, así como los efectos observados a distintos niveles de exposición. Se utilizaron modelos de riesgo ecológico y umbrales de efecto para interpretar la toxicidad. Los resultados evidenciaron que en aves, concentraciones superiores a  $2.4 \mu\text{g/g}$  de metil-mercurio en plumas están asociadas a efectos adversos como alteración del comportamiento, reducción en el éxito reproductivo y cambios fisiológicos. Las aves insectívoras de hábitats húmedos y bosques remotos fueron identificadas como grupos de alto riesgo. Se concluye que el metil-mercurio representa una amenaza significativa para la vida silvestre y que es necesario establecer puntos de referencia de concentración para la gestión y conservación de especies vulnerables.

**Sierra-Marquez et al. (2018)**, En el estudio “*Niveles de mercurio en aves y roedores pequeños del Parque Nacional Natural Las Orquídeas, Colombia*”, evaluó los niveles de mercurio en aves del Parque Nacional Natural Las Orquídeas, una zona protegida ubicada en la región andina noroccidental de Colombia, expuesta a influencia minera. Realizó la captura de 93 individuos distribuidos en 37 especies, de los cuales colectó plumas pectorales para el análisis de mercurio total (THg). El promedio de las concentraciones de mercurio total fue de  $0.84 \pm 0.05 \mu\text{g/g}$ . Además, clasificó las especies en tres gremios tróficos: frugívoros, nectarívoros e insectívoros, reportando concentraciones de  $0.57 \pm 0.09$ ,  $0.73 \pm 0.07$  y  $1.00 \pm 0.08 \mu\text{g/g}$  THg, respectivamente. Los resultados sugieren que los niveles de Hg en las plumas de las aves dependen directamente de su gremio trófico, siendo las especies insectívoras las más expuestas a la bioacumulación. El estudio también evidencia que, incluso en áreas naturales protegidas, la contaminación por mercurio puede afectar a la fauna terrestre, y advierte que la acumulación progresiva de este metal podría alcanzar niveles tóxicos capaces de afectar la supervivencia y reproducción de especies en distintos niveles de la cadena alimenticia.

**Howie et al. (2018)**, En el estudio “*Extensión espacial de la contaminación por mercurio en aves y sus presas en la llanura de inundación de un río contaminado*”, evaluó una llanura aluvial en un tramo de 40 km de río contaminado con Hg en Virginia, EE.UU. donde eligió 04 especies de aves paseriformes: *Poecile carolinensis*, *Thryothorus ludovicianus*, *Sialia sialis* y *Troglodytes aedon*, asegurándose para el estudio que estas ocupaban fácilmente nidos artificiales colocados a distancias conocidas del río. Encontró que los niveles de mercurio en sangre y plumas difieren entre sitios con contaminación y los de referencia así también que los niveles de mercurio disminuyen con la distancia desde un lugar potencial contaminado (orilla del río Shenandoah), sin embargo, reportan algunas especies que mantuvieron elevados los niveles de Hg hasta unos 400 m de distancia desde el río.

**White et al. (2014)**, El estudio “*Efectos del mercurio y el sexo en el plumaje del martín pescador norteamericano*” se realizó en zonas ribereñas contaminadas por mercurio en Virginia, Estados Unidos. La metodología utilizada consistió en capturar individuos de *Megasceryle alcyon* (martín pescador norteamericano) y medir las concentraciones de mercurio total (THg) en plumas, analizando además la intensidad del plumaje en machos y hembras. Los resultados mostraron que las hembras expuestas a mayores niveles de

mercurio presentaban una coloración del plumaje menos intensa, lo que sugiere un impacto sobre características sexuales secundarias. Se concluye que el mercurio puede afectar la expresión de señales visuales relacionadas con la reproducción, lo cual podría tener implicancias en la selección sexual y el éxito reproductivo de las aves.

**Moller & Liang (2013)**, en el estudio *“Las aves tropicales toman riesgos pequeños”*, evaluaron las diferencias en el comportamiento de aversión al riesgo entre aves de regiones tropicales y aves de zonas templadas. El estudio se llevó a cabo mediante observaciones de campo y experimentos de aproximación controlada en hábitats naturales de Asia y América del Sur, incluyendo selvas tropicales y bosques templados. Compararon las distancias de escape de más de 150 especies de aves, como medida de su respuesta al riesgo de depredación. Los resultados mostraron que las aves tropicales tienden a mantener distancias de escape mayores que sus contrapartes templadas, lo cual fue interpretado como un comportamiento más cauteloso frente a amenazas potenciales. Los autores concluyeron que estas diferencias pueden estar relacionadas con la presión evolutiva en ambientes más estables, donde la supervivencia a largo plazo depende de estrategias conductuales conservadoras.

**Boulard et al. (2012)**, En el estudio *“Sesgo hacia crías hembras en aves en un río contaminado por mercurio”* se evaluaron aves en el río South River, en Virginia, Estados Unidos, una cuenca afectada por descargas históricas de mercurio. La metodología incluyó el monitoreo de nidos de aves y la determinación del sexo de las crías a través de análisis genético, comparando sitios con distinta intensidad de contaminación por mercurio. Los resultados indicaron que las aves que se reproducían en áreas con mayor carga de mercurio presentaban una proporción significativamente mayor de crías hembras. El estudio concluye que la contaminación por mercurio puede influir en la proporción sexual de las crías, posiblemente como una respuesta adaptativa frente al estrés ambiental o por mayor sensibilidad de los machos al mercurio, lo que tiene implicancias en la dinámica poblacional de estas especies.

**Jackson et al. (2011)**, En el estudio *“Exposición al mercurio en aves terrestres aguas abajo de una fuente puntual histórica”*, evaluó cinco llanuras aluviales a lo largo de 137 km aguas abajo de una fuente histórica de mercurio, así como dos zonas control aguas arriba, en los ríos South y South Fork Shenandoah (Virginia, EE. UU.). Capturaron un total de 440 individuos adultos pertenecientes a 38 especies, agrupadas en cuatro

categorías tróficas: insectívoros/residentes (4 especies,  $n = 90$ ), insectívoros/migrantes (19 especies,  $n = 98$ ), omnívoros/residentes (4 especies,  $n = 103$ ) y omnívoros/migrantes (11 especies,  $n = 149$ ).

Los resultados mostraron que las concentraciones de mercurio total (THg) en sangre de aves terrestres se mantuvieron elevadas a lo largo de todo el tramo evaluado, con niveles que oscilaron entre 0.3 y 2.7  $\mu\text{g/g}$ , y una disminución poco significativa con la distancia desde la fuente. El estudio concluyó que el mercurio puede salir de los ecosistemas acuáticos y transferirse a los organismos terrestres a través de la cadena alimenticia, afectando a aves hasta aproximadamente 50 metros desde la orilla del río.

**Rimmer et al. (2005)**, En el estudio “*Concentraciones de mercurio en zorzales de Bicknell y otras aves insectívoras en bosques montanos del noreste de América del Norte*”, desarrollado en bosques montanos en el noreste de Estados Unidos y Canadá. Se capturaron individuos de *Catharus bicknelli* y otras aves passeriformes insectívoras, y se analizaron las concentraciones de mercurio total en plumas mediante espectrometría de absorción atómica. Los resultados mostraron niveles elevados de mercurio, incluso en sitios remotos, con valores superiores a 1.0  $\mu\text{g/g}$  en varias especies, lo cual se asocia a efectos negativos sobre la reproducción. Se concluye que el mercurio atmosférico puede ser transportado a largas distancias y depositarse en ecosistemas montanos, afectando a aves residentes en hábitats que, aunque remotos, no están exentos de riesgo. El estudio subraya la importancia de monitorear especies indicadoras en estos ecosistemas sensibles.

**Motta-Junior (2002)**, en el estudio “*Dieta del autillo tropical (Otus choliba) en época reproductiva en el sureste de Brasil*”, analizó la composición dietética de esta especie carnívora mediante el análisis de egagrópilas. Se encontró una dieta basada en roedores, insectos y otros vertebrados pequeños. Investigó la composición dietética de esta especie de búho mediante el análisis de egagrópilas recolectadas en el campo durante su temporada reproductiva. El estudio se llevó a cabo en un área de bosque semidecíduo en el estado de São Paulo, Brasil. Las egagrópilas fueron recolectadas sistemáticamente en nidos activos y lugares de descanso, y se procedió a la identificación de los restos de presas contenidos en ellas. Los resultados revelaron que la dieta del autillo tropical se compone principalmente de pequeños mamíferos, especialmente roedores, así como insectos y otros vertebrados pequeños. Se observó una alta frecuencia de roedores en la

dieta, lo que indica una fuerte dependencia de presas terrestres y de hábitos herbívoros. El estudio concluyó que *Otus choliba* presenta una dieta generalista pero con una marcada preferencia por presas terrestres, y que esta dieta puede variar según la disponibilidad local de recursos y el periodo reproductivo.

**Burton et al. (1977)**, en el estudio “*Mercurio y comportamiento en poblaciones de ratones silvestres*”, evaluaron el impacto del mercurio en el comportamiento de ratones silvestres expuestos al metal en ambientes contaminados. Se realizaron pruebas conductuales en diferentes poblaciones, comparando individuos de áreas con y sin contaminación. Los resultados mostraron alteraciones significativas en la actividad motora y social de los ratones expuestos al mercurio, sugiriendo que incluso niveles subletales de exposición pueden afectar el comportamiento. Este estudio destaca que organismos de niveles tróficos bajos también pueden verse afectados por la contaminación por mercurio, lo que tiene implicancias para la fauna que los consume, como las aves rapaces y carnívoras.

### **2.3.2 Nacionales**

**OEFA (2020)**, En el Informe técnico “*Evaluación ambiental de causalidad en el ámbito de los botaderos de desmonte Este, Sur y Suroeste, pad de lixiviación (6 fases) y tajo Quicay de la unidad fiscalizable Quicay, en el 2020*”, se aplica un diseño multicomponente para determinar causalidad de impactos en un complejo minero (Quicay), con muestreo de aguas superficiales y subterráneas, sedimentos, suelos, rocas, componentes mineros, comunidades hidrobiológicas, flora y fauna. El plan de monitoreo incluyó, entre otros, metales totales y mercurio en matrices físico-químicas y plumas de aves (22 muestras en total entre agosto y octubre, 17 en agosto y 5 en octubre). En cuerpos de agua, el informe registró presencia de Hg en la Laguna Quicay con reportes de superaciones respecto de referencia para pH y Hg en puntos LQuic2 y LQ-1, y Hg en sedimentos de esa misma laguna, además de otros metales (As, Cd, Cu, Pb, Zn). Este enfoque demuestra la utilidad de integrar líneas de evidencia bióticas (plumas de aves) y abióticas (agua, sedimento, suelo) para evaluar exposición a metales en contextos mineros.

**Mena & Germaná (2016)**, En el estudio “*Diversidad biológica del sudeste de la Amazonía Peruana: Avances en la investigación*”, compilan información sobre el



Corredor de Conservación Purús-Manu (CCPM), un paisaje amazónico continuo de ~10 millones de hectáreas con deforestación mínima y alta integridad ecológica. El volumen estima alrededor de 460 especies de aves para la zona y resalta su valor como indicadores del estado del bosque. Además, incluye capítulos con levantamientos de avifauna y propone ampliar el muestreo en distintas estaciones y hábitats, incluyendo la evaluación de asociaciones con bosques de paca (Guadua).

### 2.3.3 Locales

**Gerson et al. (2022)**, En el estudio “*Los bosques amazónicos captan altos niveles de contaminación atmosférica por mercurio procedente de la Minería Artesanal de Oro*”, evaluó la vía de deposición y almacenamiento del mercurio en lugares afectados por Minería Artesanal en Madre de Dios. Monitoreó el mercurio en el dosel, hojarasca, en el aire, en el suelo y en aves passeriformes donde encontró una sustancial carga de mercurio en suelo, la hojarasca y en aves. Reportó valores superiores en lugares afectados por minería, evaluando mercurio solo en 03 especies de aves en la Estación Biológica Los Amigos (afectado por minería) y La estación biológica Cocha Cashu (lugar protegido e intangible): *Myrmotherula axillaris* (1.8 µg/g, n = 10 vs 0.9 µg/g, n = 2), *Phlegopsis nigromaculata* (4.1 µg/g, n = 10 vs. 1.4 µg/g, n = 2) y *Pipra fasciicauda* (0.3 µg/g, n = 46 vs 0.1 µg/g, n=2). De estas 03 especies, *Phlegopsis nigromaculata* presentó concentraciones de mercurio en algunos individuos que superan las concentraciones efectivas donde se puede observar una disminución del 10%, 20% y 30% en el éxito reproductivo.

**Szponar (2022)**, en el estudio “*Rastreado las fuentes atmosféricas de mercurio mediante muestreo pasivo de aire y caracterización isotópica*”, evaluó la contaminación atmosférica por mercurio en Madre de Dios, Perú, una región fuertemente afectada por la Minería Artesanal y de Pequeña Escala (MAPE). La investigación utilizó muestreadores pasivos de aire (PAS) instalados entre 2017 y 2018 en distintos puntos como Puerto Maldonado, la carretera Interoceánica y zonas cercanas a campamentos mineros. Además de registrar concentraciones significativamente elevadas de mercurio en el aire, especialmente en torno a tiendas de oro y campamentos mineros activos, se aplicaron técnicas de análisis isotópico para determinar la fuente del mercurio. Los resultados indicaron que la actividad minera es la fuente predominante, siendo responsable del 92 % del mercurio atmosférico en ciudades mineras cercanas a tiendas de oro, el 79 % a lo

largo de la carretera Interoceánica y otro 79 % en zonas boscosas cercanas a áreas de minería artesanal.

**Araújo-Flores et al. (2021)**, en el estudio *“Estacionalidad y ensamblaje de metacomunidades acuáticas en tres pozas de minería de oro abandonadas en la Amazonía suroccidental, Madre de Dios (Perú)”*, analizaron la composición de comunidades acuáticas en pozas mineras abandonadas, con el fin de evaluar su variación temporal y ecológica. El estudio se desarrolló en tres pozas de origen minero en Madre de Dios y utilizó indicadores ecológicos para examinar la estructura de metacomunidades en diferentes épocas del año. Los resultados revelaron una alta heterogeneidad en la composición de las comunidades, asociada a cambios estacionales, y señalaron que las pozas actúan como hábitats que, pese a su origen antrópico, mantienen una diversidad significativa. Se concluyó que, si bien pueden albergar comunidades complejas, estas pozas también representan potenciales rutas de exposición a contaminantes, incluida la transferencia trófica de metales pesados como el mercurio.

**Gerson et al. (2020)**, en el estudio *“La expansión artificial de lagos amplifica la contaminación por mercurio de la minería de oro”*, examinaron cómo las pozas de minería aurífera contribuyen a la metilación y dispersión del mercurio en paisajes amazónicos de Madre de Dios. El estudio combinó análisis de imágenes satelitales, muestreo de agua y sedimentos, así como mediciones de metil-mercurio en diversos puntos de pozas mineras activas y abandonadas. Los resultados mostraron que los ambientes acuáticos creados por la actividad minera, al ser lénticos, anóxicos y ricos en materia orgánica, favorecen condiciones ideales para la metilación del mercurio inorgánico liberado por la minería. Concluyeron que la expansión de estos ecosistemas artificiales no solo aumenta la superficie afectada, sino que amplifica significativamente el potencial de contaminación por metil-mercurio, incrementando los riesgos para la biota y las poblaciones humanas cercanas.

**Shrum (2009)**, En el estudio *“Análisis de mercurio y plomo en aves rapaces de zonas mineras de la Amazonía peruana”*, realizado en la región de Madre de Dios, se evaluaron las concentraciones de mercurio y plomo en 86 individuos de 16 especies de aves rapaces. El muestreo se llevó a cabo en la Concesión de Conservación Los Amigos, un área con antecedentes de actividad minera aurífera y cercana a operaciones mineras activas. Las aves fueron capturadas mediante trampas Bal-Chatrri y se les extrajeron plumas (para

análisis de mercurio) y muestras de sangre (para análisis de plomo), utilizando técnicas no invasivas. El análisis se realizó utilizando espectrometría de absorción atómica directa (DMA-80) para mercurio y espectrometría de absorción atómica con horno de grafito para plomo. Los resultados indicaron que el 94% de las aves presentaban niveles elevados de mercurio en plumas, con concentraciones que en muchos casos superaban los umbrales asociados con efectos reproductivos adversos en otras especies. En cuanto al plomo, aunque la mayoría de las muestras se mantuvieron dentro de niveles de fondo, un individuo presentó una concentración considerada tóxica en otras especies. El estudio resalta la utilidad de las aves rapaces como bioindicadores de contaminación ambiental por metales pesados y sugiere la necesidad de realizar investigaciones adicionales para evaluar los efectos ecológicos a largo plazo de la minería aurífera en la fauna silvestre de la Amazonía peruana.

## **2.4.Hipótesis**

### **A) Hipótesis general**

Los niveles de mercurio en aves son significativamente más altos en bosques colindantes a actividades de Minería Artesanal y de Pequeña Escala (MAPE) frente a bosques prístinos.

### **B) Hipótesis específicas**

#### **Hipótesis específica 1:**

Existen diferencias en los niveles de mercurio en aves entre bosques prístinos y bosques colindantes a actividades de Minería Artesanal y de Pequeña Escala (MAPE) en Madre de Dios.

#### **Hipótesis específica 2:**

Los niveles de mercurio en aves disminuyen con la distancia desde una fuente potencial de contaminación hacia el interior de los bosques prístinos y colindantes a actividad de Minería Artesanal y de Pequeña Escala (MAPE).

### **Hipótesis específica 3:**

Factores ecológicos como la presencia de minería, el gremio alimenticio, la distancia desde focos de contaminación y el área de las pozas mineras influyen en los niveles de mercurio en aves de bosques prístinos y colindantes a actividad de Minería Artesanal y de Pequeña Escala (MAPE).

## **2.5 Identificación de variables e indicadores**

### **A) Variable dependiente**

- Niveles de mercurio

### **B) Variables independientes**

- Aves de bosque prístinos y colindantes a minería
- Extensión espacial
- Factores ecológicos

## 2.6 Operacionalización de variables

**Tabla 1**

*Operacionalización de variables*

Variables	Definición Conceptual	Definición operacional	Dimensiones	Indicadores
<b>Niveles de mercurio</b>	El mercurio es un elemento de la tabla periódica cuyo símbolo químico es Hg, considerado uno de los metales más tóxicos en elevadas concentraciones. Es el único metal líquido a temperatura ambiente y muy volátil (Clarkson, 1997).	Concentraciones de Hg total en plumas de aves capturadas en los sitios de estudio.	Concentraciones de mercurio (Hg) en plumas de aves en zonas afectadas por MAPE	Concentraciones de mercurio ( $\mu\text{g/g}$ )
			Concentraciones de mercurio (Hg) en plumas de aves en zonas control	Concentraciones de mercurio ( $\mu\text{g/g}$ )
<b>Aves</b>	Las aves son animales vertebrados con adaptaciones anatómicas únicas para volar, se encuentran ampliamente distribuidas, ocupan los diferentes niveles tróficos son sensibles a cambios ambientales, siendo estas características	Conjunto de individuos capturados con redes de neblina y de los cuales se obtuvieron muestras.	Aves de bosques en áreas afectadas por MAPE y control, agrupadas taxonómicamente	Especies
				Familias

	especiales que los convierten en bioindicadores de contaminación (Burger & Gochfeld, 2004).		
<b>Extensión espacial</b>	La extensión espacial se refiere a la dimensión que involucra la longitud, amplitud y área de un objeto en el espacio. Hace referencia a cuán grande o extenso es un objeto o área en términos de su tamaño y ubicación en el espacio físico, así también describe cómo los objetos ocupan un lugar en el espacio y cómo se relacionan entre sí en términos de su posición relativa (Turner et al., 2001).	Está determinada por el espacio en el cual está distribuido el mercurio en cada sitio de muestreo.	Concentraciones de mercurio (Hg) en pluma de aves distribuidas en diferentes distancias ubicadas a lo largo de un transecto de 1km  Distancias: 0m, 50m, 100m, 300m, 500, 700m, 900m, 1000m
<b>Factores ecológicos</b>	Los factores ecológicos son componentes o elementos del entorno físico, químico y biológico que influyen en la distribución, abundancia, comportamiento y	Determinados por elementos de carácter biológico asociados a la población de aves que	Gremios alimenticios a los que pertenecen la comunidad de aves evaluadas en el estudio  Piscívoros Carnívoros Insectívoros

evolución de los organismos en un ecosistema. Estos factores pueden desempeñar un papel fundamental en la ecología, la ciencia que estudia las interacciones entre los seres vivos y su entorno (Machado Carrillo, 1997).

También se consideran elementos ambientales asociados a la presencia de MAPE que puedan responder la presencia de Hg en aves.

Frugívoros	
Granívoros	
Presencia o ausencia de	
MAPE	Análisis de imágenes multiespectrales
Área de cuerpos de agua circundantes al transecto de 1km evaluado	Sentinel-2A y Sentinel-2B
Concentraciones de mercurio (Hg) en el aire	Concentraciones de mercurio (µg/g)

## CAPITULO III: METODOLOGIA

### 3.1 Ámbito de estudio: localización política y geográfica

El estudio se desarrolló en el año 2019 en la región de Madre de Dios, en el suroriente peruano, un área que abarca la transición de llanuras altiplánicas altoandinas (>5000 msnm) en su extensión occidental hacia planos aluviales cubiertos de bosques húmedos tropicales de tierras bajas (~300 msnm) en las fronteras con Brasil y Bolivia en el este (Caballero et al., 2018).

Se evaluaron tres sitios de muestreo (Figura 1): la Estación Biológica Los Amigos, ubicada en la provincia de Manu, y dos sectores dentro de la Reserva Nacional Tambopata (RNTAMB), el sector Azul (área impactada por minería) y el sector La Torre (sitio control).

- **Estación Biológica Los Amigos (EBLA):** Se localiza en el distrito de Madre de Dios, provincia de Manu, y comprende 145 965 ha bajo administración de la Asociación para la Conservación de la Cuenca Amazónica (ACCA). Aunque constituye un área de gran relevancia para la conservación de la biodiversidad amazónica, en su interior y zonas aledañas se han identificado sectores impactados por la minería aurífera artesanal y de pequeña escala (MAPE), principalmente en ambientes ribereños degradados y con presencia de pozas mineras.
- **Sector Azul (RNTAMB):** Ubicado en el distrito de Inambari, provincia de Tambopata, forma parte de la Reserva Nacional Tambopata, que en su conjunto tiene una extensión de 274 690 ha. Este sector se caracteriza por la presencia de pozas mineras y áreas degradadas por minería aurífera artesanal y de pequeña escala (MAPE), lo que lo convierte en un punto crítico de impacto dentro del área protegida. Además, se encuentra colindante con la zona conocida como La Pampa, uno de los principales focos de deforestación y minería ilegal en Madre de Dios, ampliamente documentado por su fuerte degradación ambiental y pérdida de cobertura boscosa (Mongabay, 2020).
- **Sector La Torre (RNTAMB, control):** Localizado en el distrito de Tambopata (provincia de Tambopata), corresponde a un sector de la Reserva Nacional Tambopata



dominado por bosques primarios bien conservados y cuerpos de agua sin influencia directa de minería aurífera. Este sitio fue considerado como área de referencia o control para la comparación con los sectores impactados.

En conjunto, los tres sitios representan un gradiente de condiciones ambientales: desde áreas fuertemente impactadas por la MAPE (Azul), pasando por zonas con influencia minera bajo manejo de conservación (Los Amigos), hasta áreas de bosque primario sin perturbación directa (La Torre). Fotografías ilustrativas de cada sitio de muestreo se presentan en el Anexo 2.

### **3.1.1 Ubicación política**

#### **Lugar de estudio: Los Amigos (EBLA)**

Región: Madre de Dios

Provincia: Manu

Distrito: Madre de Dios

#### **Lugar de estudio: Azul**

Región: Madre de Dios

Provincia: Tambopata

Distrito: Inambari

#### **Lugar de estudio: La Torre**

Región: Madre de Dios

Provincia: Tambopata

Distrito: Inambari

### 3.1.2 Ubicación geográfica

Los sitios de muestreo se localizaron en un rango altitudinal entre 198 y 247 msnm, dentro de ambientes de bosques húmedos tropicales asociados a planicies aluviales y cuerpos de agua como los ríos Madre de Dios, Malinowski y La Torre. Las coordenadas registradas mediante GPS Garmin eTrex 20x permitieron precisar la localización de cada transecto (Tabla 2).

Para representar el área efectiva de muestreo, se generaron polígonos buffer alrededor de los transectos centrales, considerando un ancho aproximado de 50 m a cada lado. Esto se debió a que, si bien el diseño contemplaba la instalación de una red doble de 24 m en paralelo, las condiciones de acceso en campo hicieron que en algunos sectores no se mantuviera estrictamente alineado al transecto. De esta manera, el área efectiva de influencia se estimó en superficies de 10.35 ha en Los Amigos, 11.69 ha en Azul y 11.87 ha en La Torre.

El cálculo de áreas se realizó en el software QGIS versión 3.32.3-Lima (QGIS Development Team, 2023), empleando el sistema de referencia geodésico WGS84 (EPSG:4326). Los resultados se resumen en la Tabla 2, mientras que las Figuras 1–4 ilustran la localización y extensión espacial de cada sitio de estudio.

**Tabla 2**

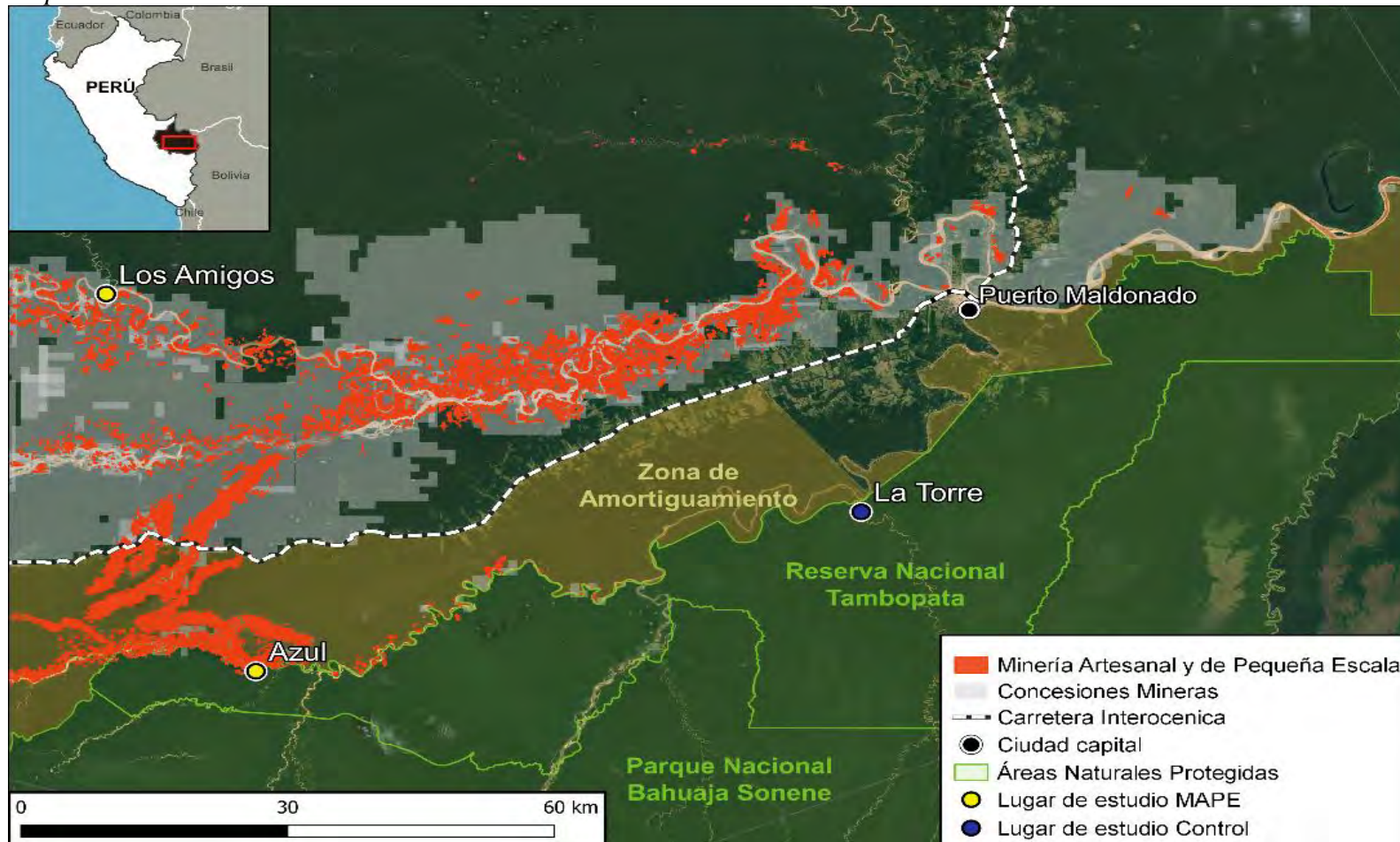
*Ubicación geográfica y características de los sitios de estudio*

Lugar de estudio	Los Amigos	Azul	La Torre
Altitud	247 msnm	239 msnm	198 msnm
Latitud Sur	12° 34' 45" S	13° 02' 28"	12° 50' 45"
Latitud Oeste	70° 04' 57" O	69° 55' 37"	69° 17' 55"
Área de muestreo (ha)	10.35	11.69	11.87
Tipo de sitio	Impactado por MAPE	Impactado por MAPE	Control

*Nota.* MAPE = Minería Artesanal y de Pequeña Escala.

**Figura 2**

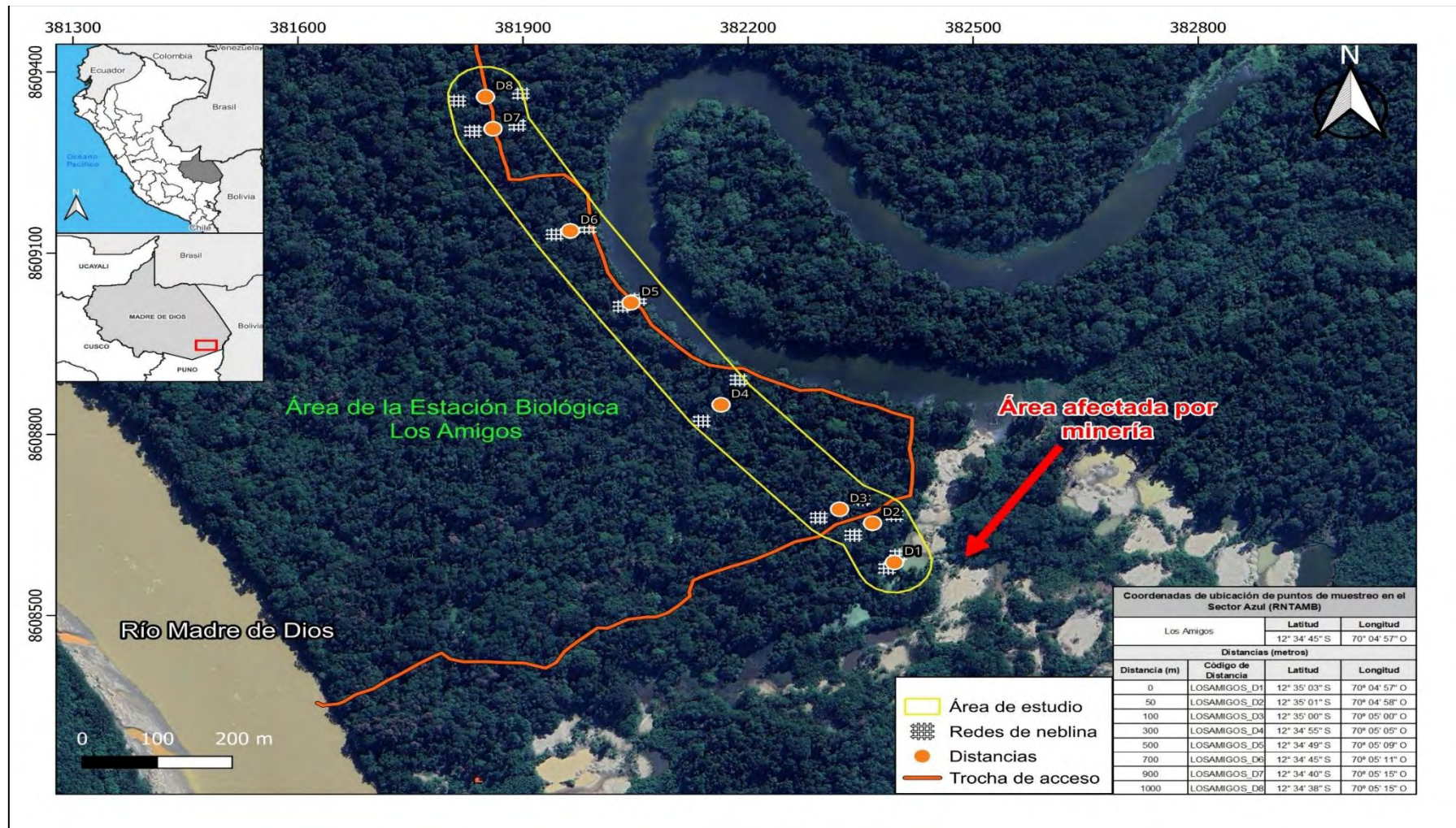
*Mapa de ubicación del ámbito de estudio.*



*Nota.* Elaboración propia con base en capas de Áreas Naturales Protegidas del SERNANP (2019) y en el Catastro Minero del INGEMMET (2019), disponibles en GeoGPS Perú. MAPE = Minería Artesanal y de Pequeña Escala.



**Figura 3**  
*Ámbito de estudio en la Estación Biológica Los Amigos*

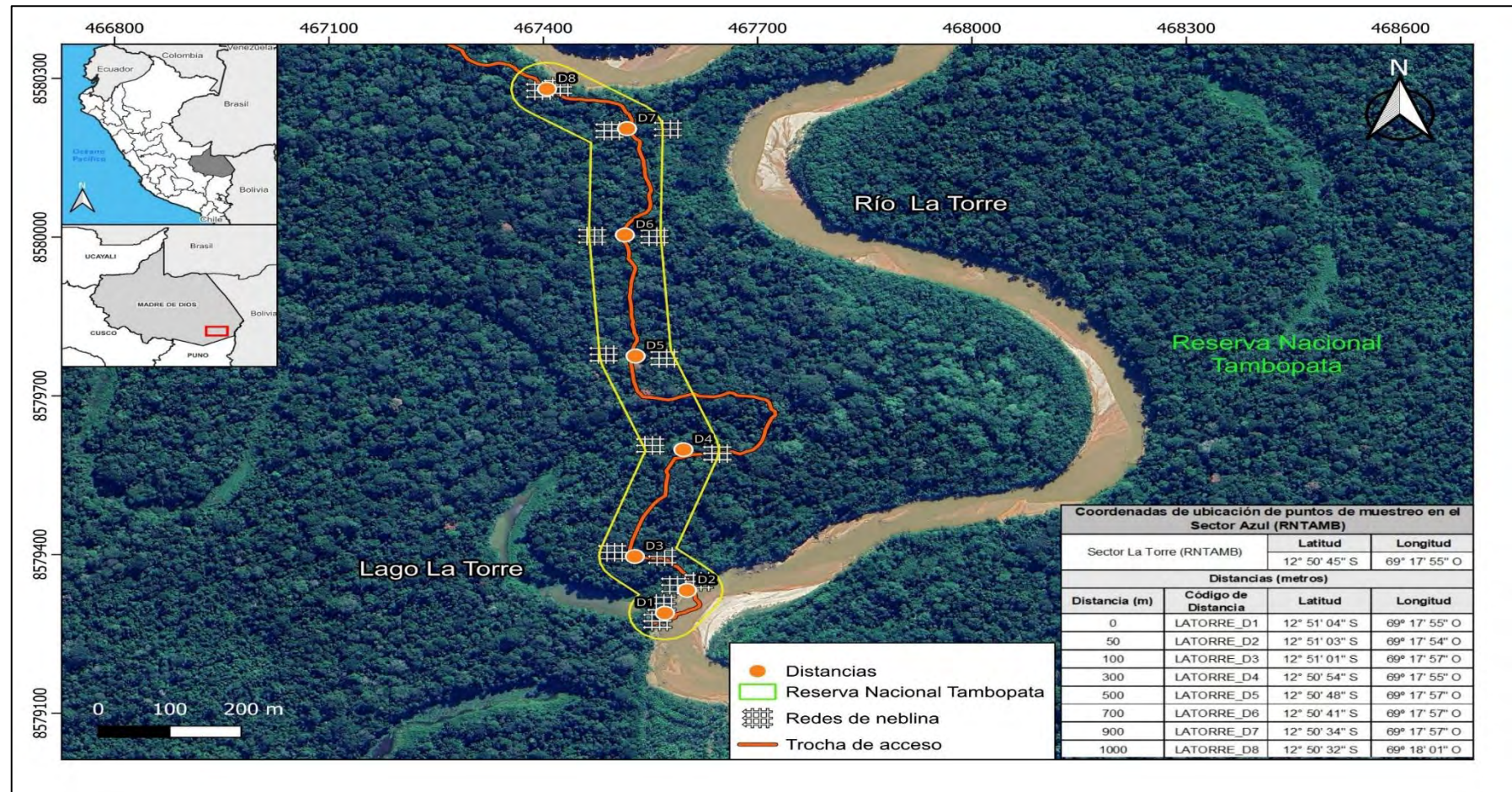


*Nota.* Elaboración propia a partir de registros GPS tomados en campo durante la campaña 2019, complementados con imágenes satelitales de Google Earth (2025), las cuales muestran la expansión minera.



**Figura 4**

*Ámbito de estudio en el sector La Torre de la Reserva Nacional Tambopata*

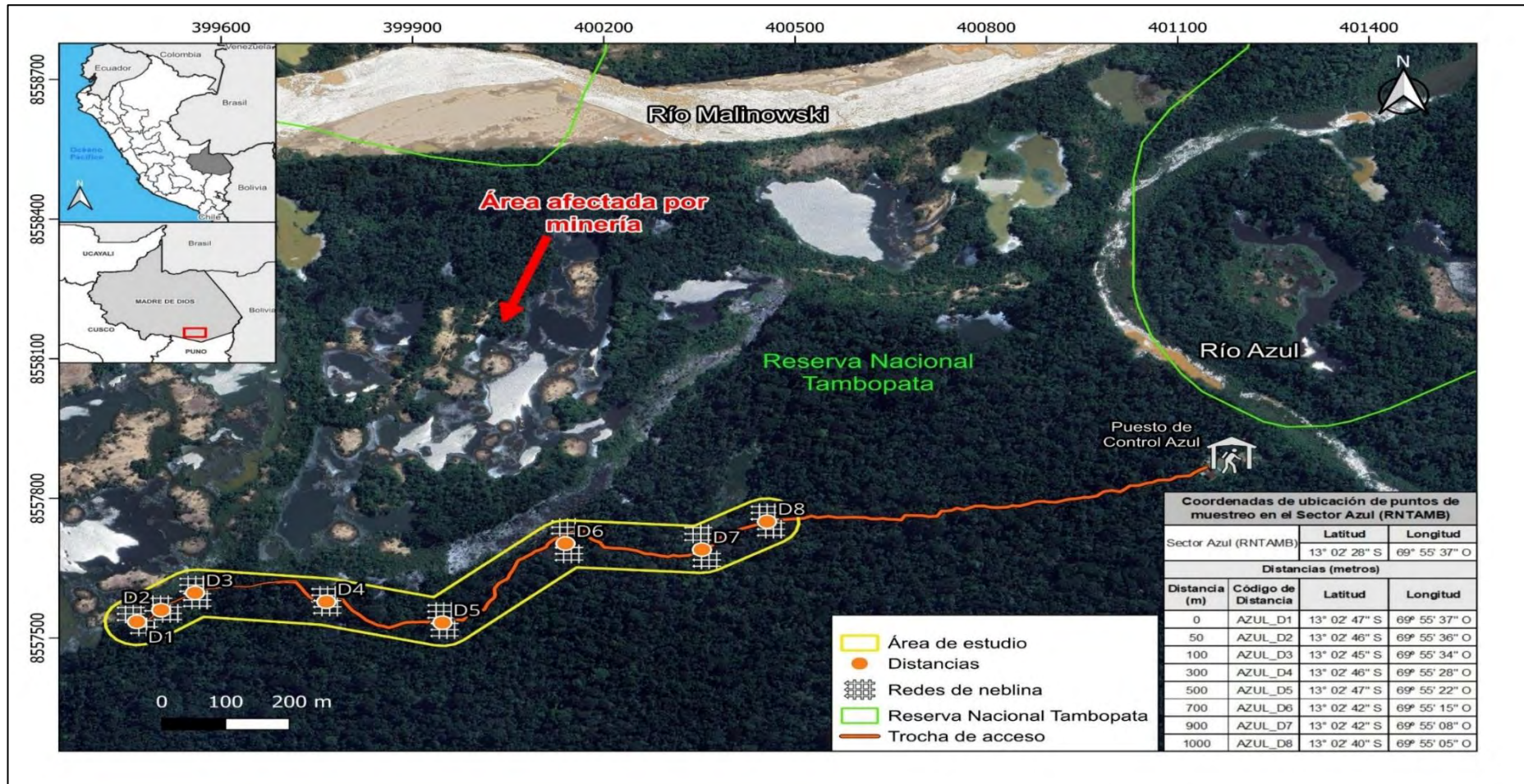


*Nota.* Elaboración propia a partir de registros GPS tomados en campo durante la campaña 2019, complementados con imágenes satelitales de Google Earth (2025), las cuales muestran la expansión minera.



**Figura 5**

*Ámbito de estudio en el Sector Azul de la Reserva Nacional Tambopata*



*Nota.* Elaboración propia a partir de registros GPS tomados en campo durante la campaña 2019, complementados con imágenes satelitales de Google Earth (2025) las cuales muestran la expansión minera.

### **3.2 Tipo y nivel de investigación**

Según Fernández & Baptista (2014), el presente trabajo de investigación es de tipo *cuantitativo*, ya que se basa en la recolección y análisis de datos numéricos, específicamente las concentraciones de mercurio total (THg) en plumas de aves. Este enfoque permite medir objetivamente el nivel de exposición al mercurio en función de variables ecológicas y ambientales, empleando herramientas estadísticas que garantizan precisión y confiabilidad en los resultados.

En cuanto al nivel, de acuerdo con Fernández y Baptista (2014), corresponde a un estudio *descriptivo*, porque tiene como propósito caracterizar la presencia y distribución del mercurio en aves silvestres de Madre de Dios, sin manipular las condiciones del entorno. Se describen aspectos como las diferencias de concentración según el tipo de sitio (con o sin minería), el gremio alimenticio y la extensión espacial del contaminante.

Respecto al tipo de estudio, según Fernández y Baptista (2014), es de tipo *transversal* y *explicativo*. Es transversal porque los datos fueron recolectados en un único periodo de tiempo (2019), permitiendo una visión puntual del fenómeno. A su vez, es explicativo en tanto busca identificar asociaciones entre variables ecológicas (como el tipo de alimentación, la presencia de pozas o la actividad minera) y los niveles de mercurio detectados, con el objetivo de comprender qué factores influyen en la bioacumulación de este contaminante en aves amazónicas.

### **3.3 Unidad de análisis**

Plumas de aves de bosques prístinos y colindantes a Minería Artesanal y en Pequeña Escala (MAPE).

### **3.4 Población de estudio**

Aves que habitan los bosques prístinos y colindantes a Minería Artesanal y en Pequeña Escala (MAPE).

### **3.5 Tamaño de muestra**

Aves capturadas en los bosques prístinos y colindantes a actividad de Minería Artesanal y en Pequeña Escala (MAPE).

### **3.6 Técnicas de selección de muestra**

Para la evaluación de mercurio en aves se realizó la colecta de plumas en tres sitios de bosque en Madre de Dios (dos colindantes a minería artesanal y un control prístino). En cada sitio, la captura de aves se efectuó aplicando de forma sistemática la misma metodología: se estableció un transecto lineal de 1 km y, a lo largo del transecto, se definieron puntos de captura en distancias preestablecidas (0, 50, 100, 300, 500, 700, 900 y 1000 m).

### **3.7 Técnicas de recolección de información**

#### **3.7.1 Gestión de permisos de investigación**

Para la ejecución del presente trabajo de investigación se realizaron las gestiones correspondientes ante las entidades competentes en materia de investigación en fauna silvestre. En este marco, se obtuvieron la *Resolución Jefatural N° 010-2019-SERNANP-JEF* y la *Resolución Jefatural N° 016-2019-SERNANP-JEF* (Anexo 3), emitidas por la Jefatura de la Reserva Nacional Tambopata del Servicio Nacional de Áreas Naturales Protegidas por el Estado (SERNANP), que autorizaron la ejecución de actividades de investigación dentro de dicha área natural protegida.

De manera complementaria, para los trabajos efectuados en territorios fuera de áreas naturales protegidas, se contó con la *Resolución Directoral Regional N° 232-2019-GOREMAD-GRRNYGMA-DRFFS* (Anexo 4), emitida por la Dirección Regional Forestal y de Fauna Silvestre del Gobierno Regional de Madre de Dios. Asimismo, parte de las actividades se desarrollaron en colaboración con el Centro de Innovación Científica Amazónica (CINCIA), institución que contó con la *Resolución Jefatural N° 020-2019-SERNANP-JEF* (Anexo 5). Este permiso permitió ampliar la cobertura de muestreo y complementar los sectores y familias no contemplados en los permisos individuales del presente estudio, contando además con el apoyo logístico de CINCIA para la ejecución de las campañas de campo.



Estos permisos avalaron legalmente la captura, manipulación y muestreo de aves en los sitios de estudio, asegurando que la investigación se desarrollara conforme a la normativa nacional vigente.

### **3.7.2 Evaluación de la población de aves y colecta de muestras**

#### **A) Captura de aves**

Para la determinación de mercurio en aves se realizaron capturas y posterior colecta de plumas en cada sitio de estudio. Las capturas se realizaron con redes de niebla de 12 × 2.5 m y 36 mm de apertura de malla, operadas desde las 06:00 h con un esfuerzo aproximado de 8 horas por 03 días consecutivos pudiendo variar según las limitaciones de acceso y clima.

#### **B) Identificación de individuos**

La identificación de las aves se efectuó en campo utilizando la Guía de aves del Perú (Schulenberg et al., 2007), y posteriormente se validó con la lista oficial de aves del Perú (Plenge, 2023). Asimismo, se contó con el apoyo de un especialista certificado como anillador y entrenador de aves por la North American Banding Council, quien brindó inducciones, supervisó el procesamiento en campo y la validación post-campo de los registros (Anexo 6). Este acompañamiento garantizó que todas las capturas y el anillamiento se realizaran bajo estándares técnicos y éticos que minimizaron el riesgo de estrés en los individuos.

#### **C) Colecta de datos morfométricos**

Las aves capturadas fueron retiradas cuidadosamente de las redes y mantenidas individualmente en bolsas de tela transpirables por un período no mayor de 15 minutos, hasta la toma de datos biométricos (Anexo 7). La manipulación se realizó siguiendo la guía del anillador de la North American Banding Council (NABC, 2003) y utilizando formatos de campo con sus respectivos códigos estandarizados, ambos adaptados de esta guía (Anexos 8 y 9). Con este protocolo se registraron atributos morfométricos (longitud alar, longitud de cola, longitud del pico, longitud del tarso y peso corporal) y biológicos (sexo, edad, estado reproductivo y patrones de muda), los cuales también contribuyeron a la identificación y corroboración taxonómica de las especies.

#### D) Colecta de plumas

De cada individuo se extrajeron aproximadamente 20 plumas del pecho, las cuales se colocaron en sobres de papel debidamente rotulados con el código del ave, especie, fecha y lugar de captura. Posteriormente, los sobres se almacenaron en bolsas tipo Ziploc con sílica gel para controlar la humedad y se conservaron a temperatura ambiente hasta su análisis en laboratorio.

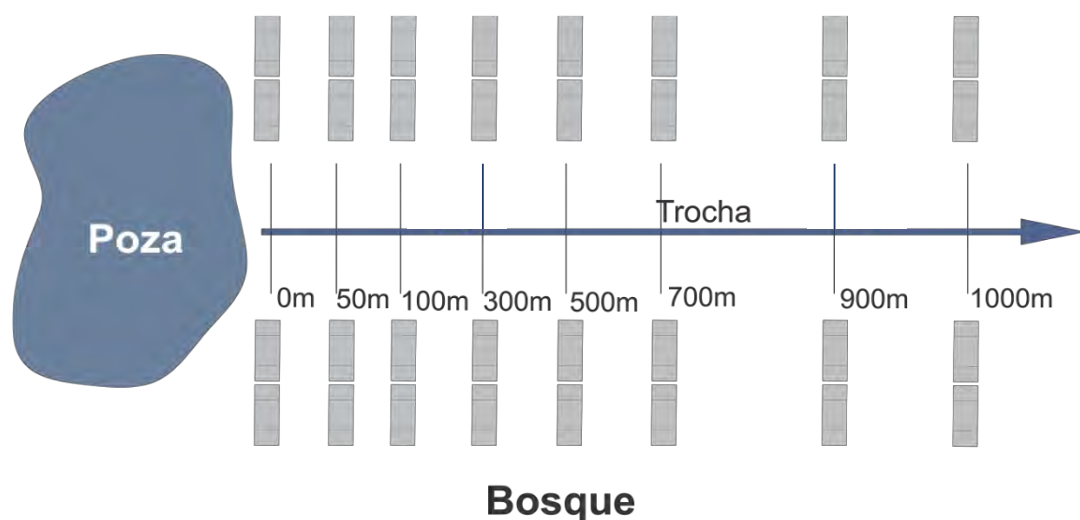
### 3.7.3 Evaluación de la extensión espacial del mercurio

#### A) Evaluación en transectos y distancias

Para determinar la extensión espacial de mercurio, se estableció en cada sitio de muestreo un transecto de 1 km de longitud, iniciando en un cuerpo de agua (lago o poza minera), considerado como una fuente potencial de metilación y extendiéndose hacia el interior del bosque. A lo largo del transecto se definieron ocho distancias de muestreo (0, 50, 100, 300, 500, 700, 900 y 1000 m), en cada una de las cuales se colocó una red doble a cada lado del transecto (Figura 5). La disposición de las redes no siempre pudo mantenerse paralela al transecto debido a limitaciones de acceso, aunque se procuró conservar un diseño lo más homogéneo posible en todos los sitios (Figuras 2 - 4). Las coordenadas de los lugares evaluados y los puntos de instalación de las redes se presentan en el Anexo 10.

#### Figura 6

*Diseño de la colocación de redes de niebla a lo largo de un transecto de 1 km desde la poza hacia el bosque*



## **B) Análisis espacial de cuerpos de agua**

Debido a la heterogeneidad de las áreas afectadas por la MAPE y a la presencia de pozas mineras en los sitios de estudio, de forma complementaria se realizó un análisis espacial en un área de 2 km<sup>2</sup> alrededor del transecto evaluado para determinar la cantidad de pozas mineras que pueden convertirse en mayor recurso alimenticio contaminado y que transfieren mercurio de ecosistemas acuáticos a terrestres. Además, la contaminación también puede afectar ciertas especies de aves que se alimentan directamente de ítems alimenticios acuáticos como aves piscívoras y otras como las insectívoras que se alimentan de insectos emergentes de cuerpos de agua o cerca de estos.

El análisis se centró en los depredadores de niveles tróficos superiores, en particular las aves piscívoras como los martines pescadores identificados en este estudio, que se alimentan principalmente de organismos acuáticos presentes en cuerpos de agua, especialmente en las pozas dentro del ecosistema. Para el análisis espacial de cuerpos de agua se utilizaron imágenes multiespectrales Sentinel-2A y Sentinel-2B, corregidas atmosféricamente (L2A), con un porcentaje de nubosidad menor al 10%. Se usaron las bandas espectrales Near infrared (NIR) B8, Red B4 y Green B3 con una resolución espacial de 10 m por pixel, con fecha de adquisición en los meses de julio, agosto y octubre, guardando correspondencia con el muestreo en campo. Estas imágenes están disponibles gratuitamente de la misión conjunta Copernicus de la European Space Agency (ESA) y la Comisión Europea. Se realizó una clasificación supervisada mediante la plataforma Google Earth Engine (Gorelick et al., 2017) usando el algoritmo de clasificación supervisada Support Vector Machine - SVM sobre un área buffer de 2 Km para cada transecto evaluado considerando el rango de desplazamiento para otras especies de martín pescador disponibles en la literatura (Bridge & Kelly, 2013). Finalizada la clasificación se obtuvo una capa ráster la cual permitió discriminar los cuerpos de agua de las otras clases, para su posterior cuantificación.

### **3.7.3 Determinación de factores ecológicos**

Para evaluar los factores ecológicos de la exposición, se ajustaron Modelos Lineales Mixtos (LMM) con la concentración de mercurio total en plumas como variable respuesta (transformada a log<sub>10</sub> para aproximar normalidad). Se incluyeron como efectos fijos las siguientes variables explicativas:

1. **Presencia de minería**, bajo la hipótesis de que en áreas con actividad de MAPE las concentraciones de mercurio serían más altas debido a la mayor deposición de este metal y su potencial transferencia desde ambientes acuáticos.
2. **Gremio alimenticio**, considerando que las diferencias en dieta pueden reflejar distintos niveles de exposición al mercurio, esperándose mayores concentraciones en especies de niveles tróficos superiores debido al proceso de biomagnificación.
3. **Área de cuerpos de agua**, debido a que una mayor superficie de agua podría favorecer la metilación de mercurio y aumentar la conectividad trófica con recursos contaminados, elevando la exposición de aves insectívoras/piscívoras asociadas a bordes y claros.

Se incluyeron como efectos aleatorios el sector y la familia de las aves, con el objetivo de controlar la variabilidad atribuible tanto a diferencias taxonómicas como a condiciones particulares de cada sitio de muestreo. Esta estructura permite capturar efectos no observados que podrían influir en la concentración de mercurio, mejorando así la robustez del modelo.

### 3.7.4 Evaluación de mercurio en el aire

Para la medición de mercurio en aire se colocaron muestreadores de aire pasivos (PAS), siguiendo la *Guía de instalación y uso de muestreadores pasivos de aire (PAS) para monitoreo de mercurio atmosférico*, elaborada por el Programa de Mercurio del Centro de Innovación Científica Amazónica (CINCIA: <https://www.cincia.wfu.edu>).

La instalación consistió en rotular el muestreador con la fecha y hora, luego se procedió a sujetarlos con correas de nylon a árboles cercanos, a una altura aproximada de 2 m sobre el suelo para luego tomar las coordenadas del lugar de instalación. Los muestreadores se dejaron colocados por un periodo de hasta un mes, para luego ser recogidos y volver a tomar la fecha y hora, datos necesarios para el posterior cálculo de las concentraciones de mercurio en el aire. Ver proceso de instalación en Anexo 11.

Debido a la disponibilidad limitada de equipos, el muestreo se realizó solo una vez y el número de muestreadores pasivos de aire (PAS) instalados varió entre sitios. En Los Amigos se colocaron 4 muestreadores (dos en el inicio, 0 m, y dos en el final, 1000 m),

mientras que en La Torre (RNTAMB) y Azul (RNTAMB) únicamente se instalaron 2 muestreadores por sitio (uno en el inicio, 0 m, y otro en el final, 1000 m). En total se desplegaron 8 PAS en los tres sitios de muestreo (Tabla 3).

**Tabla 3**

*Coordenadas de ubicación de los muestreadores de aire*

Lugar	Código de campo	Distancia	Coordenadas de colocación	
			Latitud	Longitud
Los Amigos	EBLA - 1	0 m	12° 34' 45" S	70° 04' 57" O
Los Amigos	EBLA - 2	0 m	12° 34' 45" S	70° 04' 57" O
Los Amigos	EBLA - 3	1000 m	12° 34' 45" S	70° 04' 57" O
Los Amigos	EBLA - 4	1000 m	12° 34' 45" S	70° 04' 57" O
La Torre (RNTAMB)	La Torre - 1	0 m	12° 50' 45" S	69° 17' 55" O
La Torre (RNTAMB)	La Torre - 2	1000 m	12° 50' 45" S	69° 17' 55" O
Azul (RNTAMB)	Azul - 1	0m	13° 02' 28" S	69° 55' 37" O
Azul (RNTAMB)	Azul - 2	1000 m	13° 02' 28" S	69° 55' 37" O

Inicialmente, se planteó utilizar estos datos como una variable ambiental dentro del análisis estadístico principal para evaluar su efecto sobre las concentraciones de mercurio en aves. Sin embargo, debido a limitaciones logísticas mencionadas, solo fue posible desplegar una cantidad reducida de muestreadores por sitio, lo que no permitía obtener un análisis estadístico robusto.

A pesar de ello, los datos obtenidos resultaron valiosos como herramienta complementaria para verificar la posible influencia del mercurio atmosférico como fuente

externa de contaminación en las plumas. Específicamente, se buscó descartar que la deposición directa de mercurio presente en el aire (por exposición al viento o la lluvia) hubiera alterado significativamente los niveles detectados en las plumas. De esta forma, se fortaleció la interpretación de que las concentraciones registradas reflejan predominantemente la exposición trófica de las aves.

### **Cálculo de la concentración de mercurio en el aire**

Una vez finalizado el periodo de exposición, los muestreadores fueron retirados y trasladados para su análisis. Posteriormente, se calculó la concentración promedio de mercurio gaseoso (ng/m<sup>3</sup>) en función del tiempo, utilizando la fórmula propuesta por McLagan, 2018 y una tasa de muestreo previamente calibrada:

$$c = \frac{m}{SR \times t}$$

**Donde:**

$c$  = Concentración de mercurio gaseoso (ng/m<sup>3</sup>)

$m$  = Masa de mercurio adsorbido [ng]

$SR$  = Tasa de muestreo (0.1354 m<sup>3</sup>/día)

$t$  = Tiempo de despliegue

### **3.6.6 Análisis de mercurio**

Las concentraciones de mercurio total (THg) en plumas y aire en los muestreadores pasivos, se midieron utilizando un Analizador Directo de Mercurio (Milestone DMA-80) en el Laboratorio de Mercurio y Química Ambiental (LAMQA), gestionado por el Centro de Innovación Científica Amazónica (CINCIA) y el Instituto de Investigaciones de la Amazonía Peruana (IIAP) que se ubica en el Centro de Investigación “Roger Beuzeville Zuameta” de la filial Madre de Dios (Anexo 12).

Para la determinación de mercurio total en las muestras de plumas, se empleó el método de espectrometría de absorción atómica haciendo uso de un analizador de mercurio directo (DMA-80) y siguiendo el protocolo EPA 7473 (US EPA, 2007). Las muestras fueron homogeneizadas utilizando tijeras de acero inoxidable y lavadas con ácido nítrico

(HNO<sub>3</sub>) al 10 % entre cada homogeneización. Pesamos de 0.01 a 0.02 g de plumas homogeneizadas y realizamos 02 lecturas de cada muestra. Para el control de calidad se utilizó dos materiales de referencia: DORM-4 (National Research Council – NRC, Canadá) y CRM-13 (National Institute for Environmental Studies – NIES, Japón).

### **3.8 Técnicas de análisis e interpretación de la información**

#### **3.8.1 Estadística descriptiva**

Se realizó la caracterización de las variables mediante n, mínimo, máximo, media, mediana, desviación estándar y rango intercuartílico (IQR), con el fin de resumir tendencia central y dispersión de forma comparable entre sitios y grupos. La inspección de la forma de las distribuciones y la detección de valores atípicos se apoyó en histogramas y diagramas de caja (boxplots), por su capacidad para visualizar mediana, cuartiles y posibles valores atípicos de manera estandarizada (Wilke, 2019).

#### **3.8.2 Supuestos y pruebas de normalidad**

Antes de realizar las comparaciones entre grupos, se evaluó la normalidad de las variables mediante la prueba de Shapiro – Wilk con un nivel de significancia de  $\alpha=0.05$ . La hipótesis nula plantea que los datos provienen de una distribución normal; en consecuencia, valores de  $p < 0.05$  se interpretaron como evidencia para rechazar la normalidad. La evaluación se complementó con diagramas de caja (boxplots) para valorar asimetrías marcadas y la presencia de valores atípicos, a fin de respaldar la elección posterior de procedimientos no paramétricos cuando correspondió (Ghasemi & Zahediasl, 2012).

Cuando los resultados indicaron no normalidad, las comparaciones entre grupos se realizaron con pruebas no paramétricas, manteniendo la coherencia entre los diagnósticos de normalidad y la elección de los contrastes.

### **3.9 Técnicas para demostrar la verdad o falsedad de las hipótesis planteadas**

#### **3.9.1 Comparaciones entre grupos**

Cuando no se cumplieron supuestos de normalidad u homocedasticidad, las diferencias entre grupos se evaluaron con pruebas no paramétricas basadas en rangos: Wilcoxon de rango-suma (Mann–Whitney) para dos grupos independientes (MAPE vs prístino) y Kruskal–Wallis para tres o más grupos (lugares o gremios). Estos contrastes ordenan los datos y comparan la posición promedio de los rangos entre grupos, por lo que resultan adecuados cuando no se satisfacen los supuestos de normalidad u homocedasticidad. Bajo el supuesto de formas de distribución aproximadamente similares entre grupos (asimetría y dispersión comparables), sus resultados pueden interpretarse como evidencia de diferencias en localización (medianas). La interpretación se apoyó en resúmenes descriptivos (mediana, IQR) y diagramas de caja, a fin de valorar la magnitud y dirección de las diferencias (Field, 2018; Hollander et al., 2014).

#### **3.9.2 Modelos lineales mixtos**

Los modelos lineales mixtos (LMM, por sus siglas en inglés) son herramientas estadísticas que permiten analizar la relación entre variables explicativas y una variable respuesta, incorporando tanto efectos fijos como aleatorios. Este tipo de modelo es especialmente útil para datos que presentan estructura jerárquica o agrupada, ya que permite evaluar variaciones entre grupos o sujetos y capturar patrones de dependencia en los datos. Entre los principales supuestos del modelo se encuentra la distribución normal de los residuos y la existencia de correlación dentro de los conglomerados de observación (McCulloch, 2003).

En un LMM, los efectos fijos representan influencias constantes sobre la variable respuesta a lo largo de todos los sujetos del estudio, mientras que los efectos aleatorios reflejan variaciones específicas no observadas que son propias de cada unidad (por ejemplo, especie o familia), y que permanecen constantes dentro de sus propias observaciones. Esta combinación permite modelar tanto la media de la población como la variabilidad entre grupos.



Un modelo lineal mixto está representado de la siguiente forma:

$$Y_{ij} = X_{ij}^T \beta + Z_{ij}^T \alpha_i + \epsilon_{ij}$$

Donde:

- $Y_{ij}$  es la variable respuesta observada para el individuo  $i$  en el momento  $j$
- $X_{ij}$  representa el vector de variables explicativas asociadas a efectos fijos
- $\beta$  son los coeficientes de regresión de los efectos fijos
- $Z_{ij}$  es el vector de variables explicativas para los efectos aleatorios
- $\alpha_i$  representa los efectos aleatorios para el individuo  $i$
- $\epsilon_{ij}$  es el error residual que no es explicado por el modelo

La selección del mejor modelo se basó en el criterio de información de Akaike (AIC). A partir de los modelos generados, se calcularon las estimaciones de los parámetros mediante promedio de modelos, y se evaluó la importancia relativa de cada predictor ( $w^+$ ), que se obtiene al sumar los pesos de Akaike ( $w_i$ ) de todos los modelos en los que aparece una variable. Un mayor valor de  $w^+$  indica una mayor contribución relativa del predictor a la explicación de los datos (Burnham, 2002).

Todos los análisis estadísticos fueron realizados en el programa R (Version 3.6.3), y su entorno RStudio (Version 1.2.5033) ambos disponibles de forma gratuita bajo la Licencia Pública General GNU y está disponible en la URL <http://www.r-project.org/>.

### 3.9.3 Selección del mejor modelo

Se utilizó el criterio de selección de Akaike (AIC) y los pesos del modelo ( $w_i$ ) (Burnham and Anderson 2002). El criterio de selección de Akaike (AIC), es una herramienta que proporciona un método simple y objetivo permitiendo la selección del modelo más adecuado para caracterizar los datos experimentales. Este criterio tiene en cuenta los cambios en el ajuste y las diferencias en el número de parámetros entre dos modelos. Los mejores modelos son aquellos que presentan el menor valor de AIC.

Este criterio, se define como:

$$AIC = -2 \log \mathcal{L} + 2p$$

Donde,  $\mathcal{L}$  es la función de verosimilitud y  $p$  es el número de parámetros independientes estimados del modelo.

El cálculo del AIC permite presentar una serie de modelos y sus puntuaciones AIC relativas. Al comparar los distintos modelos, podemos medir cuánto mejor es el mejor modelo de aproximación en comparación con los siguientes mejores modelos. Esto se realiza, calculando la diferencia ( $\Delta_i$  o  $\Delta AIC_i$ ) entre el valor AIC del mejor modelo y el valor AIC de cada uno de los otros modelos.  $\Delta_i$  se utiliza para calcular dos medidas adicionales utilizadas para evaluar las fortalezas relativas de cada modelo candidato (Burnham, 2002).

También tenemos el radio de evidencia (ER), que es una medida de la fuerza relativa de cada modelo candidato, se estimó como:

$$ER = \frac{\exp(-\frac{1}{2}\Delta_{mejor\ modelo})}{\exp(\frac{1}{2}\Delta_i)}$$

y proporciona una medida de cuán mejor es el mejor modelo que otro modelo con el que se desee comparar (Symonds & Moussalli, 2011).

## CAPITULO IV: RESULTADOS Y DISCUSION

### 4.1 Procesamiento, análisis, interpretación y discusión de resultados

#### 4.1.1 Determinación de los niveles de mercurio en aves de bosques prístinos y colindantes a actividad de Minería Artesanal y de Pequeña Escala (MAPE) en Madre de Dios.

Se recolectaron plumas de 142 individuos pertenecientes a 58 especies agrupadas en seis gremios alimenticios (piscívoros, insectívoros, omnívoros, granívoros, frugívoros y carnívoros). Las concentraciones de mercurio total en pluma (THg) se encontraron entre 0.04 y 30.68  $\mu\text{g/g}$  y no se ajustaron a una distribución normal (Kolmogorov – Smirnov:  $D = 0.36795$ ,  $p < 0.05$ ). Por ello, las comparaciones entre grupos se realizaron con pruebas no paramétricas; no obstante, los resúmenes descriptivos se presentan como promedio  $\pm$  desviación estándar, acompañados del número de individuos, para facilitar la comparación entre sitios y grupos.

La concentración de mercurio total en plumas promedió  $1.46 \pm 3.75 \mu\text{g/g}$ . Por gremio: piscívoros  $28.66 \pm 2.86 \mu\text{g/g}$  ( $n = 2$ ), insectívoros  $1.63 \pm 2.32 \mu\text{g/g}$  ( $n = 78$ ), omnívoros  $0.51 \pm 0.35 \mu\text{g/g}$  ( $n = 10$ ), granívoros  $0.38 \pm 0.52 \mu\text{g/g}$  ( $n = 5$ ), frugívoros  $0.34 \pm 0.24 \mu\text{g/g}$  ( $n = 45$ ) y carnívoros  $0.25 \pm 0.23 \mu\text{g/g}$  ( $n = 2$ ). Estos resultados evidencian que el gremio alimenticio influye significativamente en las concentraciones de mercurio, patrón que ha sido reportado por Li et al. (2021). Las mayores concentraciones se registraron en especies ubicadas en niveles tróficos superiores, especialmente en aves piscívoras cuya dieta se basa principalmente en peces, resultados también reportados por Evers et al. (2018).

En la misma línea, evidencia independiente ha documentado que la exposición a mercurio puede ser elevada incluso en paisajes boscosos. Ackerman et al. (2019) reportó niveles preocupantes en aves terrestres de hábitats contaminados en Estados Unidos, lo que coincide con la tendencia observada en este estudio y refuerza que los efectos del mercurio no se limitan a ambientes acuáticos o severamente deforestados, sino que también afectan a la avifauna de bosques aparentemente conservados.

Los resultados para cada especie identificada se presentan en la Tabla 4 y los resultados analíticos por muestra o individuo (código, especie, sitio y *THg*) se presentan en el Anexo 13 (“Resultados del laboratorio para análisis de mercurio en plumas”). Para los análisis de mercurio, se utilizaron los materiales de refería DORM-4 (0.412 µg/g) de proteína de pescado del National Research Council (NRC) de Canadá y CRM-13 (4.42 µg/g de cabello humano del National Institute for Environmental Studies (NIES) de Japón cuyos porcentajes de recuperación fueron 97.98 % y 97.15 %, encontrándose dentro de las concentraciones objetivo para los materiales de referencia (Anexo 14). La base de datos procesada y validada empleada en los análisis estadísticos se encuentra en el Anexo 15.

**Tabla 4**

*Especies identificadas y concentraciones de mercurio total (THg) en plumas (µg/g, peso seco) por lugar y presencia de minería*

Familia	Especie	Nombre común	Gremio alimenticio	Presencia de minería	Lugar	Concentraciones de THg (µg/g ) en plumas					
						Número de individuos	Promedio	Mínimo	Máximo	Mediana	Desviación estándar
Alcedinidae	<i>Chloroceryle amazona</i>	Martín Pescador Amazónico	Piscivoros	Con minería	Azul	2	28.656	26.631	30.681	28.656	2.864
Bucconidae	<i>Monasa nigrifrons</i>	Monja de Frente Negra	Omnivoros	Sin minería	La Torre	2	0.171	0.153	0.188	0.171	0.024
Cardinalidae	<i>Habia rubica</i>	Tangara-Hormiguera de Corona Roja	Insectivoros	Sin minería	La Torre	2	0.326	0.289	0.363	0.326	0.052
Columbidae	<i>Geotrygon montana</i>	Paloma-Perdiz Rojiza	Omnivoros	Con minería	Los Amigos	2	0.541	0.33	0.753	0.541	0.299
				Con minería	Azul	1	0.301	0.301	0.301	0.301	NA
	<i>Leptotila rufaxilla</i>	Paloma de Frente Gris	Granivoros	Sin minería	La Torre	3	0.058	0.038	0.084	0.051	0.024
Formicariidae	<i>Formicarius analis</i>	Gallito-Hormiguero de Cara Negra	Insectivoros	Sin minería	La Torre	4	0.722	0.558	0.934	0.697	0.163
Furnariidae	<i>Ancistrops strigilatus</i>	Pico-Gancho de Ala Castaña	Insectivoros	Con minería	Azul	1	2.32	2.32	2.32	2.32	NA

<i>Automolus infuscatus</i>	Hoja-Rasquero de Dorso Olivo	Insectivoros	Con minería	Azul	1	4.263	4.263	4.263	4.263	NA	
			Sin minería	La Torre	2	0.647	0.599	0.695	0.647	0.068	
<i>Deconychura longicauda</i>	Trepador de Cola Larga	Insectivoros	Con minería	Los Amigos	2	1.346	1.222	1.47	1.346	0.175	
<i>Dendrocolaptes picumnus</i>	Trepador de Vientre Bandeado	Insectivoros	Con minería	Los Amigos	1	1.507	1.507	1.507	1.507	NA	
<i>Dendroplex picus</i>	Trepador de Pico Recto	Insectivoros	Con minería	Los Amigos	1	1.122	1.122	1.122	1.122	NA	
			Sin minería	La Torre	1	0.682	0.682	0.682	0.682	NA	
<i>Glyphorhynchus spirurus</i>	Trepador Pico de Cuña	Insectivoros	Con minería	Los Amigos	2	0.519	0.375	0.662	0.519	0.203	
			Sin minería	La Torre	2	0.243	0.229	0.258	0.243	0.02	
			Con minería	Azul	2	1.427	1.287	1.568	1.427	0.199	
<i>Xiphorhynchus guttatus</i>	Trepador de Garganta Anteada	Insectivoros	Con minería	Los Amigos	1	1.502	1.502	1.502	1.502	NA	
<i>Xiphorhynchus ocellatus</i>	Trepador Ocelado	Insectivoros	Con minería	Los Amigos	2	1.317	1.168	1.467	1.317	0.211	
			Sin minería	La Torre	1	0.539	0.539	0.539	0.539	NA	
Galbulidae	<i>Galbula cyanescens</i>	Jacamar de Frente Azulada	Insectivoros	Sin minería	La Torre	2	1.411	0.933	1.889	1.411	0.676

Hirundinidae	<i>Atticora fasciata</i>	Golondrina de Faja Blanca	Insectivoros	Con minería	Azul	2	3.14	2.887	3.394	3.14	0.358
	<i>Stelgidopteryx ruficollis</i>	Golondrina Ala-Rasposa Sureña	Insectivoros	Con minería	Azul	1	4.427	4.427	4.427	4.427	NA
Momotidae	<i>Momotus momota</i>	Relojero Amazónico	Omnivoros	Con minería	Los Amigos	3	0.764	0.602	0.908	0.781	0.153
Picidae	<i>Picumnus rufiventris</i>	Carpinterito de Pecho Rufo	Insectivoros	Con minería	Los Amigos	4	0.282	0.115	0.359	0.327	0.114
	<i>Veniliornis passerinus</i>	Carpintero Chico	Insectivoros	Sin minería	La Torre	1	0.071	0.071	0.071	0.071	NA
	<i>Machaeropterus pyrocephalus</i>	Saltarín Gorro de Fuego	Frugivoros	Con minería	Azul	1	0.418	0.418	0.418	0.418	NA
				Con minería	Los Amigos	10	0.239	0.147	0.34	0.255	0.064
	<i>Pipra fasciicauda</i>	Saltarín de Cola Bandeada	Frugivoros	Sin minería	La Torre	11	0.246	0.113	0.502	0.241	0.102
				Con minería	Azul	7	0.718	0.386	1.065	0.832	0.25
Ramphastidae	<i>Pteroglossus azara</i>	Arasari de Pico Marfil	Frugivoros	Con minería	Azul	3	0.237	0.167	0.315	0.229	0.075
	<i>Pteroglossus beauharnaisii</i>	Arasari Encrespado	Frugivoros	Sin minería	La Torre	2	0.073	0.069	0.077	0.073	0.006
	<i>Pteroglossus inscriptus</i>	Arasari Letreado	Frugivoros	Con minería	Azul	5	0.235	0.155	0.292	0.248	0.055

Strigidae	<i>Megascops watsonii</i>	Lechuza de Vientre Leonado	Carnívoros	Sin minería	La Torre	1	0.092	0.092	0.092	0.092	NA
				Con minería	Azul	1	0.415	0.415	0.415	0.415	NA
				Con minería	Los Amigos	2	1.314	1.127	1.5	1.314	0.264
	<i>Iseria hauxwelli</i>	Hormiguerito de Garganta Llana	Insectívoros	Sin minería	La Torre	3	0.917	0.736	1.197	0.817	0.247
				Con minería	Azul	3	9.217	6.495	12.13	9.026	2.823
	<i>Mymotherula sp</i>	Hormiguerito	Insectívoros	Sin minería	La Torre	1	0.293	0.293	0.293	0.293	NA
Thamnophilidae	<i>Myrmelastes hypertyrhus</i>	Hormiguero Plomizo	Insectívoros	Con minería	Los Amigos	4	1.43	1.352	1.574	1.397	0.102
	<i>Myrmoborus leucophrys</i>	Hormiguero de Ceja Blanca	Insectívoros	Sin minería	La Torre	2	0.449	0.436	0.461	0.449	0.017
				Con minería	Azul	1	2.752	2.752	2.752	2.752	NA
	<i>Myrmotherula iheringi</i>	Hormiguerito de Ihering	Insectívoros	Sin minería	La Torre	1	1.012	1.012	1.012	1.012	NA
	<i>Myrmotherula longipennis</i>	Hormiguerito de Ala Larga	Insectívoros	Sin minería	La Torre	1	1.061	1.061	1.061	1.061	NA
	<i>Oneillornis salvini</i>	Hormiguero de Garganta Blanca	Insectívoros	Con minería	Azul	1	13.598	13.598	13.598	13.598	NA
	<i>Pygiptila stellaris</i>	Batará de Ala Moteada	Insectívoros	Con minería	Los Amigos	1	1.116	1.116	1.116	1.116	NA



<i>Sciaphylax hemimelaena</i>	Hormiguero de Cola Castaña	Insectívoros	Sin minería	La Torre	1	0.81	0.81	0.81	0.81	NA
<i>Taraba major</i>	Batará Grande	Insectívoros	Con minería	Los Amigos	1	1.196	1.196	1.196	1.196	NA
			Sin minería	La Torre	1	0.307	0.307	0.307	0.307	NA
<i>Thamnomanes ardesiacus</i>	Batará de Garganta Oscura	Insectívoros	Con minería	Azul	1	1.797	1.797	1.797	1.797	NA
<i>Thamnophilus aethiops</i>	Batará de Hombro Blanco	Insectívoros	Con minería	Azul	1	0.956	0.956	0.956	0.956	NA
<i>Thamnophilus schistaceus</i>	Batará de Ala Llana	Insectívoros	Con minería	Los Amigos	2	0.426	0.351	0.501	0.426	0.106
Thraupidae	<i>Ramphocelus carbo</i>	Insectívoros	Sin minería	La Torre	1	0.197	0.197	0.197	0.197	NA
		Insectívoros	Con minería	Azul	2	2.142	1.362	2.921	2.142	1.102
	<i>Sporophila atrirostris</i>	Granívoros	Con minería	Azul	1	1.256	1.256	1.256	1.256	NA
	<i>Tangara schrankii</i>	Frugívoros	Con minería	Los Amigos	2	0.383	0.347	0.42	0.383	0.052
			Sin minería	La Torre	2	0.173	0.164	0.182	0.173	0.013
			Con minería	Azul	1	1.073	1.073	1.073	1.073	NA

	<i>Volatinia jacarina</i>	Semillerito Negro Azulado	Granivoros	Con minería	Azul	1	0.493	0.493	0.493	0.493	NA
Tinamidae	<i>Crypturellus soui</i>	Perdiz Chica	Omnivoros	Sin minería	La Torre	1	0.047	0.047	0.047	0.047	NA
Tityridae	<i>Laniocera hypopyrra</i>	Plañidero Cinéreo	Insectivoros	Con minería	Los Amigos	1	0.1	0.1	0.1	0.1	NA
Troglodytidae	<i>Pheugopedius genibarbis</i>	Cucarachero Bigotudo	Insectivoros	Con minería	Azul	1	3.542	3.542	3.542	3.542	NA
Trogonidae	<i>Trogon melanurus</i>	Trogón de Cola Negra	Frugivoros	Con minería	Azul	1	0.48	0.48	0.48	0.48	NA
Tyrannidae	<i>Attila spadiceus</i>	Atila Polimorfo	Omnivoros	Sin minería	La Torre	1	1.025	1.025	1.025	1.025	NA
	<i>Corythopsis torquatus</i>	Coritopis Anillado	Insectivoros	Con minería	Los Amigos	2	1.079	1.068	1.091	1.079	0.016
	<i>Hemitriccus flammulatus</i>	Tirano-Pigmeo Flamulado	Insectivoros	Con minería	Azul	1	0.823	0.823	0.823	0.823	NA
	<i>Hemitriccus griseipectus</i>	Tirano-Todi de Vientre Blanco	Insectivoros	Sin minería	La Torre	1	0.349	0.349	0.349	0.349	NA
	<i>Mionectes oleagineus</i>	Mosquerito de Vientre Ocráceo	Insectivoros	Con minería	Azul	1	1.064	1.064	1.064	1.064	NA
	<i>Myiarchus swainsoni</i>	Copetón de Swainson	Insectivoros	Con minería	Azul	1	3.344	3.344	3.344	3.344	NA
	<i>Platyrinchus coronatus</i>	Pico-Chato de Corona Dorada	Insectivoros	Con minería	Los Amigos	1	0.7	0.7	0.7	0.7	NA

<i>Rhynchocyclus olivaceus</i>	Pico-Plano Oliváceo	Insectívoros	Con minería	Los Amigos	1	1.188	1.188	1.188	1.188	NA
			Con minería	Los Amigos	1	0.967	0.967	0.967	0.967	NA
<i>Tyrannulus elatus</i>	Moscaveta de Corona Amarilla	Insectívoros	Con minería	Azul	1	0.982	0.982	0.982	0.982	NA
<i>Zimmerius gracilipes</i>	Moscaveta de Pata Delgada	Insectívoros	Con minería	Azul	1	0.716	0.716	0.716	0.716	NA

**Nota.** THg = mercurio total en plumas; unidades: µg/g, fecha de colecta: 2019; fecha de análisis: 2021.

En el sitio control La Torre se muestreó durante tres días en ocho puntos del transecto (0–1000 m) donde se capturaron 50 individuos, distribuidos en 25 especies. El número de capturas de aves en cada distancia evaluada (punto de muestreo), se presenta en la Tabla 5 y el detalle completo y extenso en el Anexo 16. Además se muestran fotografías de las especies capturadas en el Anexo 17.

**Tabla 5**

*Cantidad de capturas realizadas en el sitio control La Torre*

Sector	Días evaluados	Distancia (m)	Nº Individuos	Nº Especies
La Torre	3	0	7	5
		50	8	7
		100	2	2
		300	8	5
		500	7	7
		700	5	4
		900	9	8
		1000	4	3

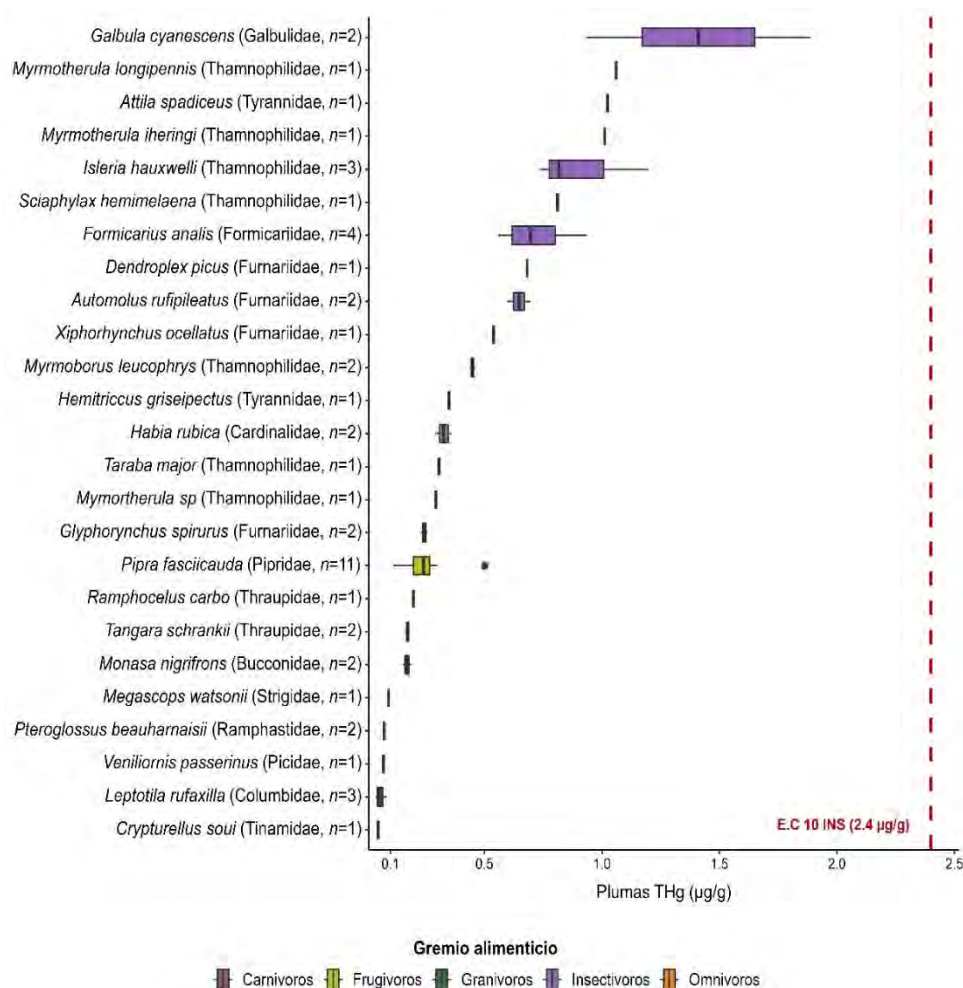
Se identificaron cinco gremios alimenticios: insectívoros, omnívoros, frugívoros, carnívoros y granívoros. El gremio con mayor concentración fue el de insectívoros ( $0.634 \pm 0.387 \mu\text{g/g}$ ,  $n = 27$ ), representado por familias como Galbulidae: *Galbula cyanescens* ( $1.411 \pm 0.676 \mu\text{g/g}$ ,  $n = 2$ ), Thamnophilidae: *Isleria hauxwelli* ( $0.917 \pm 0.247 \mu\text{g/g}$ ,  $n = 3$ ), Myrmotherula longipennis ( $1.061 \mu\text{g/g}$ ,  $n = 1$ ) y Furnariidae: *Dendroplex picus* ( $0.682 \mu\text{g/g}$ ,  $n = 1$ ), *Xiphorhynchus ocellatus* ( $0.539 \mu\text{g/g}$ ,  $n = 1$ ).

En niveles intermedios se ubicaron los omnívoros ( $0.353 \pm 0.452 \mu\text{g/g}$ ,  $n = 4$ ), con Tyrannidae: *Attila spadiceus* ( $1.025 \mu\text{g/g}$ ,  $n = 1$ ), Bucconidae: *Monasa nigrifrons* ( $0.171 \pm 0.024 \mu\text{g/g}$ ,  $n = 2$ ) y Tinamidae: *Crypturellus soui* ( $0.047 \mu\text{g/g}$ ,  $n = 1$ ). Las menores concentraciones correspondieron a frugívoros ( $0.213 \pm 0.107 \mu\text{g/g}$ ,  $n = 15$ ); Pipridae: *Pipra fasciicauda* ( $0.246 \pm 0.102$ ,  $n = 11$ ); Thraupidae: *Tangara schrankii* ( $0.173 \pm 0.013 \mu\text{g/g}$ ,  $n = 2$ ); Ramphastidae: *Pteroglossus beauharnaisii* ( $0.073 \pm 0.006 \mu\text{g/g}$ ,  $n = 2$ ), carnívoros ( $0.092 \mu\text{g/g}$ ,  $n = 1$ ) como los de la familia Strigidae: *Megascops watsonii* ( $0.092$ ,  $n = 1$ ) y granívoros ( $0.058 \pm 0.024 \mu\text{g/g}$ ,  $n = 3$ ) como Columbidae: *Leptotila rufaxilla* ( $0.058 \pm 0.024 \mu\text{g/g}$ ,  $n = 3$ ). Además ninguna de las especies superó la

concentración efectiva más baja reportada donde se observa reducción del éxito reproductivo en un 10% según el umbral referido por Evers (2018) (Figura 7).

**Figura 7**

*Concentraciones de mercurio total (THg) en plumas de aves en el área control*



*Nota.* E.C 10 INS (2.4 µg/g, peso seco) = Concentración Efectiva en plumas, usada como referencia toxicológica para aves que indica el nivel a partir del cual se espera una disminución del 10% en el éxito reproductivo en aves insectívoras.

En los sitios con minería (MAPE) el muestreo se realizó durante tres días; sin embargo, en Azul, por restricciones de acceso y seguridad asociadas a la actividad ilegal, solo se pudo muestrear durante dos días. En los ocho puntos del transecto (0 – 1000 m) de los sitios MAPE se capturaron 92 individuos pertenecientes a 43 especies. Mientras que por sector: Azul, 46 individuos de 28 especies; Los Amigos, 46 individuos de 20 especies.

El número de capturas de aves en cada distancia evaluada (punto de muestreo), se presenta en la Tabla 6 y el detalle completo y extenso en el Anexo 16.

**Tabla 6**

*Cantidad de capturas realizadas en el sitio control La Torre*

Sector	Días evaluados	Distancia (m)	N° de individuos	N° de especies
Los Amigos	3	0	15	8
		50	3	3
		100	4	3
		300	1	1
		500	3	3
		700	7	6
		900	8	6
		1000	5	5
Azul	2	0	15	12
		50	5	3
		100	6	5
		300	9	5
		500	1	1
		700	4	4
		900	4	4
		1000	2	2

En contraste, en los sitios con actividad minera (MAPE), Azul y Los Amigos, se registró un aumento de las concentraciones en los gremios ubicados más alto en la red trófica. Destacaron los piscívoros con ( $28.656 \pm 2.864 \mu\text{g/g}$ ;  $n = 2$ ), de la familia Alcedinidae: *Chloroceryle amazona* ( $28.656 \pm 2.864 \mu\text{g/g}$ ;  $n = 2$ ), presentando niveles preocupantes.

Siguiendo con los insectívoros ( $2.155 \pm 2.716 \mu\text{g/g}$ ;  $n = 51$ ), de la familia Thamnophilidae: *Oneillornis salvini* ( $13.598 \mu\text{g/g}$ ;  $n = 1$ ) e *Isleria hauxwelli* ( $6.056 \pm 4.769 \mu\text{g/g}$ ;  $n = 5$ ); de la familia Hirundinidae: *Stelgidopteryx ruficollis* ( $4.427 \mu\text{g/g}$ ;  $n = 1$ ) y *Atticora fasciata* ( $3.140 \pm 0.358 \mu\text{g/g}$ ;  $n = 2$ ); de la familia Furnariidae: *Automolus infuscatus* ( $4.263 \mu\text{g/g}$ ;  $n = 1$ ) y *Xiphorhynchus ocellatus* ( $1.317 \pm 0.211 \mu\text{g/g}$ ;  $n = 2$ ); y de la familia Troglodytidae: *Pheugopedius genibarbis* ( $3.542 \mu\text{g/g}$ ;  $n = 1$ ).

Entre los demás gremios, los granívoros promediaron  $0.875 \pm 0.539 \mu\text{g/g}$  ( $n = 2$ ), de la familia Thraupidae: *Sporophila atrirostris* ( $1.256 \mu\text{g/g}$ ;  $n = 1$ ) y *Volatinia jacarina* ( $0.493 \mu\text{g/g}$ ,  $n = 1$ ). Los omnívoros alcanzaron  $0.612 \pm 0.250 \mu\text{g/g}$  ( $n = 6$ ), de la familia

Columbidae: *Geotrygon montana* ( $0.461 \pm 0.253 \mu\text{g/g}$ ,  $n = 3$ ) y de la familia Momotidae: *Momotus momota* ( $0.764 \pm 0.153 \mu\text{g/g}$ ,  $n = 3$ ). Los carnívoros registraron  $0.415 \mu\text{g/g}$  ( $n = 1$ ), de la familia Strigidae: *Megascops watsonii* ( $0.415 \mu\text{g/g}$ ,  $n = 1$ ). Las concentraciones más bajas se observaron en los frugívoros ( $0.401 \pm 0.268 \mu\text{g/g}$ ,  $n = 30$ ), de la familia Pipridae: *Pipra fasciicauda* ( $0.436 \pm 0.291 \mu\text{g/g}$ ,  $n = 17$ ) y *Machaeropterus pyrocephalus* ( $0.418 \mu\text{g/g}$ ,  $n = 1$ ); de la familia Ramphastidae: *Pteroglossus azara* ( $0.237 \pm 0.075 \mu\text{g/g}$ ,  $n = 3$ ) y *P. inscriptus* ( $0.235 \pm 0.055 \mu\text{g/g}$ ,  $n = 5$ ); de la familia Trogonidae: *Trogon melanurus* ( $0.480 \mu\text{g/g}$ ;  $n = 1$ ); y de la familia Thraupidae: *Tangara schrankii* ( $0.613 \pm 0.400 \mu\text{g/g}$ ;  $n = 3$ ).

Para la interpretación del riesgo se emplearon las Concentraciones Efectivas (EC), umbrales de referencia propuestos por Evers (2018) para plumas de aves adultas, estas se consignan en la Tabla 7. En la Figura 8 se representan las líneas EC10 y EC20 para dos gremios: insectívoros ( $2.4$  y  $3.4 \mu\text{g/g}$ ) y piscívoros ( $10$  y  $20 \mu\text{g/g}$ ). En áreas con MAPE se observaron excedencias de estos umbrales: en insectívoros, 9 especies (18 %) superaron EC10 ( $2.4 \mu\text{g/g}$ ) y 4 especies (8 %) superaron EC20 ( $3.4 \mu\text{g/g}$ ). En piscívoros, 3 especies (6 %) excedieron EC10 ( $10 \mu\text{g/g}$ ) y 1 especie (2 %) superó EC20 ( $20 \mu\text{g/g}$ ). Este patrón es compatible con la presencia de cargas que podrían asociarse a efectos subletales afectando el éxito reproductivo, en especial en piscívoros e insectívoros, por lo que se recomienda priorizar su seguimiento. Dado que los umbrales de Evers se derivan principalmente de especies norteamericanas, aquí se utilizan como valores guía y su extrapolación a aves tropicales debe considerarse con cautela.

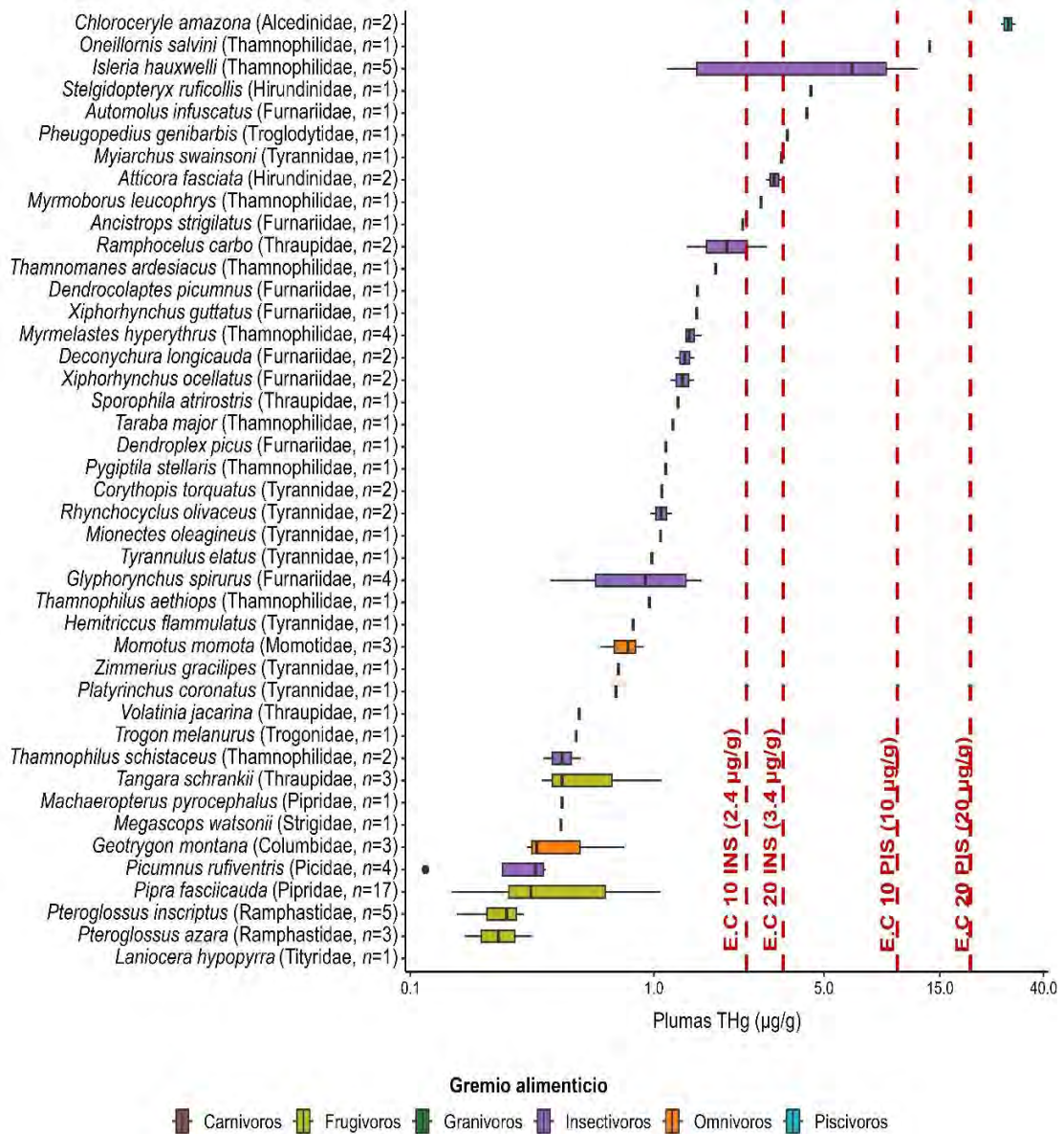
**Tabla 7**

Concentraciones efectivas de mercurio en plumas en los que se ven efectos adversos del éxito reproductivo en aves

Gremio alimenticio	Especies de aves de Norteamérica	EC10	EC20	EC30	EC40
Piscívoros	<i>Gavia immer</i>	$10 \mu\text{g/g}$	$20 \mu\text{g/g}$	$30 \mu\text{g/g}$	$40 \mu\text{g/g}$
Piscívoros	<i>Thryothorus ludovicianus</i>	$2.4 \mu\text{g/g}$	$3.4 \mu\text{g/g}$	$4.5 \mu\text{g/g}$	$5.3 \mu\text{g/g}$

**Figura 8**

Concentraciones de mercurio total (THg) en plumas de aves de áreas afectadas por



*Nota.* E.C. 10 INS (2.4 µg/g, peso seco) y E.C. 20 INS (3.4 µg/g, peso seco) = Concentración Efectiva en plumas, usada como referencia toxicológica para aves que indica el nivel a partir del cual se espera una disminución del 10% y 20% en el éxito reproductivo en aves insectívoras. E.C. 10 PIS (10 µg/g, peso seco) y E.C. 20 PIS (20 µg/g, peso seco) = Concentración Efectiva en plumas, usada como referencia toxicológica para aves que indica el nivel a partir del cual se espera una disminución del 10% y 20% en el éxito reproductivo en aves piscívoras.

Los resultados evidencian, que tanto el gremio alimenticio como la presencia de Minería Artesanal y de Pequeña Escala (MAPE) influyen significativamente en las concentraciones de mercurio en aves amazónicas. Las mayores concentraciones se registraron en especies de aves piscívoras como los martines pescadores. La literatura describe efectos subletales y reproductivos en alcédinos expuestos a mercurio como la



disminución de la intensidad del plumaje en hembras, rasgo vinculado a la selección de pareja, como lo reporta White et al., 2014 y sesgos en la proporción sexual de crías en contextos contaminados, según Bouland et al. (2012). Aunque en el presente trabajo de investigación no se evaluaron rasgos fenotípicos ni parámetros reproductivos y el tamaño muestral en piscívoros fue reducido ( $n = 2$ ), la coincidencia entre niveles elevados en plumas y presencia exclusiva en MAPE sugiere un escenario de riesgo para este gremio.

En insectívoros, la comparación entre control y MAPE evidencia que la exposición no se limita a ambientes estrictamente acuáticos, la dieta basada en artrópodos permite la entrada de metil-mercurio hacia la red trófica terrestre, lo que coincide con Rimmer et al., 2005, quien menciona que los insectívoros también son un grupo altamente expuesto. De manera concordante, estudios regionales en Madre de Dios como el de Gerson et al. (2022), reportaron niveles más altos en sitios próximos a minería frente a áreas protegidas sin actividad minera, incluyendo especies insectívoras como *Phlegopsis nigromaculata*. A escala andino amazónica, Sierra-Marquez et al., (2018), en el Parque Nacional Orquídeas con afectación por minería en Colombia, registraron un gradiente trófico con máximos en insectívoros respecto de nectarívoros y frugívoros, lo que refuerza que el gremio alimenticio modula la exposición y que la contaminación puede afectar a la fauna incluso dentro de áreas naturales protegidas. En este estudio, la magnitud de las diferencias entre control y MAPE dentro del mismo gremio respalda que la fuente local y las condiciones de hábitat asociadas a la minería potencian la bioacumulación en insectívoros.

En contraste, frugívoros y granívoros mostraron las concentraciones más bajas, en línea con Li et al., 2021, y con el propio trabajo de Sierra-Marquez et al., 2018, lo que se explica por su dieta basada en frutos y semillas con menor contenido de mercurio, ya que las plantas tienden a retener el metal en raíces, limitando su transferencia a hojas, frutos y estructuras aéreas como las semillas, Zhou et al., 2021. En carnívoros, los valores relativamente bajos sugieren que la identidad de presas modula la transferencia, por ejemplo, en *Megascops watsonii* la dieta de pequeños roedores con base herbívora podría restringir la escalada trófica del contaminante (Burton et al., 1977; Motta-Junior, 2002).

Estos patrones se enmarcan en dos antecedentes clave para el contexto peruano. Primero, Mena & Germaná (2016) documentan la alta integridad ecológica y riqueza de avifauna del corredor Purús-Manu ( $\approx 10$  millones de ha), respaldando el uso de aves como

bioindicadores y la conveniencia de coberturas multi-hábitat y multi-estacionales en evaluaciones regionales. Segundo, el informe de (OEFA, 2020) en la unidad Quicay muestra la utilidad de integrar líneas de evidencia bióticas (plumas) con matrices abióticas (agua, sedimento, suelo) para evaluar la exposición a metales en contextos mineros, aportando un referente metodológico nacional que refuerza la elección de plumas como matriz indicadora en esta tesis.

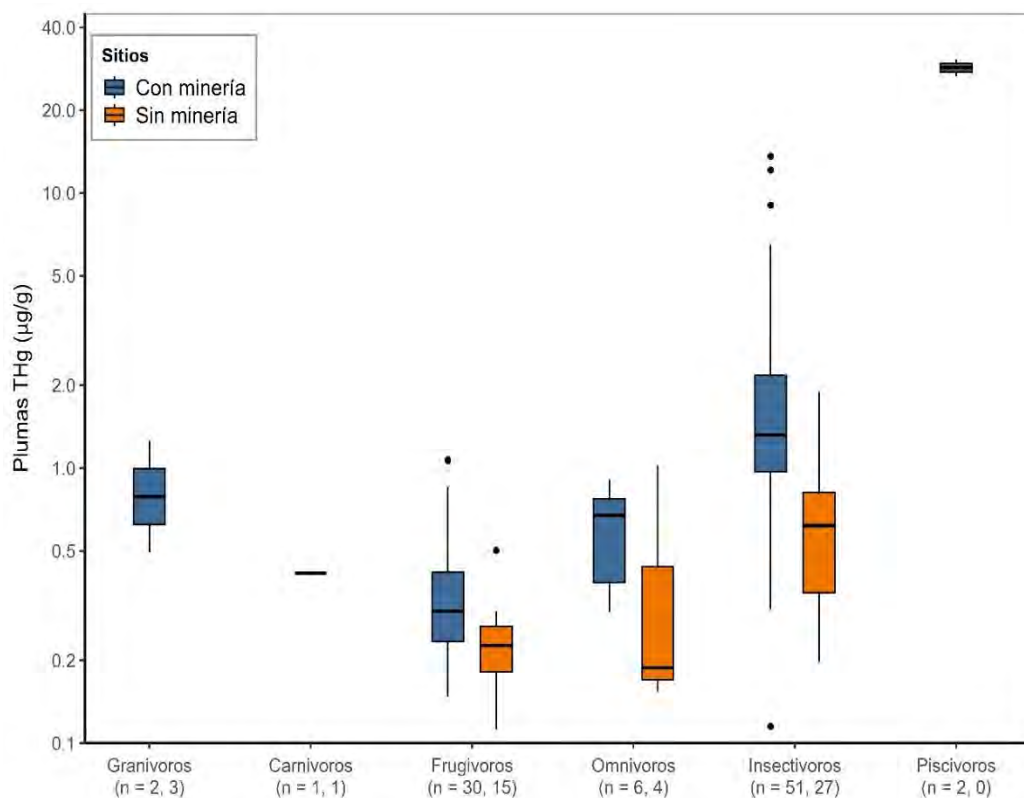
En conjunto, los resultados sugieren que no solo el nivel trófico, sino también la composición de la dieta y el contexto minero local explican la variación observada en THg de plumas. Este marco apoya priorizar el seguimiento de gremios sensibles (insectívoros y piscívoros), mantener frugívoros y granívoros como línea base comparativa y, cuando sea posible, complementar con líneas de evidencia ambientales (agua, sedimentos, suelos, hojarasca) para fortalecer la interpretación ecológica y las recomendaciones de manejo.

#### **4.1.2 Evaluación de las diferencias entre niveles de mercurio en aves de bosque prístinos y bosques colindantes a minería aurífera en Madre de Dios.**

Los promedios de mercurio total (THg) en plumas fueron mayores en zonas con actividad MAPE ( $2.02 \pm 4.25 \mu\text{g/g}$ ,  $n = 92$ ) que en el sitio control ( $0.44 \pm 0.38 \mu\text{g/g}$ ,  $n = 50$ ), con una diferencia estadísticamente significativa entre MAPE y el sitio control (Wilcoxon,  $w = 1133$ ,  $p < 0.001$ ). El modelo lineal mixto confirmó un efecto de la presencia de MAPE ( $F_{(1, 98.29)} = 6.90$ ,  $p = 0.010$ ) y del gremio alimenticio ( $F_{(5, 46.93)} = 11.09$ ,  $p < 0.001$ ) sobre las concentraciones de THg, en concordancia, los piscívoros y varios insectívoros presentaron los valores más altos, mientras que frugívoros y granívoros mostraron los más bajos (Figura 9).

**Figura 9**

*Comparación entre las concentraciones de mercurio total (THg) de las áreas afectadas por minería y el área control*



Entre sitios, se detectaron diferencias significativas en las concentraciones de Hg en plumas (Kruskal–Wallis:  $\chi^2 = 29.20$ , gl = 2,  $p < 0.001$ ). Las comparaciones por pares mostraron diferencias entre Azul y La Torre ( $p < 0.001$ ), Los Amigos y La Torre ( $p < 0.001$ ) y también entre Los Amigos y Azul ( $p = 0.0167$ ). En concordancia con los descriptivos, las concentraciones fueron mayores en Azul, intermedias en Los Amigos y menores en La Torre.

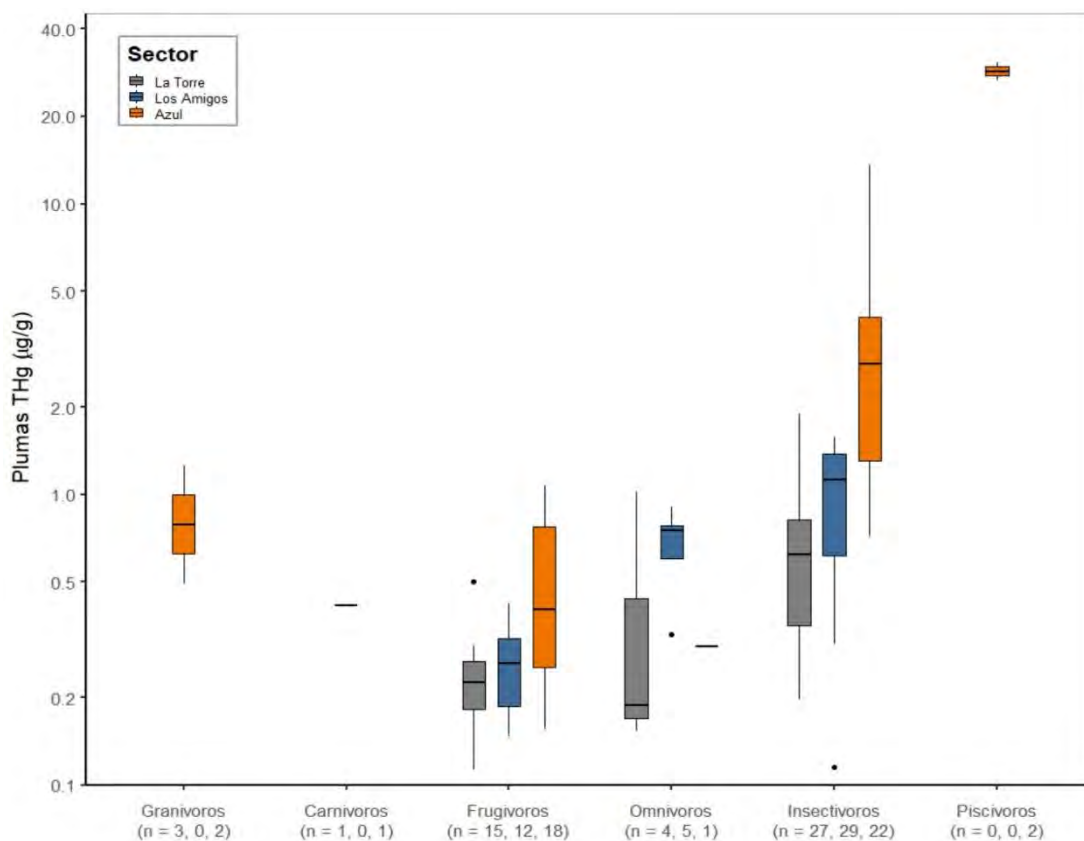
Al desagregar por gremio, el patrón espacial es consistente con estos resultados. En insectívoros, Azul presentó la media más alta ( $3.711 \pm 3.578$  µg/g;  $n = 22$ ), seguida por Los Amigos ( $0.974 \pm 0.476$  µg/g;  $n = 29$ ) y La Torre ( $0.634 \pm 0.387$  µg/g;  $n = 27$ ). En insectívoros, Azul presentó la media más alta ( $3.711$  µg/g;  $n = 22$ ), seguida por Los Amigos ( $0.974$  µg/g;  $n = 29$ ) y La Torre ( $0.634$  µg/g;  $n = 27$ ). En frugívoros, las medias también fueron mayores en Azul ( $0.493$  µg/g;  $n = 18$ ) respecto de Los Amigos ( $0.263$  µg/g;  $n = 12$ ) y La Torre ( $0.213$  µg/g;  $n = 15$ ). En omnívoros, Los Amigos mostró la

media más alta ( $0.675 \mu\text{g/g}$ ;  $n = 5$ ), seguida por La Torre ( $0.353 \mu\text{g/g}$ ;  $n = 4$ ), mientras que en Azul la media fue menor ( $0.301 \mu\text{g/g}$ ) pero con  $n = 1$ , por lo que esta comparación debe interpretarse con cautela. En granívoros, Azul registró una media claramente mayor ( $0.875 \mu\text{g/g}$ ;  $n = 2$ ) que La Torre ( $0.058 \mu\text{g/g}$ ;  $n = 3$ ), sin registros en Los Amigos. Para carnívoros solo hubo individuales en Azul ( $0.415 \mu\text{g/g}$ ;  $n = 1$ ) y La Torre ( $0.092 \mu\text{g/g}$ ;  $n = 1$ ). Finalmente, los piscívoros se capturaron únicamente en Azul, con medias muy elevadas ( $28.656 \pm 2.864 \mu\text{g/g}$ ;  $n = 2$ ) (Figura 10). En conjunto, estos patrones muestran que Azul concentra, para los gremios presentes, los valores más altos; Los Amigos tiende a valores intermedios; y La Torre presenta las concentraciones más bajas. Las excepciones (por ejemplo omnívoros en Azul) se explican por tamaños muestrales muy reducidos.

La comparación entre sitios confirma que las concentraciones de THg en plumas son mayores en MAPE que en el control, con un gradiente espacial claro en el que Azul concentra los valores más altos, Los Amigos es intermedio y La Torre presenta los más bajos, y con un patrón trófico consistente, máximos en piscívoros e insectívoros y mínimos en frugívoros y granívoros. Este resultado es congruente con Gerson et al. (2022), quienes en Madre de Dios demostraron que la MAPE incrementa la carga de mercurio en la atmósfera, la hojarasca, el suelo y en aves, y que en la Estación Biológica Los Amigos las aves presentan niveles superiores a los de Cocha Cashu, incluso con individuos por encima de concentraciones efectivas asociadas con disminuciones del éxito reproductivo. En la misma región, Shrum (2009) documentó niveles elevados de mercurio en plumas de rapaces, un grupo de alto nivel trófico, lo que refuerza que la señal de contaminación se integra a través de la red alimentaria y no se restringe a un solo gremio. En conjunto, estos antecedentes respaldan que las diferencias observadas entre MAPE y control responden a fuentes locales y a rutas de exposición acopladas aire-agua-suelo, y justifican priorizar el monitoreo de piscívoros e insectívoros, así como la evaluación de desenlaces reproductivos en especies vulnerables de sitios con pozas y cuerpos de agua.

**Figura 10**

*Concentraciones de mercurio total (THg) en plumas de aves en los 03 sitios de estudio*



#### **4.1.3 Análisis de la extensión espacial del mercurio en aves desde un lugar potencial de contaminación hacia el interior de los bosques colindantes a actividad de Minería Artesanal y de Pequeña Escala (MAPE) en Madre de Dios.**

El análisis espacial de los cuerpos de agua evidenció diferencias en la extensión y número de pozas mineras entre los tres sitios de estudio (Tabla 8). En Azul se registró la mayor área impactada, con 86.01 ha distribuidas en 82 pozas de minería, además de lagos (2.66 ha) y ríos (40.92 ha), lo que refleja una intensa presión antrópica sobre el paisaje. En contraste, La Torre presentó un escenario mucho más conservado, sin presencia de pozas mineras y únicamente con pequeños cuerpos de agua naturales, representados por 5.67 ha de lagos y 81.10 ha de ríos. Los Amigos, por su parte, mostró una situación intermedia: aunque el número de pozas fue reducido (3) y su extensión relativamente baja (3.09 ha), la superficie de ríos alcanzó 285.85 ha, destacando su importancia hidrológica en la zona. Estos resultados confirman que Azul concentra la mayor huella de la minería aurífera en

comparación con los otros sitios, lo que la convierte en un punto crítico de emisión y potencial dispersión de mercurio hacia los ecosistemas adyacentes.

**Tabla 8**

*Resultados del análisis espacial sobre los cuerpos de agua*

Sitio de estudio	Tipo de cuerpo de agua					
	Lagos		Pozas de minería		Ríos	
	Nº	Área	Nº	Área	Nº	Área
Azul	3	2.66	82	86.01	15	40.92
La Torre	6	5.67	-	-	1	81.10
Los Amigos	4	14.75	19	3.09	2	285.85

Al evaluar la extensión espacial de las concentraciones de mercurio en las 08 distancias establecidas en un tramo de 1km. No se observó diferencia significativa en las distancias de las zonas de estudio (Kruskal-Wallis,  $X^2 = 6.27$ ,  $df = 7$ ,  $p = 0.51$ ) y en el sitio control (Kruskal-Wallis,  $X^2 = 5.30$ ,  $df = 7$ ,  $p = 0.62$ ). Además, los resultados del modelo empleado no mostraron efectos significativos ( $F_{1,112} = 0.13$ ,  $df = 1$ ,  $p = 0.80$ ) de la extensión espacial, y al realizar una regresión lineal se observó que no existía disminución a medida que los puntos se alejan del cuerpo de agua (foco de metilación) (Figura 11).

Los resultados muestran la ausencia de un patrón de variación de las concentraciones de mercurio en relación con la distancia en el transecto de 1 km, tanto en sitios con MAPE, y en el control, aunque en este último la interpretación es limitada porque el muestreo se realizó junto a un único lago. En MAPE, especialmente en Azul, la alta densidad y conectividad de pozas, canales y ríos sugiere múltiples focos de metilación que operan de forma relativamente homogénea a lo largo del transecto, lo que diluye cualquier declive con la distancia (Figura 11). Esta homogeneidad puede mantenerse por recursos acuático-terrestres, por ejemplo la emergencia de insectos acuáticos que transfieren metil-mercurio a depredadores terrestres, además de la deposición atmosférica local. En conjunto, el

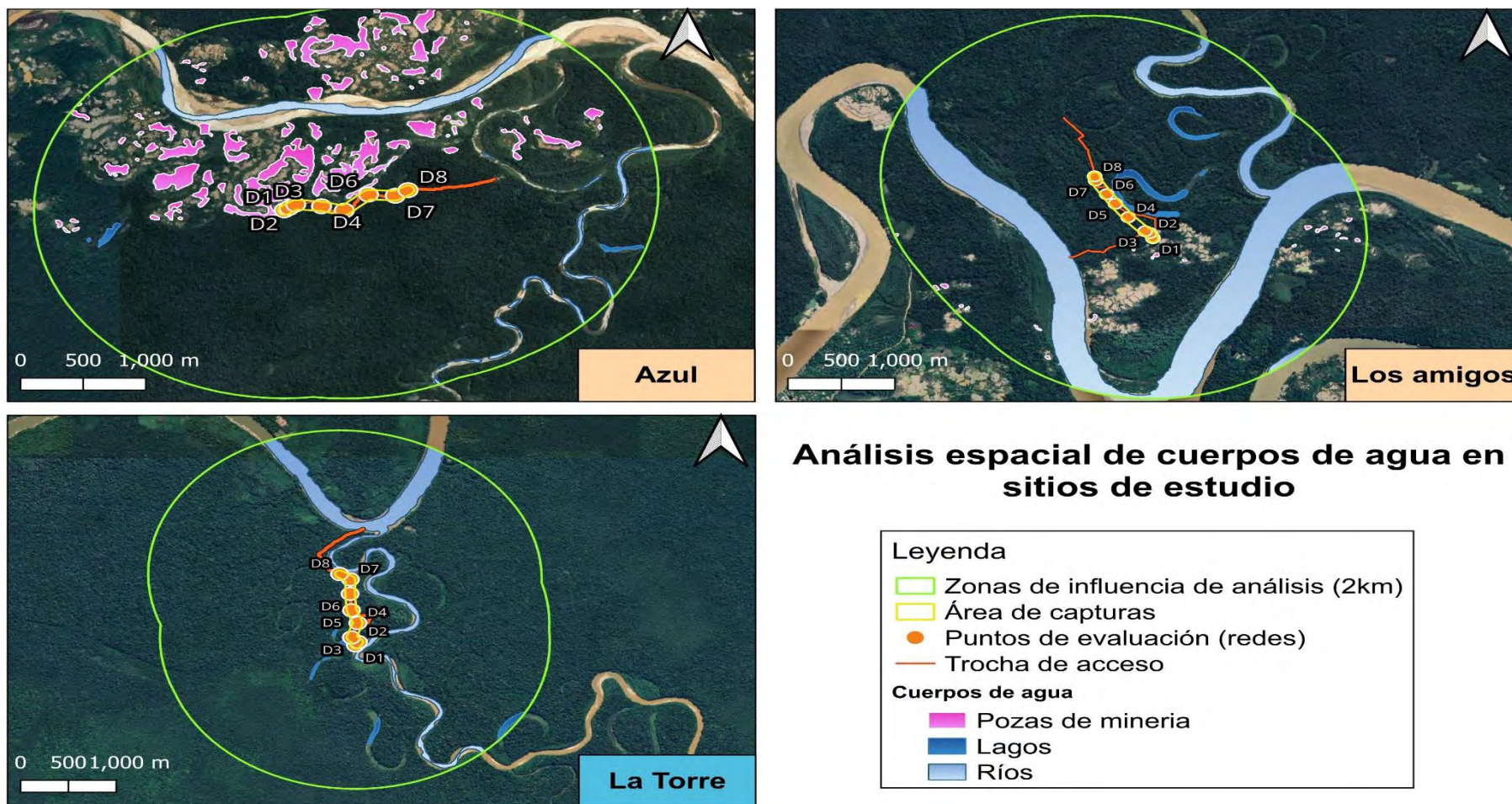
patrón observado es coherente con un paisaje con varias fuentes y rutas de exposición, por lo que métricas del mosaico acuático minero, densidad y área de pozas y su conectividad, resultan más informativas que la distancia lineal al borde de agua.

En esa línea, la alta densidad de cuerpos de agua en Azul y la presencia de numerosas pozas mineras conectadas con ríos y lagos pueden actuar como entradas múltiples y zonas de retención de mercurio, favoreciendo mezcla espacial y una metilación sostenida en distintos microhábitats. Este patrón es compatible con escenarios donde la atenuación con la distancia es limitada o depende de la especie, por ejemplo, Howie et al. (2018) observaron descensos con la distancia en algunas aves, aunque niveles elevados persistieron hasta 400 m, mientras que Jackson et al. (2011) reportaron concentraciones altas a lo largo de más de 100 km aguas abajo de una fuente histórica de mercurio con disminución poco marcada y transferencia desde el componente acuático hacia redes tróficas terrestres. En conjunto, estos estudios respaldan que, a la escala evaluada, la estructura del mosaico acuático minero y su conectividad explican mejor la distribución espacial de la exposición que la distancia por sí sola.



**Figura 11**

*Análisis espacial de los cuerpos de agua (pozas mineras) en los 03 sitios de estudio*



*Nota.* Elaboración propia con base en imágenes Sentinel-2 (Copernicus, ESA, Comisión Europea) procesadas en Google Earth Engine.



#### **4.1.4 Identificación de los factores ecológicos que influyen en las concentraciones de aves de los bosques colindantes a actividad de Minería Artesanal y de Pequeña Escala (MAPE) en Madre de Dios. 2019**

Se construyeron 16 modelos considerando como factores ecológicos: gremio alimenticio, presencia de minería, área de pozas y distancia. Se seleccionó el mejor modelo a partir del criterio de Akaike (Tabla 9), compuesto por los tres factores: presencia de minería, gremio alimenticio y área de pozas, con un peso de Akaike ( $w_i$ ) de 0.672, presentando efectos significativos en las concentraciones de mercurio en aves ( $p < 0.001$ ).

El segundo mejor modelo consideró los factores gremio alimenticio y área de pozas ( $w_i = 0.218$ ), lo que también brinda un soporte importante. La evidencia de ratios (ER) entre el mejor modelo y este segundo modelo fue de 0.8. Esto indica que el primer modelo tiene mayor soporte, pero que ambos coinciden en la relevancia de tres de los cuatro factores evaluados. En este análisis, la distancia no tuvo un efecto significativo ( $p > 0.05$ ) ni fue considerada una variable de importancia relativa ( $w^+ 0.245$ ). En cambio, los factores gremio alimenticio, área de pozas y presencia de minería mostraron mayor importancia relativa, siendo el gremio alimenticio el predictor más relevante ( $w^+ 1.000$ ), seguido por área de pozas ( $w^+ 0.984$ ) y presencia de minería ( $w^+ 0.902$ ).

Cabe mencionar que, si bien se consideró inicialmente incluir las concentraciones de mercurio en el aire como una variable ambiental adicional, esta no fue incorporada en los modelos debido a que solo se contaba con tres mediciones puntuales, lo cual limitaba la robustez estadística del análisis. Sin embargo, los resultados obtenidos a partir de estas mediciones se presentan en el siguiente apartado, dado su valor complementario para comprender la exposición ambiental al mercurio en las zonas evaluadas.

**Tabla 9***Modelos lineales mixtos contruidos*

<b>Modelo</b>	<b>AICC</b>	<b><math>\Delta</math>AICC</b>	<b>wi</b>	<b>-logL</b>	<b>K</b>
Gremio Alimenticio + Presencia de minería + Área de pozas	263.459	0.000	0.676	-119.714	12
Gremio Alimenticio + Presencia de minería + Área de pozas + Distancia	265.716	2.258	0.218	-119.649	16
Gremio Alimenticio + Área de pozas	268.078	4.619	0.067	-123.199	10
Gremio Alimenticio + Área de pozas + Distancia	270.256	6.798	0.023	-123.113	14
Gremio Alimenticio	272.845	9.386	0.006	-126.740	9
Gremio Alimenticio + Presencia de minería	272.881	9.422	0.006	-125.601	11
Gremio Alimenticio + Distancia	275.052	11.593	0.002	-126.686	13
Gremio Alimenticio + Presencia de minería + Distancia	275.141	11.682	0.002	-125.555	15
Presencia de minería + Área de pozas	292.422	28.963	0.000	-139.900	4
Presencia de minería + Área de pozas + Distancia	294.636	31.177	0.000	-139.900	8
Área de pozas	296.881	33.422	0.000	-143.220	2
Área de pozas + Distancia	299.057	35.599	0.000	-143.218	6
Presencia de minería	301.201	37.742	0.000	-145.380	3
Presencia de minería + Distancia	303.379	39.921	0.000	-145.379	7
Distancia	303.475	40.016	0.000	-146.517	5

Los resultados del modelo indican que el gremio alimenticio y el área de pozas son los principales determinantes de la variación en las concentraciones de mercurio en aves de bosques colindantes a MAPE, con un aporte adicional de la presencia de minería, mientras

que la distancia a la actividad minera no mostró un efecto significativo. Este patrón sugiere que la exposición está modulada, sobre todo, por las rutas tróficas y por la configuración hidrológica inducida por la minería, más que por la proximidad lineal a los frentes de extracción.

En relación con la distribución espacial del mercurio, no se observó una disminución sistemática en las concentraciones a lo largo de los transectos de un kilómetro que se extendían desde las pozas mineras hacia el interior del bosque. Esta ausencia de patrón lineal indica que la transferencia de metil-mercurio desde fuentes acuáticas hacia hábitats boscosos no responde a una lógica de dispersión por distancia directa. En otros sistemas, se han documentado gradientes claros: Howie et al. (2018) reportaron una disminución progresiva de mercurio en aves desde la fuente hasta aproximadamente 300 metros río adentro en una llanura aluvial contaminada, de manera similar, Jackson et al., (2011) hallaron concentraciones elevadas en aves terrestres localizadas hasta 50 metros desde cuerpos de agua contaminados en Virginia, Estados Unidos. A diferencia de esas configuraciones lineales (por ejemplo, un río como fuente continua), en los sitios evaluados aquí se presentan múltiples pozas mineras dispersas en el paisaje, cada una con condiciones propicias para la metilación. Esta disposición heterogénea y fragmentada genera múltiples puntos potenciales de exposición y dificulta detectar un descenso direccional con la distancia, al facilitar la disponibilidad de presas contaminadas en distintas áreas del bosque sin relación directa con la cercanía a una única fuente puntual.

La importancia del área de pozas es consistente con lo reportado para paisajes mineros amazónicos. Gerson et al., 2020 destacan que las pozas mineras en Madre de Dios son cuerpos de agua lénticos con baja oxigenación, estancamiento y alta actividad microbiana, condiciones que favorecen la transformación del mercurio inorgánico en metil-mercurio y elevan su biodisponibilidad. Además, la conectividad de estas pozas con ríos y otros cuerpos de agua incrementa la movilidad del contaminante y facilita su transferencia a redes tróficas más complejas, ampliando la exposición de aves terrestres.

Esta interpretación se refuerza con la evidencia sobre la estructura biótica de las pozas. Araújo-Flores et al. (2021) documentaron alta heterogeneidad biológica y temporal en pozas mineras abandonadas en Madre de Dios, con capacidad para albergar una diversidad significativa de organismos acuáticos. Aunque esta riqueza ecológica puede incrementar la biodiversidad local, también implica un mayor potencial para la

transferencia trófica de metil-mercurio hacia la fauna terrestre por rutas indirectas, muchas veces difíciles de rastrear pero funcionalmente relevantes.

Por otra parte, la vegetación desempeña un papel reconocido en la captura de mercurio atmosférico elemental y su redistribución al suelo por medio de la hojarasca, actuando como sumidero y modulando la deposición terrestre del metal Zhou et al. (2021). En paisajes boscosos adyacentes a MAPE, este proceso puede elevar el fondo de mercurio en suelos y detritos incluso a cierta distancia de los focos de extracción, lo que ofrece una explicación plausible para la ausencia de efecto de la distancia en los modelos y aporta contexto adicional a la interpretación de las concentraciones atmosféricas presentadas de manera independiente.

A pesar de estos avances, gran parte de la literatura amazónica sobre mercurio se ha centrado en peces y salud humana, con menor atención a la fauna silvestre. Esta brecha resulta preocupante considerando que Madre de Dios alberga una de las mayores diversidades de aves del país y constituye un hotspot de biodiversidad a escala global. En este contexto, los niveles elevados detectados en gremios piscívoros e insectívoros en sitios con presencia de MAPE representan una amenaza latente para la salud reproductiva y el desempeño ecológico de estas especies, más aún en escenarios donde coexisten presiones adicionales como la pérdida de hábitat por deforestación.

Rasgos de comportamiento propios de aves tropicales pueden, además, matizar los patrones de exposición. Moller & Liang (2013) reportan una mayor sensibilidad a perturbaciones ambientales en especies tropicales, posiblemente asociada a adaptaciones a ambientes relativamente estables pero competitivos. Este rasgo refuerza la necesidad de priorizar el estudio de estas especies en evaluaciones de riesgo ambiental y contribuye a explicar por qué la proximidad funcional a microhábitats ribereños y bordes de pozas puede pesar más que la distancia lineal.

En conjunto, los hallazgos sugieren que la dinámica de distribución del mercurio en paisajes amazónicos con minería artesanal activa no puede explicarse exclusivamente en función de la distancia a una fuente puntual. Más bien, responde a una combinación de factores ecológicos, hidrológicos y de uso del suelo que modifican la exposición en todo el mosaico de hábitats. De ahí que el gremio alimenticio, el área de pozas y la presencia de minería emerjan como factores determinantes, mientras que la distancia lineal no

resulte un predictor informativo a la escala considerada. Desde una perspectiva de manejo, este patrón respalda la priorización de medidas que contengan la expansión de pozas y promuevan la restauración de las áreas afectadas para reducir condiciones que facilitan la metilación, así como el enfoque del monitoreo biológico en gremios sensibles (insectívoros y carnívoros) como centinelas, manteniendo frugívoros y granívoros como línea base e incorporando mediciones ambientales adicionales para fortalecer futuros modelos.

#### **4.1.5 Determinación de niveles de mercurio en el ambiente**

Las concentraciones de mercurio elemental gaseoso (MEG) fueron, en promedio, hasta dos veces más altas en zonas con actividad minera en comparación con la zona control. Los niveles más elevados de MEG se registraron en localidades impactadas por la MAPE: Los Amigos alcanzó 4.29 ng/m<sup>3</sup> y Azul 3.18 ng/m<sup>3</sup>, mientras que en la zona control, La Torre reportó 1.79 ng/m<sup>3</sup> (Tabla 10). Estas concentraciones superan significativamente el valor de referencia promedio reportado para el hemisferio sur, estimado en aproximadamente 1 ng/m<sup>3</sup>, según Szponar (2022). Además, estimó, mediante muestreo pasivo de aire y análisis isotópico, que entre el 79 % y 92 % del mercurio atmosférico en zonas mineras, la carretera Interoceánica y bosques cercanos a la MAPE proviene de esta actividad. Aunque en el presente estudio no se aplicaron análisis isotópicos ni se logró una cobertura amplia, los valores obtenidos ofrecen un punto de referencia útil que respalda la presencia generalizada de mercurio en el ambiente.

Debido a las limitaciones logísticas, los datos de mercurio atmosférico no fueron incorporados en el modelo estadístico principal. No obstante, su inclusión permitió evaluar la posibilidad de contaminación externa sobre las plumas, descartando una deposición atmosférica significativa. Esto se ve reflejado en la consistencia del patrón trófico observado: las especies de niveles bajos como frugívoras y granívoras presentaron las concentraciones más bajas, mientras que insectívoras y piscívoras, ubicadas en niveles superiores, mostraron los niveles más altos, en concordancia con el proceso de biomagnificación descrito en la literatura.

Ante estos resultados preliminares, se recomienda ampliar el monitoreo ambiental con una mayor cantidad de muestreadores y una cobertura espacial más extensa, con el fin de

confirmar si las diferencias registradas representan un riesgo ambiental sostenido tanto para la fauna silvestre como para las comunidades humanas expuestas.

La trazabilidad analítica se respalda con los Resultados de laboratorio (Anexo 18) y el Control de calidad (Anexo 19), que reportó una recuperación promedio de 106.7% (rango 102.4 – 111.0%), con el promedio dentro del intervalo recomendado para este método (90 – 110%). Estos resultados evidencian que la quema de amalgama (aleación de mercurio y oro) utilizada durante la purificación del oro constituye una fuente directa y relevante de emisiones de mercurio a la atmósfera. Posteriormente, este mercurio puede depositarse en los ecosistemas terrestres y acuáticos, donde se acumula en los organismos y representa un riesgo potencial tanto para la fauna local como para la salud humana.

**Tabla 10***Resultados de concentraciones de Hg gaseoso (ng/m3) por sitio de muestreo*

Lugar	Código de laboratorio	Código de campo	Fecha y Hora de colocación	Fecha y Hora de recojo	Tiempo de despliegue (días)	Fecha Análisis	Peso gr	Total Hg (ng)	Tasa de muestreo estimada (constante, m <sup>3</sup> /día)	Concentración de Hg gaseoso (ng/m3) en cada muestreador	Concentración de Hg gaseoso promedio (ng/m3)
Los Amigos	PAS0005	EBLA-1	26/07/2019 09:15	18/08/2019 14:00	23.20	9/08/2022	0.729	14.605	0.1354	4.65	4.29
	PAS0006	EBLA-2	26/07/2019 09:15	18/08/2019 14:00	23.20	8/08/2022	0.674	12.471	0.1354	3.97	
	PAS0007	EBLA-3	26/07/2019 14:10	18/08/2019 14:00	22.99	9/08/2022	0.673	16.439	0.1354	5.28	
	PAS0008	EBLA-4	26/07/2019 14:10	18/08/2019 14:00	22.99	9/08/2022	0.869	10.178	0.1354	3.27	

La Torre	PAS0003	La Torre-1	7/08/2019 10:30	31/08/2019 12:30	24.08	8/08/2022	0.747	5.674	0.1354	1.74	1.79
	PAS0004	La Torre-2	7/08/2019 13:30	31/08/2019 10:30	23.88	8/08/2022	0.637	5.930	0.1354	1.83	
Azul	PAS0009	Azul-1	13/08/2019 11:23	20/09/2019 11:23	38.00	9/08/2022	0.800	13.979	0.1354	2.72	3.18
	PAS0010	Azul-2	14/08/2019 16:01	20/09/2019 10:50	36.78	9/08/2022	0.681	18.185	0.1354	3.65	



## 4.2 Resultados prueba de Hipótesis

Conforme al punto 3.8, debido a la no normalidad (Kolmogorov–Smirnov,  $D = 0.36795$ ,  $p < 0.001$ ), las comparaciones entre grupos se realizaron la prueba de Wilcoxon de rango-suma (Mann–Whitney) para dos grupos y Kruskal–Wallis H para 3 o más grupos. Para analizar efectos simultáneos y estructura jerárquica se ajustaron modelos lineales mixtos (LMM) con efectos fijos (presencia de MAPE, gremio alimenticio, área de pozas y distancia) y aleatorios (sector y familia), con selección por AIC y promedios de modelos.

### A) Hipótesis general

**HG1.** *Los niveles de mercurio en aves son significativamente más altos en bosques colindantes a actividades de Minería Artesanal y de Pequeña Escala (MAPE) frente a bosques prístinos.*

**HG0:** *Los niveles de mercurio en aves no son significativamente más altos en bosques colindantes a actividades de Minería Artesanal y de Pequeña Escala (MAPE) frente a bosques prístinos.*

#### Evidencia.

- Prueba de pares Wilcoxon:  $W = 1133$ ,  $p < 0.001$ .
- Descriptivos: MAPE  $2.02 \pm 4.25 \mu\text{g/g}$  ( $n = 92$ ) vs. Control  $0.44 \pm 0.38 \mu\text{g/g}$  ( $n = 50$ ).

**Decisión.** Se acepta H1: Los niveles de mercurio en aves son significativamente más altos en bosques colindantes a actividades de Minería Artesanal y de Pequeña Escala (MAPE) frente a bosques prístinos.

### B) Hipótesis específicas

#### Hipótesis específica 1

**HE1.** *Existen diferencias significativas en los niveles de mercurio en aves entre bosques prístinos y bosques colindantes a actividades de Minería Artesanal y de Pequeña Escala (MAPE) en Madre de Dios.*

**HE0:** No existen diferencias significativas en los niveles de mercurio en aves entre bosques prístinos y bosques colindantes a actividades de Minería Artesanal y de Pequeña Escala (MAPE) en Madre de Dios.

**Evidencia.**

- Wilcoxon:  $W = 1133$ ,  $p < 0.001$  (MAPE > Control).
- Kruskal–Wallis por sitio:  $\chi^2 = 29.20$ ,  $gl = 2$ ,  $p < 0.001$ ; pares: Azul > La Torre ( $p < 0.001$ ), Los Amigos > La Torre ( $p < 0.001$ ), Azul > Los Amigos ( $p = 0.0167$ ).
- LMM (presencia de MAPE):  $F_{1,98.29} = 6.90$ ,  $p = 0.010$ .

**Decisión.** Se acepta H1: las concentraciones son más altas en MAPE.

**Hipótesis específica 2**

**HE2.** La concentración de mercurio en aves disminuye con la distancia desde una fuente potencial de contaminación hacia el interior de los bosques prístinos y colindantes a actividad de Minería Artesanal y de Pequeña Escala (MAPE).

**HE0:** La concentración de mercurio en aves disminuye con la distancia desde una fuente potencial de contaminación hacia el interior de los bosques prístinos y colindantes a actividad de Minería Artesanal y de Pequeña Escala (MAPE).

**Evidencia.**

- Kruskal–Wallis por distancia (sitios con MAPE):  $\chi^2 = 6.27$ ,  $gl = 7$ ,  $p = 0.51$ .
- Kruskal–Wallis por distancia (control):  $\chi^2 = 5.30$ ,  $gl = 7$ ,  $p = 0.62$ .
- LMM (efecto “distancia”):  $F_{1,112} = 0.13$ ,  $p = 0.80$ .
- Regresión lineal: pendiente no significativa.

**Decisión.** No se acepta H1 (no hay evidencia de disminución con la distancia) por tanto no se rechaza H0. A la escala evaluada (1 km), el patrón está dominado por la gran presencia de pozas/cuerpos de agua y no por la distancia lineal.

### **Hipótesis específica 3**

**HE3.** *Factores ecológicos como el gremio alimenticio, la presencia de minería y el área de las pozas mineras influyen en las concentraciones de mercurio en aves de bosques prístinos y colindantes a actividad de Minería Artesanal y de Pequeña Escala (MAPE).*

**H0:** *Factores ecológicos como el gremio alimenticio, la presencia de minería, la distancia desde focos de contaminación y el área de las pozas mineras no influyen en las concentraciones de mercurio en aves de bosques prístinos y colindantes a actividad de Minería Artesanal y de Pequeña Escala (MAPE).*

#### **Evidencia (LMM y selección por AIC).**

- Mejor modelo: MAPE + gremio + área de pozas (peso  $wi_{ii} = 0.672$ ,  $p$  global < 0.001).
- Segundo modelo: gremio + área de pozas ( $wi_{ii} = 0.218$ ).
- Importancia relativa ( $w^+$ ): gremio = 1.000, área de pozas = 0.984, presencia de MAPE = 0.902, distancia = 0.245 (no significativa).

**Decisión.** Se acepta H1: las concentraciones de mercurio en aves están influenciadas por gremio alimenticio, presencia de MAPE y el área de pozas.

## CAPITULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 5.1 Conclusiones

- Las concentraciones más altas de mercurio total (THg) en plumas de aves se registraron en especies piscívoras e insectívoras. Estas concentraciones superan los umbrales considerados como efectivos (EC) para la disminución del éxito reproductivo, lo que sugiere un riesgo potencial para estas especies y sugiere su uso como bioindicadores en futuros estudios.
- Las aves capturadas en sitios impactados por MAPE presentaron concentraciones significativamente más altas que aquellas del sitio control. Sin embargo, cabe destacar que el Sector Azul de la Reserva Nacional Tambopata, a pesar de ser un área protegida, registró las concentraciones más elevadas del estudio, lo que indica una posible influencia externa de actividades mineras cercanas.
- No se identificó una tendencia espacial clara en las concentraciones de mercurio a lo largo de los transectos de 1 km evaluados. Esta ausencia de patrón puede atribuirse a la alta heterogeneidad del paisaje minero, caracterizado por la presencia dispersa de numerosas pozas mineras que, además de actuar como fuentes de metilación de mercurio, podrían estar proporcionando recursos alimenticios contaminados en múltiples puntos del área de estudio.
- Se identificaron tres variables clave que influyen en las concentraciones de mercurio en aves: (i) el gremio alimenticio, donde se evidenció un patrón de biomagnificación en el orden Piscívoros > Insectívoros > Omnívoros > Granívoros > Frugívoros > Carnívoros; (ii) la presencia de minería artesanal, la cual representa una fuente directa de liberación de mercurio inorgánico al ambiente, incrementando la exposición en las especies que habitan en sus alrededores; y (iii) el área ocupada por las pozas mineras, cuya distribución dispersa genera un paisaje altamente heterogéneo. Estas pozas actúan como hábitats de metilación y, a su vez, como fuentes de alimento contaminado, lo que incrementa el riesgo de exposición al mercurio a través de la cadena alimenticia, sin seguir un patrón espacial definido.

## 5.2 Recomendaciones

- Se recomienda al Ministerio del Ambiente (MINAM), al Servicio Nacional Forestal y de Fauna Silvestre (SERFOR) y a las entidades responsables de realizar monitoreos ambientales, continuar con las evaluaciones de mercurio en aves, ampliando la cobertura geográfica de los sitios de muestreo para identificar posibles tendencias espaciales en la distribución del contaminante. Dado el crecimiento continuo de la actividad minera en la Amazonía, el seguimiento a largo plazo de aves terrestres y acuáticas es fundamental para evaluar los riesgos potenciales del mercurio sobre la biodiversidad. Se sugiere que estas evaluaciones cuenten con el acompañamiento técnico de investigadores especializados en contaminación ambiental y ecología amazónica.
- Se recomienda a institutos de investigación, universidades y agencias de financiamiento científico como CONCYTEC desarrollar estudios enfocados en la evaluación de efectos subletales del mercurio en aves silvestres, con el objetivo de establecer umbrales ecológicos y toxicológicos que permitan interpretar mejor los riesgos de exposición en distintos grupos tróficos. Esto resulta especialmente relevante para generar referencias adaptadas a la realidad ecológica de la Amazonía, ya que la mayoría de los umbrales actuales provienen de estudios realizados en contextos geográficos distintos.
- Se recomienda al MINAM y a SERFOR identificar especies de aves bioindicadoras de efectos negativos asociados a la contaminación por mercurio en ecosistemas impactados por minería. En particular, los gremios piscívoros e insectívoros destacan como los más adecuados, ya que presentaron las concentraciones más altas de mercurio y, en el caso de los insectívoros, una amplia representación en todos los sitios evaluados. Su sensibilidad al contaminante, posición trófica y abundancia los convierte en candidatos ideales para ser considerados en programas de monitoreo ambiental, optimizando recursos y facilitando el seguimiento a largo plazo en regiones biodiversas como Madre de Dios.

- Se recomienda a los gobiernos regionales, al MINAM y a organizaciones de la sociedad civil socializar los resultados de este tipo de investigaciones con actores clave, tomadores de decisiones, comunidades locales y estudiantes, a fin de que la información científica generada contribuya al diseño e implementación de políticas públicas más eficaces. Estas políticas deben orientarse hacia una mejor regulación, formalización y control de las actividades mineras, con el objetivo de reducir sus impactos negativos y promover la conservación de la biodiversidad en la Amazonía.
- Se recomienda a la Presidencia del Consejo de Ministros (PCM), al MINAM y a los gobiernos regionales promover el trabajo articulado entre entidades competentes del sector ambiental, instituciones locales y la academia. Esta colaboración fortalecería las acciones de fiscalización, monitoreo y conservación en zonas afectadas por minería, permitiendo una respuesta más integral y sostenida frente a los impactos de esta actividad sobre la biodiversidad amazónica.

## REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- 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>
- Albers, P. H., Koterba, M. T., Rossmann, R., Link, W. A., French, J. B., Bennett, R. S., & Bauer, W. C. (2007). Effects of methylmercury on reproduction in American kestrels. *Environmental Toxicology and Chemistry*, 26(9), 1856–1866. <https://doi.org/10.1897/06-592R.1>
- Álvarez, J., Sotero, V., Brack-Egg, A., & Ipenza-Peralta, C. A. (2011). *Minería Aurífera En Madre De Dios Y Contaminación Con Mercurio: Una Bomba De Tiempo*. <https://sinia.minam.gob.pe/documentos/mineria-aurifera-madre-dios-contaminacion-mercurio-una-bomba-tiempo>
- Aparicio, L. M. (2015). *El Mercurio en la Cuenca del Tambopata. Repercusiones en la Salud Humana y del Ecosistema* [Universidad Nacional Agraria La Molina]. <http://repositorio.lamolina.edu.pe/bitstream/handle/UNALM/1164/T007356.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- 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. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2021.107455>
- Araujo-Flores, J., Timaná Mendoza, C., Pillaca, M., Rodriguez Achata, L., Anchante, H. A., Enciso, M. A., Ortega Torres, H., Ascorra, C., Silman, M., & Fernandez, L. E. (2024). *Nuevos humedales en la pampa minera de Madre de Dios: Oportunidades y desafíos para el desarrollo y la conservación*. [https://cincia.wfu.edu/wp-content/uploads/Brief-Diagnóstico-Ambiental-de-Nuevos-Humedales.pdf?utm\\_source=chatgpt.com](https://cincia.wfu.edu/wp-content/uploads/Brief-Diagnóstico-Ambiental-de-Nuevos-Humedales.pdf?utm_source=chatgpt.com)
- Bank, M. (2012). *Bank, M.S. (editor). 2012. Mercury in the Environment: Pattern and*

*Process. University of California Press, Berkeley, CA. 360 pages.*

- Bank, M. S. (2014). *Mercury in the Environment : Pattern and Process* . (Issue June 2014).
- 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>
- Bond, A. L., & Diamond, A. W. (2009). Total and methyl mercury concentrations in seabird feathers and eggs. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology*, 56(2), 286–291. <https://doi.org/10.1007/s00244-008-9185-7>
- Boulant, 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>
- Bowles, K. C., Apte, S. C., Maher, W. A., & Kawei, M. (2001). Bioaccumulation and biomagnification of mercury in Lake Murray , Papua New Guinea. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 58, 888–897. <https://doi.org/10.1139/cjfas-58-5-888>
- 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>
- Burger, J. (1996). Ecological Effects and Biomonitoring for Mercury in Tropical Ecosystems. *Water, Air, and Soil Pollution*, 97, 265–272.
- Burger, J., & Gochfeld, M. (1997). Risk, mercury levels, and birds: Relating adverse laboratory effects to field biomonitoring. *Environmental Research*, 75(2), 160–172. <https://doi.org/10.1006/enrs.1997.3778>
- Burger, J., & Gochfeld, M. (2004). Marine Birds as Sentinels of Environmental Pollution. *EcoHealth*, 1, 263–274. <https://doi.org/10.1007/s10393-004-0096-4>



- Burger, J., & Gochfeld, M. (2009). Mercury and other metals in feathers of common eider (*Somateria mollissima*) and tufted puffin (*Fratercula cirrhata*) from the aleutian chain of alaska. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology*, 56(3), 596–606. <https://doi.org/10.1007/s00244-008-9207-5>
- Burger, J., Gochfeld, M., Sullivan, K., Irons, D., & McKnight, A. (2008). Arsenic, cadmium, chromium, lead, manganese, mercury, and selenium in feathers of Black-legged Kittiwake (*Rissa tridactyla*) and Black Oystercatcher (*Haematopus bachmani*) from Prince William Sound, Alaska. *Science of the Total Environment*, 398(1–3), 20–25. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2008.02.051>
- Burnham, K. P. (2002). Model Selection and Multimodel Inference: a Practical Information-theoretical Approach. *Springer-Verlag, USA*, 488.
- 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](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>
- Carravieri, A., Cherel, Y., Blévin, P., Brault-Favrou, M., Chastel, O., & Bustamante, P. (2014). Mercury exposure in a large subantarctic avian community. *Environmental Pollution*, 190, 51–57. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2014.03.017>
- Chuvieco, E. (2002). *Teledetección ambiental: La observación de la Tierra desde el espacio*. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/libro?codigo=286798>
- Clarkson, T. W. (1997). The toxicology of mercury. *Critical Reviews in Clinical Laboratory Sciences*, 34(3), 369–403. <https://doi.org/10.1309/5hy1-v3ne-2lfl-p9mt>
- Congalton, R. G., & Green, K. (2009). *Assessing the Accuracy of Remotely Sensed Data: Principles and Practices* (2nd ed.). <https://doi.org/10.1201/9780429052729>
- 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>
- Cristol, D. A., Brasso, R. L., Condon, A. M., Fovargue, R. E., Friedman, S. L., Hallinger, K. K., Monroe, A. P., & White, A. E. (2008). The movement of aquatic mercury through terrestrial food webs. *Science*, 320(5874), 335.  
<https://doi.org/10.1126/science.1154082>
- Dauwe, T., Bervoets, L., Blust, R., Pinxten, R., & Eens, M. (2000). Can excrement and feathers of nestling songbirds be used as biomonitors for heavy metal pollution? *Archives of Environmental Contamination and Toxicology*, 39(4), 541–546.  
<https://doi.org/10.1007/s002440010138>
- Dauwe, T., Bervoets, L., Pinxten, R., Blust, R., & Eens, M. (2003). Variation of heavy metals within and among feathers of birds of prey: Effects of molt and external contamination. *Environmental Pollution*, 124(3), 429–436.  
[https://doi.org/10.1016/S0269-7491\(03\)00044-7](https://doi.org/10.1016/S0269-7491(03)00044-7)
- Di Marzio, A., Gómez-Ramírez, P., Barbar, F., Lambertucci, S. A., García-Fernández, A. J., & Martínez-López, E. (2018). Mercury in the feathers of bird scavengers from two areas of patagonia (Argentina) under the influence of different anthropogenic activities: A preliminary study. *Environmental Science and Pollution Research*, 25(14), 13906–13915. <https://doi.org/10.1007/s11356-018-1333-7>
- Driscoll, C. T., Mason, R. P., Chan, H. M., Jacob, D. J., & Pirrone, N. (2013). Mercury as a global pollutant: Sources, pathways, and effects. *Environmental Science and Technology*, 47(10), 4967–4983. <https://doi.org/10.1021/es305071v>
- ESA. (2015). *Sentinel-2 User Handbook*. (Issue 1).  
[https://sentinels.copernicus.eu/documents/247904/685211/Sentinel-2\\_User\\_Handbook?utm\\_source=chatgpt.com](https://sentinels.copernicus.eu/documents/247904/685211/Sentinel-2_User_Handbook?utm_source=chatgpt.com)
- Espín, S., Martínez-López, E., León-Ortega, M., Calvo, J. F., & García-Fernández, A. J. (2014). Factors that influence mercury concentrations in nestling Eagle Owls (*Bubo*

- bubo). *Science of the Total Environment*, 470–471, 1132–1139. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2013.10.063>
- 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>
- Evers, D. C., Savoy, L. J., Desorbo, C. R., Yates, D. E., Hanson, W., Taylor, K. M., Siegel, L. S., Cooley, J. H., Bank, M. S., Major, A., Munney, K., Mower, B. F., Vogel, H. S., Schoch, N., Pokras, M., Goodale, M. W., & Fair, J. (2008). Adverse effects from environmental mercury loads on breeding common loons. *Ecotoxicology*, 17(2), 69–81. <https://doi.org/10.1007/s10646-007-0168-7>
- Fernández C., C., & Baptista L., P. (2014). *Metodología de la investigación* (Sexta Edic).
- Field, A. P. (2018). *Discovering Statistics Using {IBM} {SPSS} Statistics* (5th ed.). SAGE Publications. <https://collegepublishing.sagepub.com/products/discovering-statistics-using-ibm-spss-statistics-5-260423>
- Fitzgerald, W. F., & Clarkson, T. W. (1991). Mercury and monomethylmercury: Present and future concerns. *Environmental Health Perspectives*, 96, 159–166. <https://doi.org/10.1289/ehp.9196159>
- 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>
- 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., 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>
- 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>
- Ghasemi, A., & Zahediasl, S. (2012). Normality Tests for Statistical Analysis: A Guide for Non-Statisticians. *International Journal of Endocrinology and Metabolism*, 10(2), 486–489. <https://doi.org/10.5812/ijem.3505>
- Gilmour, C. C., Podar, M., Bullock, A. L., Graham, A. M., Brown, S. D., Somenahally, A. C., Johs, A., Hurt, R. A., Bailey, K. L., & Elias, D. A. (2013). *Mercury Methylation by Novel Microorganisms from New Environments*.
- Gobierno del Perú. (1994). Ley N° 26311. Declaran Capital de la Biodiversidad del Perú al departamento de Madre de Dios. *Gobierno Del Perú*, 1. <http://leyes.congreso.gob.pe/Documentos/Leyes/26311.pdf>
- Gonzalez, D. (2015). *Tres especies de aves acuáticas como bioindicadores de la contaminación por metales pesados del lago de chapala*. Instituto Politecnico Nacional.
- Gorelick, N., Hancher, M., Dixon, M., Ilyushchenko, S., Thau, D., & Moore, R. (2017). Google Earth Engine: Planetary-scale geospatial analysis for everyone. *Remote Sensing of Environment*, 202, 18–27. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2017.06.031>
- Guangliang, L., Yong, C., & O'Driscoll, N. (2012). *Environmental Chemistry and Toxicology of Mercury*. John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, New Jersey.
- Hallinger, K. K., Cornell, K. L., Brasso, R. L., & Cristol, D. A. (2011). Mercury exposure and survival in free-living tree swallows (*Tachycineta bicolor*). *Ecotoxicology*, 20(1), 39–46. <https://doi.org/10.1007/s10646-010-0554-4>
- Hallinger, K. K., Zabransky, D. J., Kazmer, K. A., & Cristol, D. A. (2010). Birdsong differs between mercury-polluted and reference sites. *Auk*, 127(1), 156–161. <https://doi.org/10.1525/auk.2009.09058>
- Hollander, M., Wolfe, D. A., & Chicken, E. (2014). *Nonparametric Statistical Methods* (3rd ed.). Wiley. <https://doi.org/10.1002/9781119196037>

- 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>
- Jackson, A. K., Evers, D. C., Etterson, M. A., Condon, A. M., Folsom, S. B., Detweiler, J., Schmerfeld, J., & Cristol, D. A. (2011). Mercury exposure affects the reproductive success of a free-living terrestrial songbird, the carolina wren (*Thryothorus Ludovicianus*). *Auk*, 128(4), 759–769. <https://doi.org/10.1525/auk.2011.11106>
- Jackson, A. K., Evers, D. C., Folsom, S. B., Condon, A. M., Diener, J., Goodrick, L. F., McGann, A. J., Schmerfeld, J., & Cristol, D. A. (2011). Mercury exposure in terrestrial birds far downstream of an historical point source. *Environmental Pollution*, 159(12), 3302–3308. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2011.08.046>
- Jasinski, S. M. (1995). The materials flow of mercury in the United States. *Resources, Conservation and Recycling*, 15(3–4), 145–179. [https://doi.org/10.1016/0921-3449\(95\)00032-1](https://doi.org/10.1016/0921-3449(95)00032-1)
- Jensen, J. R. (2005). *Introductory Digital Image Processing: A Remote Sensing Perspective* (3rd ed.). [https://www.scirp.org/reference/ReferencesPapers?ReferenceID=2001065&utm\\_source=chatgpt.com](https://www.scirp.org/reference/ReferencesPapers?ReferenceID=2001065&utm_source=chatgpt.com)
- Kopec, A. D., Bodaly, R. A., Lane, O. P., Evers, D. C., Leppold, A. J., & Mittelhauser, G. H. (2018). Elevated mercury in blood and feathers of breeding marsh birds along the contaminated lower Penobscot River, Maine, USA. *Science of the Total Environment*, 634, 1563–1579. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.03.223>
- Kumar, K. S., Al Shoaibi, A., & Srinivasakannan, C. (2014). Elemental mercury adsorption on sulfur-impregnated porous carbon-A review. *Environmental Technology (United Kingdom)*, 35(1), 18–26. <https://doi.org/10.1080/21622515.2013.804589>
- Lewis, S. A., & Furness, R. W. (1993). *The role of eggs in mercury excretion by Quail*

*Coturnix coturnix and the implications for monitoring mercury pollution by analysis of feathers.* 64, 55–64.

- Li, C., Xu, Z., Luo, K., Chen, Z., Xu, X., Xu, C., & Qiu, G. (2021). Biomagnification and trophic transfer of total mercury and methylmercury in a sub-tropical montane forest food web, southwest China. *Chemosphere*, 277, 130371. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2021.130371>
- Lillesand, T. M., Kiefer, R. W., & Chipman, J. W. (2015). *Remote sensing and image interpretation* (7th ed.). [https://www.bkbcollege.in/upload/dpt\\_book/1669887716.pdf?utm\\_source=chatgpt.com](https://www.bkbcollege.in/upload/dpt_book/1669887716.pdf?utm_source=chatgpt.com)
- 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>
- Machado Carrillo, A. (1997). Factores ecológicos, hábitat y dinámica de las poblaciones. *Ecología y Medio Ambiente: Ecosistemas Insulares Canarios*. <https://www.antoniomachado.net/wp-content/uploads/pdf/informative/1997-factores-ecologicos-habitat-dinamica-poblaciones.pdf>
- McCulloch, C. E. (2003). *Generalized Linear Mixed Models* (Vol. 7). <https://doi.org/10.1007/bfb0048712>
- McLagan, D. S. (2018). *A Passive Air Sampler for Precise, Spatially Distributed Atmospheric Gaseous Mercury Monitoring and Source Characterization* [University of Toronto]. [http://ezproxy.puc.cl/docview/2082259661?accountid=16788%0Ahttp://todosibuc.uc.cl/openurl/56PUC\\_INST/56PUC\\_INST\\_SP?url\\_ver=Z39.88-2004&rft\\_val\\_fmt=info:ofi/fmt:kev:mtx:dissertation&genre=dissertations+%26+theses&sid=ProQ:ProQuest+Dissertations+%26+Theses+](http://ezproxy.puc.cl/docview/2082259661?accountid=16788%0Ahttp://todosibuc.uc.cl/openurl/56PUC_INST/56PUC_INST_SP?url_ver=Z39.88-2004&rft_val_fmt=info:ofi/fmt:kev:mtx:dissertation&genre=dissertations+%26+theses&sid=ProQ:ProQuest+Dissertations+%26+Theses+)
- McLagan, D. S., Mitchell, C. P. J., Huang, H., Lei, Y. D., Cole, A. S., Steffen, A., Hung, H., & Wania, F. (2016). A High-Precision Passive Air Sampler for Gaseous

- Mercury. *Environmental Science and Technology Letters*, 3(1), 24–29.  
<https://doi.org/10.1021/acs.estlett.5b00319>
- Mena, J. L., & Germaná, C. (2016). *Diversidad biológica del sudeste de la Amazonía Peruana: avances en la investigación. Consorcio Purús- Manu: WWF, CARE Perú, ProNaturaleza, ProPurús, Sociedad Zoológica de Fráncfort, ORAU. Lima. Hecho.*
- Moller, A. P., & Liang, W. (2013). Tropical birds take small risks. *Behavioral Ecology*, 24(1), 267–272. <https://doi.org/10.1093/beheco/ars163>
- Motta-Junior, J. (2002). Diet of breeding Tropical Screech-Owls (*Otus choliba*) in southeastern Brazil. *Journal of Raptor Research*, 36, 332–334.
- NABC. (2003). Guía de estudio del anillador de norteamérica. *North American Banding Council*, 74. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2699.2005.01324.x>
- Newman, M. C. (2015). *Fundamentals of Ecotoxicology: The Science of Pollution* (4th ed.). CRC Press.
- O'Driscoll, N. J., Rencz, A., & Lean, D. R. S. (2005). The biogeochemistry and fate of mercury in the environment. *Metal Ions in Biological Systems*, 43(February), 221–238. <https://doi.org/10.1201/9780824751999.ch9>
- OEFA. (2020). *Evaluación ambiental de causalidad en el ámbito de los botaderos de desmonte Este, Sur y Suroeste, pad de lixiviación (6 fases) y tajo Quicay de la unidad fiscalizable Quicay, en el 2020.*
- Pacyna-Kuchta, A. D. (2023). What should we know when choosing feather , blood , egg or preen oil as biological samples for contaminants detection ? A non-lethal approach to bird sampling for PCBs , OCPs , PBDEs and PFASs. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, 53(5), 625–649.  
<https://doi.org/10.1080/10643389.2022.2077077>
- 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.

- Pirrone, N., & Mason, R. (2009). *Mercury Fate and Transport in the Global Atmosphere*.  
<https://doi.org/10.1007/978-0-387-93958-2>
- Plenge, M. A. (2023). List of the birds of Peru (Lista de las aves del Peru). *Unión de Ornitólogos Del Perú*. <https://sites.google.com/site/boletinunop/checklist>
- PNUMA. (2017). *Convenio Minamata sobre el Mercurio*. 1–24.  
<https://www.thegef.org/topics/mercury>
- PNUMA. (2018). Evaluación mundial de mercurio 2018: principales conclusiones. *Programa de Las Naciones Unidas Para El Medio Ambiente*, 6.  
[https://wedocs.unep.org/bitstream/handle/20.500.11822/29830/GMAKF\\_SP.pdf?sequence=6&isAllowed=y](https://wedocs.unep.org/bitstream/handle/20.500.11822/29830/GMAKF_SP.pdf?sequence=6&isAllowed=y)
- Rimmer, C. C., Mcfarland, K. P., Evers, D. C., Miller, E. K., Aubry, Y., Busby, D., & Taylor, R. J. (2005). Mercury concentrations in Bicknell's thrush and other insectivorous passerines in montane forests of northeastern North America. *Ecotoxicology*, 14(1–2), 223–240. <https://doi.org/10.1007/s10646-004-6270-1>
- Root, R. B. (2012). *The Niche Exploitation Pattern of the Blue-Gray Gnatcatcher* Author ( s ): Richard B . Root Reviewed work ( s ): Published by : Ecological Society of America Stable URL : <http://www.jstor.org/stable/1942327> . BLUE-GRAY GNATCATCHER1. 37(4), 317–350.
- 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](https://doi.org/10.1579/0044-7447(2007)36[12:EOEMOT]2.0.CO;2)
- Schulenberg, T. S., Stotz, D., Lane, D. F., Oneill, J. P., & Parker III, T. A. (2007). *Birds of Perú* (Vol. 6, Issue August).
- 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.

- 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 Orquideas National Natural Park, Colombia. *Environmental Science and Pollution Research*, 25(35), 35055–35063. <https://doi.org/10.1007/s11356-018-3359-2>
- Suthar, S., & Singh, P. (2015). Household solid waste generation and composition in different family size and socio-economic groups : A case study. *Sustainable Cities and Society*, 14, 56–63. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2014.07.004>
- Swaddle, J. P., Diehl, T. R., Taylor, C. E., Fanaee, A. S., Benson, J. L., Huckstep, N. R., & Cristol, D. A. (2017). Exposure to dietary mercury alters cognition and behavior of zebra finches. *Current Zoology*, 63(2), 213–219. <https://doi.org/10.1093/cz/zox007>
- Symonds, M. R. E., & Moussalli, A. (2011). A brief guide to model selection, multimodel inference and model averaging in behavioural ecology using Akaike's information criterion. *Behavioral Ecology and Sociobiology*, 65(1), 13–21. <https://doi.org/10.1007/s00265-010-1037-6>
- Szponar, N. (2022). *Tracing Atmospheric Sources of Mercury through Passive Air Sampling and Isotope Characterization by and Isotope Characterization* [University of Toronto]. [https://tspace.library.utoronto.ca/bitstream/1807/123560/1/Szponar\\_Natalie\\_202206\\_PhD\\_thesis.pdf](https://tspace.library.utoronto.ca/bitstream/1807/123560/1/Szponar_Natalie_202206_PhD_thesis.pdf)
- Tsipoura, N., Burger, J., Newhouse, M., Jeitner, C., Gochfeld, M., & Mizrahi, D. (2011). Lead , mercury , cadmium , chromium , and arsenic levels in eggs , feathers , and tissues of Canada geese of the New Jersey Meadowlands. *Environmental Research*, 111(6), 775–784. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2011.05.013>
- Turner, M. G., Gardner, R. H., & O'Neill, R. V. (2001). Landscape Ecology in Theory and Practice: Pattern and Process. *Springer*.

- UNEP. (2019). *Global Mercury Assessment 2018*.
- 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>
- Weng, Q. (2010). *Remote sensing and GIS integration: Theories, methods, and applications*. McGraw-Hill Education.
- White, A. E., Cristol, D. A., & William, C. (2014). *Effects of mercury and sex on plumage in belted kingfishers*.
- 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>
- Wilke, C. O. (2019). *Fundamentals of Data Visualization: A Primer on Making Informative and Compelling Figures*. O'Reilly Media.  
<https://www.oreilly.com/library/view/fundamentals-of-data/9781492031079/>
- 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>
- Zebral Dornelles, Y., Costa Gomes, P., Marques de Souza, M., & Bianchini, A. (2022). Avian blood and feathers as biological tools to track impacts from trace-metals: Bioaccumulation data from the biggest environmental disaster in Brazilian history. *Science of the Total Environment*, 807.  
<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.151077>
- 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>

# ANEXOS

## Anexo 1. Matriz de consistencia

Problema	Objetivo	Hipótesis	Variables	Metodología	Técnicas e instrumentos de recolección de datos
<b>General:</b>  ¿Cuáles son los niveles de mercurio en aves de bosques colindantes a actividad de Minería Artesanal y de Pequeña Escala (MAPE) en Madre de Dios.2019?	<b>General:</b>  Determinar los niveles de mercurio en aves de bosques colindantes a actividad de Minería Artesanal y de Pequeña Escala (MAPE) en Madre de Dios.	<b>General:</b>  Los niveles de mercurio en aves son significativamente más altos en bosques colindantes a actividades de Minería Artesanal y de Pequeña Escala (MAPE) frente a bosques prístinos.	<b>Variable dependiente:</b>  - Niveles de mercurio  <b>Variables independientes:</b>  - Aves de bosque prístinos y colindantes a minería  - Extensión espacial  - Factores ecológicos	<b>TIPO DE INVESTIGACION:</b>  Cuantitativa, descriptiva, transversal y explicativa.  <b>POBLACION:</b> Aves que habitan los bosques prístinos y colindantes a actividad de minería aurífera.	<b>Capturas de aves y colecta de datos morfométricos:</b> Fichas de campo, guías de identificación, kit de medición.  <b>Colecta de plumas:</b> Sobres de papel y sílica gel  <b>Muestreo de mercurio en aire:</b> Muestreadores de aire pasivos (PAS).  <b>Extensión espacial del mercurio:</b> Análisis de

<p><b>Específicos:</b></p> <p>¿Qué diferencias existen entre los niveles de mercurio en aves de bosques prístinos y bosques colindantes a actividad de Minería Artesanal y de Pequeña Escala (MAPE) en Madre de Dios. 2019?</p> <p>¿Cómo varía la extensión espacial del mercurio en aves desde una fuente potencial de contaminación hacia el interior de los bosques prístinos y colindantes a actividad de Minería</p>	<p><b>Específicos:</b></p> <p>Evaluar las diferencias entre niveles de mercurio en aves de bosque prístinos y bosques colindantes a actividad de Minería Artesanal y de Pequeña Escala (MAPE) en Madre de Dios en 2019. –</p> <p>Analizar la extensión espacial de los niveles de mercurio en aves desde un lugar potencial de contaminación de hacia el interior de los bosques colindantes a</p>	<p><b>Específicos:</b></p> <p>Existen diferencias significativas en los niveles de mercurio en aves entre bosques prístinos y bosques colindantes a actividades de Minería Artesanal y de Pequeña Escala (MAPE) en Madre de Dios.</p> <p>La concentración de mercurio en aves disminuye con la distancia desde una fuente potencial de contaminación hacia el interior de los bosques</p>		<p><b>MUESTRA:</b> Aves capturadas en bosques prístinos y colindantes a actividad de minería aurífera.</p>	<p>imágenes multiespectrales Sentinel-2A y Sentinel-2B.</p> <p><b>Análisis de mercurio:</b> Analizador directo de mercurio (DMA 80).</p> <p><b>Análisis estadístico:</b> Prueba de normalidad de Shapiro–Wilk.</p>
---	--	---	--	--	--

Artesanal y de Pequeña Escala (MAPE) en Madre de Dios. 2019?	actividad de Minería Artesanal y de Pequeña Escala (MAPE) en Madre de Dios en 2019.	prístinos y colindantes a actividad de Minería Artesanal y de Pequeña Escala (MAPE).			
¿Cuáles son los factores ecológicos que influyen en las concentraciones de mercurio en aves de los bosques colindantes a actividad de Minería Artesanal y de Pequeña Escala (MAPE) en Madre de Dios. 2019?	Identificar factores ecológicos que influyen en los niveles de mercurio en aves de los bosques colindantes a actividad de Minería Artesanal y de Pequeña Escala (MAPE) en Madre de Dios 2019.	Factores ecológicos como el gremio alimenticio, la presencia de minería y el área de las pozas mineras influyen en las concentraciones de mercurio en aves de bosques prístinos y colindantes a actividad de Minería Artesanal y de Pequeña Escala (MAPE).			

## **Anexo 2. Fotografías de las áreas de estudio**

### **A) Área afectada por minería artesanal en el Sector Azul de la Reserva Nacional Tambopata**











**c) Lago La Torre, ubicado en el área evaluada de la Reserva Nacional Tambopata**



### Anexo 3. Permisos para el desarrollo de investigación científica dentro de Áreas Naturales Protegidas



Jessica  
Nataly  
Pisconte  
Camargo  
0014103994



REPUBLICA DEL PERU

**RESOLUCIÓN JEFATURAL DE LA RESERVA NACIONAL TAMBOPATA**

**N° 10-2019-SERNANP-JEF**

Puerto Maldonado 07 de junio de 2019

**VISTO:**

El Informe N° 40-2019-SERNANP-RNTAMB/EFG del 05 de junio de 2019, a través del cual se evaluó la solicitud presentada por la Srta. Jessica Nataly Pisconte Camargo, para realizar la investigación científica denominada **"Incidencia y Ámbito de Afectación del Mercurio en Aves Expuestas a Minería Ilegal en la Reserva Nacional Tambopata"** al interior de la Reserva Nacional Tambopata; y,

**CONSIDERANDO:**


Que, según lo previsto en los incisos g) e i) del artículo 2° de la Ley N° 26834, Ley de Áreas Naturales Protegidas, uno de sus principales objetivos de protección es servir de sustento y proporcionar medios y oportunidades para el desarrollo de la investigación científica;

Que, en concordancia con ello, en el artículo 29° de la precitada Ley, se establece que el Estado reconoce la importancia de las Áreas Naturales Protegidas para el desarrollo de la investigación científica básica y aplicada, siempre que no afecte los objetivos de conservación, se respete la zonificación y las condiciones establecidas en el Plan Maestro;

Que, la actualización del Plan Director de las Áreas Naturales Protegidas, aprobada por Decreto Supremo N° 016-2009-MINAM, refiere que la investigación científica constituye una herramienta básica para la generación de información que permita mejorar el conocimiento sobre la diversidad biológica, así como para el manejo de recursos naturales y la gestión de riesgos y amenazas;

Que, mediante Decreto Supremo N° 010-2015-MINAM del 23 de setiembre de 2015, se declara de interés nacional el desarrollo de investigaciones al interior de las Áreas Naturales Protegidas de administración nacional, determinándose su gratuidad, así como los procedimientos de aprobación automática y evaluación previa para su otorgamiento;

Que, en el artículo 4° del mencionado Decreto Supremo, se prevé cinco supuestos en los que la autorización de investigación requiere de evaluación previa: a) ingreso a ámbitos de acceso restringido, b) la colecta o extracción de muestras biológicas, c) se prevea la alteración del entorno o instalación de infraestructura en el caso de áreas naturales protegidas de administración nacional, d) el uso de equipo o infraestructura perteneciente a las ANP de administración nacional, e) investigación en predios privados;



RESERVA NACIONAL TAMBOPATA  
V.B.  
Ing. Vladimir Ramirez Prado  
JEFE  
-SERNANP-

1



Que, mediante Resolución Presidencial N° 287-2015-SERNANP, publicado el 20 de enero de 2016, se aprueban las Disposiciones Complementarias al Reglamento de la Ley de Áreas Naturales Protegidas en materia de investigación, las mismas que establecen las normas y lineamientos que regulan las investigaciones realizadas al interior de las Áreas Naturales Protegidas de administración nacional;

Que, en el artículo 23° de las precitadas Disposiciones Complementarias se establecen los criterios de evaluación del Plan de Investigación;

Que, mediante Resolución Ministerial N° 35-2017-MINAM de fecha 03 de febrero del 2017, modifica, entre otros, el Procedimiento N° 4 del Texto Único de Procedimientos Administrativos - TUPA del SERNANP, aprobado mediante Decreto Supremo N° 002-2012-MINAM, y modificado mediante Resolución Ministerial N° 152-2016-MINAM y Resolución Ministerial N° 315-2016-MINAM;

Que, mediante Resolución Presidencial N° 099-2017-SERNANP, publicado el 18 de abril de 2017, se modifica el proceso GAN-01-10-Otorgamiento de Certificado de Procedencia, asimismo se deja sin efecto la Resolución Presidencial N° 250-2013-SERNANP que aprobó el Certificado de Procedencia de los recursos naturales renovables forestales, flora y/o fauna silvestre provenientes de las Áreas Naturales Protegidas de administración nacional;

Que, a través del documento visto, La Srta. Jessica Nataly Pisconte Camargo, solicita autorización para realizar investigación científica que incluye: ingreso a ámbitos de acceso restringido, colecta de muestras biológicas y uso de equipo infraestructura del ANP de Administración Nacional, en el marco del proyecto denominado **"Incidencia y Ámbito de Afectación del Mercurio en Aves Expuestas a Minería Ilegal en la Reserva Nacional Tambopata"**, por el periodo de doce (doce) meses;

Que, mediante Informe N° 40-2019-SERNANP-RNTAMB/EFG de fecha 05 de junio de 2019, se evalúa la solicitud presentada, concluyendo otorgar opinión favorable al expediente enviado por el investigador referente al proyecto de investigación **"Incidencia y Ámbito de Afectación del Mercurio en Aves Expuestas a Minería Ilegal en la Reserva Nacional Tambopata"**, al interior de la Reserva Nacional Tambopata, se desarrollará la investigación en una zona de la RNTAMB afectada por minería (ámbito de los Puestos de Control y Vigilancia: Correntada y Azul) y una zona control (ámbito del Puesto de Control y Vigilancia: La Torre), por el periodo de doce (12) meses; asimismo, el expediente cumple con los requisitos establecidos en el artículo 18° de las Disposiciones Complementarias al Reglamento de la Ley de Áreas Naturales Protegidas en materia de investigación, y que el Plan de Investigación se encuentra conforme a los criterios establecidos en el artículo 23° de las Disposiciones Complementarias en mención;



En uso de las atribuciones conferidas por el numeral 2.1 del artículo 2° del Decreto Supremo N° 010-2015-MINAM, el artículo 14° de las Disposiciones Complementarias al Reglamento de la Ley de Áreas Naturales Protegidas en materia de investigación, aprobadas por Resolución Presidencial N° 287-2015-SERNANP, y el artículo 27° del Reglamento de Organización y Funciones del SERNANP, aprobado mediante Decreto Supremo N° 006-2008-MINAM.

#### SE RESUELVE:

**Artículo 1°.-** Autorizar el desarrollo de la investigación científica con ingreso a ámbitos de acceso restringido y efectuar la investigación en predios privados en el marco del proyecto denominado **"Incidencia y Ámbito de Afectación del Mercurio en Aves Expuestas a Minería Ilegal en la Reserva Nacional Tambopata"**, a favor de la señorita Bióloga Jessica Nataly Pisconte Camargo, a ser realizada en el ámbito de la Reserva Nacional de Tambopata por el periodo de doce (12) meses, contado a partir de la fecha de emisión de la presente Resolución.

**Artículo 2°.** - Autorizar el ingreso a la Reserva Nacional Tambopata, en tres puntos diferentes: afectadas por minería (ámbito de los Puestos de Control y Vigilancia: Correntada y Azul) y una zona control (ámbito del Puesto de Control y Vigilancia: La Torre), para el desarrollo de las actividades descritas en el artículo 1° de la presente Resolución, de acuerdo a las coordenadas del cuadro 1:

**Cuadro 1**

Área de estudio	Coordenadas UTM WGS 84	
PVC Azul	401344	8557962
PVC Correntada	418009	8562732
PVC La Torre	467572	8580744

La presente Resolución no autoriza el ingreso a ámbitos ubicados fuera del Área Natural Protegida, así como a su zona de amortiguamiento, debiendo la investigadora solicitar las autorizaciones a la entidad correspondiente.

**Artículo 3°.** – Autorizar el ingreso a la Reserva Nacional Tambopata a las siguientes personas, integrantes del equipo de investigación, de acuerdo a lo indicado en el Cuadro N° 2.

**Cuadro N° 2**

Nombre y Apellidos	DNI/ PASAPORTE	Nacionalidad	Cargo
Jessica Nataly Pisconte Camargo	47035994	Peruana	Responsable
Cristian Steven Sevillano Ríos	42477069	Peruana	Colaborador
Nicolás Willian Mamani Cabana	47861873	Peruana	Asistente
Julio Cesar Salvador Rodríguez	72549736	peruana	Asistente

**Artículo 4°.** – Autorizar la colecta de las siguientes muestras biológicas, según cuadro 03.

**Cuadro 03**

Denominación de los especímenes a extraer a colectar y cantidades de las mismas a extraer o colectar.

Nombre científico (Familia)	Tipo de muestra	* Cantidad estimada de individuos a capturar temporalmente	Cantidad de Sangre / Individuo	**Cantidad de plumas / Individuo	Colecta o captura temporal	Finalidad de la colecta o captura temporal
Trochillidae	Sangre y plumas	60	75 ul	5-10	Sí	Análisis de Hg
Psittacidae	Sangre y plumas	60	75 ul	5-10	Sí	Análisis de Hg
Icteridae	Sangre y plumas	60	75 ul	5-10	Sí	Análisis de Hg
Troglodytidae	Sangre y plumas	80	75 ul	5-10	Sí	Análisis de Hg





Bucconidae	Sangre y plumas	40	75 ul	5-10	Si	Análisis de Hg
Cerylidae	Sangre y plumas	50	75 ul	5-10	Si	Análisis de Hg
Thraupidae	Sangre y plumas	150	75 ul	5-10	Si	Análisis de Hg
Picidae	Sangre y plumas	70	75 ul	5-10	Si	Análisis de Hg
Columbidae	Sangre y plumas	50	75 ul	5-10	Si	Análisis de Hg
Tinamidae	Sangre y plumas	10	75 ul	5-10	Si	Análisis de Hg
Corvidae	Sangre y plumas	20	75 ul	5-10	Si	Análisis de Hg
Galbulidae	Sangre y plumas	15	75 ul	5-10	Si	Análisis de Hg
Momotidae	Sangre y plumas	20	75 ul	5-10	Si	Análisis de Hg
Tyrannidae	Sangre y plumas	150	75 ul	5-10	Si	Análisis de Hg

No deberán hacer colecta de especies categorizadas en peligro crítico (CR), en peligro (EN), y vulnerable, a menos que no haya posibilidad de realizar una identificación taxonómica precisa en campo.

Se precisa que la autorización no otorga la colecta de especies amenazadas ni especies que no se mencionen en la solicitud presentada; por lo que el investigador deberá tener especial cuidado con la colecta de sus muestras.

Cabe precisar que la presente autorización no otorga derechos sobre los recursos genéticos o productos derivados de las muestras colectadas, por ende, el investigador debe realizar los trámites correspondientes para analizar y exportar las muestras ante la entidad competente.

**Artículo 5°.** - Los integrantes del equipo de investigación son responsables de conocer y cumplir las disposiciones contenidas en la Ley N° 26834 — Ley de Áreas Naturales Protegidas y su reglamento, aprobado mediante Decreto Supremo N°038-2001-AG, modificado por el Decreto Supremo N°010-2015-MINAM, así como la Resolución Presidencial N° 287-2015-SERNANP. Asimismo, deberá cumplir con las normas que la Jefatura y su personal dispongan durante el desarrollo de la investigación.

**Artículo 6°.** – La Srta. Bióloga Jessica Nataly Pisconte Camargo, autorizada en el artículo 1° de la presente Resolución, en su calidad de investigador responsable principal asume las siguientes obligaciones y compromisos:

- Registrar el ingreso y salida de manera obligatoria de los participantes del proyecto en el PVC Más Cercano de los puntos del proyecto, bajo responsabilidad del investigador autorizado en el artículo 1 de la presente resolución.
- Dejar copia de la autorización al personal del ANP que lo solicite.
- No extraer muestras biológicas distintas a las autorizadas.
- Tramitar el certificado de procedencia, cuando requiera trasladar las muestras de material biológico colectado fuera del ámbito del ANP.
- Comunicar al SERNANP cualquier nuevo registro para la ciencia, debiendo entregar una copia del nuevo taxón en una institución científica nacional autorizada. La extracción de dichos ejemplares incluyendo los nuevos registros para el ANP deberán ser reportado a la jefatura de ANP (en el puesto de control o sedimento



- sede administrativa más cercana) para su respectiva consignación en el certificado de procedencia.
- f. Gestionar los permisos de exportación ante la autoridad competente, cuando se requiere enviar al extranjero parte del material biológico colectado.
  - g. Entregar una vez publicado y/o culminada la investigación, una copia física y digital del informe final antes del 31 de julio de 2020 (bajo los términos de la Jefatura) o la publicación a la jefatura de la Reserva Nacional Tambopata y autorizar su registro en la biblioteca digital del SERNANP.

El incumplimiento injustificado de estos compromisos producirá el ingreso del responsable del proyecto a la lista de investigadores inhabilitados para próximas autorizaciones emitidas por el SERNANP.

**Artículo 7°.-** La autorización a la que se refiere el Artículo 1° caducará automáticamente al vencer el plazo concedido, por el incumplimiento injustificado de los compromisos adquiridos o por cualquier daño al patrimonio natural, sin perjuicio de las responsabilidades administrativas, civiles o penales que pudieran originarse.

**Artículo 8°.-** Todas las muestras colectadas serán reportadas a la jefatura de la reserva nacional Tambopata, inmediatamente después de la culminación de las labores de campo en el puesto de Control o sede administrativa más cercana, para emisión del certificado de procedencia correspondiente.

**Artículo 9°.-** El SERNANP se abstiene de toda responsabilidad por los accidentes o daños que puedan sufrir los integrantes del equipo de investigación durante el desarrollo del proyecto de investigación científica.

**Artículo 10°.-** Regístrese la presente Resolución en el Módulo de Seguimiento a las autorizaciones de investigación del SERNANP, en el archivo de autorizaciones de la Reserva Nacional de Tambopata y publíquese en la página web del SERNANP ([www.sernanp.gob.pe](http://www.sernanp.gob.pe)).

Regístrese y comuníquese.

Ministerio del Ambiente  
SERNANP  
  
Ing. Vladimir Ramirez Prada  
JEFE  
Reserva Nacional Tambopata





*Jessica*  
Jessica Nataly  
Pisconte Camargo  
DNI 47035999

**RESOLUCION JEFATURAL DE LA RESERVA NACIONAL TAMBOPATA**  
**N°16-2019-SERNANP-JEF**

Puerto Maldonado, 11 de julio de 2019

**VISTOS:**

La Resolución Jefatural de la Reserva Nacional Tambopata N° 010-2019-SERNANP-JEF, emitida el 7 de junio del 2019, mediante la cual se otorga la autorización de investigación científica a favor de Jessica Pisconte para el proyecto denominado **"Incidencia y Ámbito de Afectación del Mercurio en Aves Expuestas a Minería Ilegal en la Reserva Nacional Tambopata"**, por el periodo de un (01) año; quien el 27 de junio del 2019 presentó solicitud de modificación de la Resolución mencionada según el Informe N° 051-2019-SERNANP-RNTAMB/EFG de fecha 11 de julio de 2019; y,

**CONSIDERANDO:**



Que, a través de la Segunda Disposición Complementaria Final del Decreto Legislativo N° 1013, Ley de Creación, Organización y Funciones del Ministerio del Ambiente, se crea el Servicio Nacional de Áreas Naturales Protegidas por el Estado – SERNANP, como organismo público, técnico y especializado, adscrito al Ministerio del Ambiente, el mismo que se constituye en el ente rector del Sistema Nacional de Áreas Naturales Protegidas por el Estado – SINANPE, y en su autoridad Técnico-Normativa;

Que, el artículo 29° de la Ley N° 26834, Ley de Áreas Naturales Protegidas establece que el Estado reconoce la importancia de las Áreas Naturales Protegidas para el desarrollo de la investigación científica básica y aplicada, siempre que no afecte los objetivos de conservación, se respete la zonificación y las condiciones establecidas en el Plan Maestro;

Que, mediante Decreto Supremo N° 010-2015-MINAM, publicado el 23 de setiembre de 2015, se declara de interés nacional el desarrollo de investigaciones al interior de las Áreas Naturales Protegidas de administración nacional, determinándose su gratuidad, así como los procedimientos de aprobación automática y evaluación previa para su otorgamiento;

Que, mediante Resolución Presidencial N° 287-2015-SERNANP, publicada el 20 de enero de 2016, se aprueban las Disposiciones Complementarias al Reglamento de la Ley de Áreas Naturales Protegidas en materia de investigación, las mismas que establecen las normas y lineamientos que regulan las investigaciones realizadas al interior de las Áreas Naturales Protegidas de administración nacional;

Que, a través de la Resolución Jefatural de la Reserva Nacional Tambopata N°010-2019-SERNANP-JEF, emitida con fecha 07 de junio del 2019, se resolvió autorizar el ingreso para realizar investigación científica a Jessica Pisconte Camargo identificada con DNI N° 47035994 en el marco del proyecto **"Incidencia y Ámbito de Afectación del Mercurio en Aves Expuestas a Minería Ilegal en la Reserva Nacional Tambopata"**, por el periodo de un (01) año, comprendido desde el 01 de julio de 2019 hasta el 01 de julio del 2020;

Que, a través de la solicitud de extensión de la resolución N° 010-2019, de fecha 27 de junio del 2019, la Srta. Jessica Pisconte Camargo, solicita la modificación de la autorización de ingreso para ampliar el número de familia y el número de muestras ambientales a colectar, perteneciente al proyecto **"Incidencia y Ámbito de Afectación del Mercurio en Aves Expuestas a Minería Ilegal en la Reserva Nacional Tambopata"**;

Que, mediante Informe N° 051-2019-SERNANP-RNTAMB/EFG de fecha 11 de julio de 2019, se emite Opinión favorable a la solicitud presentada y se recomienda modificar el artículo 4°, para ampliar el número de familia y el número de muestras ambientales a colectar; de la Resolución Jefatural de la Reserva Nacional Tambopata N° 010-2019-SERNANP-JEF para seguir con el cumplimiento de los objetivos del proyecto; y,

En uso de las atribuciones conferidas por el numeral 2.1. del artículo 2° del Decreto Supremo N° 010-2015-MINAM, el artículo 14° de las Disposiciones Complementarias al Reglamento de la Ley de Áreas Naturales Protegidas en materia de investigación, aprobadas por Resolución Presidencial N°287-2015-SERNANP y el artículo 27° del Reglamento de Organización y Funciones del SERNANP, aprobado mediante Decreto Supremo N°006-2008-MINAM.

#### SE RESUELVE:

**Artículo 1°.** – Modificar el artículo 4° de la Resolución Jefatural de la Reserva Nacional Tambopata N°010-2019-SERNANP-JEF, para ampliar el número de familia y el número de muestras ambientales a colectar, a la investigación del proyecto **"Incidencia y Ámbito de Afectación del Mercurio en Aves Expuestas a Minería Ilegal en la Reserva Nacional Tambopata"**, conforme al siguiente detalle:



**Cuadro N° 01. Muestras de fauna a colectar temporalmente**

Nombre científico (Familia)	Tipo de muestra	* Cantidad estimada de individuos a capturar temporalmente	Cantidad de Sangre / Individuo	**Cantidad de plumas / Individuo	Colecta o captura temporal	Finalidad de la colecta o captura temporal
Strigidae	Sangre y plumas	5	75 ul	5-10	Si	Análisis de Hg
Trogonidae	Sangre y plumas	10	75 ul	5-10	Si	Análisis de Hg
Ramphastidae	Sangre y plumas	10	75 ul	5-10	Si	Análisis de Hg
Falconidae	Sangre y plumas	5	75 ul	5-10	Si	Análisis de Hg
Thamnophilidae	Sangre y plumas	80	75 ul	5-10	Si	Análisis de Hg
Conopophagidae	Sangre y plumas	12	75 ul	5-10	Si	Análisis de Hg
Formicariidae	Sangre y plumas	80	75 ul	5-10	Si	Análisis de Hg



Furnariidae	Sangre y plumas	60	75 ul	5-10	Sí	Análisis de Hg
Pipridae	Sangre y plumas	60	75 ul	5-10	Sí	Análisis de Hg
Emberizidae	Sangre y plumas	10	75 ul	5-10	Sí	Análisis de Hg
Fringillidae	Sangre y plumas	20	75 ul	5-10	Sí	Análisis de Hg
Parulidae	Sangre y plumas	20	75 ul	5-10	Sí	Análisis de Hg

**Cuadro N° 02. Muestras de suelo**

Tipo de muestra	Cantidad	Peso por muestra	Finalidad
Suelo	40	500 gr	Análisis de Hg

**Cuadro N° 03. Muestras de aire**

Tipo de muestra	Cantidad	Finalidad
Muestreadores de aire pasivos	40	Análisis de Hg



**Artículo 2°.** – Manténgase vigente todo lo demás en lo que fuera pertinente, de acuerdo a lo dispuesto en la Resolución Jefatural de la Reserva Nacional Tambopata N°010-2019-SERNANP-JEF.

**Artículo 5°.** - Incluir la presente Resolución en el archivo de autorizaciones correspondiente para su registro.

Regístrese y comuníquese,

Ministerio del Ambiente  
SERNANP  
  
Ing. Vladimir Ramirez Prada  
JEFE  
Reserva Nacional Tambopata

#### Anexo 4. Permisos para el desarrollo de investigación científica fuera de Áreas Naturales Protegidas

**GOBIERNO REGIONAL DE MADRE DE DIOS**  
GERENCIA REGIONAL DE RECURSOS NATURALES Y GESTIÓN DEL AMBIENTE  
DIRECCIÓN REGIONAL FORESTAL Y DE FAUNA SILVESTRE

**RESOLUCIÓN DIRECTORAL REGIONAL Nº 232 - 2019-GOREMAD-GRRNYGMA-DRFFS**

Puerto Maldonado, **26 ABR 2019**

**VISTO:**

La Carta S/Nº ingresado mediante el expediente N°1422 fecha 06 de marzo 2019, presentada por Jessica Nataly Pisconte Camargo, bióloga de profesión, quien solicita Autorización para investigación "Incidencia y Ámbito de Afectación del Mercurio en Aves Expuestas a Minería Ilegal en Madre de Dios-Perú".

El informe técnico N°010-2019-GOREMAD-GRRNYGMA-DRFFS, de fecha 08 de abril de 2019, en el cual recomienda Aprobar mediante Resolución Directoral Regional la Autorización para realizar el estudio de investigación denominada **"INCIDENCIA Y ÁMBITO DE AFECTACIÓN DEL MERCURIO EN AVES EXPUESTAS A MINERÍA ILEGAL EN MADRE DE DIOS-PERÚ-MDD"**, presentado por Jessica Nataly Pisconte Camargo por el periodo de 12 meses y;

**CONSIDERANDO:**

Que, el artículo 66° de la Constitución Política del Perú, define que los recursos naturales, renovables y no renovables, son patrimonio de la Nación y que el Estado es soberano en su aprovechamiento, añadiendo en su artículo 67° que además promueve el uso sostenible de los mismos;


Que, mediante la Resolución Ministerial N° 0301-2010-AG, se declara por concluido el proceso de efectivización de la transferencia de funciones en materia agraria correspondientes a los literales "e" y "q" del artículo 51° de la Ley N° 27867, del Gobierno Nacional al Gobierno Regional de Madre de Dios;


Que, el Gobierno Regional de Madre de Dios mediante Ordenanza Regional N° 007-2012-GRMDD/CR de fecha 18 de abril del 2012, aprobó los nuevos documentos de gestión institucional como el Reglamento de Organización y Funciones (ROF), que en su artículo 136° dispone el cambio de denominación de Programa Regional de Manejo de Recursos Forestales y Fauna Silvestre por el de Dirección Regional Forestal y Fauna Silvestre, el cual es un órgano de línea de tercer nivel organizacional, la cual depende jerárquica y administrativamente de la Gerencia Regional de Recursos Naturales y Gestión del Ambiente, es responsable de administrar el ordenamiento y aprovechamiento racional y sostenible del patrimonio forestal y de fauna silvestre con participación de los actores involucrados, controlar la aplicación de las normas y estrategias en concordancia con la política nacional y la conservación de los ecosistemas para mejorar la calidad de vida de la población;

Que, en el Artículo 1°.- de la Ley Forestal y Fauna Silvestre N° 29763, indica que toda persona tiene el derecho de acceder al uso aprovechamiento y disfrute del patrimonio forestal y de fauna silvestre de la Nación de acuerdo a los procedimientos establecidos por la autoridad nacional y regional y a los instrumentos de planificación y gestión del territorio; además de participar en su gestión. Toda persona tiene el deber de contribuir con la conservación de este patrimonio y de sus componentes respetando la legislación aplicable;

Que en el artículo 137° de la precitada ley, declara de interés nacional la investigación, el desarrollo tecnológico, la mejora del conocimiento y el monitoreo del estado de conservación del patrimonio forestal y de fauna silvestre de la nación.

Que a su vez, el artículo 140° de la citada ley, señala que la autoridad regional forestal y de fauna silvestre, otorga autorizaciones de para extracción de los recursos forestales y de fauna silvestre con fines de investigación científica, salvo cuando se trate de especies categorizadas como amenazadas, especies consideradas en los apéndices de la Convención Sobre el Comercio









**GOBIERNO REGIONAL DE MADRE DE DIOS**  
**GERENCIA REGIONAL DE RECURSOS NATURALES Y GESTIÓN DEL AMBIENTE**  
**DIRECCIÓN REGIONAL FORESTAL Y DE FAUNA SILVESTRE**



Internacional de Especies Amenazadas de Fauna y Flora Silvestre –CITES o cuando la investigación científica involucre el acceso de los recursos genéticos, en cuyo caso la autorización otorgada por el SERFOR.

Que el decreto supremo N°018-2015-MINAGRI que aprueba el reglamento para la gestión forestal y el Decreto Supremo N°019-2015-MINAGRI que aprueba el reglamento para la gestión de fauna silvestre, han regulado el procedimiento de otorgamiento de autorizaciones con fines de investigación científica de flora y/o fauna silvestre, estableciendo para tal efecto los requisitos y consideraciones para su otorgamiento, de acuerdo a los lineamientos aprobados por el SERFOR, así como las obligaciones materia de cumplimiento por parte del titular de la autorización.

Que, mediante Resolución Ejecutiva Regional N°013-2019-GOREMAD/GR, del 16 de enero del 2019, se designa al Ingeniero Agrónomo Tania Margot Yábar Villarroel en el cargo de Director Regional Forestal y Fauna Silvestre-DRFFS del Gobierno Regional de Madre de Dios-GOREMAD;

La Carta S/N° ingresado mediante el expediente N°1422 fecha 06 de marzo 2019, presentada por Jessica Nataly Pisconte Camargo, bióloga de profesión, quien solicita Autorización para investigación "Incidencia y Ámbito de Afectación del Mercurio en Aves Expuestas a Minería Ilegal en Madre de Dios-Perú;

Que el informe técnico N°010-2019-GOREMAD-GRRNYGMA-DRFFS, de fecha 08 de abril del 2019, en el cual recomienda Aprobar mediante Resolución Directoral Regional la Autorización para realizar el estudio de investigación denominada "**INCIDENCIA Y ÁMBITO DE AFECTACIÓN DEL MERCURIO EN AVES EXPUESTAS A MINERÍA ILEGAL EN MADRE DE DIOS-PERÚ-MDD**", presentado por la Jessica Nataly Pisconte Camargo por el periodo de 12 meses concluye que:



1. Cumple con las condiciones mínimas para el otorgamiento de la autorización de investigación para realizar el estudio presentado.
2. Cumple con los requisitos según el lineamiento como: La investigadora principal cumple la función de acuerdo a los métodos y técnicas propuestas, en consecuencia, este estudio buscara cuantificar la incidencia de mercurio en poblaciones de aves expuestas a fuentes contaminantes de minería ilegal y determinara el ámbito de afectación que esta tiene dentro de zonas boscosas no destruidas a partir de las fuentes de contaminación, para esta investigación se realizará mediante la captura de las aves para las tomas de muestras de sangre y colecta de plumas, posteriormente una vez de obtener los datos y muestras biológicas serán liberados los individuos capturados el cual no afectaría a las especies capturadas.
3. La Estación Biológica Santa Eulalia, El SERNANP y la Estación Biológica de ACCA, son las instituciones que respalda al investigador principal y al estudio presentado.
4. El plan de investigación, los métodos y técnicas para la aplicación del estudio de la investigación se encuentra acorde con el lineamiento establecido aprobado mediante la resolución de dirección ejecutiva N°060-2016.SERFOR/DE.
5. El cronograma de actividades y el periodo de estudio serán de 12 meses a partir de junio del 2019 hasta junio del 2020.

En uso de las atribuciones y competencias conferidas por la Resolución Ministerial N° 0301-2010-AG, de las Ordenanzas Regionales N° 033-2009-GRMDD/CR; N° 034-2009-GRMDD/CR N° 007-2012-GRMD/CR; N° 026-2012-GRMDD/CR Ordenanza Regional N° 001-2014-GOREMAD/CR, de la Resolución Ejecutiva Regional N° 013-2019-GOREMAD/GR, de la Ley Forestal y Fauna Silvestre N°29763 y su Reglamento para la Gestión de Fauna Silvestre aprobado por decreto supremo 019-2015-MINAGRI y de la Ley de Procedimiento Administrativo General - Ley N° 27444;



**GOBIERNO REGIONAL DE MADRE DE DIOS**  
GERENCIA REGIONAL DE RECURSOS NATURALES Y GESTIÓN DEL AMBIENTE  
DIRECCIÓN REGIONAL FORESTAL Y DE FAUNA SILVESTRE



**RESUELVE:**

**Artículo 1°.** - Otorgar a la Bióloga Jessica Nataly Pisconte Camargo, la Autorización para realizar el estudio de investigación denominada **"INCIDENCIA Y ÁMBITO DE AFECTACIÓN DEL MERCURIO EN AVES EXPUESTAS A MINERÍA ILEGAL EN MADRE DE DIOS-PERÚ"** presentado por la Jessica Nataly Pisconte Camargo por el periodo de 12 meses **correspondiéndole** el código de Autorización **N°17-MAD/AUT-IFS-2019-001**.

**Artículo 2°.**- La presente autorización incluye buscar cuantificar la incidencia de mercurio en poblaciones de aves expuestas a fuentes contaminantes de minería ilegal y determinara el ámbito de afectación que esta tiene dentro de zonas boscosas no destruidas a partir de las fuentes de contaminación, para esta investigación se realizar mediante la captura de las aves para las tomas de muestras de sangre y colecta de plumas, posteriormente una vez de obtener los datos y muestras biológicas serán liberados los individuos capturados el cual no afectaría a las especies capturadas. Las familias no se encuentran categorizadas en la lista de especies amenazadas por el estado peruano dicha investigación se realizará en el departamento de madre de dios, fuera de áreas naturales protegidas, por un periodo de doce (12) meses, contados a partir del día siguiente de la notificación de la presente resolución, la referida investigación será realizada por los siguientes investigadores:

NOMBRES Y APELLIDOS	PARTICIPACION EN EL PROYECTO	DNI N°
Jessica Nataly Pisconte Camargo	Investigadora principal	47035994
Cristian Steven Sevillano Ríos	Colaborador	42477069
Nicolás William Mamani Cabana	Asistente	47861873
Julio Cesar Salvador Rodriguez	Asistente	72549736



**Artículo 3°.**- La titular de la autorización deberá cumplir con las obligaciones:

- No extraer especímenes ni muestras biológicas de fauna silvestre no autorizadas, no ceder el mismo a terceros personas, ni utilizarlos para fines distintos a lo autorizado.
- Entregar a la Dirección Regional Forestal y Fauna Silvestre del Gobierno Regional de Madre de Dios, una copia del informe final incluyendo versionen digital como resultado de la autorización otorgada, copias del material fotográfico u otros.

**Artículo 4°.**- La titular de la autorización se compromete a:

- No contactar ni ingresar a los territorios comunales sin contar con la autorización de las autoridades comunales correspondientes.
- Retirar todo el material empleado para la ejecución del presente estudio una vez terminado el trabajo de campo y el levantamiento de información.
- Comunicar a la dirección Regional Forestal y Fauna Silvestre el inicio de las investigaciones campo con la debida anticipación.
- Solicitar ante la DRFFS y dentro del plazo otorgado cualquier cambio en las características del proyecto de investigación que demande la modificación de la presente resolución.
- Indicar el número de la resolución en las publicaciones generadas a partir de la autorización concedida.



**Artículo 5°.**- La titular del mencionado estudio deberá implementar todas las medidas de seguridad y eliminación de impactos que se puedan producir por las actividades propias de las actividades de las fases de campo, como toma de datos, transporte de muestras, transporte de equipos, personal etc.





**GOBIERNO REGIONAL DE MADRE DE DIOS**  
**GERENCIA REGIONAL DE RECURSOS NATURALES Y GESTIÓN DEL AMBIENTE**  
**DIRECCIÓN REGIONAL FORESTAL Y DE FAUNA SILVESTRE**



**Artículo 6°** La Dirección Regional Forestal y Fauna Silvestre del GOREMAD, no se responsabiliza por accidentes o daños sufridos por la investigadora mencionados en el artículo N°2 durante la ejecución del proyecto asimismo, se reserva el derecho de demandar del proyecto de investigación los cambios a que hubiese lugar en caso se formulen ajustes sobre la presente autorización.

**Artículo 7°.-** La titular autorizada del presente proyecto se encuentra sujeta al cumplimiento de las obligaciones y compromisos establecidos para la presente autorización con fines de investigación científica otorgada.

**Artículo 8°.-** Notificar la presente resolución a la bióloga Jessica Nataly Pisconte Camargo, así como a la Gerencia Regional de Recursos Naturales y Gestión del Medio Ambiente, al Organismo de Supervisión de los Recursos Forestales y de Fauna Silvestre-OSINFOR, y al Servicio Nacional Forestal y de Fauna Silvestre-SERFOR para su registro, conocimiento y cumplimiento.



**Regístrese, Notifíquese y Archívese**



**GOBIERNO REGIONAL DE MADRE DE DIOS**  
**GERENCIA REGIONAL DE RECURSOS NATURALES Y GESTIÓN DEL MEDIO AMBIENTE**  
**DIRECCIÓN REGIONAL FORESTAL Y DE FAUNA SILVESTRE**

**Ing. Tania Margot Yabat Villarroel**  
**DIRECTORA REGIONAL**

**Anexo 5.** Permisos para el desarrollo de investigación científica dentro de Áreas Naturales Protegidas en colaboración con el Centro de Innovación Científica Amazónica (CINCIA)



**RESOLUCION JEFATURAL DE LA RESERVA NACIONAL TAMBOPATA N° 20-2019-SERNANP-JEF**

Puerto Maldonado, 12 de agosto del 2019

**VISTO:**

El Informe N° 055-2019-SERNANP-RNTAMB/EFG, de fecha 07 de agosto del 2019, que evalúa la solicitud presentada por la señora Claudia Maribel Vega Ruiz, para realizar la investigación científica que incluye *ingreso a ámbitos de acceso restringido, la colecta o extracción de muestras biológicas, y uso de equipo de infraestructura* en el marco del proyecto denominado: *"Estudio de los Impactos de la Minería en la Reserva Nacional Tambopata"*, en el ámbito de la Reserva Nacional Tambopata, por el periodo de 01 (uno) año.



**CONSIDERANDO:**

Que, según lo previsto en los incisos g) e i) del artículo 2° de la Ley N° 26834, Ley de Áreas Naturales Protegidas, unos de sus principales objetivos de protección es servir de sustento y proporcionar medios y oportunidades para el desarrollo de la investigación científica;

Que, en concordancia con ello, en el artículo 29° de la precitada Ley, se establece que el Estado reconoce la importancia de las Áreas Naturales Protegidas para el desarrollo de la investigación científica básica y aplicada, siempre que no afecte los objetivos de conservación, se respete la zonificación y las condiciones establecidas en el Plan Maestro;

Que, la actualización del Plan Director de las Áreas Naturales Protegidas, aprobada por Decreto Supremo N° 016-2009-MINAM, refiere que la investigación científica constituye una herramienta básica para la generación de información que permita mejorar el conocimiento sobre la diversidad biológica, así como para el manejo de recursos naturales y la gestión de riesgos y amenazas;

Que, mediante Decreto Supremo N° 010-2015-MINAM, publicado el 23 de setiembre de 2015, se declara de interés nacional el desarrollo de investigaciones al interior de las Áreas Naturales Protegidas de administración nacional, determinándose su gratuidad, así como los procedimientos de aprobación automática y evaluación previa para su otorgamiento;

Que, en el artículo 4° del mencionado Decreto Supremo, se prevé cinco supuestos en los que la autorización de investigación requiere de evaluación previa: a) ingreso a ámbitos de acceso restringido, b) la colecta o extracción de muestras

biológicas, c) se prevea la alteración del entorno o instalación de infraestructura en el caso de áreas naturales protegidas de administración nacional, d) el uso de equipo o infraestructura perteneciente a las ANP de administración nacional, e) investigación en predios privados;

Que, mediante Resolución Presidencial N° 287-2015-SERNANP, publicada el 20 de enero de 2016, se aprueban las Disposiciones Complementarias al Reglamento de la Ley de Áreas Naturales Protegidas en materia de investigación, las mismas que establecen las normas y lineamientos que regulan las investigaciones realizadas al interior de las Áreas Naturales Protegidas de administración nacional;

Que, en el artículo 23° de las precitadas Disposiciones Complementarias se establecen los criterios de evaluación del Plan de Investigación;

Que, mediante Resolución Ministerial N° 35-2017-MINAM del 03 de febrero del 2017, modifica, entre otros, el Procedimiento N° 4 del Texto Único de Procedimientos Administrativos – TUPA del SERNANP, aprobado por Decreto Supremo N° 002-2012-MINAM y modificado por Resolución Ministerial N° 152-2016-MINAM y Resolución Ministerial N° 315-2016-MINAM;



Que, mediante la Resolución Presidencial N° 099-2017-SERNANP, publicado el 18 de abril de 2017, se modifica el proceso GAN-01-10-Otorgamiento de Certificado de Procedencia, asimismo deja sin efecto la Resolución Presidencial N° 250-2013-SERNANP que aprobó el Certificado de Procedencia de los recursos naturales renovables forestales, flora y/o fauna silvestre provenientes de las Áreas Naturales Protegidas de administración nacional;

Que, mediante el Decreto Supremo N° 013-2018-MINAM del 05 de noviembre del 2018, se aprueba la reducción del plástico de un solo uso y promueve el consumo responsable del plástico en las entidades del Poder Ejecutivo.

Que, mediante el Decreto Supremo N° 001-2019-MINAM del 02 de febrero de 2019, se actualizan los procedimientos administrativos a cargo del SERNANP que otorgan Títulos Habilitantes;

Que, a través del documento del visto, la señora Claudia Maribel Vega Ruiz solicita autorización para realizar investigación científica que incluye *ingreso a ámbitos de acceso restringido, la colecta o extracción de muestras biológicas, y uso de equipo de infraestructura* en el marco del proyecto denominado: *"Estudio de los Impactos de la Minería en la Reserva Nacional Tambopata"*, en el ámbito de la Reserva Nacional Tambopata, por el periodo de 01 (uno) año;

Que, mediante Informe N° 055-2019-SERNANP-RNTAMB/EFG, de fecha 07 de agosto del 2019, se evalúa la solicitud presentada, concluyendo que el expediente cumple con los requisitos establecidos en el artículo 18° de las Disposiciones Complementarias al Reglamento de la Ley de Áreas Naturales Protegidas en materia de investigación, y que el Plan de Investigación se encuentra conforme a los criterios establecidos en el artículo 23° de las Disposiciones Complementarias en mención;

En uso de las atribuciones conferidas por el numeral 2.1 del artículo 2° del Decreto Supremo N° 010-2015-MINAM, el artículo 14° de las Disposiciones Complementarias al Reglamento de la Ley de Áreas Naturales Protegidas en materia de investigación, aprobadas por Resolución Presidencial N° 287-2015-SERNANP, y el artículo 27° del Reglamento de Organización y Funciones del SERNANP, aprobado mediante Decreto Supremo N° 006-2008-MINAM.



**SE RESUELVE:**

**Artículo 1°.-** Autorizar el desarrollo de la investigación científica denominada **"Estudio de los Impactos de la Minería en la Reserva Nacional Tambopata"**, a favor de Claudia Maribel Vega Ruiz, a ser realizada en el ámbito de la Reserva Nacional Tambopata, específicamente en una zona afectada por minería (ámbito de los Puestos de Control y Vigilancia: Correntada y Azul) y una zona de control (ámbito del Puesto de Control y Vigilancia: La Torre), por el periodo de 01 (uno) año, contado a partir de la fecha de emisión de la presente Resolución.

**Artículo 2°.-** Autorizar el ingreso al ámbito de la Reserva Nacional Tambopata a las siguientes personas, integrantes del equipo de investigación:



Nº	Nombre y Apellidos	Documento de Identidad	Nacionalidad	Cargo
1	Claudia Maribel Vega Ruiz	001513754	Salvadoreña	Responsable
2	Julio Manuel Araujo Flores	619623	Española	Responsable
3	Vania Alexandra Tejeda Gómez	46899400	Peruana	Responsable
4	Alain Christian Escobar Montes	43460709	Peruana	Colaborador
5	Emilio Armando Bonifaz Osorio	47753841	Peruana	Colaborador
6	José Alejandro Portillo Guizado	47706563	Peruana	Colaborador
7	Shamir Antoni Delgado Aramayo	72318764	Peruana	Colaborador
8	Jessica Nataly Pisconte Camargo	47035994	Peruana	Asistente
9	Julio Cesar Salvador Rodríguez	72549736	Peruana	Asistente
10	Rodrigo Gonzalo Paiva Cano	72888353	Peruana	Asistente
11	Elizabeth Vanessa Orcon Chambi	46991897	Peruana	Asistente
12	Asunción Guevara Papa	47298824	Peruana	Asistente
13	Abner Guevara Papa	40150329	Peruana	Asistente
14	Miguel Ángel Macedo Córdova	60640339	Peruana	Colaborador
15	Jesús Alexander Alférez Flores	47658820	Peruana	Colaborador
16	David Grobas Salas	47646082	Peruana	Asistente
17	Bozz Palomino León	76363740	Peruana	Asistente
18	Abel Torres Cochama	72755561	Peruana	Asistente
19	Nilo Huamán Copa	71077078	Peruana	Asistente
20	Oscar Larry Huacarpuma Aguilar	46903393	Peruana	Asistente
21	Mael Apaza Sánchez	47168605	Peruana	Asistente
22	Jackie Gerson	557727812	Americana	Colaborador
23	Melissa Marchese	645482254	Americana	Colaborador
24	Anne Lee	541143439	Americana	Colaborador
25	Arabella Chen	546836940	Americana	Colaborador

**Artículo 3°.-** Autorizar la colecta o extracción de muestras biológicas, de acuerdo a lo indicado en los cuadros siguientes:





Nombre científico (Familia)	Tipo de muestra	* Cantidad estimada de individuos a capturar temporalmente	Colecta o captura temporal	Finalidad de la colecta o captura temporal
Tinamidae	Sangre, plumas y Heces	10	Sí	Análisis de Hg
Cracidae	Sangre, plumas y Heces	10	Sí	Análisis de Hg
Cuculidae	Sangre, plumas y Heces	10	Sí	Análisis de Hg
Nyctibiidae	Sangre, plumas y Heces	10	Sí	Análisis de Hg
Caprimulgidae	Sangre, plumas y Heces	10	Sí	Análisis de Hg
Opisthocomidae	Sangre, plumas y Heces	10	Sí	Análisis de Hg
Pshophiidae	Sangre, plumas y Heces	10	Sí	Análisis de Hg
Rallidae	Sangre, plumas y Heces	10	Sí	Análisis de Hg
Jacanídae	Sangre, plumas y Heces	10	Sí	Análisis de Hg
Phalacrocoracidae	Sangre, plumas y Heces	10	Sí	Análisis de Hg
Ardeidae	Sangre, plumas y Heces	10	Sí	Análisis de Hg
Accipitridae	Sangre, plumas y Heces	10	Sí	Análisis de Hg
Alcenidae	Sangre, plumas y Heces	10	Sí	Análisis de Hg
Capitonidae	Sangre, plumas y Heces	10	Sí	Análisis de Hg
Ramphastidae	Sangre, plumas y Heces	15	Sí	Análisis de Hg
Parulidae	Sangre, plumas y Heces	10	Sí	Análisis de Hg
Ramphastidae	Sangre, plumas y Heces	15	Sí	Análisis de Hg
Cotingidae	Sangre, plumas y Heces	20	Sí	Análisis de Hg
Turdidae	Sangre, plumas y Heces	20	Sí	Análisis de Hg
Cardinalidae	Sangre, plumas y Heces	20	Sí	Análisis de Hg
Tityridae	Sangre, plumas y Heces	10	Sí	Análisis de Hg
Trochillidae	Sangre, plumas y Heces	60	Sí	Análisis de Hg
Psittacidae	Sangre, plumas y Heces	60	Sí	Análisis de Hg
Icteridae	Sangre, plumas y Heces	60	Sí	Análisis de Hg
Troglodytidae	Sangre, plumas y Heces	80	Sí	Análisis de Hg
Bucconidae	Sangre, plumas y Heces	40	Sí	Análisis de Hg
Cerylidae	Sangre, plumas y Heces	50	Sí	Análisis de Hg
Thraupidae	Sangre, plumas y Heces	150	Sí	Análisis de Hg
Picidae	Sangre, plumas y Heces	70	Sí	Análisis de Hg
Columbidae	Sangre, plumas y Heces	50	Sí	Análisis de Hg
Tinamidae	Sangre, plumas y Heces	10	Sí	Análisis de Hg
Corvidae	Sangre, plumas y Heces	20	Sí	Análisis de Hg
Galbulidae	Sangre, plumas y Heces	15	Sí	Análisis de Hg
Momotidae	Sangre, plumas y Heces	20	Sí	Análisis de Hg
Tyrannidae	Sangre, plumas y Heces	150	Sí	Análisis de Hg
Strigidae	Sangre, plumas y Heces	10	Sí	Análisis de Hg
Trogonidae	Sangre, plumas y Heces	10	Sí	Análisis de Hg
Ramphastidae	Sangre, plumas y Heces	10	Sí	Análisis de Hg
Thamnophilidae	Sangre, plumas y Heces	80	Sí	Análisis de Hg
Conopophidae	Sangre, plumas y Heces	12	Sí	Análisis de Hg
Formicariidae	Sangre, plumas y Heces	80	Sí	Análisis de Hg
Furnariidae	Sangre, plumas y Heces	70	Sí	Análisis de Hg
Pipridae	Sangre, plumas y Heces	80	Sí	Análisis de Hg

\* Realizarán capturas temporales para tomar las muestras de sangre y plumas luego TODAS las aves serán liberadas. No se realizará colecta de individuos.

\*\* Colectaran aproximadamente 20 plumas eso dependerá de la especie capturada, no excediendo este rango.

\*\*\* Las heces serán colocadas en frascos de polietileno con alcohol.

## Anexo 6. Constancia de apoyo en identificación y manejo de aves

### CONSTANCIA

Yo, **Julio Cesar Salvador Rodriguez**, identificado con DNI N° 72549736, **Biólogo** por la **Universidad Nacional Agraria La Molina** y **miembro del Colegio de Biólogos del Perú (CBP N° 15174)**, certificado además como **Anillador y Entrenador de aves** por la **North American Banding Council (NABC)**, institución de alto prestigio internacional que promueve prácticas éticas y estandarizadas en el anillamiento de aves, hago constar que participé en la campaña de campo realizada entre julio y octubre de 2019 en la región de Madre de Dios, Perú, correspondiente al proyecto:

**“Determinación del mercurio en aves de bosques prístinos y colindantes a actividad de Minería Artesanal y de Pequeña Escala (MAPE) en Madre de Dios 2019.”**

Durante la campaña brindé inducciones técnicas, supervisé el manejo de especímenes, y apoyé en la identificación y toma de datos biométricos de aves capturadas con redes de niebla, velando por el cumplimiento de los protocolos de ética, seguridad y bienestar animal establecidos por la *North American Banding Council (2003)*. Asimismo, verifiqué la aplicación de formatos de campo adaptados de la guía NABC y colaboré en la validación post-campo de los registros obtenidos.

Se expide la presente constancia para los fines que el interesado estime conveniente.

Lima, 15 de agosto de 2025



**Julio Cesar Salvador Rodriguez**

Biólogo – Universidad Nacional Agraria La Molina

Colegio de Biólogos del Perú, N° de colegiatura 15174

Anillador y Entrenador certificado – *North American Banding Council (NABC)*



**Anexo 7.** Sesion de colecta de datos y muestras



**Anexo 8.** Ficha de campo utilizada para la colecta de datos de aves y sus atributos morfométricos

**(Anverso de ficha de datos)**

PROGRAMA DE ANILLAMIENTO PERU										Operador		Departamento		Año					
<b>EDAD</b> L= Local P= Primer Año A=Después del primer año D=Desconocido X=No tomado										<b>SEXO</b> M=Macho H=Hembra D=Desconocido X=No tomado		<b>ESTADO</b> N=Normal H=Herido E=Estresado (no vuela) A= Ala lesionada M=Muerto		<b>1 Posición</b> U Unknown Molt Cycle D Definitive Molt Cycle F First Molt Cycle S Second Molt Cycle T Third Molt Cycle 4 Fourth Molt Cycle		<b>2 Posición</b> C Not Molting P Molting A After a Given plumage		<b>3 Posición</b> U Unknown Plumage J Juvenile Plumage S Supplemental Plumage F Formative Plumage B Basic Plumage A Alternate Plumage	

Anotador	Procesador	Nombre Especie	Codigo individuo (cod.especie+ número de captura)	Edad	Edad por	Sexo	Sexo por	Cód. Ciclo	Prot. Cloacal	Parche Incub.	Grasa	Muda Cuerpo	Muda Vuelo	Desg. Vuelo	Plum. Juv.	Límite Muda	Osificación	Iris (I / A)	Ala	Peso	Estado	Día	Mes	Hora captura	Estación	Red	Notas
																											1
																											2
																											3
																											4
																											5
																											6
																											7
																											8
																											9
																											10
																											11
																											12
																											13
																											14
																											15
																											16
																											17
																											18
																											19
																											20
																											21
																											22
																											23
																											24
																											25

(Reverso de ficha de datos)

Datos Revisados por:

Fecha: / Datos ingresados por:

Fecha: / /

Nota #	Cola	Tarso	Pico nar.	Parásitos	%Estrías	*Parásitos: (A) Ácaros, (G) Garrapatas, (M) Moscas, (T) Tumor, (O) Otros
						Observaciones
1						
2						
3						
4						
5						
6						
7						
8						
9						
10						
11						
12						
13						
14						
15						
16						
17						
18						
19						
20						
21						
22						
23						
24						
25						



## Anexo 9. Códigos estandarizados para el llenado de la ficha de datos

# PROCEDIMIENTOS EN EL LLENADO DE LOS FORMATOS DE DATOS

### APENDICE A. CÓDIGOS DE ANILLAMIENTO

Versión español e inglés (Editado por Alexis Díaz)

#### PROTUBERANCIA CLOACAL / CLOACAL PROTUBERANCE

- D** Desconocido después de la examinación / Undetermined after examination.
- N** No presenta protuberancia cloacal / No cloacal protuberance evident.
- P** Pequeña, ligera distención desde el abdomen; cloaca ligeramente ensanchada en la base, pero aún angosta en la punta / Small, slight distention from abdomen, cloaca slightly enlarged at base, still narrow at tip.
- M** Media, obvia distención desde el abdomen, forma columnar (base y punta aproximadamente del mismo diámetro) / Medium; obvious distention from abdomen, columnar shape (base & tip approximately equal diameter).
- G** Grande, forma bulbosa (punta de diámetro mayor a la base) / Large; bulbous shape (tip greater diameter than base).

#### PARCHE DE INCUBACIÓN / BROOD PATCH

- D** Desconocido después de la examinación / Undetermined after examination.
- N** No presenta parche de incubación; pecho y abdomen superior más o menos emplumado; las áreas sin plumas del pecho y abdomen son lisas, sin vascularización / No brood patch present; breast and upper abdomen more or less feathered, nonfeathered areas of breast and abdomen are smooth, without vascularization
- L** Piel Lisa; pérdida de plumas del pecho y algunas del abdomen, la mayor parte del área se presenta lisa y rojo oscuro / Smooth skin; loss of breast and some abdomen feathers, but most of the area is still rather smooth, dark red
- V** Vascularizado; piel del abdomen engrosada (abultada) con vascularización y fluidos internos; es el punto más álgido en el desarrollo del parche de incubación / Vascularized; abdominal skin thickened (puffy) with increased fluid and vascularization, peak of brood patch development.
- A** Arrugado; piel abdominal adelgazada, rugosa y seca (escamada) / Wrinkled; abdominal skin thinning, wrinkly, scaly.
- M** Mudando, plumas creciendo, emergiendo del pecho y abdomen / Molting; pin feathers emerging on breast and abdomen.

#### ACUMULACIÓN DE GRASA / FAT

- N** No hay presencia de grasa. Región totalmente color rosado (músculo) / No fat tissue present.
- I** Indicios de grasa, <5% llena. Se ven pequeñas manchas amarillentas / Trace fat tissue present; region concave, <5% filled.
- L** Leve capa de grasa. Menos de 1/3 llena / (Thin) Layer fat tissue present; 5-33% filled.
- M** Mitad llena (34 – 66%) / Half (34-66%) filled
- C** Completamente llena, nivelada con las clavículas (67 – 100%) / Fully filled; level with clavicles, 67-100% filled.
- A** Abultada ligeramente sobre las clavículas / Bulging slightly over clavicles.
- G** Gran abultamiento sobre las clavículas / Greatly bulging over clavicles.
- E** Excesivos depósitos de grasa continuos desde la fúrcula hasta el abdomen. Very extensive fat pads; fat tissue contiguous from furculum to abdomen.

# PROCEDIMIENTOS EN EL LLENADO DE LOS FORMATOS DE DATOS

## APENDICE A. CÓDIGOS DE ANILLAMIENTO

Versión español e inglés (Editado por Alexis Díaz)

### MUDA EN EL CUERPO / BODY MOLT

- N** No hay muda presente / No molt present.
- I** Indicios de muda, sólo una o dos plumas mudadas, o muda asimétrica / Trace molt; a few, perhaps adventitious, molting feathers in just one feather tract.
- L** Leve, más de un grupo de plumas / Light molt; more than one feather tract.
- M** Media, 1/3 – 2/3 de tractos de plumas mudando / Medium molt; 1/3-2/3 of feather tracts with molting feathers.
- B** Bastante, mas de 2/3 de tractos de plumas mudando / Heavy molt; >2/3 of feather tracts with molting feathers.

### MUDA EN PLUMAS DE VUELO / WING (FLIGHT FEATHER) MOLT

- S** Muda Simétrica / Symmetrical molt
- A** Muda Asimétrica / Asymmetrical molt
- N** No hay muda / No molt

### DESGASTE DE PRIMARIAS / FEATHER WEAR

- N** No hay desgaste, las plumas están en perfecto estado y los bordes generalmente tienen un ligero margen más claro. / No wear; feather edges perfect with entire edge light-colored, including the tips.
- I** Indicios de desgaste, los bordes están muy ligeramente desgastados, sin muescas ni rozaduras evidentes y el margen claro del borde ha desaparecido / Slight wear; feather edges slightly worn with no fraying or nicks, edges often light-colored except at tips.
- L** Leve desgaste, poco rozamiento y una que otra muesca / Light wear; feathers definitely worn, but with little fraying or nick.
- M** Moderado desgaste, rozamiento evidente y claras muescas a lo largo de los bordes / Moderate wear; considerable wear with definite fraying, nicks and chips obvious along edges.
- B** Bastante desgaste, las plumas están gravemente rozadas y con muescas. Algunas de ellas inclusive han perdido las puntas / Heavy wear; feathers very heavily worn and frayed, tips often worn completely away.
- E** Excesivo desgaste, las plumas están extremadamente rasgadas y la mayoría de las puntas están rotas o desgastadas por completo / Excessive wear; feathers extremely ragged and torn, shafts usually exposed beyond the vane, with all tips usually worn completely away.

### PLUMAJE JUVENIL / JUVENIL PLUMAGE

- D** Desconocido después de la examinación / Undetermined after examination.
- N** No tiene plumaje juvenil / No Juvenal plumage present.
- P** Poco (menos de la mitad del ave presenta plumaje juvenil) / Less than half Juvenal plumage is present.
- M** Medio (aproximadamente la mitad del ave presenta plumaje juvenil) / Half Juvenal plumage remains, some Formative plumage is present.
- B** Bastante plumaje juv (Más de la mitad del ave presenta plum. juvenil) / More than half juvenal plumage remains.
- C** Completo (plumaje juvenil completo, el ave no ha iniciado la muda preformativa) Full Juvenal plumage.



# PROCEDIMIENTOS EN EL LLENADO DE LOS FORMATOS DE DATOS

## APENDICE A. CÓDIGOS DE ANILLAMIENTO

Versión español e inglés (Editado por Alexis Díaz)

### CODIGOS SUGERIDOS PARA DETERMINAR EDAD Y SEXO HOW AGED AND SEXED CODE REFERENCE SHEET

*Códigos a ser usados solamente en la casilla de EDAD POR y SEXO POR. Más de un código puede ser usado.*

#### Características físicas / Physical Characters

- I** Parche de Incubación / Brood Patch
- C** Protuberancia Cloacal / Cloacal Protuberance
- @** Huevo en el oviducto / Egg in oviduct
- O** Color del Ojo (Iris) / Eye Color
- B** Color de la Boca / Pico o estriaciones en el pico de picaflores / Mouth/Bill color or striations on bill hummingbirds)
- L** Comisura Labial / Gape
- T** Tarso o pies / Feet or Legs
- S** Osificación del Cráneo / Skull Ossification
- Q** Medidas / Measurements (e.g. cuantificación de cualquier parte, largo de la cola, largo del ala, culmen, alto del pico, masa corporal) – *registrar medidas específicas en las notas*
- Y** Muda Simétrica Pre-Formativa / Symmetrical Preformative Molt – *registrar que plumas estan mudando en las notas*
- W** Muda Simétrica Pre-Básica en las plumas de vuelo / Symmetrical Prebasic Molt – *registrar que plumas estan mudando en las notas*

#### Características del plumaje / Plumage Characters

- F** Plumaje Formativo (aplicable también para el 1er Plumaje Alterno) / Formative Plumage (or 1st Alternate Plumage)
- K** Plumaje Básico Definitivo / Definitive Basic Plumage
- A** Plumaje Alterno Definitivo / Definitive Alternate Plumage
- J** Plumaje Juvenil (= 1er Básico). Plumitas juveniles retenidas (por patrones y color, no textura) / Juvenal Plumage plumage - retained juv feathers (by color and pattern - not texture)
- P** Plumaje, usado sólo para dimorfismo sexual / Plumage, use for sexing only - use specific plumage codes for ageing
- E** Extensión o presencia de un parche de color en el Plumaje – *registrar en las notas la medida específica de la extensión del parche.* / Plumage color patch length or extent - record in Notes the specific measurement e.g. C = Crown, W = Wing feathers, T = Tail feathers, S = Spot on center of feather (e.g. C = 15mm 80% grn)

#### Características de las plumas / Feather Characters

- G** Desgaste de las plumas / Feather Wear
- V** Forma de las plumas / Feather Shape
- R** Muda Prejuvenil (1era prebásica) / Prejuvenal Molt
- =** Alineamiento de marcas de hambre / Fault Bar Alignment
- #** Alineamiento de marcas de crecimiento / Growth Bar Alignment
- M** Edad por Límites de Muda / Molt Limit

#### Indeterminado o pendiente / Undetermined or remaining

- D** Edad y Sexo no determinado después de la examinación / Age or Sex undetermined after examination
- X** Edad y Sexo no evaluados / Age or sex determination not attempted
- Z** Edad y Sexo menos preciso (<95%), pero más acertado / Less precise age, but greater certainty
- H** Alguna otra característica usada y que no se encuentre en esta lista, regístrelo en Notas / Other character(s) not elsewhere codified, record in Notes

# PROCEDIMIENTOS EN EL LLENADO DE LOS FORMATOS DE DATOS

## APENDICE A. CÓDIGOS DE ANILLAMIENTO

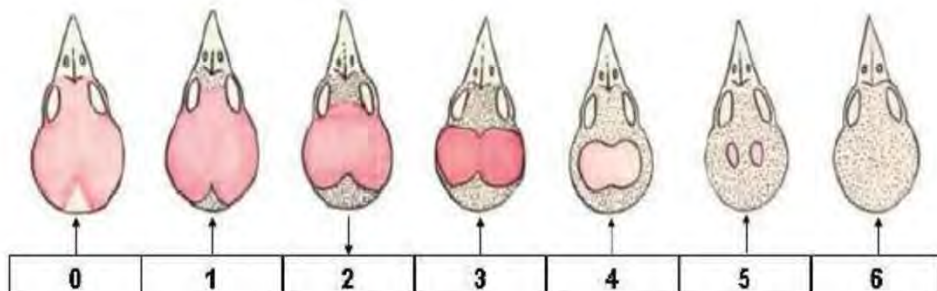
Versión español e inglés (Editado por Alexis Díaz)

### CARACTERÍSTICAS DE LIMITES DE MUDA / MOLT LIMIT FIELD CODES FOR SPECIFIC TRACTS

D	Desconocido después de la examinación / Undetermined after examination
N	Límites de Muda No fueron encontrados después de la examinación / No molt limit found
P	Primarias / Primaries
S	Secundarias / Secondaries
T	Terciarias / Tertials
I	Cobertoras Primarias / Primary Coverts
G	Cobertoras Mayores (Secundarias) / Greater Coverts
V	Cobertoras Primarias vs. Cobertoras Secundarias / Primary Coverts Vs Greater coverts
R	Rectrices / Rectrices
L	Cobertoras Menores (Secundarias) / Median covert
M	Cobertoras Medianas (Secundarias) / Lesser Coverts
B	Plumaje del Cuerpo / Body Feathers
C	Cobertura Carpál vs. Cobertura del Alula/Alula menor / Carpal covert vs Alula covert/Lesser Alula
A	Cobertura del Alula vs. Alula menor / Alula covert vs Lesser Alula

### OSIFICACIÓN / SKULL PNEUMATIZATION

- D Desconocido después de la examinación / undetermined after examination
- 0 Sin puntos blancos, solo una capa simple de hueso cubre todo el cráneo /  
No pneumatization, only a single, thin layer of bone covers the entire brain, with no white spots showing.
- 1 Trazas de osificación en la parte trasera del cráneo. El cráneo solo muestra entre 1% y 5% osificado /  
Trace of pneumatization at the very back of the skull. Trace appears as an opaque, grayish crescent or very small triangular area. Between 1% and 5% of the skull is pneumatized.
- 2 Menos de 1/3 del cráneo osificado. La parte posterior del cráneo contrasta notoriamente con el área no osificada /  
Less than 1/3 pneumatized, but some is obvious. Generally, the posterior part of the cranium has triangular or circular shaped areas of small white dots, usually distinctly contrasting with non-pneumatized areas.
- 3 La mitad del cráneo osificado completamente entre 1/3 y 2/3. La mayor parte de la mitad posterior está completa, así como la anterior hasta la parte posterior de los ojos. Half the skull pneumatized, between 1/3 and 2/3 complete. Typically, most of the rear half is complete, as well as part of the front, extending to the eyes (the front is usually difficult to see because of dense, short feathers).
- 4 Más de 2/3 osificados, pero al menos una pequeña área no está completa. Menos del 95% completo.  
Greater than 2/3 pneumatized, but at least a small area is not complete (less than 95% complete).
- 5 Osificación casi completa, entre 95% y 99%. Muestra una(s) pequeña(s) área(s) abierta(s) o "ventana(s)".  
Almost complete pneumatization, between 95% and 99% complete. These birds show tiny dull, pinkish areas or "windows".
- 6 Cráneo completamente osificado / Fully pneumatized skull



## PROCEDIMIENTOS EN EL LLENADO DE LOS FORMATOS DE DATOS

### Anexo B. Algunas abreviaciones e interpretaciones

#### MESES

Todos los meses son abreviados con las tres primeras letras. (Ene, Feb, Mar, Abr, May, Jun, Jul, Ago, Set, Oct, Nov y Dic).

#### PLUMAS

**p (pp)** = primaria (primarias)

**s (ss)** = secundaria (secundarias)

**terts** = terciarias

**rects** = rectrices

**Cpp** = Cobertoras primarias

**Cmay** = Cobertoras mayores

**Cmed** = Cobertoras medias

**Cmen** = cobertoras menores

#### MUDA

**PB**= Muda Prebásica adulta

**PF** = Muda Preformativa

**PS** = Muda Presuplemental (Muda Preformativa Auxiliar, después del plumaje juvenil y antes de la muda Preformativa).

**1PA** = Primera muda pre alterna

**PA** = Muda pre alterna adulta

**Ausente** = No hay reemplazo de plumas de cuerpo ni plumas de vuelo.

**Limitada** = Algunas pero no todas las plumas del cuerpo son reemplazadas. No hay reemplazo de plumas de vuelo.

**Parcial** = Casi todas o todas las plumas del cuerpo son reemplazadas, ninguna de vuelo excepto terciarias y rectrices.

**Incompleta** = Usualmente reemplazo de todas de cuerpo y algunas pero no todas las de vuelo.

**Completa** = Reemplazo total de plumas de cuerpo y de vuelo.

#### EDAD Y SEXO

**PC/PI** = Protuberancia cloacal / Parche de incubación

**FPJ** = Ave en proceso de muda prejuvenil (Primer ciclo)

**FCJ**= Ave en plumaje juvenil, no hay muda activa. (Primer ciclo)

**FPF**= Ave en proceso de muda preformativa (Primer ciclo)

**FCF**= Ave en plumaje formativo, no hay muda activa (Primer ciclo)

**SPB**= Ave en proceso de muda prebásica, iniciando su segundo ciclo

**SCB**= Ave en su segundo plumaje básico (Segundo ciclo)

**DPB**= Ave en proceso de muda prebásica definitiva (Ciclo Definitivo)

**DCB**= Ave en plumaje básico definitivo (Ciclo definitivo)

**FAJ**= Ave cuyo ciclo y plumaje se desconoce, pero es sabido que al menos ha pasado del plumaje juvenil. (Aplíquese generalmente en aves cuya muda preformativa es completa).

**Anexo 10.** Coordenadas de los sitios de muestreo y disposición de redes de niebla por distancia en los transectos.

Lugar	Coordenadas de Lugar		Distancia (m)	Código de Distancia	Coordenadas de distancia		Coordenada de redes por distancia					
	Latitud	Longitud			Latitud	Longitud	Red Derecha	Latitud	Longitud	Red Izquierda	Latitud	Longitud
Los Amigos	12° 34' 45" S	70° 04' 57" O	0	LA_D1	12° 35' 03" S	70° 04' 57" O	RD_1	12° 35' 03" S	70° 04' 57" O	RI_1	12° 35' 03" S	70° 04' 57" O
Los Amigos	12° 34' 45" S	70° 04' 57" O	50	LA_D2	12° 35' 01" S	70° 04' 58" O	RD_2	12° 35' 01" S	70° 04' 57" O	RI_2	12° 35' 01" S	70° 04' 57" O
Los Amigos	12° 34' 45" S	70° 04' 57" O	100	LA_D3	12° 35' 00" S	70° 05' 00" O	RD_3	12° 35' 00" S	70° 04' 59" O	RI_3	12° 35' 00" S	70° 04' 59" O
Los Amigos	12° 34' 45" S	70° 04' 57" O	300	LA_D4	12° 34' 55" S	70° 05' 05" O	RD_4	12° 34' 53" S	70° 05' 04" O	RI_4	12° 34' 53" S	70° 05' 04" O
Los Amigos	12° 34' 45" S	70° 04' 57" O	500	LA_D5	12° 34' 49" S	70° 05' 09" O	RD_5	12° 34' 49" S	70° 05' 08" O	RI_5	12° 34' 49" S	70° 05' 08" O
Los Amigos	12° 34' 45" S	70° 04' 57" O	700	LA_D6	12° 34' 45" S	70° 05' 11" O	RD_6	12° 34' 45" S	70° 05' 11" O	RI_6	12° 34' 45" S	70° 05' 11" O
Los Amigos	12° 34' 45" S	70° 04' 57" O	900	LA_D7	12° 34' 40" S	70° 05' 15" O	RD_7	12° 34' 39" S	70° 05' 14" O	RI_7	12° 34' 39" S	70° 05' 14" O
Los Amigos	12° 34' 45" S	70° 04' 57" O	1000	LA_D8	12° 34' 38" S	70° 05' 15" O	RD_8	12° 34' 38" S	70° 05' 14" O	RI_8	12° 34' 38" S	70° 05' 14" O
La Torre (RNTAMB)	12° 50' 45" S	69° 17' 55" O	0	LT_D1	12° 51' 04" S	69° 17' 55" O	RD_1	12° 51' 05" S	69° 17' 56" O	RI_1	12° 51' 05" S	69° 17' 56" O
La Torre (RNTAMB)	12° 50' 45" S	69° 17' 55" O	50	LT_D2	12° 51' 03" S	69° 17' 54" O	RD_2	12° 51' 02" S	69° 17' 54" O	RI_2	12° 51' 02" S	69° 17' 54" O
La Torre (RNTAMB)	12° 50' 45" S	69° 17' 55" O	100	LT_D3	12° 51' 01" S	69° 17' 57" O	RD_3	12° 51' 01" S	69° 17' 56" O	RI_3	12° 51' 01" S	69° 17' 56" O
La Torre (RNTAMB)	12° 50' 45" S	69° 17' 55" O	300	LT_D4	12° 50' 54" S	69° 17' 55" O	RD_4	12° 50' 54" S	69° 17' 53" O	RI_4	12° 50' 54" S	69° 17' 53" O
La Torre (RNTAMB)	12° 50' 45" S	69° 17' 55" O	500	LT_D5	12° 50' 48" S	69° 17' 57" O	RD_5	12° 50' 49" S	69° 17' 55" O	RI_5	12° 50' 49" S	69° 17' 55" O
La Torre (RNTAMB)	12° 50' 45" S	69° 17' 55" O	700	LT_D6	12° 50' 41" S	69° 17' 57" O	RD_6	12° 50' 41" S	69° 17' 54" O	RI_6	12° 50' 41" S	69° 17' 54" O
La Torre (RNTAMB)	12° 50' 45" S	69° 17' 55" O	900	LT_D7	12° 50' 34" S	69° 17' 57" O	RD_7	12° 50' 34" S	69° 17' 55" O	RI_7	12° 50' 34" S	69° 17' 55" O
La Torre (RNTAMB)	12° 50' 45" S	69° 17' 55" O	1000	LT_D8	12° 50' 32" S	69° 18' 01" O	RD_8	12° 50' 32" S	69° 18' 00" O	RI_8	12° 50' 32" S	69° 18' 00" O

Azul (RNTAMB)	13° 02' 28" S	69° 55' 37" O	0	AZ_D1	13° 02' 47" S	69° 55' 37" O	RD_1	13° 02' 47" S	69° 55' 37" O	RI_1	13° 02' 47" S	69° 55' 37" O
Azul (RNTAMB)	13° 02' 28" S	69° 55' 37" O	50	AZ_D2	13° 02' 46" S	69° 55' 36" O	RD_2	13° 02' 46" S	69° 55' 36" O	RI_2	13° 02' 46" S	69° 55' 36" O
Azul (RNTAMB)	13° 02' 28" S	69° 55' 37" O	100	AZ_D3	13° 02' 45" S	69° 55' 34" O	RD_3	13° 02' 45" S	69° 55' 34" O	RI_3	13° 02' 45" S	69° 55' 34" O
Azul (RNTAMB)	13° 02' 28" S	69° 55' 37" O	300	AZ_D4	13° 02' 46" S	69° 55' 28" O	RD_4	13° 02' 46" S	69° 55' 28" O	RI_4	13° 02' 46" S	69° 55' 28" O
Azul (RNTAMB)	13° 02' 28" S	69° 55' 37" O	500	AZ_D5	13° 02' 47" S	69° 55' 22" O	RD_5	13° 02' 48" S	69° 55' 21" O	RI_5	13° 02' 48" S	69° 55' 21" O
Azul (RNTAMB)	13° 02' 28" S	69° 55' 37" O	700	AZ_D6	13° 02' 42" S	69° 55' 15" O	RD_6	13° 02' 42" S	69° 55' 15" O	RI_6	13° 02' 42" S	69° 55' 15" O
Azul (RNTAMB)	13° 02' 28" S	69° 55' 37" O	900	AZ_D7	13° 02' 42" S	69° 55' 08" O	RD_7	13° 02' 43" S	69° 55' 08" O	RI_7	13° 02' 43" S	69° 55' 08" O
Azul (RNTAMB)	13° 02' 28" S	69° 55' 37" O	1000	AZ_D8	13° 02' 40" S	69° 55' 05" O	RD_8	13° 02' 41" S	69° 55' 04" O	RI_8	13° 02' 41" S	69° 55' 04" O



## **Anexo 11. Instalación de los muestreadores pasivos de aire (PAS)**

### **A) Colocación de muestreadores en el transecto de evaluación**



### **B) Muestreadores de aire colocados en la Estación Biológica Los Amigos**

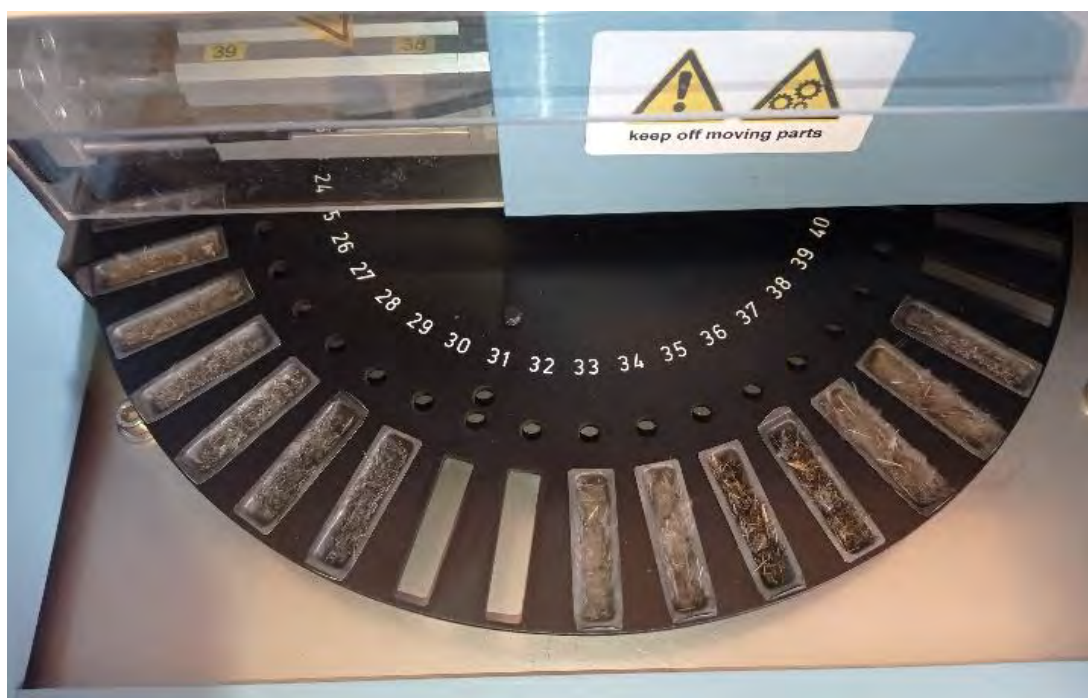


**Anexo 12.** Procesamiento de muestras en el Laboratorio de Mercurio y Química Ambiental (LAMQA)

**A) Analizador Directo de Mercurio (DMA-80, Milestone)**



**B) Plumas por analizar en el equipo DMA**





### C) Procesamiento de muestras



## Anexo 13. Resultados de laboratorio para análisis de mercurio en plumas



ASOCIACION CENTRO DE INNOVACION CIENTIFICA AMAZONICA - CINCIA

LABORATORIO DE MERCURIO Y QUIMICA AMBIENTAL

### RESULTADOS DE ANALISIS DE MERCURIO

**Solicitante** : Jessica Nataly Pisconte Camargo

**Matriz analizada:** Plumaz

**Fecha de ingreso:** 01/11/2019

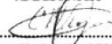
Codigo de laboratorio	Lugar	Especie	Gremio alimenticio	Fecha Analisis	µg/g Hg Peso seco
AV0001	Los Amigos	<i>Iseria houxwelli</i>	Insectivoros	30/04/2021	1.500
AV0002	Los Amigos	<i>Xiphorhynchus guttatus</i>	Insectivoros	30/04/2021	1.502
AV0003	Los Amigos	<i>Dendrocolaptes picumnus</i>	Insectivoros	6/05/2021	1.507
AV0004	Los Amigos	<i>Momotus momota</i>	Omnivoros	6/05/2021	0.602
AV0005	Los Amigos	<i>Picumnus rufiventris</i>	Insectivoros	6/05/2021	0.359
AV0006	Los Amigos	<i>Tangara schrankii</i>	Frugivoros	30/04/2021	0.347
AV0007	Los Amigos	<i>Picumnus rufiventris</i>	Insectivoros	6/05/2021	0.115
AV0008	Los Amigos	<i>Thamnophilus schistaceus</i>	Insectivoros	4/05/2021	0.351
AV0009	Los Amigos	<i>Thamnophilus schistaceus</i>	Insectivoros	4/05/2021	0.501
AV0010	Los Amigos	<i>Pipra fasciicauda</i>	Frugivoros	30/04/2021	0.147
AV0011	Los Amigos	<i>Pipra fasciicauda</i>	Frugivoros	30/04/2021	0.253
AV0012	Los Amigos	<i>Chloroceryle aenea</i>	Piscivoros	6/05/2021	1.718
AV0013	Los Amigos	<i>Myrmelastes hyperythrus</i>	Insectivoros	6/05/2021	1.352
AV0014	Los Amigos	<i>Microcerculus marginatus</i>	Insectivoros	6/05/2021	3.154
AV0015	Los Amigos	<i>Pipra fasciicauda</i>	Frugivoros	30/04/2021	0.188
AV0016	Los Amigos	<i>Myrmelastes hyperythrus</i>	Insectivoros	6/05/2021	1.362
AV0017	Los Amigos	<i>Laniocera hypopyrra</i>	Insectivoros	6/05/2021	0.100
AV0018	Los Amigos	<i>Picumnus rufiventris</i>	Insectivoros	6/05/2021	0.305
AV0019	Los Amigos	<i>Geotrygon montana</i>	Omnivoros	30/04/2021	0.330
AV0020	Los Amigos	<i>Formicarius analis</i>	Insectivoros	5/05/2021	1.751
AV0021	Los Amigos	<i>Geotrygon montana</i>	Omnivoros	30/04/2021	0.753
AV0022	Los Amigos	<i>Momotus momota</i>	Omnivoros	6/05/2021	0.908
AV0023	Los Amigos	<i>Myrmelastes hyperythrus</i>	Insectivoros	5/05/2021	1.574
AV0024	Los Amigos	<i>Picumnus rufiventris</i>	Insectivoros	5/05/2021	0.349
AV0025	Los Amigos	<i>Dendroplex picus</i>	Insectivoros	5/05/2021	1.122
AV0026	Los Amigos	<i>Pipra fasciicauda</i>	Frugivoros	30/04/2021	0.181
AV0027	Los Amigos	<i>Conopophaga peruviana</i>	Insectivoros	5/05/2021	1.756
AV0028	Los Amigos	<i>Rhynchocyclus olivaceus</i>	Insectivoros	5/05/2021	0.967
AV0029	Los Amigos	<i>Rhynchocyclus olivaceus</i>	Insectivoros	5/05/2021	1.188
AV0030	Los Amigos	<i>Glyphorhynchus spirurus</i>	Insectivoros	5/05/2021	0.662
AV0031	Los Amigos	<i>Pipra fasciicauda</i>	Frugivoros	30/04/2021	0.258
AV0032	Los Amigos	<i>Pipra fasciicauda</i>	Frugivoros	30/04/2021	0.169
AV0033	Los Amigos	<i>Platyrinchus coronatus</i>	Insectivoros	5/05/2021	0.700

AV0079	La Torre	<i>Isteria hauxwelli</i>	Insectívoros	4/05/2021	0.817
AV0080	La Torre	<i>Formicarius analis</i>	Insectívoros	4/05/2021	0.558
AV0081	La Torre	<i>Pipra fasciicauda</i>	Frugívoros	2/05/2021	0.200
AV0082	La Torre	<i>Leptotila rufaxilla</i>	Granívoros	2/05/2021	0.038
AV0083	La Torre	<i>Galbula cyanescens</i>	Insectívoros	4/05/2021	0.933
AV0084	La Torre	<i>Pipra fasciicauda</i>	Frugívoros	2/05/2021	0.196
AV0085	La Torre	<i>Tangara schrankii</i>	Frugívoros	2/05/2021	0.182
AV0086	La Torre	<i>Leptotila rufaxilla</i>	Granívoros	2/05/2021	0.084
AV0087	La Torre	<i>Formicarius analis</i>	Insectívoros	4/05/2021	0.756
AV0088	La Torre	<i>Isteria hauxwelli</i>	Insectívoros	4/05/2021	0.736
AV0089	La Torre	<i>Veniliornis passerinus</i>	Insectívoros	4/05/2021	0.071
AV0090	La Torre	<i>Pipra fasciicauda</i>	Frugívoros	2/05/2021	0.502
AV0091	La Torre	<i>Galbula cyanescens</i>	Insectívoros	4/05/2021	1.889
AV0092	La Torre	<i>Sciaphylax hemimelaena</i>	Insectívoros	4/05/2021	0.810
AV0093	La Torre	<i>Tangara schrankii</i>	Frugívoros	2/05/2021	0.164
AV0094	La Torre	<i>Crypturellus soui</i>	Omnívoros	2/05/2021	0.047
AV0095	La Torre	<i>Glyphorynchus spirurus</i>	Insectívoros	4/05/2021	0.258
AV0096	La Torre	<i>Pipra fasciicauda</i>	Frugívoros	2/05/2021	0.241
AV0097	La Torre	<i>Habia rubica</i>	Insectívoros	2/05/2021	0.289
AV0098	La Torre	<i>Habia rubica</i>	Insectívoros	2/05/2021	0.363
AV0099	La Torre	<i>Hemitriccus griseipectus</i>	Insectívoros	2/05/2021	0.349
AV0100	La Torre	<i>Monasa nigrifrons</i>	Omnívoros	4/05/2021	0.153
AV0101	La Torre	<i>Mymotherula sp</i>	Insectívoros	2/05/2021	0.293
AV0103	La Torre	<i>Mymotherula iheringi</i>	Insectívoros	2/05/2021	1.012
AV0104	La Torre	<i>Pipra fasciicauda</i>	Frugívoros	2/05/2021	0.271
AV0105	La Torre	<i>Glyphorynchus spirurus</i>	Insectívoros	2/05/2021	0.229
AV0106	La Torre	<i>Formicarius analis</i>	Insectívoros	2/05/2021	0.639
AV0107	La Torre	<i>Pipra fasciicauda</i>	Frugívoros	2/05/2021	0.113
AV0108	La Torre	<i>Pteroglossus beauharnaisii</i>	Frugívoros	5/05/2021	0.069
AV0109	La Torre	<i>Pteroglossus beauharnaisii</i>	Frugívoros	5/05/2021	0.077
AV0110	La Torre	<i>Ramphocelus carbo</i>	Insectívoros	4/05/2021	0.197
AV0111	La Torre	<i>Attila spadiceus</i>	Omnívoros	2/05/2021	1.025
AV0112	La Torre	<i>Formicarius analis</i>	Insectívoros	4/05/2021	0.934
AV0113	La Torre	<i>Megascops watsonii</i>	Carnívoros	5/05/2021	0.092
AV0114	Azul	<i>Tyrannulus elatus</i>	Insectívoros	7/05/2021	0.982
AV0115	Azul	<i>Zimmerius gracilipes</i>	Insectívoros	7/05/2021	0.716
AV0116	Azul	<i>Pipra fasciicauda</i>	Frugívoros	6/05/2021	0.855
AV0117	Azul	<i>Mionectes oleagineus</i>	Insectívoros	7/05/2021	1.064
AV0118	Azul	<i>Hemitriccus flammulatus</i>	Insectívoros	7/05/2021	0.823
AV0119	Azul	<i>Isteria hauxwelli</i>	Insectívoros	7/05/2021	9.026
AV0120	Azul	<i>Isteria hauxwelli</i>	Insectívoros	7/05/2021	12.130
AV0121	Azul	<i>Thamnophilus aethiops</i>	Insectívoros	7/05/2021	0.956
AV0122	Azul	<i>Pipra fasciicauda</i>	Frugívoros	6/05/2021	0.841

AV0034	Los Amigos	<i>Xiphorhynchus ocellatus</i>	Insectivoros	5/05/2021	1.467
AV0035	Los Amigos	<i>Xiphorhynchus guttatus</i>	Insectivoros	5/05/2021	2.276
AV0036	Los Amigos	<i>Pygiptila stellaris</i>	Insectivoros	5/05/2021	1.116
AV0037	Los Amigos	<i>Dendrocicla merula</i>	Insectivoros	5/05/2021	2.196
AV0038	Los Amigos	<i>Pipra fasciicauda</i>	Frugivoros	30/04/2021	0.312
AV0039	Los Amigos	<i>Isleria hauxwelli</i>	Insectivoros	5/05/2021	1.127
AV0040	Los Amigos	<i>Cyphorhinus arada</i>	Insectivoros	5/05/2021	2.087
AV0041	Los Amigos	<i>Cyphorhinus arada</i>	Insectivoros	5/05/2021	2.663
AV0042	Los Amigos	<i>Cyphorhinus arada</i>	Insectivoros	5/05/2021	1.848
AV0043	Los Amigos	<i>Glyphorhynchus spirurus</i>	Insectivoros	5/05/2021	0.375
AV0044	Los Amigos	<i>Pipra fasciicauda</i>	Frugivoros	30/04/2021	0.340
AV0045	Los Amigos	<i>Xiphorhynchus ocellatus</i>	Insectivoros	5/05/2021	1.168
AV0046	Los Amigos	<i>Pipra fasciicauda</i>	Frugivoros	30/04/2021	0.265
AV0047	Los Amigos	<i>Xiphorhynchus obsoletus</i>	Insectivoros	5/05/2021	2.119
AV0048	Los Amigos	<i>Myrmotherula iheringi</i>	Insectivoros	30/04/2021	1.758
AV0049	Los Amigos	<i>Corythopsis torquatus</i>	Insectivoros	4/05/2021	1.091
AV0050	Los Amigos	<i>Myrmelastes hyperythrus</i>	Insectivoros	4/05/2021	2.435
AV0051	Los Amigos	<i>Deconychura longicauda</i>	Insectivoros	30/04/2021	1.222
AV0052	Los Amigos	<i>Momotus momota</i>	Omnivoros	6/05/2021	0.781
AV0053	Los Amigos	<i>Tangara schrankii</i>	Frugivoros	30/04/2021	0.420
AV0054	Los Amigos	<i>Myrmelastes hyperythrus</i>	Insectivoros	30/04/2021	1.432
AV0055	Los Amigos	<i>Myrmelastes hyperythrus</i>	Insectivoros	30/04/2021	1.764
AV0056	Los Amigos	<i>Pipra fasciicauda</i>	Frugivoros	30/04/2021	0.276
AV0057	Los Amigos	<i>Deconychura longicauda</i>	Insectivoros	30/04/2021	1.470
AV0058	Los Amigos	<i>Corythopsis torquatus</i>	Insectivoros	30/04/2021	1.068
AV0059	Los Amigos	<i>Rhynchocyclus olivaceus</i>	Insectivoros	30/04/2021	1.596
AV0060	Los Amigos	<i>Taraba major</i>	Insectivoros	6/05/2021	1.196
AV0061	La Torre	<i>Monasa nigrifrons</i>	Omnivoros	2/05/2021	0.188
AV0062	La Torre	<i>Pipra fasciicauda</i>	Frugivoros	1/05/2021	0.301
AV0063	La Torre	<i>Isleria hauxwelli</i>	Insectivoros	4/05/2021	1.197
AV0064	La Torre	<i>Pipra fasciicauda</i>	Frugivoros	1/05/2021	0.266
AV0065	La Torre	<i>Taraba major</i>	Insectivoros	4/05/2021	0.307
AV0066	La Torre	<i>Dendroplex picus</i>	Insectivoros	4/05/2021	0.682
AV0067	La Torre	<i>Myrmotherula longipennis</i>	Insectivoros	4/05/2021	1.061
AV0068	La Torre	<i>Leptotila rufaxilla</i>	Granivoros	1/05/2021	0.051
AV0069	La Torre	<i>Myrmoborus leucophrys</i>	Insectivoros	4/05/2021	0.436
AV0070	La Torre	<i>Automolus rufipileatus</i>	Insectivoros	4/05/2021	0.599
AV0071	La Torre	<i>Pipra fasciicauda</i>	Frugivoros	1/05/2021	0.226
AV0072	La Torre	<i>Automolus rufipileatus</i>	Insectivoros	4/05/2021	0.695
AV0074	La Torre	<i>Pipra fasciicauda</i>	Frugivoros	1/05/2021	0.135
AV0076	La Torre	<i>Pipra fasciicauda</i>	Frugivoros	2/05/2021	0.260
AV0077	La Torre	<i>Xiphorhynchus ocellatus</i>	Insectivoros	4/05/2021	0.539
AV0078	La Torre	<i>Myrmoborus leucophrys</i>	Insectivoros	4/05/2021	0.461

AV0123	Azul	<i>Pteroglossus inscriptus</i>	Frugívoros	13/05/2021	0.248
AV0124	Azul	<i>Ramphocelus carbo</i>	Insectívoros	6/05/2021	2.921
AV0125	Azul	<i>Volatinia jacarina</i>	Granívoros	6/05/2021	0.493
AV0126	Azul	<i>Pipra fasciicauda</i>	Frugívoros	6/05/2021	0.832
AV0127	Azul	<i>Pheugopedius genibarbis</i>	Insectívoros	7/05/2021	3.542
AV0128	Azul	<i>Myiarchus swainsoni</i>	Insectívoros	7/05/2021	3.344
AV0129	Azul	<i>Ramphocelus carbo</i>	Insectívoros	6/05/2021	1.362
AV0130	Azul	<i>Pteroglossus inscriptus</i>	Frugívoros	13/05/2021	0.155
AV0131	Azul	<i>Geotrygon montana</i>	Omnívoros	6/05/2021	0.301
AV0132	Azul	<i>Pteroglossus inscriptus</i>	Frugívoros	13/05/2021	0.206
AV0133	Azul	<i>Pteroglossus inscriptus</i>	Frugívoros	13/05/2021	0.292
AV0134	Azul	<i>Pteroglossus azara</i>	Frugívoros	13/05/2021	0.167
AV0135	Azul	<i>Pteroglossus inscriptus</i>	Frugívoros	13/05/2021	0.272
AV0136	Azul	<i>Myrmoborus leucophrys</i>	Insectívoros	7/05/2021	2.752
AV0137	Azul	<i>Pipra fasciicauda</i>	Frugívoros	6/05/2021	1.065
AV0138	Azul	<i>Pipra fasciicauda</i>	Frugívoros	6/05/2021	0.386
AV0139	Azul	<i>Onellornis salvini</i>	Insectívoros	7/05/2021	13.598
AV0140	Azul	<i>Pteroglossus azara</i>	Frugívoros	13/05/2021	0.315
AV0141	Azul	<i>Pteroglossus azara</i>	Frugívoros	13/05/2021	0.229
AV0142	Azul	<i>Pipra fasciicauda</i>	Frugívoros	7/05/2021	0.630
AV0143	Azul	<i>Machaeropterus pyrocephalus</i>	Frugívoros	7/05/2021	0.418
AV0144	Azul	<i>Ancistrops strigilatus</i>	Insectívoros	7/05/2021	2.320
AV0145	Azul	<i>Thamnomanes ardesiacus</i>	Insectívoros	7/05/2021	1.797
AV0146	Azul	<i>Pipra fasciicauda</i>	Frugívoros	7/05/2021	0.417
AV0147	Azul	<i>Automolus infuscatus</i>	Insectívoros	7/05/2021	4.263
AV0148	Azul	<i>Isteria hauxwelli</i>	Insectívoros	7/05/2021	6.495
AV0149	Azul	<i>Glyphorhynchus spirurus</i>	Insectívoros	7/05/2021	1.568
AV0150	Azul	<i>Sporophila atrirostris</i>	Granívoros	7/05/2021	1.256
AV0151	Azul	<i>Glyphorhynchus spirurus</i>	Insectívoros	13/05/2021	1.287
AV0152	Azul	<i>Tangara schrankii</i>	Frugívoros	7/05/2021	1.073
AV0153	Azul	<i>Megascops watsonii</i>	Carnívoros	16/05/2021	0.415
AV0154	Azul	<i>Stelgidopteryx ruficollis</i>	Insectívoros	7/05/2021	4.427
AV0155	Azul	<i>Atticora fasciata</i>	Insectívoros	13/05/2021	3.394
AV0156	Azul	<i>Trogon melanurus</i>	Frugívoros	7/05/2021	0.480
AV0157	Azul	<i>Atticora fasciata</i>	Insectívoros	7/05/2021	2.887
AV0158	Azul	<i>Chloroceryle amazona</i>	Piscívoros	15/05/2021	26.631
AV0159	Azul	<i>Chloroceryle amazona</i>	Piscívoros	15/05/2021	30.681

CENTRO DE INNOVACIÓN CIENTÍFICA  
AMAZÓNICA

  
Dra. Claudia Manbel Vega Ruiz  
Coordinadora de Mercurio



## Anexo 14. Resultados de los controles de calidad del análisis de mercurio en plumas



ASOCIACION CENTRO DE INNOVACION CIENTIFICA AMAZONICA - CINCIA

LABORATORIO DE MERCURIO Y QUIMICA AMBIENTAL

### RESULTADOS DE CONTROL DE CALIDAD

**Solicitante** : Jessica Nataly Pisconte Camargo

**Matriz analizada:** Plumas

**Fecha de ingreso:** 01/11/2019

**Material de Referencia:** DORM-4 (0.412 mg/kg)- Fish Protein - National Research Council - NRC (\*)

Recuperación mínima: 92.58%

Recuperación máxima: 109.73%

Recuperación promedio: 97.98%

**Material de Referencia:** CRM-13 (4.42 mg/kg) - National Institute for Environmental Studies – NIES (\*)

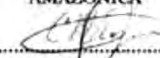
Recuperación mínima: 94.52%

Recuperación máxima: 99.23%

Recuperación promedio: 97.15%

\* El rango de % de porcentaje de recuperación recomendable es: 90-110%

CENTRO DE INNOVACIÓN CIENTÍFICA  
AMAZÓNICA

  
Dra. Claudia Manbel Vega Ruiz  
Coordinadora de Mercurio

**Anexo 15.** Base de datos procesada y validada de capturas, metadatos y Hg (2019)

Fecha de Colecta	Lugar	Distancia	Red	Especie	Sexo	Protuberancia cloacal	Parche de incubación	Muda en cuerpo	Desgaste de vuelo	Osificación	Peso gr	Ala mm	Cola cm	Tarso mm	Pico Narina mm	Codigo de Laboratorio	Concentracion de THg (µg/g)
25/07/2019	Los Amigos	0	RI_1	<i>Xiphorhynchus guttatus</i>	H	NO	SI	NO	I	6	64.8	115	91	24.6	27.4	AV0002	1.502
25/07/2019	Los Amigos	0	RD_1	<i>Dendrocolaptes picumnus</i>	D	NO	NO	NO	B	4	71.3	130	122	29.7	27.9	AV0003	1.507
25/07/2019	Los Amigos	0	RD_1	<i>Momotus momota</i>	H	NO	SI	NO	I	5	105.9	135	150	36.4	29.8	AV0004	0.602
25/07/2019	Los Amigos	0	RI_1	<i>Picumnus rufiventris</i>	M	NO	SI	SI	L	5	19.6	63	33	17.9	14	AV0005	0.359
25/07/2019	Los Amigos	0	RI_1	<i>Picumnus rufiventris</i>	H	NO	SI	SI	L	4	19.8	63	33	17.6	13.5	AV0007	0.115
25/07/2019	Los Amigos	0	RD_1	<i>Thamnophilus schistaceus</i>	D	NO	NO	SI	I	4	19.5	62	51	20.5	10.2	AV0008	0.351
25/07/2019	Los Amigos	0	RD_1	<i>Thamnophilus schistaceus</i>	M	NO	SI	SI	I	6	21.5	65	55	20.2	11.4	AV0009	0.501
25/07/2019	Los Amigos	0	RD_1	<i>Pipra fasciicauda</i>	M	NO	NO	NO	N	6	17	65	27	16.6	6.8	AV0010	0.147
25/07/2019	Los Amigos	0	RD_1	<i>Myrmelastes hyperythrus</i>	M	NO	SI	NO	L	6	-	80	57	30	14.3	AV0013	1.352
25/07/2019	Los Amigos	50	RI_2	<i>Tangara schrankii</i>	M	NO	SI	NO	I	6	19.9	68	43	18	7.7	AV0006	0.347
25/07/2019	Los Amigos	50	RI_2	<i>Pipra fasciicauda</i>	M	NO	NO	SI	I	6	18.2	63	-	16.7	7.2	AV0011	0.253
25/07/2019	Los Amigos	100	RI_3	<i>Isleria hauxwelli</i>	H	NO	SI	NO	L	6	0.9	52	25	20	7.7	AV0001	1.5
25/07/2019	Los Amigos	300	RI_4	<i>Chloroceryle aenea</i>	H	NO	NO	SI	I	D	13.2	56	34	-	23.6	AV0012	1.718
26/07/2019	Los Amigos	0	RI_1	<i>Microcerculus marginatus</i>	D	NO	NO	SI	L	4	17.9	57	26	22	11.5	AV0014	3.154



26/07/2019	Los Amigos	0	RI_1	<i>Pipra fasciicauda</i>	M	NO	NO	NO	L	6	17.8	65	27	15.6	6.8	AV0015	0.188
26/07/2019	Los Amigos	0	RI_1	<i>Myrmelastes hyperythrus</i>	H	NO	SI	NO	I	6	9	83	63	29.5	13.5	AV0016	1.362
26/07/2019	Los Amigos	0	RI_1	<i>Picumnus rufiventris</i>	H	NO	SI	SI	L	3	19.6	63	31	17.8	14.7	AV0018	0.305
26/07/2019	Los Amigos	100	RD_3	<i>Laniocera hypopyrra</i>	D	NO	NO	SI	L	6	46.6	110	83	21.5	11.3	AV0017	0.1
26/07/2019	Los Amigos	100	RI_3	<i>Geotrygon montana</i>	D	NO	NO	SI	L	4	100.3	131	71	29.8	7.7	AV0019	0.33
27/07/2019	Los Amigos	0	RD_1	<i>Myrmelastes hyperythrus</i>	M	NO	SI	SI	L	6	40	83	59	20.2	13.6	AV0023	1.574
27/07/2019	Los Amigos	0	RD_1	<i>Picumnus rufiventris</i>	H	NO	NO	SI	I	5	19.6	62	31	19	14.5	AV0024	0.349
27/07/2019	Los Amigos	0	RI_1	<i>Dendroplex picus</i>	D	NO	NO	NO	I	6	39.8	103	86	22.6	20.6	AV0025	1.122
27/07/2019	Los Amigos	50	RI_2	<i>Momotus momota</i>	D	NO	NO	NO	I	D	111	130	-	22.3	18.1	AV0022	0.908
27/07/2019	Los Amigos	100	RD_3	<i>Geotrygon montana</i>	H	NO	NO	NO	M	6	96	129	69	26.7	7.5	AV0021	0.753
27/07/2019	Los Amigos	300	RI_4	<i>Formicarius analis</i>	D	NO	NO	SI	I	4	58	90	53	32.3	13.2	AV0020	1.751
27/07/2019	Los Amigos	300	RD_4	<i>Pipra fasciicauda</i>	M	NO	NO	NO	T	5	16.9	63	31	16.6	7.4	AV0026	0.181
29/07/2019	Los Amigos	500	RI_4	<i>Xiphorhynchus guttatus</i>	D	NO	NO	SI	M	5	58.3	105	83	23.8	26.6	AV0035	2.276
29/07/2019	Los Amigos	700	RD_5	<i>Conopophaga peruviana</i>	H	NO	SI	NO	L	6	25.8	68	33	25.6	9.3	AV0027	1.756
29/07/2019	Los Amigos	700	RD_5	<i>Pipra fasciicauda</i>	M	NO	NO	NO	I	6	16.6	63	30	15.2	7	AV0031	0.258
29/07/2019	Los Amigos	700	RI_5	<i>Platyrinchus coronatus</i>	M	NO	NO	SI	L	4	10.7	58	30	13.5	6.5	AV0033	0.7
29/07/2019	Los Amigos	700	RI_5	<i>Xiphorhynchus ocellatus</i>	D	NO	NO	NO	I	6	31.1	99	82	23.4	21.3	AV0034	1.467

29/07/2019	Los Amigos	900	RD_6	<i>Rhynchocyclus olivaceus</i>	D	NO	NO	NO	L	6	11.6	64	58	13.9	8.1	AV0028	0.967
29/07/2019	Los Amigos	900	RD_6	<i>Rhynchocyclus olivaceus</i>	D	NO	NO	NO	I	6	10.9	63	59	14.2	7.7	AV0029	1.188
29/07/2019	Los Amigos	900	RI_6	<i>Dendrocincla merula</i>	D	NO	NO	NO	I	6	47.1	102	85	26.3	17.3	AV0037	2.196
29/07/2019	Los Amigos	1000	RD_7	<i>Glyphorhynchus spirurus</i>	D	NO	NO	SI	L	6	13.5	66	58	16.9	8.8	AV0030	0.662
29/07/2019	Los Amigos	1000	RD_7	<i>Pipra fasciicauda</i>	H	NO	NO	SI	L	6	17.3	65	31	15.5	7.7	AV0032	0.169
29/07/2019	Los Amigos	1000	RI_7	<i>Pygiptila stellaris</i>	D	NO	SI	SI	L	6	27.6	79	40	20	13.6	AV0036	1.116
30/07/2019	Los Amigos	500	RI_4	<i>Pipra fasciicauda</i>	D	NO	NO	NO	-	6	17.4	68	30	16.2	6.9	AV0038	0.312
30/07/2019	Los Amigos	500	RD_4	<i>Xiphorhynchus ocellatus</i>	D	NO	NO	NO	L	6	30	97	76	15.5	23.8	AV0045	1.168
30/07/2019	Los Amigos	700	RI_5	<i>Glyphorhynchus spirurus</i>	D	NO	NO	NO	I	6	15.5	70	66	15.9	10.4	AV0043	0.375
30/07/2019	Los Amigos	700	RI_5	<i>Myrmotherula iheringi</i>	M	NO	SI	NO	L	6	10	58	33	26.6	8.7	AV0048	1.758
30/07/2019	Los Amigos	900	RI_6	<i>Isleria hauxwelli</i>	D	NO	SI	NO	-	6	-	47	24	19	8.1	AV0039	1.127
30/07/2019	Los Amigos	900	RD_6	<i>Cyphorhinus arada</i>	D	NO	NO	SI	-	1	22.6	62	32	25.5	10.6	AV0041	2.663
30/07/2019	Los Amigos	900	RD_6	<i>Cyphorhinus arada</i>	D	NO	NO	SI	-	1	24.5	65	36	5.8	12.1	AV0042	1.848
30/07/2019	Los Amigos	900	RI_6	<i>Pipra fasciicauda</i>	H	NO	NO	NO	I	6	17.3	63	30	20.6	7.6	AV0044	0.34
30/07/2019	Los Amigos	900	RI_6	<i>Pipra fasciicauda</i>	H	NO	NO	NO	N	6	16.8	64	29	21.4	7.4	AV0046	0.265
30/07/2019	Los Amigos	900	RI_6	<i>Xiphorhynchus obsoletus</i>	D	NO	NO	NO	I	6	32.2	97	82	15.2	19.6	AV0047	2.119
30/07/2019	Los Amigos	1000	RD_7	<i>Cyphorhinus arada</i>	D	NO	SI	SI	-	4	-	69	-	23.4	-	AV0040	2.087

30/07/2019	Los Amigos	1000	RI_7	<i>Corythopis torquatus</i>	D	NO	NO	NO	L	4	16.9	68	52	30.5	8.5	AV0049	1.091
30/07/2019	Los Amigos	1000	RD_7	<i>Myrmelastes hyperythrus</i>	H	NO	NO	SI	L	6	39.8	76	62	22.1	12.8	AV0050	2.435
30/07/2019	Los Amigos	1000	RI_7	<i>Deconychura longicauda</i>	D	NO	NO	NO	L	6	31.2	101	96	30.3	18.1	AV0051	1.222
31/07/2019	Los Amigos	500	RD_4	<i>Taraba major</i>	M	NO	NO	SI	I	6	54.5	87	75	33.3	16.3	AV0060	1.196
31/07/2019	Los Amigos	700	RI_5	<i>Momotus momota</i>	D	NO	NO	NO	L	6	-	129	148	-	27.3	AV0052	0.781
31/07/2019	Los Amigos	700	RD_5	<i>Myrmelastes hyperythrus</i>	H	NO	SI	SI	L	6	42.6	81	62	29.6	14	AV0054	1.432
31/07/2019	Los Amigos	700	RI_5	<i>Myrmelastes hyperythrus</i>	M	NO	SI	NO	L	6	38.7	81	61	16.4	13.7	AV0055	1.764
31/07/2019	Los Amigos	700	RD_5	<i>Pipra fasciicauda</i>	M	NO	NO	NO	I	6	16.3	63	28	23.4	7.4	AV0056	0.276
31/07/2019	Los Amigos	900	RI_6	<i>Tangara schrankii</i>	M	SI	NO	SI	I	6	21.4	68	42	30.5	7	AV0053	0.42
31/07/2019	Los Amigos	900	RD_6	<i>Deconychura longicauda</i>	D	NO	NO	NO	I	6	27.8	91	81	25.6	17.1	AV0057	1.47
31/07/2019	Los Amigos	900	RD_6	<i>Corythopis torquatus</i>	D	NO	NO	NO	L	4	17.5	69	58	-	8.6	AV0058	1.068
31/07/2019	Los Amigos	1000	RD_7	<i>Rhynchocyclus olivaceus</i>	D	NO	NO	NO	L	6	11.7	64	59	15	81	AV0059	1.596
6/08/2019	La Torre	0	RI_1	<i>Pipra fasciicauda</i>	H	NO	NO	NO	I	5	15.9	65	32	16	7.2	AV0064	0.266
6/08/2019	La Torre	0	RI_1	<i>Leptotila rufaxilla</i>	D	NO	NO	NO	L	D	-	135	101	30.4	8.7	AV0068	0.051
6/08/2019	La Torre	0	RI_1	<i>Formicarius analis</i>	D	NO	NO	NO	M	4	57.5	89	54	33.6	13	AV0087	0.756
6/08/2019	La Torre	50	RD_2	<i>Taraba major</i>	H	NO	SI	SI	-	6	54.5	87	-	35.6	-	AV0065	0.307
6/08/2019	La Torre	50	RI_2	<i>Myrmotherula longipennis</i>	H	NO	SI	NO	L	6	9.1	50	-	15.9	9	AV0067	1.061

6/08/2019	La Torre	50	RD_2	<i>Leptotila rufaxilla</i>	D	NO	NO	NO	L	N	149.5	135	95	30.8	9.1	AV0086	0.084
6/08/2019	La Torre	300	RI_3	<i>Monasa nigrifrons</i>	D	NO	NO	SI	L	6	78.5	121	118	21.7	29.8	AV0061	0.188
6/08/2019	La Torre	300	RI_3	<i>Pipra fasciicauda</i>	M	NO	NO	NO	-	6	16.9	65	28	16	-	AV0062	0.301
6/08/2019	La Torre	300	RI_3	<i>Iseria hauxwelli</i>	H	NO	SI	NO	N	6	11.7	49	25	19.8	8.6	AV0063	1.197
6/08/2019	La Torre	300	RD_3	<i>Dendroplex picus</i>	D	NO	NO	NO	-	3	-	107	-	25.5	23.3	AV0066	0.682
6/08/2019	La Torre	500	RI_4	<i>Pipra fasciicauda</i>	M	NO	NO	NO	I	D	16.9	66	30	17.5	7.4	AV0090	0.502
6/08/2019	La Torre	500	RD_4	<i>Sciaphylax hemimelaena</i>	H	NO	NO	SI	I	6	16.3	52	36	8.7	23.2	AV0092	0.81
6/08/2019	La Torre	500	RD_4	<i>Tangara schrankii</i>	M	NO	NO	NO	I	D	19.8	70	39	17.5	7.4	AV0093	0.164
6/08/2019	La Torre	500	RI_4	<i>Crypturellus soui</i>	D	NO	NO	NO	I	2	193.8	123	41	-	7.9	AV0094	0.047
6/08/2019	La Torre	500	RI_4	<i>Glyphorynchus spirurus</i>	D	NO	NO	NO	-	6	14.8	69	62	17.1	9.8	AV0095	0.258
6/08/2019	La Torre	700	RD_5	<i>Veniliornis passerinus</i>	M	NO	NO	SI	I	6	33.8	90	52	18.3	17.3	AV0089	0.071
6/08/2019	La Torre	700	RI_5	<i>Habia rubica</i>	D	NO	NO	NO	L	6	32.3	90	85	23.2	11.2	AV0097	0.289
6/08/2019	La Torre	900	RI_6	<i>Iseria hauxwelli</i>	M	NO	NO	NO	I	D	10.5	50	23	18.3	7.5	AV0088	0.736
6/08/2019	La Torre	900	RI_6	<i>Galbula cyanescens</i>	D	NO	NO	NO	I	6	22.5	87	99	-	42.1	AV0091	1.889
6/08/2019	La Torre	900	RD_6	<i>Pipra fasciicauda</i>	D	NO	NO	NO	L	6	15.8	63	32	15.6	7	AV0096	0.241
7/08/2019	La Torre	0	RD_1	<i>Automolus rufipileatus</i>	D	NO	SI	NO	L	6	35.3	81	76	24	15.4	AV0070	0.599
7/08/2019	La Torre	50	RD_2	<i>Myrmoborus leucophrys</i>	M	NO	SI	NO	I	6	29.6	67	50	26.8	9.9	AV0069	0.436

7/08/2019	La Torre	50	RD_2	<i>Automolus rufipileatus</i>	D	NO	SI	SI	L	6	31.8	83	73	23.9	15.7	AV0072	0.695
7/08/2019	La Torre	100	RD_3	<i>Pipra fasciicauda</i>	H	NO	SI	NO	L	6	19.4	63	32	16.6	7	AV0071	0.226
7/08/2019	La Torre	300	RD_3	<i>Pipra fasciicauda</i>	M	NO	NO	NO	L	6	15.8	63	28	16.2	6.8	AV0074	0.135
7/08/2019	La Torre	700	RI_5	<i>Habia rubica</i>	D	SI	NO	NO	I	4	46.8	90	78	24.9	11.1	AV0098	0.363
7/08/2019	La Torre	700	RI_5	<i>Hemitriccus griseipectus</i>	D	NO	NO	NO	I	6	9.5	52	48	15.9	6.9	AV0099	0.349
7/08/2019	La Torre	900	RI_6	<i>Monasa nigrifrons</i>	D	NO	NO	NO	I	2	4.7	123	112	21.4	23.8	AV0100	0.153
7/08/2019	La Torre	900	RD_6	<i>Mymotherula sp</i>	D	NO	NO	NO	L	6	11.1	56	33	15.6	7.6	AV0101	0.293
8/08/2019	La Torre	0	RI_1	<i>Pipra fasciicauda</i>	M	NO	NO	NO	L	6	16.7	66	28	16.4	6.7	AV0076	0.26
8/08/2019	La Torre	0	RD_1	<i>Myrmoborus leucophrys</i>	H	NO	SI	NO	I	6	18.2	63	43	26.6	10.5	AV0078	0.461
8/08/2019	La Torre	0	RD_1	<i>Pipra fasciicauda</i>	D	NO	NO	NO	L	5	16.6	62	33	16.2	6.8	AV0084	0.196
8/08/2019	La Torre	50	RI_1	<i>Xiphorhynchus ocellatus</i>	D	NO	NO	NO	L	6	66.7	122	103	25.8	28.4	AV0077	0.539
8/08/2019	La Torre	50	RD_1	<i>Leptotila rufaxilla</i>	D	NO	NO	NO	L	-	149.8	130	100	31.8	9	AV0082	0.038
8/08/2019	La Torre	50	RD_1	<i>Galbula cyanescens</i>	D	NO	NO	NO	L	4	20.8	75	85	-	36.4	AV0083	0.933
8/08/2019	La Torre	100	RD_3	<i>Tangara schrankii</i>	D	NO	NO	NO	L	5	23.1	65	41	18.3	6.8	AV0085	0.182
8/08/2019	La Torre	300	RD_3	<i>Iseria hauxwelli</i>	M	NO	SI	NO	I	N	11.2	51	26	19.6	8	AV0079	0.817
8/08/2019	La Torre	300	RD_3	<i>Formicarius analis</i>	D	NO	NO	NO	L	4	62.4	94	55	32.7	13.2	AV0080	0.558
8/08/2019	La Torre	300	RI_3	<i>Pipra fasciicauda</i>	M	NO	NO	NO	L	6	17.1	65	29	16	7.2	AV0081	0.2

8/08/2019	La Torre	500	RI_4	<i>Ramphocelus carbo</i>	D	NO	NO	NO	I	-	-	79	76	22	11.3	AV0110	0.197
8/08/2019	La Torre	500	RD_4	<i>Attila spadiceus</i>	D	NO	NO	D	-	-	-	-	-	-	-	AV0111	1.025
8/08/2019	La Torre	700	RI_5	<i>Pipra fasciicauda</i>	D	NO	NO	NO	I	D	18.7	65	29	16.3	7.2	AV0107	0.113
8/08/2019	La Torre	900	RD_6	<i>Myrmotherula iheringi</i>	D	NO	NO	NO	L	6	15.7	60	31	16.4	8.8	AV0103	1.012
8/08/2019	La Torre	900	RD_6	<i>Pipra fasciicauda</i>	D	NO	NO	NO	I	6	18.3	65	31	15.7	6.9	AV0104	0.271
8/08/2019	La Torre	900	RI_6	<i>Glyphorynchus spirurus</i>	D	NO	NO	NO	L	6	14.2	68	57	16.4	9.8	AV0105	0.229
8/08/2019	La Torre	900	RI_6	<i>Formicarius analis</i>	D	NO	NO	NO	I	6	58.3	91	53	32.4	12.2	AV0106	0.639
8/08/2019	La Torre	1000	RD_7	<i>Pteroglossus beauharnaisii</i>	D	NO	NO	NO	L	D	260	147	156	37	-	AV0108	0.069
8/08/2019	La Torre	1000	RD_7	<i>Pteroglossus beauharnaisii</i>	D	NO	NO	NO	L	6	220	139	142	36.4	83.7	AV0109	0.077
14/08/2019	Azul	0	RD_1	<i>Tyrannulus elatus</i>	D	NO	SI	NO	I	6	8.4	53	40	13.5	5.2	AV0114	0.982
14/08/2019	Azul	0	RD_1	<i>Zimmerius gracilipes</i>	D	NO	NO	NO	I	4	8.1	-	42	15.3	5.5	AV0115	0.716
14/08/2019	Azul	0	RI_1	<i>Mionectes oleagineus</i>	D	NO	NO	NO	I	5	11.8	62	46	15.3	7.7	AV0117	1.064
14/08/2019	Azul	0	RI_1	<i>Thamnophilus aethiops</i>	D	NO	NO	NO	L	6	24.1	61	57	23.7	11.8	AV0121	0.956
14/08/2019	Azul	0	RD_1	<i>Ramphocelus carbo</i>	D	NO	NO	NO	I	6	33.1	80	80	21.8	12.2	AV0124	2.921
14/08/2019	Azul	0	RI_1	<i>Volatinia jacarina</i>	M	NO	NO	NO	I	5	-	51	45	16.6	6.8	AV0125	0.493
14/08/2019	Azul	50	RD_2	<i>Pipra fasciicauda</i>	D	NO	NO	NO	I	6	15.4	62	31	16.3	7.3	AV0126	0.832
14/08/2019	Azul	100	RI_3	<i>Hemitriccus flammulatus</i>	D	NO	NO	NO	I	6	9.5	52	23	14.2	5.5	AV0118	0.823

14/08/2019	Azul	100	RD_3	<i>Isleria hauxwelli</i>	M	NO	NO	NO	I	6	10.4	52	25	19.6	7.8	AV0119	9.026
14/08/2019	Azul	100	RD_3	<i>Isleria hauxwelli</i>	H	NO	SI	NO	I	6	10.9	50	25	19.8	8.4	AV0120	12.13
14/08/2019	Azul	100	RD_3	<i>Pipra fasciicauda</i>	M	NO	NO	NO	I	6	18	66	31	16.2	7.3	AV0122	0.841
14/08/2019	Azul	300	RD_4	<i>Pipra fasciicauda</i>	M	NO	SI	NO	I	6	21.9	62	23	17.2	7.6	AV0116	0.855
14/08/2019	Azul	300	RI_4	<i>Pteroglossus inscriptus</i>	H	NO	NO	NO	L	D	-	116	132	31.1	70.5	AV0123	0.248
14/08/2019	Azul	300	RI_4	<i>Pteroglossus azara</i>	D	NO	NO	NO	I	D	86	117	124	22	71.3	AV0141	0.229
14/08/2019	Azul	700	RD_6	<i>Machaeropterus pyrocephalus</i>	H	NO	NO	NO	I	6	-	51	21	14.3	5	AV0143	0.418
14/08/2019	Azul	1000	RI_8	<i>Pipra fasciicauda</i>	H	NO	SI	NO	L	6	15.8	63	31	17.5	6.7	AV0142	0.63
15/08/2019	Azul	100	RD_3	<i>Pheugopedius genibarbis</i>	D	NO	NO	NO	M	2	18	59	52	22.2	10.2	AV0127	3.542
15/08/2019	Azul	500	RD_5	<i>Isleria hauxwelli</i>	H	NO	NO	NO	I	6	-	49	23	19	7.5	AV0148	6.495
15/08/2019	Azul	700	RI_6	<i>Ancistrops strigilatus</i>	H	NO	SI	NO	L	6	34	88	72	23.2	13.5	AV0144	2.32
15/08/2019	Azul	700	RD_6	<i>Sporophila atrirostris</i>	M	NO	NO	SI	L	3	26.3	77	79	19.9	13.8	AV0150	1.256
15/08/2019	Azul	900	RI_7	<i>Pipra fasciicauda</i>	M	NO	NO	NO	L	6	17.2	62	30	16.3	6.5	AV0146	0.417
15/08/2019	Azul	900	RD_7	<i>Automolus infuscatus</i>	D	NO	NO	SI	M	6	38.2	92	76	22.4	12.7	AV0147	4.263
15/08/2019	Azul	900	RI_7	<i>Glyphorynchus spirurus</i>	D	NO	NO	SI	I	6	14.5	68	64	17.6	9.2	AV0149	1.568
15/08/2019	Azul	1000	RI_8	<i>Thamnomanes ardesiacus</i>	H	NO	NO	NO	L	4	17.1	70	53	19.6	9.9	AV0145	1.797
17/10/2019	Azul	0	RD_1	<i>Ramphocelus carbo</i>	M	SI	NO	NO	M	6	28.9	78	76	21	13.3	AV0129	1.362



17/10/2019	Azul	0	RD_1	<i>Pteroglossus inscriptus</i>	H	NO	NO	NO	I	6	107	121	139	31.5	76.5	AV0132	0.206
17/10/2019	Azul	50	RD_2	<i>Pteroglossus inscriptus</i>	H	NO	NO	NO	L	6	108	114.2	127	36.2	72.9	AV0130	0.155
17/10/2019	Azul	50	RI_2	<i>Pipra fasciicauda</i>	D	NO	NO	NO	L	6	-	62	32	16.4	1.1	AV0137	1.065
17/10/2019	Azul	50	RD_2	<i>Pipra fasciicauda</i>	D	NO	NO	NO	I	6	-	63	22	16.3	7.5	AV0138	0.386
17/10/2019	Azul	50	RI_2	<i>Oneillornis salvini</i>	D	NO	NO	NO	N	5	-	70	44	24.1	11.3	AV0139	13.598
17/10/2019	Azul	100	RI_3	<i>Geotrygon montana</i>	D	SI	NO	SI	L	5	107.5	123.1	70.4	33.7	9	AV0131	0.301
17/10/2019	Azul	300	RD_4	<i>Myiarchus swainsoni</i>	D	NO	NO	NO	I	0	25.5	72.8	70.4	21.1	9.8	AV0128	3.344
17/10/2019	Azul	300	RD_4	<i>Pteroglossus inscriptus</i>	H	NO	NO	NO	L	D	115.5	123	141	38.1	84.9	AV0133	0.292
17/10/2019	Azul	300	RI_4	<i>Pteroglossus azara</i>	D	NO	NO	NO	L	D	133.9	126	125	36.8	94.9	AV0134	0.167
17/10/2019	Azul	300	RI_4	<i>Pteroglossus inscriptus</i>	D	NO	NO	NO	M	D	89	117	142	33.5	81.4	AV0135	0.272
17/10/2019	Azul	300	RI_4	<i>Myrmoborus leucophrys</i>	M	NO	NO	NO	L	6	-	66	46	27	10.5	AV0136	2.752
17/10/2019	Azul	300	RD_4	<i>Pteroglossus azara</i>	D	NO	NO	NO	I	D	88	129	125	31.4	77.3	AV0140	0.315
17/10/2019	Azul	700	RI_6	<i>Glyphorynchus spirurus</i>	D	NO	NO	NO	L	6	15.6	-	-	17.8	-	AV0151	1.287
18/10/2019	Azul	0	RI_1	<i>Megascops watsonii</i>	D	NO	NO	NO	M	5	-	17.8	54	4.5	1.8	AV0153	0.415
18/10/2019	Azul	0	RD_1	<i>Stelgidopteryx ruficollis</i>	D	NO	NO	NO	I	D	-	-	52	12.3	5.23	AV0154	4.427
18/10/2019	Azul	0	RI_1	<i>Atticora fasciata</i>	D	NO	NO	NO	L	D	15	89.5	158	23.2	13.9	AV0155	3.394
18/10/2019	Azul	0	RI_1	<i>Trogon melanurus</i>	M	NO	NO	SI	L	6	-	149.8	103	-	2.9	AV0156	0.48

18/10/2019	Azul	0	RI_1	<i>Atticora fasciata</i>	H	NO	NO	NO	-	D	14.9	113	99	9.8	5.6	AV0157	2.887
18/10/2019	Azul	0	RD_1	<i>Chloroceryle amazona</i>	M	NO	NO	NO	I	D	-	130	81	14.9	55	AV0158	26.631
18/10/2019	Azul	0	RI_1	<i>Chloroceryle amazona</i>	H	NO	NO	D	-	D	-	132	85	17.7	52.8	AV0159	30.681
18/10/2019	Azul	900	RD_7	<i>Tangara schrankii</i>	M	NO	SI	NO	L	6	20.2	68	42	18.8	7.9	AV0152	1.073
25/10/2019	La Torre	1000	RD_7	<i>Formicarius analis</i>	D	NO	NO	D	-	-	57.9	89	-	-	-	AV0112	0.934
25/10/2019	La Torre	1000	RI_7	<i>Megascops watsonii</i>	D	NO	NO	D	-	-	-	-	-	-	-	AV0113	0.092

*Nota.* THg = mercurio total en plumas; unidades: µg/g, fecha de colecta: 2019; fecha de análisis: 2021. (Sitios: La Torre = control; Los Amigos y Azul = MAPE)

## Anexo 16. Lista de especies e individuos capturados según punto de muestreo

Lugar	Distancia	Código de Distancia	Coordenadas			Especie	Número de individuos
			Zona	Este	Norte		
Los Amigos	0	LOS AMIGOS_D1	19S	382395	8608588	<i>Dendrocolaptes picumnus</i>	1
Los Amigos	0	LOS AMIGOS_D1	19S	382395	8608588	<i>Dendroplex picus</i>	1
Los Amigos	0	LOS AMIGOS_D1	19S	382395	8608588	<i>Microcerculus marginatus</i>	1
Los Amigos	0	LOS AMIGOS_D1	19S	382395	8608588	<i>Momotus momota</i>	1
Los Amigos	0	LOS AMIGOS_D1	19S	382395	8608588	<i>Myrmelastes hyperythrus</i>	3
Los Amigos	0	LOS AMIGOS_D1	19S	382395	8608588	<i>Picumnus rufiventris</i>	4
Los Amigos	0	LOS AMIGOS_D1	19S	382395	8608588	<i>Pipra fasciicauda</i>	2
Los Amigos	0	LOS AMIGOS_D1	19S	382395	8608588	<i>Thamnophilus schistaceus</i>	2
Los Amigos	0	LOS AMIGOS_D1	19S	382395	8608588	<i>Xiphorhynchus guttatus</i>	1
Los Amigos	50	LOS AMIGOS_D2	19S	382366	8608653	<i>Momotus momota</i>	1
Los Amigos	50	LOS AMIGOS_D2	19S	382366	8608653	<i>Pipra fasciicauda</i>	1
Los Amigos	50	LOS AMIGOS_D2	19S	382366	8608653	<i>Tangara schrankii</i>	1
Los Amigos	100	LOS AMIGOS_D3	19S	382322	8608676	<i>Geotrygon montana</i>	2
Los Amigos	100	LOS AMIGOS_D3	19S	382322	8608676	<i>Isleria hauxwelli</i>	1
Los Amigos	100	LOS AMIGOS_D3	19S	382322	8608676	<i>Laniocera hypopyrra</i>	1
Los Amigos	300	LOS AMIGOS_D4	19S	382164	8608849	<i>Chloroceryle aenea</i>	1
Los Amigos	300	LOS AMIGOS_D4	19S	382164	8608849	<i>Formicarius analis</i>	1
Los Amigos	300	LOS AMIGOS_D4	19S	382164	8608849	<i>Pipra fasciicauda</i>	1
Los Amigos	500	LOS AMIGOS_D5	19S	382044	8609018	<i>Pipra fasciicauda</i>	1
Los Amigos	500	LOS AMIGOS_D5	19S	382044	8609018	<i>Taraba major</i>	1
Los Amigos	500	LOS AMIGOS_D5	19S	382044	8609018	<i>Xiphorhynchus guttatus</i>	1
Los Amigos	500	LOS AMIGOS_D5	19S	382044	8609018	<i>Xiphorhynchus ocellatus</i>	1
Los Amigos	700	LOS AMIGOS_D6	19S	381963	8609137	<i>Conopophaga peruviana</i>	1
Los Amigos	700	LOS AMIGOS_D6	19S	381963	8609137	<i>Glyphorhynchus spirurus</i>	1
Los Amigos	700	LOS AMIGOS_D6	19S	381963	8609137	<i>Momotus momota</i>	1
Los Amigos	700	LOS AMIGOS_D6	19S	381963	8609137	<i>Myrmelastes hyperythrus</i>	2
Los Amigos	700	LOS AMIGOS_D6	19S	381963	8609137	<i>Myrmotherula iheringi</i>	1
Los Amigos	700	LOS AMIGOS_D6	19S	381963	8609137	<i>Pipra fasciicauda</i>	2
Los Amigos	700	LOS AMIGOS_D6	19S	381963	8609137	<i>Platyrinchus coronatus</i>	1
Los Amigos	700	LOS AMIGOS_D6	19S	381963	8609137	<i>Xiphorhynchus ocellatus</i>	1
Los Amigos	900	LOS AMIGOS_D7	19S	381860	8609306	<i>Corythopsis torquatus</i>	1
Los Amigos	900	LOS AMIGOS_D7	19S	381860	8609306	<i>Cyphorhinus arada</i>	2
Los Amigos	900	LOS AMIGOS_D7	19S	381860	8609306	<i>Deconychura longicauda</i>	1
Los Amigos	900	LOS AMIGOS_D7	19S	381860	8609306	<i>Dendrocincla merula</i>	1
Los Amigos	900	LOS AMIGOS_D7	19S	381860	8609306	<i>Isleria hauxwelli</i>	1
Los Amigos	900	LOS AMIGOS_D7	19S	381860	8609306	<i>Pipra fasciicauda</i>	2
Los Amigos	900	LOS AMIGOS_D7	19S	381860	8609306	<i>Rhynchocyclus olivaceus</i>	2
Los Amigos	900	LOS AMIGOS_D7	19S	381860	8609306	<i>Tangara schrankii</i>	1
Los Amigos	900	LOS AMIGOS_D7	19S	381860	8609306	<i>Xiphorhynchus obsoletus</i>	1
Los Amigos	1000	LOS AMIGOS_D8	19S	381850	8609359	<i>Corythopsis torquatus</i>	1
Los Amigos	1000	LOS AMIGOS_D8	19S	381850	8609359	<i>Cyphorhinus arada</i>	1

Los Amigos	1000	LOS AMIGOS_D8	19S	381850	8609359	<i>Deconychura longicauda</i>	1
Los Amigos	1000	LOS AMIGOS_D8	19S	381850	8609359	<i>Glyphorhynchus spirurus</i>	1
Los Amigos	1000	LOS AMIGOS_D8	19S	381850	8609359	<i>Myrmelastes hyperythrus</i>	1
Los Amigos	1000	LOS AMIGOS_D8	19S	381850	8609359	<i>Pipra fasciicauda</i>	1
Los Amigos	1000	LOS AMIGOS_D8	19S	381850	8609359	<i>Pygiptila stellaris</i>	1
Los Amigos	1000	LOS AMIGOS_D8	19S	381850	8609359	<i>Rhynchocyclus olivaceus</i>	1
Azul	0	AZUL_D1	19S	399468	8557535	<i>Mionectes oleagineus</i>	1
Azul	0	AZUL_D1	19S	399468	8557535	<i>Pteroglossus inscriptus</i>	1
Azul	0	AZUL_D1	19S	399468	8557535	<i>Ramphocelus carbo</i>	2
Azul	0	AZUL_D1	19S	399468	8557535	<i>Thamnophilus aethiops</i>	1
Azul	0	AZUL_D1	19S	399468	8557535	<i>Tyrannulus elatus</i>	1
Azul	0	AZUL_D1	19S	399468	8557535	<i>Volatinia jacarina</i>	1
Azul	0	AZUL_D1	19S	399468	8557535	<i>Zimmerius gracilipes</i>	1
Azul	0	AZUL_D1	19S	399468	8557535	<i>Atticora fasciata</i>	2
Azul	0	AZUL_D1	19S	399468	8557535	<i>Chloroceryle amazona</i>	2
Azul	0	AZUL_D1	19S	399468	8557535	<i>Megascops watsonii</i>	1
Azul	0	AZUL_D1	19S	399468	8557535	<i>Stelgidopteryx ruficollis</i>	1
Azul	0	AZUL_D1	19S	399468	8557535	<i>Trogon melanurus</i>	1
Azul	50	AZUL_D2	19S	399506	8557560	<i>Oneillornis salvini</i>	1
Azul	50	AZUL_D2	19S	399506	8557560	<i>Pipra fasciicauda</i>	3
Azul	50	AZUL_D2	19S	399506	8557560	<i>Pteroglossus inscriptus</i>	1
Azul	100	AZUL_D3	19S	399559	8557597	<i>Geotrygon montana</i>	1
Azul	100	AZUL_D3	19S	399559	8557597	<i>Hemitriccus flammulatus</i>	1
Azul	100	AZUL_D3	19S	399559	8557597	<i>Isleria hauxwelli</i>	2
Azul	100	AZUL_D3	19S	399559	8557597	<i>Pheugopedius genibarbis</i>	1
Azul	100	AZUL_D3	19S	399559	8557597	<i>Pipra fasciicauda</i>	1
Azul	300	AZUL_D4	19S	399765	8557578	<i>Myiarchus swainsoni</i>	1
Azul	300	AZUL_D4	19S	399765	8557578	<i>Myrmoborus leucophrys</i>	1
Azul	300	AZUL_D4	19S	399765	8557578	<i>Pipra fasciicauda</i>	1
Azul	300	AZUL_D4	19S	399765	8557578	<i>Pteroglossus azara</i>	3
Azul	300	AZUL_D4	19S	399765	8557578	<i>Pteroglossus inscriptus</i>	3
Azul	500	AZUL_D5	19S	399947	8557533	<i>Isleria hauxwelli</i>	1
Azul	700	AZUL_D6	19S	400140	8557703	<i>Ancistrops strigilatus</i>	1
Azul	700	AZUL_D6	19S	400140	8557703	<i>Glyphorhynchus spirurus</i>	1
Azul	700	AZUL_D6	19S	400140	8557703	<i>Machaeropterus pyrocephalus</i>	1
Azul	700	AZUL_D6	19S	400140	8557703	<i>Sporophila atrirostris</i>	1
Azul	900	AZUL_D7	19S	400354	8557690	<i>Automolus infuscatus</i>	1
Azul	900	AZUL_D7	19S	400354	8557690	<i>Glyphorhynchus spirurus</i>	1
Azul	900	AZUL_D7	19S	400354	8557690	<i>Pipra fasciicauda</i>	1
Azul	900	AZUL_D7	19S	400354	8557690	<i>Tangara schrankii</i>	1
Azul	1000	AZUL_D8	19S	400456	8557750	<i>Pipra fasciicauda</i>	1
Azul	1000	AZUL_D8	19S	400456	8557750	<i>Thamnomanes ardesiacus</i>	1
La Torre	0	LA TORRE_D1	19S	467570	8579289	<i>Automolus rufipileatus</i>	1
La Torre	0	LA TORRE_D1	19S	467570	8579289	<i>Formicarius analis</i>	1
La Torre	0	LA TORRE_D1	19S	467570	8579289	<i>Leptotila rufaxilla</i>	1
La Torre	0	LA TORRE_D1	19S	467570	8579289	<i>Myrmoborus leucophrys</i>	1
La Torre	0	LA TORRE_D1	19S	467570	8579289	<i>Pipra fasciicauda</i>	3
La Torre	50	LA TORRE_D2	19S	467601	8579332	<i>Automolus rufipileatus</i>	1

La Torre	50	LA TORRE_D2	19S	467601	8579332	<i>Galbula cyanescens</i>	1
La Torre	50	LA TORRE_D2	19S	467601	8579332	<i>Leptotila rufaxilla</i>	2
La Torre	50	LA TORRE_D2	19S	467601	8579332	<i>Myrmoborus leucophrys</i>	1
La Torre	50	LA TORRE_D2	19S	467601	8579332	<i>Myrmotherula longipennis</i>	1
La Torre	50	LA TORRE_D2	19S	467601	8579332	<i>Taraba major</i>	1
La Torre	50	LA TORRE_D2	19S	467601	8579332	<i>Xiphorhynchus ocellatus</i>	1
La Torre	100	LA TORRE_D3	19S	467528	8579396	<i>Pipra fasciicauda</i>	1
La Torre	100	LA TORRE_D3	19S	467528	8579396	<i>Tangara schrankii</i>	1
La Torre	300	LA TORRE_D4	19S	467596	8579598	<i>Dendroplex picus</i>	1
La Torre	300	LA TORRE_D4	19S	467596	8579598	<i>Formicarius analis</i>	1
La Torre	300	LA TORRE_D4	19S	467596	8579598	<i>Isleria hauxwelli</i>	2
La Torre	300	LA TORRE_D4	19S	467596	8579598	<i>Monasa nigrifrons</i>	1
La Torre	300	LA TORRE_D4	19S	467596	8579598	<i>Pipra fasciicauda</i>	3
La Torre	300	LA TORRE_D4	19S	467596	8579598	<i>Rupornis magnirostris</i>	1
La Torre	500	LA TORRE_D5	19S	467529	8579775	<i>Attila spadiceus</i>	1
La Torre	500	LA TORRE_D5	19S	467529	8579775	<i>Crypturellus soui</i>	1
La Torre	500	LA TORRE_D5	19S	467529	8579775	<i>Glyphorhynchus spirurus</i>	1
La Torre	500	LA TORRE_D5	19S	467529	8579775	<i>Pipra fasciicauda</i>	1
La Torre	500	LA TORRE_D5	19S	467529	8579775	<i>Ramphocelus carbo</i>	1
La Torre	500	LA TORRE_D5	19S	467529	8579775	<i>Sciaphylax hemimelaena</i>	1
La Torre	500	LA TORRE_D5	19S	467529	8579775	<i>Tangara schrankii</i>	1
La Torre	700	LA TORRE_D6	19S	467514	8580004	<i>Habia rubica</i>	2
La Torre	700	LA TORRE_D6	19S	467514	8580004	<i>Hemitriccus griseipectus</i>	1
La Torre	700	LA TORRE_D6	19S	467514	8580004	<i>Veniliornis passerinus</i>	1
La Torre	700	LA TORRE_D7	19S	467514	8580004	<i>Pipra fasciicauda</i>	1
La Torre	900	LA TORRE_D6	19S	467517	8580205	<i>Formicarius analis</i>	1
La Torre	900	LA TORRE_D6	19S	467517	8580205	<i>Galbula cyanescens</i>	1
La Torre	900	LA TORRE_D6	19S	467517	8580205	<i>Glyphorhynchus spirurus</i>	1
La Torre	900	LA TORRE_D6	19S	467517	8580205	<i>Isleria hauxwelli</i>	1
La Torre	900	LA TORRE_D6	19S	467517	8580205	<i>Monasa nigrifrons</i>	1
La Torre	900	LA TORRE_D6	19S	467517	8580205	<i>Mymotherula sp</i>	1
La Torre	900	LA TORRE_D6	19S	467517	8580205	<i>Myrmotherula iheringi</i>	1
La Torre	900	LA TORRE_D6	19S	467517	8580205	<i>Pipra fasciicauda</i>	2
La Torre	1000	LA TORRE_D7	19S	467405	8580280	<i>Formicarius analis</i>	1
La Torre	1000	LA TORRE_D7	19S	467405	8580280	<i>Megascops watsonii</i>	1
La Torre	1000	LA TORRE_D7	19S	467405	8580280	<i>Pteroglossus beauharnaisii</i>	2

## Anexo 17. Fotográficas de especies capturadas



*Momotus momota*  
Momotidae



*Myrmelastes hyperythrus*  
Thamnophilidae



*Isleria hauxwelli*  
Thamnophilidae



*Thamnophilus schistaceus*  
Thamnophilidae



*Myrmeciza hyperythra*  
Thamnophilidae



*Pygiptila stellaris*  
Thamnophilidae



*Myrmotherula iheringi*  
Thamnophilidae



*Taraba major*  
Thamnophilidae



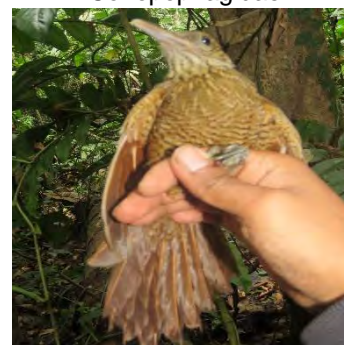
*Conopophaga peruviana*  
Conopophagidae



*Formicarius analis*  
Formicariidae



*Xiphorhynchus guttatus*  
Furnariidae



*Dendrocolaptes picumnus*  
Furnariidae





*Dendroplex picus*  
Furnariidae



*Glyphorhynchus spirurus*  
Furnariidae



*Xiphorhynchus ocellatus*  
Furnariidae



*Dendrocinclá merula*  
Furnariidae



*Xiphorhynchus obsoletus*  
Furnariidae



*Deconychura longicauda*  
Furnariidae



*Rhynchocyclus olivaceus*  
Tyrannidae



*Platyrrhynchus coronatus*  
Tyrannidae



*Corythopsis torquatus*  
Tyrannidae



*Pipra fasciicauda*  
Pipridae



*Cyphorhinus arada*  
Troglodytidae



*Tangara schrankii*  
Thraupidae



## Anexo 18. Resultados de laboratorio para análisis de mercurio en aire (carbón activado)



ASOCIACION CENTRO DE INNOVACION CIENTIFICA AMAZONICA - CINCIA

LABORATORIO DE MERCURIO Y QUIMICA AMBIENTAL

### RESULTADOS DE ANALISIS DE MERCURIO

**Solicitante** : Jessica Nataly Pisconte Camargo

**Matriz analizada:** Carbón activado (Proveniente de muestreadores de aire)

**Fecha de ingreso:** 29/09/2019

Codigo de laboratorio	Lugar	Fecha Análisis	Tiempo de despliegue (días)	Peso gr	Total Hg (ng)	Tasa de muestreo estimada (constante, m <sup>3</sup> /día)	Concentración de Hg gaseoso (ng/m <sup>3</sup> )
PAS0005	Los Amigos	9/08/2022	23.1979	0.7291	14.605	0.1354	4.650
PAS0006	Los Amigos	8/08/2022	23.1979	0.6740	12.471	0.1354	3.970
PAS0007	Los Amigos	9/08/2022	22.9931	0.6726	16.439	0.1354	5.280
PAS0008	Los Amigos	9/08/2022	22.9931	0.8687	10.178	0.1354	3.269
PAS0003	La Torre	8/08/2022	24.0833	0.7468	5.674	0.1354	1.740
PAS0004	La Torre	8/08/2022	23.8750	0.6370	5.930	0.1354	1.834
PAS0009	Azul	9/08/2022	38.0000	0.7997	13.979	0.1354	2.717
PAS0010	Azul	9/08/2022	36.7840	0.6813	18.185	0.1354	3.651

CENTRO DE INNOVACIÓN CIENTÍFICA  
AMAZÓNICA

  
Dra. Claudia Maribel Vega Ruiz  
Coordinadora de Mercurio

**Anexo 19.** Resultados de los controles de calidad del análisis de mercurio en aire (carbón activado)



ASOCIACION CENTRO DE INNOVACION CIENTIFICA AMAZONICA - CINCIA

LABORATORIO DE MERCURIO Y QUIMICA AMBIENTAL

**RESULTADOS DE CONTROL DE CALIDAD**

**Solicitante** : Jessica Nataly Pisconte Camargo

**Matriz analizada** : Carbón activado de muestreadores de aire

**Fecha de ingreso**: 01/11/2019

**Material de Referencia**: SRM2692C (179 ug/kg) - Bituminous coal - National Institute of Standards and Technology (\*)

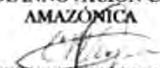
**Recuperación mínima**: 102.4 %

**Recuperación máxima**: 110.95%

**Recuperación promedio**: 106.71%

\* El rango de % de porcentaje de recuperación recomendable es: 90-110%

CENTRO DE INNOVACIÓN CIENTÍFICA  
AMAZÓNICA

  
Dra. Claudia Maribel Vega Ruiz  
Coordinadora de Mercurio