

**UNIVERSIDAD NACIONAL AMAZÓNICA DE MADRE
DE DIOS**

**FACULTAD DE INGENIERÍA
CARRERA PROFESIONAL DE MEDICINA
VETERINARIA – ZOOTECNIA**



TESIS

“Estudio comparativo de la concentración de Mercurio total (*THg*) en felinos domésticos (*Felis silvestris catus*), en tres Centros Poblados de influencia minera aurífera en la provincia de Tambopata, 2023”

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE MÉDICO VETERINARIO –
ZOOTECNISTA**

AUTOR:

Bach. CCARHUANI QUISPE, Edu

ASESOR:

Dr. GARCÍA NUÑEZ, Ricardo Ysaac

Puerto Maldonado, Setiembre de 2025

**UNIVERSIDAD NACIONAL AMAZÓNICA DE MADRE
DE DIOS**

FACULTAD DE INGENIERÍA

**CARRERA PROFESIONAL DE MEDICINA
VETERINARIA – ZOOTECNIA**



TESIS

“Estudio comparativo de la concentración de Mercurio total (*THg*) en felinos domésticos (*Felis silvestris catus*), en tres Centros Poblados de influencia minera aurífera en la provincia de Tambopata, 2023”

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE MÉDICO VETERINARIO –
ZOOTECNISTA**

AUTOR:

Bach. CCARHUANI QUISPE, Edu

ASESOR:

Dr. GARCÍA NÚÑEZ, Ricardo Ysaac

Puerto Maldonado, Setiembre de 2025

DEDICATORIA

A Dios por tener el poder de guiar mis pasos y mantener sólido mi camino, a mi familia por confiar en mí y por ser una fortaleza, por siempre confiar en mí y ser apoyo incondicional

A mi padre Constantino y mi Madre Bacilia, quienes con esfuerzo, dedicación y amor incondicional me formaron como la persona que hoy soy. Gracias por sus enseñanzas, por su ejemplo de vida y por estar siempre presentes

A mi esposa Pierila compañera de vida y aliada inquebrantable, gracias por tu amor, comprensión y apoyo constante. Tu presencia ha sido esencial en cada paso que he dado y en cada meta alcanzada.

A mi hija Mahelet, razón principal de mis luchas y mis sueños. Tu existencia da sentido a mis esfuerzos, y tu sonrisa es el faro que me impulsa a seguir creciendo.

Edu Ccarhuani Quispe

AGRADECIMIENTO

A Dios, por haberme regalado el tiempo, la salud y la fortaleza necesarias para alcanzar este importante logro en mi vida académica y personal.

Al Instituto de Investigaciones de la Amazonía Peruana (IIAP), por brindarme el respaldo institucional, los recursos técnicos, las herramientas científicas y el entorno propicio para desarrollar esta investigación. Su apoyo fue clave para el cumplimiento de los objetivos planteados.

A la Ing. Adenka Muñoz Ushñahua, jefa del Laboratorio de Mercurio y Química Ambiental (LAMQA) del IIAP, por su paciencia, orientación y compromiso, así como por compartir conmigo su vasta experiencia, que enriqueció significativamente este trabajo.

A mi asesor, el Dr. Ricardo García Nuñez, por su valiosa guía, dedicación y constante acompañamiento durante el desarrollo de esta investigación.

A los miembros del jurado evaluador, MSc. Ronnie Mask Condori Morales, Mg. Sc. Wilebaldo Blair Ticona Aduviri y Mg. Sc. Freddy Lot Yujra Pampa, por su tiempo, observaciones críticas y aportes constructivos, los cuales contribuyeron al fortalecimiento académico y científico del presente trabajo.

A mis hermanos Jenderson, Yulisa, Yenet y Yesica, quienes representan una fuente inagotable de inspiración y fortaleza en mi vida. Su amor, apoyo incondicional y motivación constante me han impulsado a seguir adelante en este importante proceso de formación profesional.

Edu Ccarhuani Quispe

INFORME DE ORIGINALIDAD

7 %

INDICE DE SIMILITUD

7 %

FUENTES DE INTERNET

3 %

PUBLICACIONES

3 %

TRABAJOS DEL
ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1

hdl.handle.net

Fuente de Internet

1 %

2

es.scribd.com

Fuente de Internet

1 %

3

repositorio.unap.edu.pe

Fuente de Internet

1 %

4

1library.co

Fuente de Internet

1 %

5

docplayer.es

Fuente de Internet

1 %

6

foronacionalambiental.org.co

Fuente de Internet

1 %

7

repositorio.ufopa.edu.br

Fuente de Internet

1 %

8

ciencialatina.org

Fuente de Internet

1 %

9

core.ac.uk

Fuente de Internet

1 %

PRESENTACIÓN

La presente investigación aborda la problemática de la concentración de mercurio total (THg) en felinos domésticos, mascotas que conviven con los moradores de tres centros poblados ubicados en zonas con alta influencia de minería aurífera. Dada la intensa actividad minera en estas localidades, se presume que, al igual que otros seres vivos expuestos a este entorno, los felinos domésticos también presentan niveles detectables de mercurio en su organismo.

Diversos estudios previos han confirmado la presencia de mercurio en componentes del ecosistema como el suelo, el agua y, especialmente, en animales destinados al consumo humano, como los peces amazónicos. Estos hallazgos constituyen una clara evidencia del impacto negativo que la minería aurífera informal o sin control adecuado puede generar sobre la salud pública y el medio ambiente.

En este contexto, el presente estudio tiene como finalidad evaluar el nivel de exposición de los felinos domésticos al mercurio y establecer una relación entre dicha exposición y la convivencia directa en entornos contaminados. Se parte del supuesto de que la proximidad a actividades mineras —en las que no se regulan adecuadamente el uso y la disposición del mercurio— convierte a estos animales en indicadores relevantes de la contaminación ambiental y de los riesgos potenciales que enfrentan tanto las mascotas como los propios habitantes de la zona.

Este trabajo busca, además, contribuir con evidencia científica al entendimiento de los efectos del mercurio como contaminante activo y persistente en la Amazonía, y promover la reflexión sobre la urgencia de implementar medidas de control ambiental que protejan no solo a los seres humanos, sino también a los animales que forman parte de su entorno inmediato.

INTRODUCCIÓN

Según un informe conjunto de la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) y el Fondo Mundial para la Naturaleza (WWF), la Amazonía representa el 40 % del territorio de América del Sur. Sin embargo, el 8,4 % del bioma amazónico se encuentra en riesgo muy alto, y el 11,8 % de toda su área de distribución está en riesgo alto debido al desarrollo de diversas actividades económicas, incluida la minería (1).

La minería aurífera aluvial provoca devastaciones ambientales significativas en la flora y la fauna, transformando la dinámica ecológica del entorno. La llegada de balsas mineras deteriora gravemente los recursos naturales; estas embarcaciones, equipadas con motobombas y maquinaria pesada, operan hasta altas horas, generando un ruido constante que altera la vida acuática y terrestre. Este impacto sonoro y físico ahuyenta a los animales, que se ven obligados a adentrarse más en el interior de la selva (2).

El Mercurio (Hg) es un metal en estado líquido que se utiliza en el proceso de separación del oro de la arenilla extraída de los fondos aluviales, el que frecuentemente es manipulado sin elementos de protección personal, ello incrementa la exposición a los vapores de Hg, que ingresan al organismo principalmente por vía respiratoria y ocasionan efectos neurotóxicos, nefrotóxicos y genotóxicos, por ello el Hg es considerado como un posible carcinógeno para los seres humanos (3).

La mayoría de estudios hallados sobre el tema en cuestión, están enfocados al área de la salud pública, y muestran resultados de investigaciones en peces y animales de consumo humano, indicando que aquellos animales que se encuentran cerca o dentro de lugares donde se desarrolla la minería aurífera, expresan diversas concentraciones del metal pesado acumulado en sus organismos (4).

Por todo lo expuesto, este proyecto de investigación pretende determinar la concentración del Mercurio Total (*THg*) en gatos domésticos en tres centros Poblados de influencia minera aurífera en la provincia de Tambopata, departamento de Madre de Dios, durante el año 2023.

RESUMEN

El presente estudio tuvo como objetivo comparar la concentración de mercurio total (THg) en felinos domésticos (*Felis silvestris catus*) de tres centros poblados (Nueva Arequipa, Sarayacu y Fortuna), ubicados en zonas con influencia de actividad minera aurífera en la provincia de Tambopata. Se empleó un diseño observacional, prospectivo, analítico y correlacional, con una muestra intencionada de 67 individuos. Se evaluaron los niveles de mercurio biológico y atmosférico, considerando las variables lugar, sexo, edad y tipo de alimentación. El análisis estadístico incluyó estadística descriptiva, ANOVA de una vía y prueba de Tukey, utilizando el software Jamovi v2.3.21. Los niveles promedio de mercurio biológico mostraron diferencias significativas ($p < 0.05$), siendo más elevados en C.P. Fortuna (3.64 ± 0.79 ppm), seguido de C.P. Sarayacu (2.29 ± 0.48 ppm) y C.P. Nueva Arequipa (1.76 ± 0.92 ppm). En cambio, los niveles de mercurio atmosférico no presentaron diferencias estadísticas, aunque C.P. Nueva Arequipa registró el valor más alto (0.62 ± 0.28 ppm). Se evidenció una mayor bioacumulación en felinos adultos (6.22 ppm) en comparación con cachorros (2.58 ppm) y jóvenes (1.68 ppm) ($p < 0.05$). No se encontraron diferencias significativas según el sexo. En cuanto a la alimentación, aunque sin diferencias estadísticamente significativas ($p = 0.274$), los animales con dieta balanceada presentaron mayores concentraciones de THg (2.56 ppm), seguidos con la dieta mixta (2.42 ppm) y casera (1.29 ppm). Se concluye que el mercurio biológico varía significativamente entre los centros poblados, con mayores niveles en Fortuna, posiblemente por la ingesta de presas contaminadas, y que existen posibles fuentes locales de emisión en Nueva Arequipa.

Palabras clave: Bioacumulación, felinos domésticos, mercurio atmosférico, mercurio biológico, minería aurífera.

ABSTRACT

The objective of this study was to compare the total mercury (THg) concentration in domestic cats (*Felis silvestris catus*) from three populated centers (Nueva Arequipa, Sarayacu, and Fortuna) located in areas influenced by gold mining activity in the province of Tambopata. An observational, prospective, analytical, and correlational design was used, with a purposive sample of 67 individuals. Biological and atmospheric mercury levels were evaluated, considering the variables of location, sex, age, and type of diet. Statistical analysis included descriptive statistics, one-way ANOVA, and Tukey's test, using Jamovi v2.3.21 software. The average levels of biological mercury showed significant differences ($p < 0.05$), being higher in C.P. Fortuna (3.64 ± 0.79 ppm), followed by C.P. Sarayacu (2.29 ± 0.48 ppm) and C.P. Nueva Arequipa (1.76 ± 0.92 ppm). In contrast, atmospheric mercury levels did not show statistical differences, although C.P. Nueva Arequipa recorded the highest value (0.62 ± 0.28 ppm). Greater bioaccumulation was observed in adult cats (6.22 ppm) compared to kittens (2.58 ppm) and young cats (1.68 ppm) ($p < 0.05$). No significant differences were found according to sex. In terms of diet, although there were no statistically significant differences ($p = 0.274$), animals with a balanced diet had higher concentrations of THg (2.56 ppm), followed by those with a mixed diet (2.42 ppm) and a homemade diet (1.29 ppm). It is concluded that biological mercury varies significantly between population centers, with higher levels in Fortuna, possibly due to the ingestion of contaminated prey, and that there are possible local sources of emission in Nueva Arequipa.

Keywords: Bioaccumulation, domestic cats, atmospheric mercury, biological mercury, gold mining.

ÍNDICE

DEDICATORIA.....	
AGRADECIMIENTO.....	
PRESENTACION.....	
INTRODUCCION.....	
RESUMEN.....	
ABSTRACT.....	
CAPITULO I: PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN	1
1.1 Descripción del problema	1
1.2 Formulación del problema	2
1.3 Objetivos	2
1.3.1 Objetivo general.....	2
1.3.2 Objetivos específicos	2
1.4 Variables	2
1.5 Operacionalización de variables.....	3
1.6 Hipótesis.....	4
1.7 Justificación	4
1.8 Consideraciones éticas	5
CAPITULO II: MARCO TEORICO	6
2.1 Antecedentes de estudio	6
2.2 Marco teórico.....	10
2.2.1 Especies químicas del Hg.....	10
2.2.2 Ciclo biogeoquímico del Hg	11
2.2.3 Ciclo del Hg en la Amazonia	14

2.2.4 Bioconcentración, bioacumulación y biomagnificación del Hg	16
2.2.5 El Hg y su impacto en la salud pública: exposición	19
2.2.6 Absorción del Hg	21
2.3 Definición de términos	21
CAPITULO III: METODOLOGIA DE LA INVESTIGACIÓN	23
3.1 Tipo de estudio	23
3.2 Diseño de estudio	23
3.3 Población y muestra	23
3.3.1 Población	23
3.3.2 Muestra	24
3.4 Metodología	25
3.4.1 Delimitación espacial	25
3.4.2 Delimitación temporal	26
3.4.3 Toma de muestras	26
3.5 Tratamiento de los datos	30
CAPITULO IV: RESULTADOS DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN	31
4.1 Niveles de Mercurio biológico en relación con los Centros Poblados	31
4.2 Niveles de Mercurio Atmosférico en relación con los Centros Poblados	33
4.3 Mercurio atmosférico y biológico en relación con el Sexo (Macho y Hembra)	35
4.4 Mercurio atmosférico y biológico en relación con la Edad	37
4.5 Mercurio biológico y atmosférico en relación con el Tipo de Alimento	39
DISCUSION	41
CONCLUSIONES	43
SUGERENCIAS	44

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS	45
ANEXOS	51
ANEXO 1. Operacionalización de variables.....	
ANEXO 2. Matriz de consistencia.....	
ANEXO 3. Consentimiento informado por el propietario.....	
ANEXO 4. Registro e información de los felinos muestreados en el Centro Poblado "Fortuna".....	
ANEXO 5. Registro e información de los felinos muestreados del Centro Poblado "Sarayacu".....	
ANEXO 6. Registro e información de los felinos muestreados del Centro Poblado "Nueva Arequipa".....	
ANEXO 7. Panel fotográfico.....	
ANEXO 8. Resultados de THg de los felinos domésticos de los 3 Centros Poblados.....	
ANEXO 9. Resultados estadísticos.....	

INDICE DE TABLAS

Tabla 1: Operacionalización de variables	3
Tabla 2: Promedio, error estándar e intervalos de confianza de los niveles de Mercurio biológico.....	31
Tabla 3: Promedio, error estándar e intervalos de confianza de los niveles de Mercurio Atmosféricos.	33
Tabla 4: Cantidad de animales con mercurio atmosférico y biológico según el sexo.	35
Tabla 5: Cantidad de animales con Mercurio atmosférico y biológico según la edad.....	37
Tabla 6: Cantidad de animales con Mercurio atmosférico y biológico según el alimento de consumo	39

INDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1: Comparación de Mercurio biológico en relación a los Centros Poblados.....	32
Gráfico 2: Comparación de Mercurio atmosférico en relación a los Centros Poblados.....	34
Gráfico 3: Frecuencias de muestras tomadas en relación a los Centros Poblados y género de los felinos ($p=0.47$).....	36
Gráfico 4: Frecuencias de muestras tomadas en relación a los Centros Poblados y etapa de los felinos ($p=0.03$).....	37
Gráfico 5: Frecuencia de muestras tomadas en relación a los Centros Poblados y tipo de alimento ($p=0.002$)	39

INDICE DE FIGURAS

Figura 1: Ciclo biogeoquímico del Hg	12
Figura 2: Distribución del Mercurio en ecosistemas acuáticos	13
Figura 3: Ciclo del Hg en la Amazonia	16
Figura 4: Bioacumulación y Biomagnificación del Hg	18
Figura 5: Puntos de muestreo	25

CAPITULO I: PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1 Descripción del problema

La industria minera peruana representa un sector clave para la economía nacional, ya que genera empleo, aporta significativamente a la captación de divisas y posee un efecto multiplicador en diversos ámbitos de la economía. Sin embargo, su desarrollo también ha dado lugar a serios conflictos sociales, entre los cuales destaca la contaminación ambiental, considerada como uno de los más perjudiciales (5).

En este contexto, la minería artesanal, frecuentemente asociada a la informalidad, adquiere relevancia. Este tipo de minería puede clasificarse en dos modalidades: formal o en proceso de formalización, que se desarrolla en zonas autorizadas y cumple parcialmente con los requisitos legales; e ilegal, que se practica sin acatar las normativas administrativas, técnicas, sociales y ambientales, operando en áreas no permitidas para dicha actividad (6).

Ambas modalidades han crecido de manera preocupante en los últimos años, impulsadas principalmente por el incremento del precio del oro a nivel internacional. Este mineral es extraído casi exclusivamente por la minería artesanal en el Perú. En este escenario, el departamento de Madre de Dios se ha consolidado como una de las zonas más emblemáticas de este crecimiento descontrolado. La región es reconocida como el principal centro de minería artesanal del país y ocupa el quinto lugar en minería informal, siendo esta última la que involucra al mayor número de personas (7).

1.2 Formulación del problema

¿Cuál será la concentración de Mercurio Total (*THg*) en felinos domésticos (*Felis silvestris catus*) en tres Centros Poblados de influencia minera aurífera en la provincia de Tambopata 2023?

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo general

Comparar la concentración de Mercurio total (*THg*) en felinos domésticos (*Felis silvestris catus*) en tres Centros Poblados de influencia minera aurífera en la provincia de Tambopata 2023.

1.3.2 Objetivos específicos

- Determinar la concentración de Mercurio biológico (*THg*) en felinos domésticos (*Felis silvestris catus*) en tres Centros Poblados de influencia minera aurífera en la provincia de Tambopata 2023.
- Determinar la concentración de Mercurio atmosférico (*THg*) en felinos domésticos (*Felis silvestris catus*) en tres Centros Poblados de influencia minera aurífera en la provincia de Tambopata 2023.

1.4 Variables

Variable dependiente

- Concentración de Mercurio total (*THg*) en felinos domésticos

Variable independiente

- Concentración de Mercurio biológico
- Concentración de Mercurio Atmosférico

1.5 Operacionalización de variables

Tabla 1: Operacionalización de variables

	VARIABLES	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL	DIMENSIÓN	INDICADORES	ITEMS
Independiente		Centro poblado donde se toma la muestra	Centros Poblados donde se realiza minería aurífera	Lugar de procedencia	Cantidad de animales	Ficha de datos
	Concentración de Mercurio Biológico			- Nueva Arequipa - Sarayacu - Fortuna		
	Concentración de Mercurio Atmosférico	Género de cada animal muestreado	Existe diferencia entre género en los animales	Sexo - Hembra - Macho		
		Tiempo de vida de cada animal muestreado	Hay diferencias en cuanto a la edad de los animales	Edad - Jóvenes - Adultos - Seniles		
Dependiente	Concentración de Mercurio total (THg) en felinos domésticos (<i>Felis silvestris catus</i>)	Nivel de Mercurio total (THg) de cada animal muestreado	Cantidad de Mercurio total (THg) en cada muestra	Concentración de Mercurio total (THg) en cada muestra	Concentración de Mercurio total (THg)	Equipo de medición de Mercurio

Fuente: Elaboración propia, 2025

1.6 Hipótesis

Hipótesis Alternativa (Ha):

- Existe una diferencia significativa en la concentración de mercurio total (THg), tanto biológico como atmosférico, en felinos domésticos (*Felis silvestris catus*) de tres centros poblados con influencia de actividad minera aurífera en la provincia de Tambopata, durante el año 2023.

Hipótesis Nula (H0):

- No existe una diferencia significativa en la concentración de mercurio total (THg), tanto biológico como atmosférico, en felinos domésticos (*Felis silvestris catus*) de tres centros poblados con influencia de actividad minera aurífera en la provincia de Tambopata, durante el año 2023.

1.7 Justificación

La actividad minera aurífera en la provincia de Tambopata, especialmente la minería informal e ilegal, representa una de las principales fuentes de contaminación por mercurio (Hg) en el ambiente. Este metal pesado, utilizado para la amalgamación del oro, se libera tanto en forma atmosférica como en residuos sólidos y líquidos, afectando ecosistemas terrestres y acuáticos, y poniendo en riesgo la salud de las especies animales y humanas que habitan en las zonas de influencia minera.

En este contexto, los felinos domésticos (*Felis silvestris catus*), al compartir estrechamente el entorno con las personas, se convierten en bioindicadores potenciales de la exposición ambiental al mercurio. Su comportamiento territorial, alimentación y contacto constante con el suelo, el aire y otros elementos contaminados hacen que puedan reflejar los niveles de mercurio presentes en el ambiente y, por ende, el grado de riesgo para la población humana y otros animales.

La presente investigación es relevante porque permite comparar la concentración de mercurio total (THg) en felinos domésticos de tres centros poblados expuestos a diferentes niveles de actividad minera aurífera,

brindando información científica útil para el diseño de políticas de salud pública, estrategias de vigilancia ambiental y programas de control de riesgos tóxicos en la región. Además, genera una línea base para futuras investigaciones sobre contaminación ambiental y salud ambiental en zonas de alta biodiversidad como Madre de Dios.

1.8 Consideraciones éticas

Con el fin de salvaguardar la integridad de los felinos que formaron parte de este estudio, se tomó en cuenta los lineamientos que establece la Ley N° 30407, Ley de Protección y Bienestar Animal.

Las muestras biológicas necesarias para el análisis de mercurio total (THg) fueron recolectadas mediante procedimientos mínimamente invasivos, realizados por personal capacitado y bajo criterios técnicos que garantizaron el bienestar animal. No se provocó daño, sufrimiento innecesario ni se expusieron a los animales a situaciones de estrés prolongado.

Asimismo, se contó con la autorización de los propietarios de los felinos, mediante la firma de un consentimiento informado, el cual se explicó claramente el objetivo del estudio, los procedimientos que se realizaron, los posibles riesgos y las medidas de seguridad implementadas. Todos los datos personales y registros de los animales fueron manejados con confidencialidad, respetando los principios éticos de la investigación científica.

CAPITULO II: MARCO TEORICO

2.1 Antecedentes de estudio

Al respecto, tenemos la investigación realizada por Buelvas-Soto *et al.* (14), que determinaron la bioacumulación de Hg en una muestra de 47 individuos de *Dendrocygna autumnalis*, una especie de pato, endémico en la zona de La Mojana, ubicada en el caribe colombiano, a través de la espectrofotometría de absorción atómica de vapor frío (CVAAS) en sangre y plumas; obteniendo valores de casi 500 ng/g de Hg en plumas, que sobrepasan el límite permisible de 40 ng/g para Hg en carne de pato establecido por la Unión Europea.

Por otro lado, Huanqui (15), determinó la presencia de Hg, entre otros metales pesados, como factores de riesgo en la salud pública en comunidades asociadas a la actividad minera del distrito de Ananea–Puno a 4610 msnm, se recolectaron muestras de pasto en zonas de pastoreo, fibra del costillar medio, la carne y vísceras de animales beneficiadas; en los que se cuantificaron cuatro metales mediante la técnica de espectrofotometría de absorción atómica con horno de grafito. Los niveles de Hg encontrados en el pasto fueron de $1,996 \pm 0,152$ µg/kg ($p > 0,05$), en la fibra de alpaca se encontró $2,326 \pm 0,191$ µg de Hg/kg ($p < 0,01$), la concentración de Hg en hueso, hígado, muslo, pulmón y riñón mostraron valores de $2,092 \pm 0,222$, $2,061 \pm 0,012$ y $1,979 \pm 0,211$, $1,925 \pm 0,243$ y $1,919 \pm 0,217$ µg/kg, respectivamente. En conclusión, los niveles metales pesados estudiados, incluyendo el Hg, no superan los límites máximos permisibles, según Normas Internacionales alimentarias.

En esa misma línea de estudios, Meza *et al.* (16) determinaron concentraciones de THg total en hígado de la hikota *Trachemys callirostris*,

una especie de tortuga de la familia de los emídidos que vive en las zonas cenagosas del norte de Colombia (categorizada como vulnerable, se encuentra amenazada, esencialmente, por la sobreexplotación y la alteración de su hábitat), en tres localidades del departamento de Sucre, específicamente en la región de la Mojana, perteneciente a la depresión Momposina. Se tomaron muestras de hígado de 35 individuos de y se cuantificaron las concentraciones de Hg total, por el método de Espectrometría de Absorción Atómica, usando un analizador directo de Hg, con previos tratamientos de las muestras. Los resultados mostraron diferencias significativas entre los sitios muestreados ($p < 0,05$). Las concentraciones de Hg encontradas en este estudio demuestran el potencial riesgo ambiental para las especies que comparten este hábitat, en especial, las de consumo humano.

A nivel local, nacional e internacional, se tienen resultados de muchos estudios que determinan la presencia de Hg en peces de consumo humano, así, por ejemplo, tenemos los resultados preliminares de un estudio realizado por Vega *et al.* (17), que analizó los niveles de Hg en pescados de diferentes áreas de minería y áreas de referencia sin actividad minera en Madre de Dios durante la época seca (mayo - septiembre) del año 2017. Aquí por el momento se observa que los peces colectados en el área de referencia sin actividad minera presentaron los niveles de Hg más bajos en comparación con los provenientes de las áreas de minería; del mismo modo, los niveles de Hg en pescados herbívoros fueron más bajos que en pescados omnívoros y carnívoros en todos los sitios evaluados; finalmente aseguran que las concentraciones de Hg aumentaron a lo largo de la cadena trófica (biomagnificación) en todos los sitios estudiados.

De manera similar, en el estudio realizado por Aguirre & Dávila (18), en donde el objetivo fue determinar la influencia de la contaminación ambiental por Hg en la salud fisiológica y psicológica del poblador de Huepetuhe-Madre de Dios. Aparte del estudio social en base a un cuestionario, complementariamente, se valoraron concentraciones de Hg en las muestras de músculo comestible (500 gr/cada especie) de cinco especies de pescado fresco de alto consumo en la

zona de estudio (Mota punteada, chambira, doncella, zungaro, paiche) por medio de espectroscopía de emisión atómica. Los resultados superaron los límites máximos permisibles de 0.5 mg/kg y 0.3 mg/kg permitidos por la Organización Mundial de la Salud y el US-EPA respectivamente. Concluyendo que existe alta relación inversa entre la contaminación ambiental por Hg con la salud fisiológica y psicológica del poblador de Huepetuhe.

La Carnegie Amazon Mercury Ecosystem Project (19), difunde, en el año 2020, un informe donde manifiesta que, la contaminación por Hg de peces que se venden en los mercados de alimentos en Puerto Maldonado es más extensa de lo que se pensaba, también afirma que las concentraciones de Hg en peces parecen estar aumentando indicando que el medio ambiente de la región es cada vez más contaminado, igualmente aseveran que el consumo regular de especies de peces con altos niveles de Hg y la exposición ocupacional en la minería de oro puede estar contribuyendo a los altos niveles de Hg observado en los adultos de Puerto Maldonado, así es probable que otras fuentes de exposición al Hg estén contribuyendo a altos niveles de los residentes como el emitido de tiendas de compra de oro en la zona urbana, finalmente indican que los altos niveles de Hg en el medio ambiente de Madre de Dios está fuertemente afectando la población humana de Puerto Maldonado y causando un grave problema de salud pública.

En la investigación realizada por Bertolotti & Moccetti (20), el objetivo fue cuantificar la concentración de Pb, Hg y Cd en músculo de peces destinados a consumo humano y de muestras de agua de río en tres localidades (A=Catac, B=Taricá y C=Palmira) de la ciudad de Huaraz. Para ello se analizaron cinco peces y una muestra de agua en cada localidad mediante la técnica de Absorción Atómica de Flama. La concentración de Hg en músculo fue de 0,344, 0,433 y 0,284 mg/Kg en cada zona, mientras que la concentración en la muestra de agua fue 0,063, 0,032 y 0,171 mg/L. y de Cd 0,000 mg/L para las tres zonas, respectivamente. En las tres zonas el Hg estuvo por encima de los niveles permitidos por la Agencia de Protección del Medio Ambiente de los Estados Unidos. Concluyendo que peces y agua representan potenciales medios de contaminación de personas con metales

pesados.

Rivas (21) en su estudio, determina la concentración de metales pesados en las muestras de trucha (*Oncorhynchus mykiss*), agua y pienso que fueron recolectadas de las piscigranjas ubicadas en la jurisdicción del distrito de Pachangara, provincia de Oyón, región Lima, Perú. Las muestras fueron analizadas por el método de espectrofotometría absorción atómica. Las concentraciones máximas y mínimas de Hg fueron de 1.510 ppb y 0.401 ppb en muestra de agua, de 0.600 ppb y 0.100 ppb en muestra de trucha y de 0.030 ppm y 0.010 ppm para muestras de pienso. Se concluyó que los niveles máximos de Hg en agua de la piscigranja superan los límites máximos permisibles del Códex Alimentarius, Comunidad Europea y Norma Técnica Peruana, más no así en las otras muestras analizadas como trucha y pienso.

Entre tanto Panduro *et al.* (22), que evaluaron la bioacumulación por Hg en peces y el riesgo por ingesta en la Comunidad Nativa Santa Rosa de Tamaya y Tipishca que se encuentra en la cuenca baja del río Abujao de la amazonia peruana durante la estación seca y lluviosa. El estudio se realizó con 119 habitantes agrupados en 22 familias, con edades promedio de 9 y 38 años para niños y adultos, respectivamente. Los peces fueron colectados empleando principalmente redes de arrastre y fueron identificados siguiendo el procedimiento morfológico taxonómico estándar. El contenido de Hg en músculo de los peces se hizo mediante espectrometría de fluorescencia atómica. Los resultados muestran que las cuatro especies de mayor consumo por los pobladores fueron “Carachama” (*Pterygoplichthys pardalis*), “Boquichico” (*Prochilodus nigricans*), “Doncella” (*Pseudoplatystoma punctifer*) y “Mota” (*Calophysus macropterus*). El nivel de exposición fue extremadamente alto y la peligrosidad fue media. La dosis máxima de consumo permisible por semana de metilHg (MeHg) según la OMS es de 1.6 µg MeHg/kg/semana. Este límite fue superado por *C. macropterus* en los niños de la comunidad nativa. Por lo que se concluyó que el riesgo a la salud de los pobladores de la Amazonía peruana por el MeHg es alto.

Finalmente, en el estudio conducido por Costa *et al.* (23), se recolectaron muestras de cabello humano para determinar el Hg total y recabar datos de la

frecuencia de ingestión de peces, en pobladores de comunidades ribereñas de la amazonía brasilera, con el objetivo de evaluar los niveles de exposición en la región de Tapajós; la concentración media de Hg total varió de 7.25 µg/g (en 2013) a 10.80 µg/g (en 2014), no siendo observada diferencia estadísticamente significativa ($p = 0,1436$); en cuanto a la frecuencia de ingestión de pescado, la mayoría de los individuos evaluados presentó un alto consumo, tanto en 2013 como 2014. Índices elevados de Hg total fueron observados solamente en aquellos con alto consumo de pescado en ambos años.

2.2 Marco teórico

2.2.1 Especies químicas del Hg

En cuanto a las características físico – químicas del Hg, se trata de un metal con peso atómico 200; número atómico 80; densidad 13,6; punto de fusión 38,9°C y punto de ebullición 356,6°C. En su estado elemental se asemeja a un líquido de color blanco plateado, y también se conoce como Hg metálico (Hg^0). En su forma oxidada se presenta como ion mercurioso (Hg_2^{+2}) e ion mercúrico (Hg^{+2}), además de diversas especies orgánicas como el metilmercurio (MeHg) CH_3Hg^+ y el dimetilmercurio (Me_2Hg) $(\text{CH}_3)_2\text{Hg}$, cada compuesto tiene propiedades fisicoquímicas y toxicológicas diferentes (24).

El Hg metálico es el único metal que se encuentra en estado líquido en condiciones normales de temperatura y presión, formando vapores incoloros e inodoros. Siendo empleado en la fabricación de termómetros, termostatos, amalgamas dentales, entre otros productos (25). En cuanto a los compuestos inorgánicos de Hg, su proceso de formación ocurre naturalmente en el ambiente cuando hay una combinación entre el Hg y otros elementos como oxígeno y azufre, formando sales. Las sales de Hg más relevantes son: cloruro de Hg (II); cloruro mercurioso (Hg_2Cl_2), que ya se han utilizado como purgante y vermífugo, en la protección de la madera y como fungicida en el tratamiento de semillas y brillos vegetales; fulminato de Hg [$\text{Hg}(\text{CNO})_2$], utilizado como detonante en explosivos; tiocianato de Hg [$\text{Hg}(\text{SCN})_2$], empleado en la producción de fuegos artificiales, en la fabricación de

espoletas entre otros usos (26).

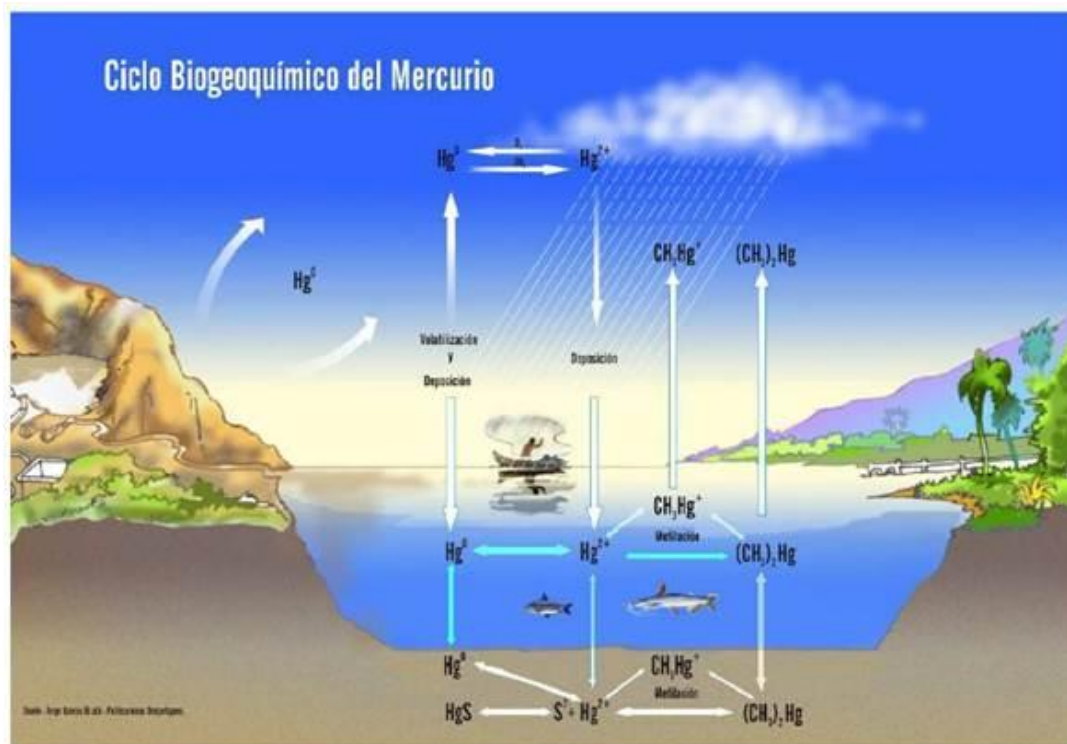
El Hg inorgánico fue utilizado durante mucho tiempo por la industria farmacéutica en productos como cosméticos, diuréticos y otros, sin embargo, debido a sus efectos adversos para la salud, estos compuestos fueron eliminados del mercado (26). Los compuestos orgánicos de Hg, se forman cuando el Hg se combina con el carbono, denominándose compuestos organomercuriados, son los más importantes desde el punto de vista toxicológico, especialmente los que contienen radicales de cadena corta metilo, etilo y propilo, tales como: cloruro de metilmercurio, yoduro de metilmercurio, nitrato de metilmercurio, cloruro de etilmercurio, entre otros compuestos (26).

2.2.2 Ciclo biogeoquímico del Hg

El Hg es un metal traza y se presenta en diversas formas químicas y físicas en los ambientes acuáticos naturales. El ciclo biogeoquímico del Hg (Figura 1) es bastante complejo y abarca la interrelación entre los sistemas atmosféricos, acuáticos y terrestres (27).

Existen dos ciclos relacionados con el transporte y la distribución del Hg: el global, que abarca la circulación atmosférica del Hg elemental (Hg_0) desde las fuentes de la corteza terrestre hasta los océanos, y el local, relacionado con la metilación del Hg inorgánico (Hg^{2+}). En cuanto a la deposición local, el Hg se emite en forma de Hg elemental que, al llegar a la atmósfera, se transforma en formas de Hg solubles en agua (ion mercurioso), que precipitan y vuelven al compartimento acuático o se depositan en los suelos. Sin embargo, el vapor de Hg permanece en la atmósfera durante largos periodos, lo que provoca su distribución global. Este fenómeno explica la capacidad del Hg para encontrarse en regiones que no tienen fuentes puntuales de contaminación (28).

Figura 1: Ciclo biogeoquímico del Hg



Fuente: <https://www.prevencionintegral.com/>

Tras ser oxidado, el 60% del Hg atmosférico se deposita en la superficie terrestre y el 40% en el agua. La presentación en los diferentes estados de oxidación (Hg^0 , Hg^{2+} y Hg^{22+}) viene definida por el potencial redox del medio y la presencia de compuestos capaces de formar complejos con el ion mercuríco (29).

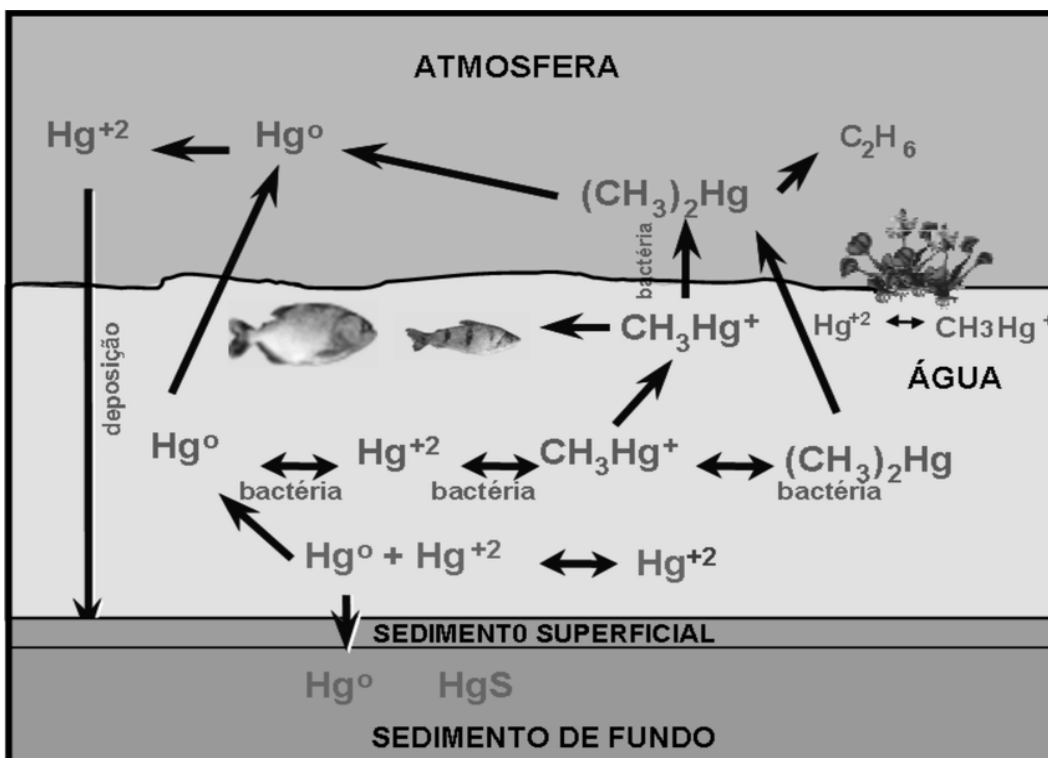
El transporte de Hg de la atmósfera a la superficie terrestre se produce a través de la precipitación de Hg^{2+} disuelto. La adsorción en aerosoles también provoca su deposición. Dado que el Hg^0 se oxida lentamente a Hg^{+2} , permanecerá más tiempo en la atmósfera, aproximadamente 1 año, el tiempo necesario para que el Hg atmosférico se distribuya por todo el planeta, antes de volver a la Tierra, los océanos, los lagos y el hielo (27).

En el medio acuático, el Hg sufre una conversión orgánica mediante procesos fotoquímicos o catalizada por bacterias reductoras de sulfatos. En primer lugar, el metal debe ser transportado por la membrana lipídica de los organismos unicelulares para, a continuación, ser metilado por acción microbiana y entrar en la cadena alimentaria a través del fitoplancton o las

bacterias. Así pues, la captura microbiológica es un paso primordial para el proceso de metilación y posterior bioacumulación (27).

El proceso de metilación por microorganismos implica la adición de un grupo metilo al Hg, modificando sus propiedades físico-químicas, lo que conduce a su acumulación en la cadena trófica (27).

Figura 2: Distribución del Mercurio en ecosistemas acuáticos



Fuente: Adaptado de Miranda *et al.* 2007

El Hg liberado en la atmósfera (fuentes naturales o antropogénicas) en forma de Hg^0 sufre oxidación en la interfaz sólido-líquido (niebla, gotas de lluvia) y a través de reacciones mediadas por el ozono y los rayos ultravioleta se transforma en Hg^{2+} . Esta especie mercurial volverá al medio acuático y terrestre transportada por el agua de lluvia o adsorbida a pequeñas partículas. En el ecosistema acuático, el Hg^{2+} se adsorbe principalmente en la superficie de los sedimentos, los ácidos húmicos, las partículas y las arcillas mediante procesos de coprecipitación y correacción. Las bacterias, incluidas las sulfato-reductoras, transforman este Hg^{2+} en metilmercurio (CH_3Hg^+) en la interfase agua-sedimento. Los organismos marinos absorben ligeramente el CH_3Hg^+ , que se bioacumula y biomagnifica a lo largo de la cadena alimentaria. Por

tanto, los organismos de la parte superior de la cadena presentarán las mayores concentraciones de HgT y MeHg. En menor medida, el CH_3Hg^+ será desmetilado a Hg^{2+} y luego reducido a Hg^0 volviendo a la atmósfera (27).

2.2.3 Ciclo del Hg en la Amazonia

El Hg fue introducido en Brasil a finales de la década de 1950, pero sólo las décadas de 1980 y 1990 se caracterizaron por el uso de Hg metálico con el propósito de quemar amalgama de oro en la Amazonía, lo que permitió, la extracción de oro granulométrico, disperso en el sedimento del fondo en diversos cuerpos de agua de la región (30).

Moraes (31), considera la minería de oro en la región amazónica como una de las principales causas de contaminación mercurial de las cuencas hidrográficas, afirmando además que los peces pueden ser afectados directa e indirectamente por este metal como resultado de su ciclo biogeoquímico.

La actividad minera en la Amazonia se intensificó a finales de los años 80 y principios de los 90. Hasta mediados de la década de 2010, la minería en la Amazonia era excepcionalmente manual y se realizaba en las márgenes de los ríos y en depósitos aluviales activos. Los equipos utilizados eran arcaicos, como batidoras, palas y picos, y el trabajo era manual. Sin embargo, a partir de ese momento comenzó el proceso de mecanización en las minas, utilizando maquinaria para realizar el trabajo. El Hg sólo se utilizaba en la recogida de partículas de oro. En los ríos Tambopata y Madre de Dios, la minería era ejecutada directamente en el lecho activo de los drenajes, utilizando balsas y dragas, causando grandes daños al ecosistema acuático e intensificando el encenagamiento de los ríos (32).

La minería de oro en la Amazonia, en los últimos años, se ha convertido en una fuerte fuente de contaminación por emisiones de Hg a la atmósfera. En las minas de oro se produce y se vende oro, enormes cantidades de Hg son liberadas a la atmósfera de la cuenca amazónica como resultado de estas actividades causando los enormes desastres ambientales y sociales (33).

Los impactos ambientales presentes en la minería de oro resultan en la remoción anual de aproximadamente 67 millones de metros cúbicos de

subsuelo y la liberación de 12 toneladas de Hg que son liberadas en la atmósfera, subsuelo y ríos (34).

Sin embargo, las altas concentraciones de Hg encontradas en el ecosistema amazónico se atribuyen no sólo a la minería de oro, sino también a la presencia de suelos con concentraciones relativamente altas de Hg de origen natural, al transporte atmosférico y a la deposición de Hg de origen antrópico (35).

Los incendios forestales también contribuyen a las emisiones de Hg, ya que liberarían a la atmósfera el Hg presente en los suelos y en la biomasa vegetal, aumentando así las concentraciones de Hg en ambientes menos sometidos a quemaduras, como los arroyos. Por lo tanto, se puede trazar un paralelo con el actual proceso de quema de bosques por el hombre, aumentando así el mecanismo de concentración de Hg en áreas inundables (36).

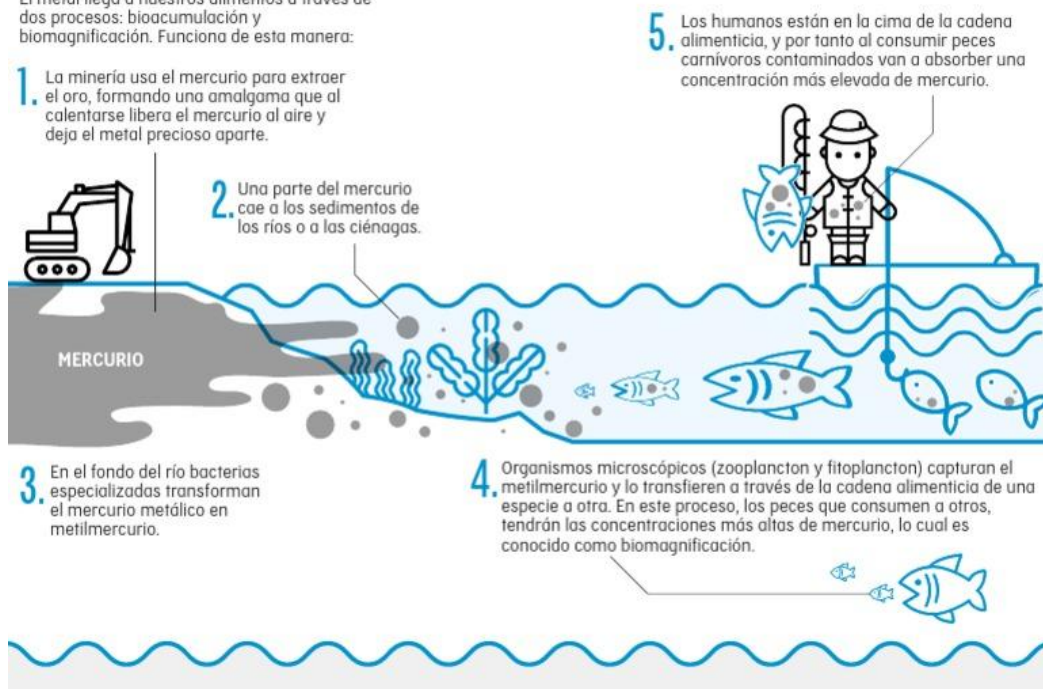
La naturaleza del Hg en la Amazonia es de origen geológico (90% del Hg total presente en los suelos), a través de la meteorización de las rocas. La asociación entre Hg y hierro puede verificarse en prácticamente toda la Amazonia, y el Hg encontrado en los suelos llega a los ríos, metilándose fácilmente y contaminando los peces (37). Sin embargo, en los ambientes amazónicos, la fuente de Hg más discutida en la mayoría de los estudios es la antrópica, debido a sus efectos sobre los ecosistemas, especialmente los acuáticos (38).

Con base en este conocimiento, se puede observar que las concentraciones de Hg en el agua deben ser bajas debido a la baja solubilidad del elemento. Por otro lado, la parte atmosférica del ciclo del Hg debe tener una importancia significativa debido a la baja presión de vapor del elemento. La figura muestra que el Hg debe volatilizarse en la atmósfera como Hg metálico (Hg^0), sufre oxidación y retorna junto con el agua de lluvia en la forma iónica (Hg^{+2}) (36).

Figura 3: Ciclo del Hg en la Amazonia

EL MERCURIO EN SU PLATO DE COMIDA

El metal llega a nuestros alimentos a través de dos procesos: bioacumulación y biomagnificación. Funciona de esta manera:



Fuente: <https://imgv2-2-f.scribdassets.com/>

Los suelos, por su parte, constituyen un sumidero de Hg en el que su permanencia es más prolongada en comparación con otros ambientes, lo que justifica su mayor concentración. Las concentraciones de Hg son relativamente bajas en los sedimentos del fondo, lo que demuestra que el medio acuático no es una importante vía de transporte de este elemento (39).

2.2.4 Bioconcentración, bioacumulación y biomagnificación del Hg

Los metales difundidos en el medio ambiente son transportados a los ríos por la escorrentía superficial de las lluvias, permaneciendo en el medio acuático en forma libre, o iónica. Tras su inclusión en el medio hídrico, contamina a los organismos a través de la cadena biológica en su configuración más tóxica, el metilmercurio (35).

Así, el metilmercurio es la especie que tiene mayor importancia desde el punto de vista ecotoxicológico, ya que es una neurotoxina y tiene la capacidad de bioacumularse y biomagnificarse, desencadenando un riesgo para la salud humana. Esta capacidad se debe a su mayor liposolubilidad. La elevada

toxicidad de este elemento ocurre porque no sufre degradación ambiental, implantándose en la cadena trófica acuática donde pasa por el proceso de bioacumulación, siendo más significativo y contundente en los organismos de la parte superior de la cadena (23).

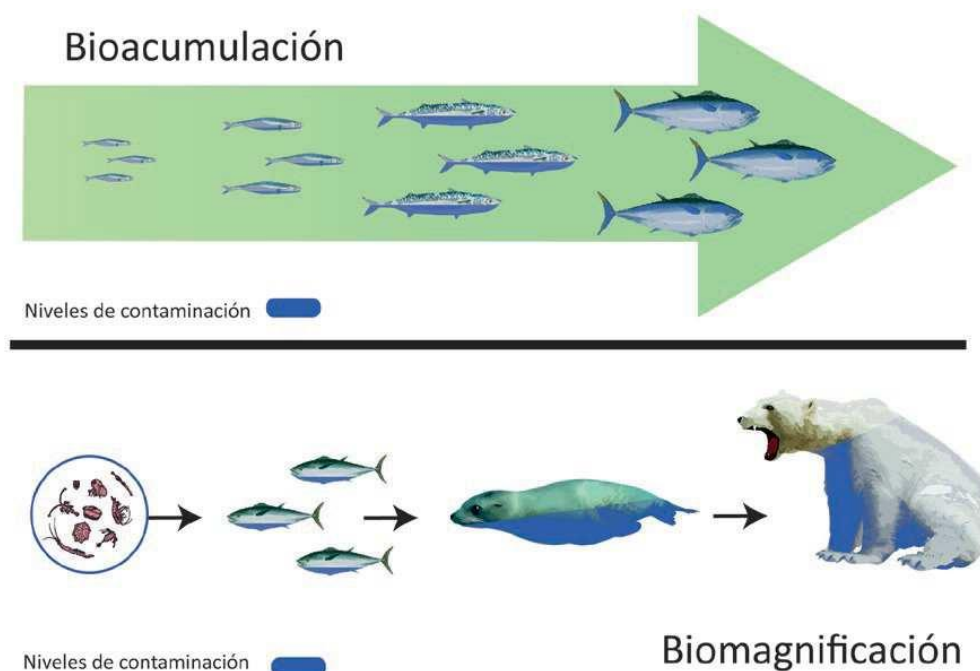
El proceso acumulativo implica bioconcentración, bioacumulación y biomagnificación. La bioconcentración es el proceso de absorción de sustancias químicas a través de las superficies dérmicas y respiratorias, que no está vinculado a la exposición alimentaria al contaminante. Además, este proceso se produce cuando las sustancias son absorbidas por los organismos en concentraciones superiores a las del medio ambiente circundante (31).

La bioacumulación se produce a nivel trófico y representa el aumento de la concentración de una sustancia en los tejidos u órganos de los organismos. El grado de bioacumulación de un contaminante está influido por una serie de factores que dependen del ecosistema. Además, incluye todas las vías de exposición al contaminante, incluida la dieta (25).

El proceso de biomagnificación consiste en la transferencia de metilmercurio a través de los niveles tróficos por ingestión directa de alimentos contaminados, por ser el modo de transferencia de una sustancia química xenobiótica, resultando generalmente en concentraciones más altas en el organismo que en la fuente de alimento (31)

Así, la bioconcentración y la bioacumulación ocurren dentro de un organismo, mientras que la biomagnificación (Figura 4) sucede entre los diversos niveles tróficos de la cadena alimentaria (25).

Figura 4: Bioacumulación y Biomagnificación del Hg



Fuente: Archivo fotográfico CCO

Los procesos biológicos que causan la intoxicación en los peces están fuertemente relacionados con la ingestión y la difusión, que ocurren respectivamente en el tracto digestivo y en las branquias (30).

En los peces, la intoxicación por metales provoca una serie de trastornos, que van desde la disminución de las defensas inmunitarias, baja fertilidad y reducción de la tasa de crecimiento, hasta patologías que pueden inducir a estos organismos a la muerte. En concreto, el Hg, en altas concentraciones provoca mutaciones genéticas, trastornos neurológicos e inmunológicos, hemorragias del organismo, así como alteraciones bioquímicas (35).

En el ser humano, la acción del metilmercurio se concentra principalmente en el sistema nervioso central, pudiendo causar reducción del campo visual, trastornos de la movilidad, dolores nerviosos, deterioro mental, parálisis e incluso la muerte. El metilmercurio tiene una gran estabilidad y capacidad para penetrar en las membranas de los seres vivos. Así, la ingestión de alimentos contaminados, especialmente pescado, conduce a una distribución de metilmercurio en todos los tejidos del cuerpo humano (40).

Según (41), al tener la capacidad de permanecer durante largos períodos en los tejidos corporales, especialmente en las especies acuáticas, el Hg puede encontrarse en altas concentraciones en el pescado, lo que pone de relieve la urgencia de prestar atención a los riesgos ambientales de este metal tóxico.

Así, el consumo de pescado se considera la principal vía de exposición de los seres humanos al Hg (Hg), especialmente para las poblaciones que viven a lo largo de las riberas de los ríos, donde el pescado es la importante y principal fuente de proteínas (42).

Un estudio de Arrifano *et al.* (43), reportó que aunque algunas investigaciones indican que los niveles de contaminación por Hg están disminuyendo en humanos, esto no ocurre en el medio ambiente, especialmente en peces de la Región Amazónica, ya que presentan un alto nivel de Hg, principalmente de la especie metilada por especiación química y que es evaluada como la más tóxica para el ser humano.

Esta propiedad puede llevar a una exposición frecuente al Hg a través de los alimentos, teniendo en cuenta los niveles del metal encontrados en los peces, lo que permite suponer que con el paso del tiempo esta situación puede empeorar (44).

2.2.5 El Hg y su impacto en la salud pública: exposición

En contacto con el organismo humano, el Hg tiene efectos devastadores que pueden llevar a la muerte. Cuando entra en el cuerpo, el Hg se deposita en los tejidos, causando lesiones graves y comprometiendo algunos órganos, como los riñones, el hígado y el sistema nervioso central (45).

Según Olivares (46), los síntomas resultantes de la intoxicación por este metal son lesiones en el sistema nervioso central, tales como: pérdida de la coordinación motora; alteración del habla y de la marcha, con indicios de temblores de las extremidades; alteraciones del equilibrio; reducción del campo visual y ceguera. También se han notificado casos de síndrome neuropático, cambios de personalidad, delirio y daños mentales.

Los síntomas agudos de la contaminación por Hg orgánico incluyen:

hormigueo y entumecimiento de labios, manos y pies, dolor en las articulaciones, estrechamiento de la visión, dificultad auditiva y alteraciones emocionales. Las intoxicaciones graves casi siempre presentan síntomas irreversibles y pueden causar espasticidad, movimientos espasmódicos de brazos, piernas, cabeza y hombros, lamentos, gritos y llanto. También pueden provocar mareos, salivación excesiva, lagrimeo, náuseas, vómitos, diarrea y estreñimiento. Los hijos de madres expuestas al metilmercurio han mostrado retraso mental, parálisis cerebral y convulsiones (47).

Debido a su alto potencial toxicológico, se ha demostrado que el Hg provoca alteraciones postnatales, como retraso en el desarrollo u otros cambios neurológicos, en los hijos de mujeres expuestas al Hg durante el embarazo, y también puede causar alteraciones cromosómicas (48).

El metilmercurio, la principal fuente de Hg orgánico, es un contaminante potencial y tiene un efecto neurotóxico. El efecto neurotóxico del Hg se produce debido a su capacidad para circular fácilmente por el organismo y debido a su liposolubilidad, que le ayuda a atravesar la barrera hematoencefálica, acumulándose así en el tejido nervioso y causando daños (49).

Aproximadamente el 80% del vapor de Hg metálico inhalado se absorbe y puede atravesar la barrera hematoencefálica y llegar a la placenta. Este metal tiene la capacidad de desnaturalizar proteínas, inactivar enzimas y paralizar el transporte de membrana (24).

Según Crespo-López *et al.* (50) el estrés oxidativo (daño en el ADN debido a la acción de los radicales libres generados por el metal) es uno de los mecanismos moleculares que podrían explicar las consecuencias genotóxicas del Hg. Los radicales libres son sustancias químicas extremadamente reactivas que tienen la capacidad de causar daños en el ADN y, en consecuencia, provocar genotoxicidad, y en consecuencia conducir a un posible proceso cancerígeno. Otro mecanismo sería la influencia del Hg sobre la red de microtúbulos, que podría inducir una desorganización en la distribución de los cromosomas durante el proceso de división celular, la

mitosis. Otro hecho citado por el autor sería la acción perjudicial del Hg sobre los mecanismos de reparación del ADN; este mecanismo actúa en la defensa y protección de la integridad de la información del genoma. Y un sistema de defensa deficiente podría conducir a un proceso cancerígeno.

2.2.6 Absorción del Hg

Numerosos procesos físicos, químicos y biológicos tienen lugar en la interfase entre dos fases, y el cambio de concentración de una determinada sustancia en esta interfase con respecto a las fases vecinas se denomina adsorción. La adsorción es una técnica que permite estudiar la capacidad de los materiales sólidos para concentrar en su superficie sustancias existentes en fluidos líquidos o gaseosos, permitiendo la separación de los componentes de estos fluidos (23).

2.3 Definición de términos

Mercurio: Elemento químico metálico, de número atómico 80, líquido a temperatura ambiente, plateado y denso. Es tóxico para humanos, animales y el ambiente. Se utiliza en la minería artesanal para la extracción de oro mediante amalgamas. Su forma más peligrosa es el metilmercurio, por su capacidad de acumularse en los organismos. Su símbolo químico es Hg, del latín hydrargyrum.

Minería aurífera: Actividad económica que consiste en extraer oro del suelo.

Minería ilegal: Es una actividad económica que consiste en la explotación de minerales metálicos (como el oro), y no metálicos (arcilla, mármoles, entre otros), sin control ni regulación social y ambiental de parte del Estado.

Contaminación ambiental: Alterar nocivamente la pureza o las condiciones normales de un medio ambiente por agentes químicos o físicos.

Paisaje lunar: Áreas de lomas escarpadas y áridas que hacen que en el entorno se dé un paisaje parecido al de la luna.

Biomagnificación: Propagación sucesiva de la bioconcentración de los diferentes eslabones que participan a lo largo de la cadena trófica.

Oxidación: Indicador del grado de oxidación de un átomo que forma parte de un compuesto u otra especie química por ejemplo un ion.

Espectrofotometría: Técnica de laboratorio que mide la cantidad de intensidad de luz absorbida después de pasar a través de una solución muestra.

Amalgama: Mezcla de Hg con otro metal. Puede ser un líquido, una pasta blanda o un sólido, dependiendo de la proporción de Hg. Estas aleaciones se forman mediante enlace metálico, con la fuerza de atracción electrostática de los electrones de conducción trabajando para unir todos los iones metálicos cargados positivamente en una estructura de red de cristal.

Metilación: Adición de un grupo metilo ($-\text{CH}_3$) a una molécula.

Metilmercurio: Catión organometálico de fórmula química $[\text{CH}_3\text{Hg}]^+$ Se trata de un compuesto neurotóxico capaz de concentrarse en el organismo (bioacumulación) y concentrarse así mismo en las cadenas alimentarias (biomagnificación), que ocupa un lugar especial debido a que un cierto porcentaje de la población mundial está expuesta a él de una forma u otra y su toxicidad está mejor caracterizada por la investigación médica que la de otros compuestos orgánicos del Hg.

Mercurio atmosférico: Elemento químico metálico, de número atómico 80, líquido, de color blanco y brillo plateado, muy pesado, que se encuentra disperso en la atmosfera (aire).

Mercurio biológico: Elemento químico metálico que se encuentra dentro de los organismos vivos y en el medio ambiente.

CAPITULO III: METODOLOGIA DE LA INVESTIGACIÓN

3.1 Tipo de estudio

De acuerdo a la intervención de los autores este estudio fue de tipo observacional; según la planificación y la toma de datos fue transversal; conforme a la cantidad de veces que se tomó los datos fue un estudio longitudinal; y finalmente, por la cantidad de variables por analizar, y las comparaciones entre las mismas, fue analítico.

3.2 Diseño de estudio

El diseño metodológico para este estudio cuantitativo fue de tipo observacional de nivel explicativo correlacional, puesto que se pretendió evaluar y determinar adecuadamente, la relación que existe entre la concentración de Hg en los felinos domésticos con respecto al lugar de residencia de los mismos, teniendo en consideración la cercanía a explotaciones mineras auríferas de tipo aluvial.

3.3 Población y muestra

3.3.1 Población

La población del estudio estuvo conformada por todos los felinos domésticos (*Felis silvestris catus*) presentes en los tres Centros Poblados seleccionados: Sarayacu, Fortuna y Nueva Arequipa, ubicados en zonas de influencia de actividad minera aurífera en la provincia de Tambopata.

El número exacto de individuos fue indeterminado, debido a la ausencia de registros oficiales, censos poblacionales o programas sistemáticos de control sanitario y vacunación que incluyan a esta especie en dichas localidades.

3.3.2 Muestra

Dado que no se contaba con información precisa sobre la población total de felinos domésticos (*Felis silvestris catus*) en los tres Centros Poblados incluidos en la investigación, se optó por aplicar un muestreo por conveniencia. Este procedimiento se realizó procurando minimizar al máximo los posibles sesgos de selección, con el objetivo de lograr una muestra lo más representativa posible de la población real. Para ello, se siguieron criterios y recomendaciones metodológicas reportadas por otros autores en estudios similares, especialmente en contextos con poblaciones animales no censadas y de difícil acceso.

Criterios de inclusión

Fueron incluidos en el estudio aquellos felinos domésticos (*Felis silvestris catus*) que cumplieron con los siguientes criterios:

- Sexo: machos y hembras.
- Edad: individuos de cualquier grupo etario.
- Estado de salud: clínicamente sanos, sin signos evidentes de enfermedad al momento de la evaluación.
- Condición de tenencia: felinos con propietario claramente identificado, dispuesto a colaborar y que otorgó su consentimiento para la participación del animal en el estudio.

Criterios de exclusión

Se excluyeron del estudio los felinos domésticos que presentaron alguna de las siguientes condiciones:

- Condición de calle: animales sin dueño o en estado de abandono.
- Falta de consentimiento: negativa del propietario a participar en el estudio.
- Condición clínica: felinos con signos clínicos de enfermedad o alteraciones evidentes en el examen físico.
- Tratamiento médico: animales que se encontraban bajo tratamiento farmacológico al momento de la recolección de muestras.

- Edad: felinos menores de seis meses, por considerarse en etapa de desarrollo.
- Ausencia de pelo: individuos con alopecia generalizada o ausencia de pelo, que imposibilitaba la recolección adecuada de muestras pilosas para el análisis de mercurio.

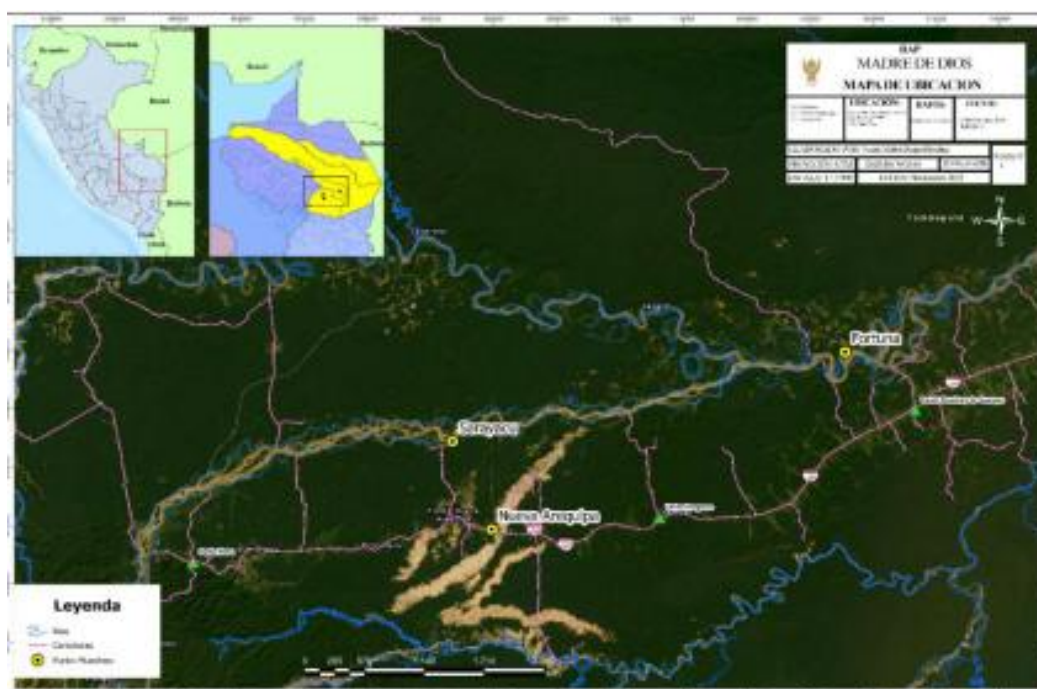
3.4 Metodología

3.4.1 Delimitación espacial

La toma de muestras fue ejecutada en los tres Centros Poblados de comprobada influencia minera aurífera:

- Nueva Arequipa, ubicada a 103 km de la ciudad de Puerto Maldonado, sobre los 271 msnm, pertenece a la provincia de Tambopata, Distrito de Inambari – Madre de Dios.
- Sarayacu, ubicada a 110 km de la ciudad de Puerto Maldonado, sobre los 232 msnm, pertenece a la provincia de Tambopata, Distrito de Inambari – Madre de Dios.
- Fortuna, ubicada a 60 km de la ciudad de Puerto Maldonado, a 5 km de distancia por navegación fluvial desde Puerto Rosario, capital del distrito de Laberinto; sobre los 195 msnm, pertenece a la provincia de Tambopata, distrito de Laberinto – Madre de Dios.

Figura 5: Puntos de muestreo



3.4.2 Delimitación temporal

A pesar de que el clima predominante en el departamento de Madre de Dios es cálido, húmedo y con abundantes precipitaciones, éstas escasean entre los meses de junio a agosto, lo que hizo que se considere la época seca; precisamente durante estos meses es que se tomaron las muestras.

3.4.3 Toma de muestras

Consentimiento informado

- El procedimiento fue aplicado en cada uno de los felinos de los tres Centros Poblados donde se realizó la toma de muestras.
- A cada propietario de uno o varios felinos domésticos, se les invitó a participar en la investigación, haciéndole un resumen detallado de los objetivos, el procedimiento de toma de muestras de pelo, el procesamiento de las mismas, la presentación de los resultados y el tratamiento que se le dará a estos.
- Si el propietario aceptaba la participación de su mascota, éste firmaba un consentimiento informado, en donde se consignó sus datos personales, los de su mascota y firme en señal de consentimiento y aceptación, junto al número de su DNI y una copia del mismo.

Toma y conservación de muestras.

- En presencia del dueño y con el mayor cuidado posible se procedió a sujetar al felino, evitando el estrés del animal y la preocupación de su propietario.
- Limpieza y desinfección, con desinfectante neutro, de la zona donde se tomó la muestra, que es en la zona de la cruz del animal, área anatómica delimitada por la parte dorsal de los cartílagos escapulares.
- Para la toma de muestra, el operario estuvo provisto de guantes de látex y una tijera de metal completamente limpia, desinfectada y con el filo adecuado.
- Cada muestra tuvo un peso entre uno a tres gramos, la misma que luego de la obtención y peso, se colocó directamente en una pequeña bolsa de

plástico con cierre hermético, la bolsa fue enumerada y/o codificada indicando el respectivo peso de la muestra.

- Finalmente, las muestras fueron inmediatamente almacenadas en un recipiente térmico y trasladadas al laboratorio dentro del día de la toma de la muestra.

Procesamiento de muestras.

- Las muestras fueron analizadas en un espectrofotómetro de haz único de séptima generación DMA-80 EVO, de la marca Milestone, que es un analizador directo de THg de cualquier matriz (sólida, líquida o gaseosa), siguiendo el método USEPA-7473; la cuantificación THg se realizó mediante la calibración de curvas con Materiales de Referencia Certificados (MRC).
- El análisis de las muestras se realizó en el Laboratorio de Hg y Química Ambiental (LMQA), del Centro de investigación “El Castañal”, perteneciente al Instituto de Investigaciones de la Amazonia Peruana (IIAP), ubicado en el kilómetro 20, carretera interoceánica de Cusco – Puerto Maldonado, sector “El Castañal”, provincia y distrito de Tambopata.

Preparación de las muestras

- En primer lugar, las muestras fueron pesadas en una balanza analítica siguiendo un orden previamente establecido. Posteriormente, se distribuyeron en dos grupos: muestras lavadas y muestras no lavadas. Las muestras lavadas se depositaron en tubos de centrífuga para su procesamiento, mientras que las no lavadas se colocaron en bolsas con cierre hermético.

Muestras lavadas y no lavadas

- Las muestras de pelo se lavaron siguiendo el protocolo descrito por (62), con la diferencia de que se utilizó detergente neutro. El lavado se realizó dos veces utilizando una solución al 1 % de detergente neutro (30 ml) en agua desionizada (500 ml). Posteriormente, el pelo fue homogeneizado en dicha solución. Las muestras se colocaron en una gradilla y fueron sometidas a un equipo ultrasónico digital: primero durante 30 minutos y

luego por 15 minutos, en tubos de centrifuga. Entre ambos intervalos, se retiró el agua y las muestras fueron enjuagadas nuevamente, siguiendo el método descrito por (64).

Al finalizar el proceso de lavado, las muestras se dejaron escurrir para eliminar el exceso de agua. Posteriormente, se prepararon para el proceso de liofilización utilizando un equipo liofilizador modelo L101, durante 24 horas a -50°C y una presión de vacío de $-500\text{ }\mu\text{Hg}$. Una vez liofilizadas, las muestras fueron homogenizadas mediante corte en pequeñas fracciones con tijeras de acero inoxidable. Las tijeras se desinfectaron con agua desionizada y alcohol al 96 % después de cada uso, a fin de evitar la contaminación cruzada. Las muestras no lavadas fueron homogenizadas directamente, sin someterse a procesos de lavado ni secado previos.

Análisis de las muestras

- Las concentraciones de Mercurio total (*THg*) en las muestras de pelo se determinaron mediante espectrometría de absorción atómica por descomposición térmica con amalgama de oro, utilizando un analizador DMA-80 (Direct Mercury Analyzer, Milestone Inc., Shelton, CT, EE. UU.), previamente calibrado. El equipo operó a una longitud de onda de 253,7 nm, con un límite de detección de 1 ng, siguiendo el método US EPA 7473 (63). La cuantificación de THg fue verificada mediante el análisis de dos materiales de referencia certificados: DOLT-5 ($0,44 \pm 0,18\text{ mg/kg Hg}$) y CMR-13 ($4,42 \pm 0,20\text{ mg/kg Hg}$). Antes de iniciar el análisis de las muestras, se midieron dos blancos, los cuales presentaron concentraciones inferiores a $0,0030\text{ ng Hg}$. Las concentraciones de THg obtenidas en ambos materiales de referencia se encontraron dentro del rango certificado.
- Las muestras de pelo lavadas presentaron un peso mínimo de $0,0150\text{ mg/kg}$ y un máximo de $0,0369\text{ mg/kg}$ de pelo seco. En el caso de las muestras no lavadas, los valores oscilaron entre $0,0097\text{ mg/kg}$ y $0,0326\text{ mg/kg}$ de pelo seco.
- El peso obtenido de cada muestra se ingresó en el software del equipo DMA-80 Direct Mercury Analyzer (Milestone Inc., Shelton, CT, EE. UU.).

- Las baquetas con las muestras fueron colocadas en el automuestreador del equipo DMA-80 Direct Mercury Analyzer (Milestone Inc., Shelton, CT, EE. UU.).
- Se realizaron cuatro lecturas por cada muestra. Los resultados obtenidos para las muestras lavadas se promediaron para obtener el valor final reportado; el mismo procedimiento se aplicó a las muestras no lavadas, con el fin de preparar los datos para su análisis estadístico posterior.

Seguro de calidad

- Para el control de calidad se emplearon dos materiales de referencia estándar certificados: DOLT-5 ($0,44 \pm 0,18$ mg/kg Hg) y MR_CM-13 ($4,42 \pm 0,20$ mg/kg Hg). Estas pruebas se realizaron al inicio y al final del análisis de las muestras. Se consideraron aceptables las recuperaciones comprendidas entre el 90 % y el 110 %. Las mediciones de las muestras se validaron únicamente si los resultados obtenidos para ambos materiales de referencia se encontraban dentro de este rango de precisión.
- Para las medidas de control de calidad se emplearon materiales de referencia estándar preparados a partir del patrón líquido Hg AAHG-1 (125 ml, 1000 ± 10 µg/ml). La verificación de la calibración se realizó de manera continua, evaluándose en cada décima muestra analizada, ajustándose a la concentración de Mercurio en nanogramos presente en el lote de muestras.
- Todos los blancos presentaron concentraciones de THg inferiores a 0,0030 mg/kg.
- Las muestras analizadas fueron sometidas a una temperatura de hasta 650 °C para su descomposición y la evaporación total del Mercurio, que fue atrapado selectivamente por el amalgamador del equipo.
- El contenido total de Mercurio (Hg) en el pelo se expresó en mg Hg/kg de pelo seco.

3.5 Tratamiento de los datos

Los datos obtenidos fueron analizados mediante estadística descriptiva para calcular medidas de tendencia central (media) y dispersión (error estándar) entre los tres Centros Poblados en estudio. Posteriormente, se evaluaron los supuestos de normalidad y homocedasticidad con el fin de aplicar un diseño completamente al azar de una sola vía (One-Way ANOVA), seguido de la prueba de comparaciones múltiples de Tukey, para identificar diferencias significativas entre medias. Además, se utilizaron gráficos descriptivos para visualizar la distribución de variables categóricas como género, tipo de alimentación y etapa de desarrollo de los animales evaluados. Todos los análisis estadísticos fueron realizados utilizando el software Jamovi versión 2.3.21.

CAPITULO IV: RESULTADOS DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

4.1 Niveles de Mercurio biológico en relación con los Centros Poblados

En la Tabla 2. Se muestra los niveles promedio de Mercurio biológico y en relación a los tres Centros Poblados en estudio.

Tabla 2: Promedio, error estándar e intervalos de confianza de los niveles de Mercurio biológico.

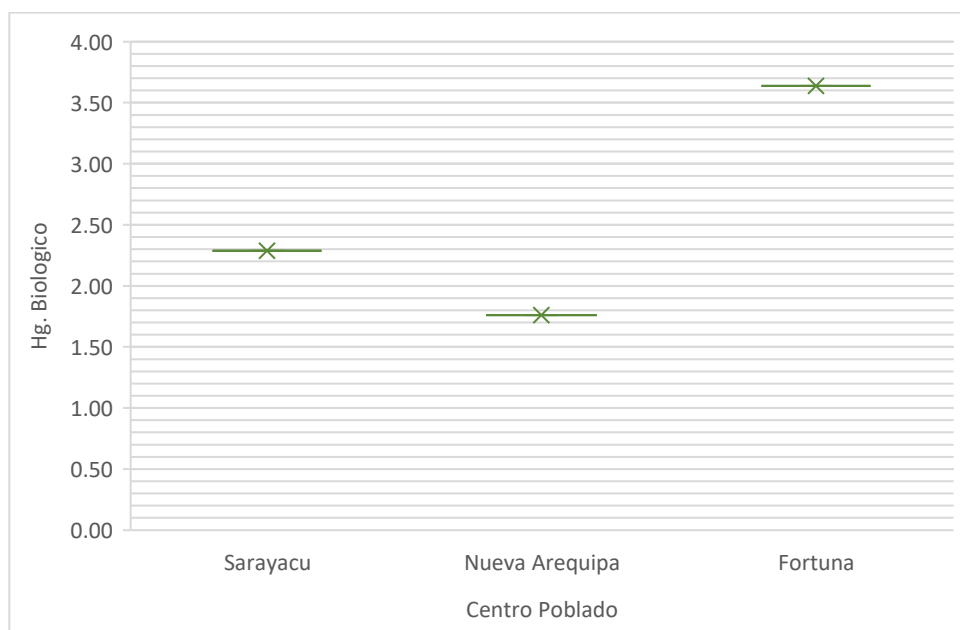
Provincia	Centro Poblado	Hg Biológico	
		Media $\pm$ EE (ppm)	Intervalo de confianza
Tambopata	Sarayacu	2.29 $\pm$ 0.48 ^a	1.28 a 3.3
	Nueva Arequipa	1.76 $\pm$ 0.92 ^b	- 0.11 a 3.64
	Fortuna	3.64 $\pm$ 0.79 ^a	1.95 a 5.33

EE: error estándar; ^{a, b} letras distintas en filas muestran significancia estadística; ppm= partes por millón ($p < 0.05$).

Los niveles de Mercurio biológico muestran diferencia estadística observando valores inferiores en el Centro poblado de Nueva Arequipa; sin embargo, los valores de los Centros Poblados de Sarayacu y Fortuna son similares entre ellos y superiores en comparación a Nueva Arequipa. El Centro poblado de Sarayacu muestra niveles de Mercurio biológico de 1.28 a 3.3; Nueva Arequipa entre -0.11 a 3.63 (mayor variabilidad comparado a los demás Centros Poblados) y Fortuna de 1.95 a 5.33 todos ellos con una confiabilidad del 95%.

Los niveles hallados en el presente estudio se pueden deber principalmente al consumo o ingesta de pescados contaminados siendo principalmente absorbidos mediante la vía de piel, pulmones y tracto gastrointestinal (Rumbeiha *et al.*, 1994). Los niveles observados en el presente estudio son inferiores a lo reportado por otros autores quienes reportan 7.4 y 7.45 ppm para hembras y machos respectivamente (55).

Gráfico 1: Comparación de Mercurio biológico en relación a los Centros Poblados



($p < 0.05$)

El Gráfico 1, muestra una comparación de los niveles de mercurio biológico detectados en felinos procedentes de los tres centros poblados en estudio. De acuerdo con la figura, se observa que el Centro Poblado de Fortuna registra los niveles más elevados de mercurio biológico, seguido por Sarayacu, y finalmente Nueva Arequipa, que presenta los niveles más bajos.

En cuanto a la variabilidad de los datos, se evidencia que Nueva Arequipa presenta la mayor dispersión, seguida de Fortuna y Sarayacu, lo cual se aprecia en las barras de error correspondientes (desviación estándar), indicando heterogeneidad en la exposición al contaminante.

Los niveles de mercurio biológico detectados en los felinos están relacionados principalmente con la ingesta de agua, carne u otros alimentos contaminados,

así como con el consumo de presas en las que se ha producido bioacumulación de mercurio, especialmente en sus formas orgánicas como metilmercurio o alquilmercurio (29). Estos compuestos son altamente tóxicos y tienden a acumularse en los tejidos a través de la cadena alimentaria.

4.2 Niveles de Mercurio Atmosférico en relación con los Centros Poblados

En la Tabla 3, se muestra los niveles promedio de Mercurio Atmosférico en los tres centros poblados objeto de estudio, ubicados en la provincia de Tambopata.

Tabla 3: Promedio, error estándar e intervalos de confianza de los niveles de Mercurio Atmosféricos.

Provincia	Centro Poblado	Hg Atmosférico	
		Media $\pm$ EE (ppm)	Intervalo de confianza
Tambopata	Sarayacu	0.28 $\pm$ 0.13 ^a	0 a 0.55
	Nueva Arequipa	0.62 $\pm$ 0.28 ^a	0.05 a 1.18
	Fortuna	0.23 $\pm$ 0.07 ^a	0.08 a 0.37

EE: error estándar; ^{a, b} letras distintas en filas muestran significancia estadística; **ppm**= partes por millón ($p < 0.05$).

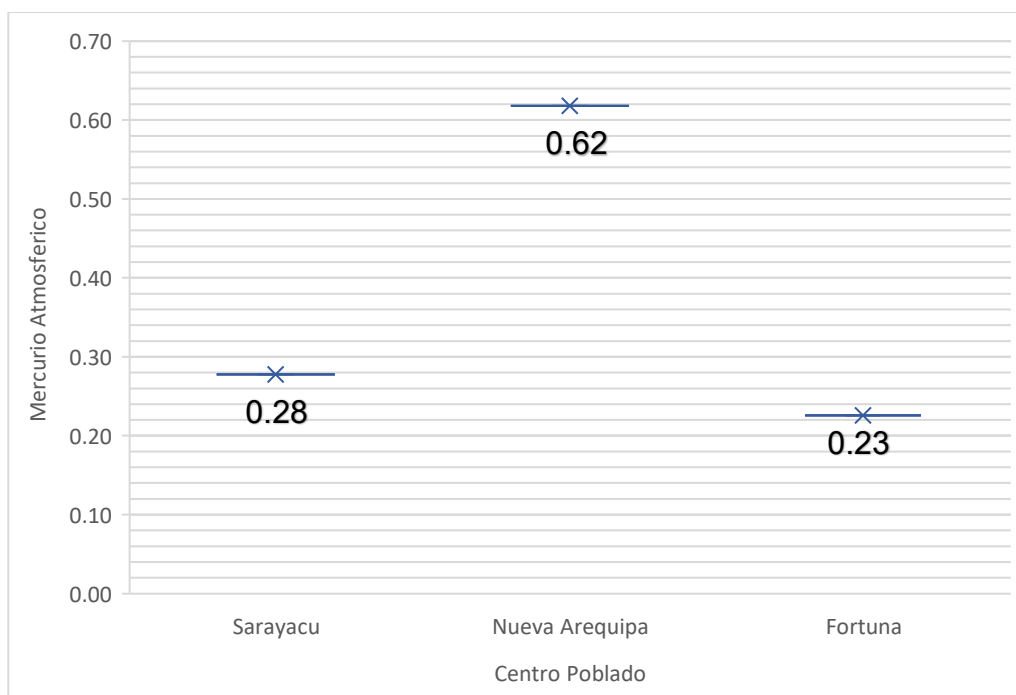
En relación con los niveles de mercurio atmosférico, se observó que el Centro Poblado de Nueva Arequipa presentó el valor promedio más elevado (0.62 ppm), seguido por Sarayacu (0.28 ppm) y Fortuna (0.23 ppm). Estos resultados indican una mayor concentración de mercurio en el ambiente de Nueva Arequipa en comparación con los otros centros poblados evaluados.

No obstante, desde el punto de vista estadístico, no se encontraron diferencias significativas entre los tres centros poblados, lo que se evidencia en las letras iguales asignadas a cada promedio en la tabla correspondiente. Este resultado sugiere que, a pesar de las diferencias numéricas, las

concentraciones de mercurio atmosférico podrían considerarse similares desde una perspectiva estadística.

Por otro lado, los intervalos de confianza al 95% obtenidos fueron de 0.00 a 0.55 ppm para Sarayacu, 0.05 a 1.18 ppm para Nueva Arequipa y 0.08 a 0.37 ppm para Fortuna. Estos intervalos reflejan la variabilidad de los datos, siendo más amplia en Nueva Arequipa, lo que indica una mayor dispersión en los niveles de exposición al mercurio atmosférico en esa zona, posiblemente atribuible a factores ambientales o antropogénicos específicos.

Gráfico 2: Comparación de Mercurio atmosférico en relación a los Centros Poblados



El Gráfico 2 muestra la comparación visual de los niveles de mercurio atmosférico entre los centros poblados de Nueva Arequipa, Sarayacu y Fortuna. De acuerdo con la figura, se observa que Nueva Arequipa presenta los niveles más altos de mercurio atmosférico, seguida por Sarayacu, y en menor medida por Fortuna. Esta diferencia en las concentraciones sugiere posibles fuentes locales de contaminación más activas o persistentes en Nueva Arequipa.

Asimismo, se evidencia una mayor variabilidad en Nueva Arequipa, lo cual se refleja en la longitud de las barras de error (desviación estándar)

representadas en la figura. Esta dispersión sugiere una mayor heterogeneidad en los niveles de exposición al contaminante dentro de este centro poblado. En el caso de Sarayacu, la variabilidad es intermedia, mientras que en Fortuna es la más baja, lo que podría deberse a condiciones ambientales más estables o menores fuentes de emisión de mercurio.

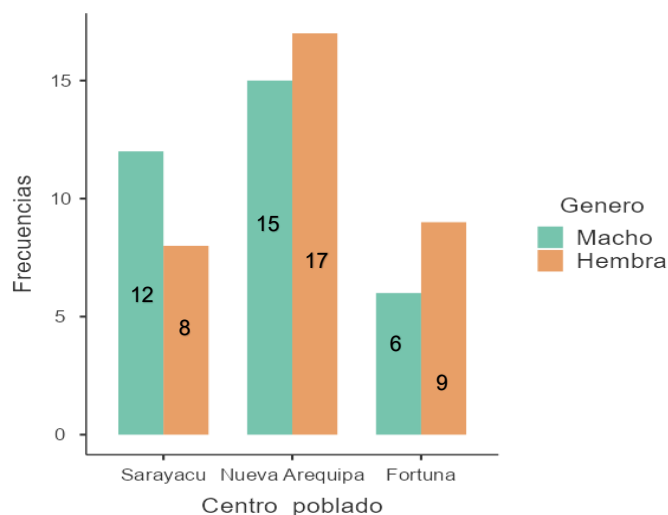
Los niveles de mercurio atmosférico observados en este estudio guardan relación con investigaciones previas realizadas en animales como caninos y felinos. Aunque dichas investigaciones emplearon metodologías distintas —principalmente en el tipo de muestra analizada, como hígado y riñón en lugar de aire atmosférico—, los resultados coinciden parcialmente. Se reportó que el 50% de los animales presentaron niveles traza de mercurio, mientras que el 30% mostraron niveles elevados de este metal pesado (43; 56). Esto refuerza la importancia de seguir evaluando la bioacumulación del mercurio en organismos expuestos a ambientes contaminados.

4.3 Mercurio atmosférico y biológico en relación con el Sexo (Macho y Hembra)

Tabla 4: Cantidad de animales con mercurio atmosférico y biológico según el sexo.

Provincia	Centro Poblado	Cantidad de animales	Sexo	
			Macho	Hembra
Tambopata	Sarayacu	20	12	8
	Nueva	32	15	17
	Arequipa			
	Fortuna	15	6	9
Total		67	33	34

Gráfico 3: Frecuencias de muestras tomadas en relación a los Centros Poblados y género de los felinos ($p=0.47$).



La Tabla 4 y el Gráfico 3, muestra la distribución de las muestras analizadas según el Centro Poblado, el sexo de los felinos domésticos y los niveles de mercurio atmosférico y biológico. La proporción de muestras tomadas de animales machos y hembras fue similar en los tres centros poblados, lo cual sugiere una adecuada aleatorización del muestreo ($p = 0.47$).

Asimismo, el análisis comparativo de los niveles de mercurio entre sexos no reveló diferencias estadísticamente significativas, ni para el mercurio atmosférico ($p = 0.271$), ni para el mercurio biológico ($p = 0.395$). Estos resultados indican que el sexo no constituye un factor determinante en la variación de los niveles de mercurio en los felinos domésticos evaluados.

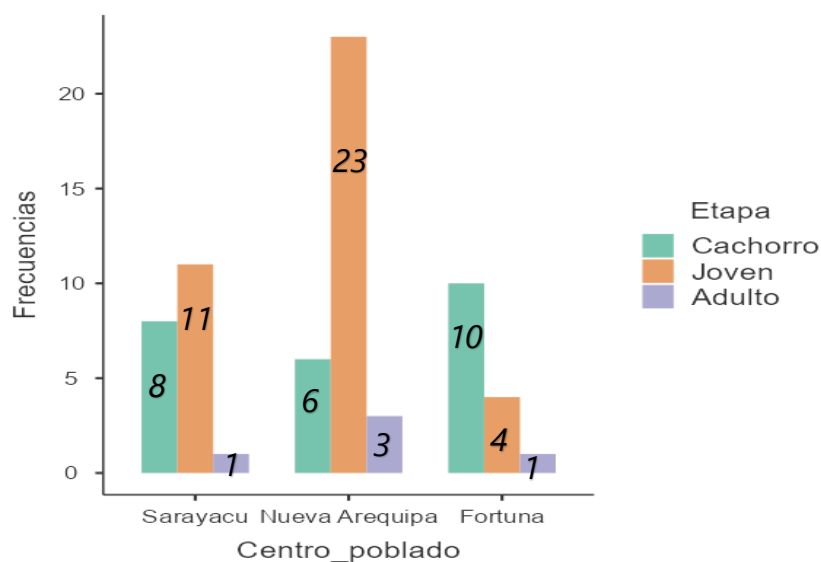
Hallazgos similares han sido reportados en estudios previos, donde se evaluó la concentración de mercurio en pelo de felinos, concluyéndose que factores como la alimentación, el ambiente y la exposición crónica tienen mayor influencia sobre la bioacumulación del metal que el género del animal (55).

4.4 Mercurio atmosférico y biológico en relación con la Edad

Tabla 5: Cantidad de animales con Mercurio atmosférico y biológico según la edad.

	Centro Poblado	Cantidad de animales	Edad	Cantidad
Tambopata	Sarayacu	20	Cachorro	8
			Joven	11
			Adulto	1
	Nueva Arequipa	32	Cachorro	6
			Joven	23
			Adulto	3
	Fortuna	15	Cachorro	10
			Joven	4
			Adulto	1

Gráfico 4: Frecuencias de muestras tomadas en relación a los Centros Poblados y etapa de los felinos ($p=0.03$).



La Tabla 5 y el Gráfico 4 presenta la distribución de las muestras analizadas según la etapa de desarrollo (edad) de los felinos domésticos muestreados, en relación con los niveles de mercurio atmosférico y biológico. Se evidenció una diferencia estadísticamente significativa ($p = 0.03$) en la distribución etaria de los animales entre los distintos Centros Poblados. En los Centros Poblados de Sarayacu y Nueva Arequipa predominó la presencia de animales jóvenes, mientras que en Fortuna se registró una mayor proporción de cachorros. Estos resultados indican una posible relación de dependencia entre la etapa de desarrollo de los animales y su procedencia geográfica.

Respecto a los niveles de mercurio biológico, se observó un patrón creciente con la edad: los cachorros presentaron una concentración promedio de 2.58 ppm, los jóvenes de 1.68 ppm, y los adultos alcanzaron un valor promedio significativamente mayor de 6.22 ppm. Estos hallazgos sugieren que la acumulación de mercurio en los tejidos aumenta con el tiempo de exposición, lo que concuerda con estudios previos que reportan niveles más elevados de mercurio en animales de mayor edad, atribuidos a procesos de bioacumulación crónica (55).

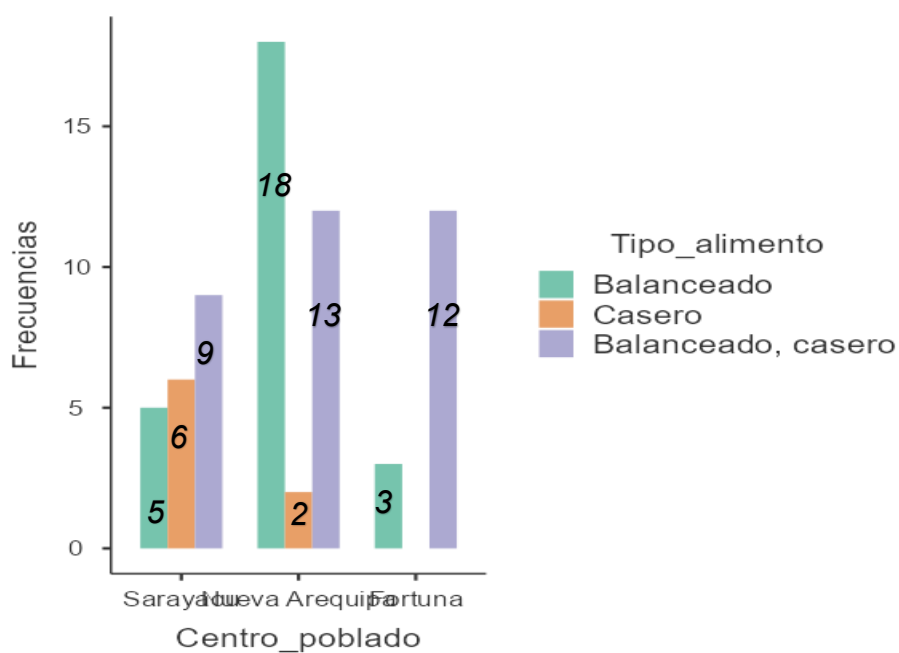
Aunque no se observaron diferencias significativas en los niveles de mercurio atmosférico entre los distintos grupos etarios, los resultados del mercurio biológico refuerzan la importancia de considerar la edad como un factor relevante en estudios toxicológicos y de monitoreo ambiental.

4.5 Mercurio biológico y atmosférico en relación con el Tipo de Alimento

Tabla 6: Cantidad de animales con Mercurio atmosférico y biológico según el alimento de consumo

Provincia	Centro Poblado	Cantidad de animales	Edad	Cantidad
Tambopata	Sarayacu	20	Balanceado	5
			Casero	6
			Balanceado - casero	9
	Nueva Arequipa	32	Balanceado	18
			Casero	2
			Balanceado - casero	12
	Fortuna	15	Balanceado	3
			Casero	0
			Balanceado - casero	12

Gráfico 5: Frecuencia de muestras tomadas en relación a los Centros Poblados y tipo de alimento (p=0.002)



La Tabla 6 y el Gráfico 5 presenta las frecuencias correspondientes al tipo de alimento consumido por los animales muestreados, en relación con los tres Centros Poblados evaluados. Se evidenció que en los Centros Poblados de Sarayacu y Nueva Arequipa, los animales reciben los tres tipos de alimentación (balanceada, casera y mixta), mientras que en el Centro Poblado de Fortuna, únicamente se ofrece alimento balanceado y la combinación de balanceado con casero. Esta distribución sugiere una posible dependencia entre el tipo de alimento proporcionado y el lugar de procedencia de los animales.

En el análisis estadístico, se detectaron diferencias significativas en los niveles de mercurio atmosférico según el tipo de alimento consumido ($p = 0.04$). No obstante, los niveles de mercurio biológico fueron de 2.56 ppm para animales alimentados exclusivamente con balanceado, 1.29 ppm para aquellos que consumieron alimento casero, y 2.42 ppm para los que recibieron alimentación mixta, sin encontrarse diferencias estadísticamente significativas entre estos grupos ($p = 0.274$).

Estos niveles podrían estar asociados a la composición de los alimentos balanceados, especialmente aquellos que contienen derivados de pescado. Diversos estudios han reportado concentraciones elevadas de mercurio en productos enlatados como el atún y las sardinas, los cuales son frecuentemente utilizados en la elaboración de alimentos comerciales para mascotas (55).

DISCUSION

La presencia de mercurio en las muestras colectadas se atribuye a diversas actividades humanas que liberan este metal al medio ambiente. Entre las principales fuentes se encuentran la quema de combustibles fósiles, la producción de acero, cemento y fertilizantes fosfatados, así como las actividades mineras, especialmente la minería de oro y mercurio, como ocurre en la zona del presente estudio. Estas fuentes corresponden a efectos de origen antropogénico (45, 56).

El mercurio tiene la capacidad de acumularse en los organismos vivos, siendo los peces uno de los principales vectores de bioacumulación. Esta situación facilita su ingreso en la cadena alimenticia, ya que tanto la población humana como animal consumen pescado como fuente habitual de proteínas (43).

En cuanto a su absorción, se ha determinado que aproximadamente el 80 % del mercurio presente en los desechos mineros puede ser inhalado y absorbido a nivel alveolar, lo que permite su rápida distribución por todo el organismo, tanto humano como animal. En contraste, la absorción a nivel gastrointestinal es significativamente menor, con valores inferiores al 0.01 % (45).

La presencia de mercurio en organismos en desarrollo, como bebés humanos o crías de animales, se explica por la capacidad de este metal para atravesar tanto la barrera hematoencefálica como la placentaria. A través de esta última, se ha reportado que los niveles de mercurio en los fetos pueden llegar a ser hasta 30 veces superiores a los encontrados en la madre, acumulándose principalmente en el cerebro fetal (45, 57).

En el caso de los felinos, la exposición al mercurio podría estar asociada al consumo de alimentos balanceados cuya base, en muchos casos, es el pescado, debido a su alta palatabilidad. Como se mencionó anteriormente, los peces constituyen una de las principales fuentes de bioacumulación de mercurio. En particular, especies como el pez espada, los tiburones y los atunes frescos presentan las concentraciones más elevadas de este metal, seguidos por los crustáceos, salmones y truchas de cultivo (52). Además,

diversos estudios han identificado concentraciones significativas de mercurio en alimentos comerciales para mascotas, evidenciando que los alimentos secos contienen mayores niveles de mercurio en comparación con los alimentos húmedos (55).

Por otro lado, en animales sacrificados, se ha observado que el mercurio tiende a acumularse principalmente en los riñones, siendo este órgano el que presenta las mayores concentraciones del metal (52). Esta información hubiera sido valiosa de incorporar en el presente estudio para evaluar posibles daños internos asociados a la exposición crónica a este contaminante. En contraste, los pulmones presentan un bajo porcentaje de positividad, razón por la cual no se consideran órganos adecuados para la detección de mercurio. Las diferencias en la distribución del mercurio entre los órganos se deben principalmente a que su ingreso al organismo ocurre, en la mayoría de los casos, por vía oral. Durante los procesos de absorción y excreción, el metal atraviesa el hígado y se elimina a través de los riñones, lo que explica su acumulación preferencial en estos órganos (39).

CONCLUSIONES

Se identificaron diferencias estadísticamente significativas en los niveles de mercurio biológico en felinos domésticos entre los centros poblados evaluados, registrándose las concentraciones más elevadas en Fortuna, seguido por Sarayacu y, finalmente, Nueva Arequipa. Esta variación podría estar relacionada con la ingestión de presas contaminadas con metilmercurio, producto de la actividad minera en la zona.

En relación con el mercurio atmosférico, no se observaron diferencias significativas entre los centros poblados; no obstante, Nueva Arequipa presentó las concentraciones promedio más altas y una mayor dispersión de datos, lo que sugiere la posible presencia de fuentes locales de emisión de mercurio en el ambiente.

SUGERENCIAS

Realizar investigaciones complementarias que incluyan el análisis de los niveles de mercurio en las presas consumidas por los felinos (como peces, roedores y aves), así como estudios toxicológicos en tejidos específicos de los propios felinos, como el hígado, riñón y pelo. Estas investigaciones permitirán comprender con mayor profundidad la dinámica de bioacumulación del mercurio y sus posibles efectos subclínicos o subletales sobre la salud de los felinos, que habitan en zonas expuestas a la contaminación.

Implementar campañas educativas y talleres participativos dirigidos a las comunidades locales y autoridades regionales, con el objetivo de sensibilizar sobre los riesgos asociados a la contaminación por mercurio. Se debe hacer énfasis en los peligros del consumo de alimentos contaminados, tanto para la salud humana como para la vida silvestre, y en la importancia de adoptar prácticas sostenibles que reduzcan la exposición al mercurio y protejan los ecosistemas.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

1. Aguirre V. Dávila R. Contaminación ambiental por mercurio y la salud fisiológica y psicológica del poblador de Huepetuhe – Madre de Dios- 2019. Cienc Lat Rev Científica Multidiscip. 2021; 5(6): 11435–56.
2. Bezerra O. Veríssimo A. & Uhl C. Impactos da Garimpagem de Ouro na Amazônia. Série Amazônia. 1998; 2(55).
3. Oliveira C. Rodrigues D. Freitas M. Da Silva A. Silva G. Nascimento M. Concentração de mercúrio total (Hg-T) em peixes comercializados em diferentes períodos sazonais no Mercado do Ver-o-Peso, Belém, Estado do Pará, Brasil. Rev Pan-Amazônica Saúde. 2014 Mar; 5(1): 53–60.
4. Monteiro S. Aspectos epidemiológicos da exposição ao mercúrio na região do Tapajós, no período de 1994 a 2008. Tesis de Posgrado. Universidade Federal do Pará. 2010.
5. Silva M. Estanislau M. Concentração de mercúrio em peixes da Amazônia. Assoc Bras Linologia. 2015; 41(1): 08–14.
6. Moraes J. Mercúrio total em peixes e crustáceos comercializados no estado do Pará, Brasil. Tesis de Posgrado. Universidad Federal Fluminense. 2011.
7. Lima A. Manoel A. da Conceição M. de Lima L. Martins J. Crespo M. Exposição humana ao mercúrio na região Oeste do Estado do Pará. Rev Para Med. 2006 [cited 2023 May 28]; 20(1): 19–25.
8. Machado J. O peixe e a saúde: das recomendações para o consumo às possibilidades ambientais de atendê-lo. Segurança Aliment e Nutr . 2013 Feb 11; 20(1): 141–6.
9. Bezerra O. Veríssimo A. Uhl C. Impactos da Garimpagem de Ouro na Amazônia (nº 2). Série Amaz. 1998.
10. Pandilha D. Santos C. de Souza R. Oba E. Messias R. Contaminação por metais pesados em peixes e água da bacia do rio Cassiporé, Estado do Amapá, Brasil. Acta Amaz. 2015; 45(4): 1-10.

11. Lacerda L. Ribeiro M. Cordeiro R. Sifeddine A. Turcq B. Atmospheric mercury deposition over Brazil during the past 30,000 years. *Ciência e Cult J Brazilian Assoc Adv Sci*. 1999 [cited 2023 May 28]; 51(6): 363–71.
12. Roulet M. Lucotte M. Geochemistry of Mercury in Pristine and Flooded Ferralitic Soils of a Tropical Rain Forest in French Guiana, South America. *Mercur as a Glob Pollut*. 1995; 80(1): 1079–88.
13. Hacon S. Dórea J. Fonseca M. Oliveira B. Mourão D. Ruiz C. Gonçalves R. Mariani C. Bastos W. The influence of changes in lifestyle and mercury exposure in riverine populations of the Madeira River (Amazon Basin) near a hydroelectric project. *Int J Environ Res Public Health* [Internet]. 2014 Feb 26; 11(3): 2437–55
14. Lechler P. Miller J. Lacerda L. Vinson D. Bonzongo J. Lyons W. Warwick J. Elevated mercury concentrations in soils, sediments, water, and fish of the Madeira River basin, Brazilian Amazon: a function of natural enrichments? *Sci Total Environ*. 2000 Oct 9; 260(1–3): 87–96.
15. Constantino I. Teodoro G. Moreira A. Paschoal F. Trindade W. Bisinoti M. Distribution of Metals in the Waters and Sediments of Rivers in Central Amazon Region, Brazil. *J Braz Chem Soc* [Internet]. 2019 Sep 16 [cited 2023 May 28]; 30(9): 1906–15.
16. Alexio I. Concentração de Mercurio em Tecidos Musculares de Peixes com Diferentes Hábitos Alimentares no Reservatório da UHE - Samuel. In: *III Congresso Brasileiro de Gestão Ambiental*. 2012: 1 – 5.
17. Castilhos Z. Rodrigues A. Avaliação da potencial acumulação de mercúrio em peixes dos reservatórios (previstos) de Jirau e Santo Antônio, rio Madeira, RO. 2008.
18. Arrifano G. Martín R. Jiménez M. Ramírez V. da Silva N. Souza J. et al. Large-scale projects in the amazon and human exposure to mercury: The case-study of the Tucuruí Dam. *Ecotoxicol Environ Saf* [Internet]. 2018 Jan 1; 147: 299–305.
19. Farias A. A importância e aplicações do Mercúrio (Hg) no cotidiano. *Física*

- e Química no Cotidiano. 2010.
20. Rodriguez J, Carneiro A. Contaminação por Mercurio e o Caso da Amazônia. Química e Soc. 2012; 12(1): 1-5.
 21. Olivares I. Emissões antropicas de mercurio para a atmosfera na Região de Paulinia (SP). Universidade Estadual de Campinas. 2003.
 22. Centers for Disease Control - CDC. Occupational Health Guideline for Organo (Alkyl) Mercury [Internet]. Washington DC – USA. 1978.
 23. Zendron R. Mecanismos de neurotoxicidade e doenças neurológicas relacionadas à intoxicação por metais pesados. Rev Bras Nutr Func. 2016; 64: 45–51.
 24. Zampieri E. Calmon J. Tiveron M. Alterações auditivas em trabalhadores expostos a mercúrio. Rev CEFAC [Internet]. 2009 Mar 6;11(1): 1-6.
 25. Crespo M. Augusto M. Lopes A. Santos L. Yuki P. Macchi B de M, et al. Mercury: What can we learn from the Amazon? Environ Int. 2021 Jan 1; 146: 106223.
 26. Alvarado L. Causas, impactos y lecciones aprendidas sobre los conflictos socio-ambientales: El caso de la minería ilegal e informal en Madre de Dios [Internet]. 2014.
 27. Argumedo G. Vidal D. Marrugo J. Mercurio total en animales domésticos en mina Santa Cruz, Sur de Bolívar – Colombia. Rev Colomb Cienc Anim - RECIA. 2013; 5(2): 366–79.
 28. Bertolotti F. Noé N. Concentración de plomo, mercurio y cadmio en músculo de peces y muestras de agua procedentes del Río Santa, Ancash - Perú. Salud y Tecnol Vet. 2018; 6(1): 35.
 29. Booth N. McDonald L. 1987. Farmacología y terapéutica veterinaria. Acribia. España. Zaragoza. 1987; 2: 383.
 30. Brack A, Álvarez J, Sotero V, Ipenza C. Minería aurífera en Madre de Dios y contaminación con mercurio: Una bomba de tiempo. Ministerio Del Ambiente. 2011.
 31. Buelvas J. Marrugo S. Marrugo J. Bioacumulación de mercurio y plomo en

- el pato *Dendrocygna autumnalis* en la subregión de la Mojana, Colombia. Rev MVZ Córdoba. 2021; 27(1).
32. CAMEP. Mercurio en Madre de Dios, Concentraciones de Mercurio en Peces y Seres Humanos en Puerto Maldonado. 2020.
 33. Companhia Ambiental do Estado de São Paulo - CETESB. Mercúrio e seus compostos. 2012.
 34. Costa J. Mota C. da Silva C, Rodrigues D. de Lima L. da Silva G. Nascimento, M. Levels of mercury found in hair and fish consumption of riverine communities in the Tapajós region of the Brazilian Amazon. Cienc e Saude Coletiva. 2018; 23(3): 805– 12.
 35. Castilhos Z. Rodrigues A. Avaliação do potencial acumulação de mercúrio em peixes dos reservatórios (previstos) de Jirau e Santo Antônio, rio Madeira, RO. 2008. 1 - 106.
 36. Echave J. Diez A. Huber L. Revesz B. Ricard X. Tanaka M. Minería y conflicto social [Internet]. Centro de Investigaciones y promoción del Campesinado. Instituto de Estudios Peruanos. 2009. 1–428.
 37. Huanqui R. Determinación de metales pesados en pastos, fibra, carne y vísceras de alpacas en comunidades del distrito de Ananea, Puno. Tesis de Pregrado. Universidad Nacional del Altiplano. 2018.
 38. Junquera C. El impacto de la minería aurífera en el Departamento de Madre de Dios (Perú). Obs Medioambiente [Internet]. 2010; 13: 169–202.
 39. Lech T. Sadlick J. Total mercury levels in human autopsy materials from a nonexposed polish population. Archives of environmental health. 2004; 59(1): 50-54.
 40. Malamud M. Economías ilícitas en la Amazonia: Un desafío para la gobernabilidad en Perú, Brasil y Colombia. J Glob Compet Governability. 2018; 12(1): 34–47.
 41. Meza M. De La Ossa J. Hernández J. Marrugo J. Mercurio total en hígado de *Trachemys callirostris* (Gray, 1856) (Testudines: Emydidae) en tres zonas de la Mojana, Sucre- Colombia. Rev UDCA Actual Divulg Científica. 2020; 23(1): 1–7.
 42. Morel F. Kraepiel A. Amyot M. The Chemical Cycle and Bioaccumulation

- of Mercury. *Annu Rev Ecol Syst.* 2003.
43. Muñoz P. Estudio preliminar para la detección de cadmio, mercurio y plomo como residuos contaminantes en perros. 2007.
 44. Muñoz N. Arango Á. Mercury as a pollutant and risk factor for human health. *Rev Lasallista Investig.* 2020; 17(2): 280–96.
 45. Norberg G. Metales: propiedades químicas y toxicidad. En: *Enciclopedia de salud y seguridad del trabajo.* Organización Internacional del trabajo. España. 2001.
 46. Nordberg G. Fowler B. Nordberg M. Friberg L. *Handbook on the Toxicology of Metals, Third Edition.* *Handb Toxicol Met Third Ed* [Internet]. 2007 Jan 1 [cited 2023 May 28];1–975.
 47. Osoreo F. Rojas J. Manrique C. Minería informal e ilegal y contaminación con mercurio en Madre de Dios: Un problema de salud pública. *Acta méd Peru.* 2012; 29(1): 38–42.
 48. Panduro G. Rengifo G. Barreto J. Arbaiza K. Iannaccone J. Alvarino L. et al. Bioacumulación por mercurio en peces y riesgo por ingesta en una comunidad nativa en la amazonia peruana. *Rev Investig Vet del Perú.* 2020; 31(3): e18177.
 49. Pinilla C. Santos C. La minería ilegal arrasando las entrañas de la tierra. *Mundo Amaz.* 2014; 5: 455–75.
 50. Rivas W. Determinación de arsénico, mercurio y plomo en truchas (*Oncorhynchus mykiss*), piensos y agua de piscigranjas del distrito de Pachangara, provincia de Oyón, Región Lima. Universidad Nacional Mayor de San Marcos. 2018.
 51. Rocha L. Olivero J. Caballero K. Impacto de la minería del oro asociado con la contaminación por mercurio en suelo superficial de san martín de loba, sur de bolívar (Colombia). *Rev Int Contam Ambient.* 2018; 34(1): 93–102.
 52. Rodríguez M. El mercurio y sus riesgos. 2003.
 53. Rosales J. Malca N. Alarcón J. Chávez M. Gonzáles M. Daño genotóxico en trabajadores de minería artesanal expuestos al mercurio. *Rev Perú Med Exp Salud Publica.* 2014; 30(4): 595–600.
 54. Rumeiha W. Oehme F. Reid F. Toxicoses. In Sherding R. *The Cat:*

- Disease and clinical management. Curchill Livingstone. 2° edition, New York. USA. 1994.
55. Sakai T. Ito M. Aoki H. Aimi, K. Nitaya, R. Hair mercury concentrations in cats and dogs in central Japan. *Br. Vet J.* 1995; 151 (2): 215- 219.
 56. Santander C. Detección de cadmio, mercurio y plomo en gatos. 2007.
 57. Sepúlveda L. Agudelo L. Arengas A. 2006. El mercurio sus implicaciones en la salud y en el ambiente. *Science of the total environment*. 2006; 37: 668-675.
 58. Souza J. Batista G. Bernstein A. Mercúrio na Amazônia: a bomba relógio bioquímica. Fundação CECIERJ. 2014.
 59. Vega C. Araujo J. Román F. Fernández L. Mercurio en peces de pozas mineras en Madre de Dios, Perú. Centro de Innovación Científica Amazónica. 2018.
 60. Velásquez G. Problemas medioambientales de la minería aurífera ilegal en Madre de Dios (Perú). *Obs Medioambient.* 2020; 23: 229–41.
 61. Vento CE. El Impacto de la minería ilegal del Oro y el desarrollo sostenible en la región de Madre de Dios. Tesis Pos grado. Universidad Inca Garcilaso de la Vega. 2017.
 62. Sousa A. Teixeira I. Marques B. Vilhena H. Vieira L. Soares A. Nogueira A. Lillebø A. Mercury, pets' and hair: baseline survey of a priority environmental pollutant using a noninvasive matrix in man's best friend. *Ecotoxicology*. 2013 Nov; 22(9): 1435-42.
 63. Geneva S. Guidance for identifying populations at risk from Mercury exposure. UNEP Chemicals. 2008.
 64. Ni S, Li R, Wang A. Heavy metal content in scalp hair of the inhabitants near Dexing Copper Mine, Jiangxi Province, China. *Sci China Earth Sci.* 2011 May; 54(5): 780–8.

ANEXOS

Anexo 1. Operacionalización de variables

	VARIABLES	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL	DIMENSIÓN	INDICADORES	ITEMS
Independiente	- Concentración de Mercurio Atmosférico - Concentración de Mercurio Biológico	Centro poblado donde se toma la muestra	Centros Poblados donde se realiza minería aurífera	Lugar de procedencia - Nueva Arequipa - Sarayacu - Fortuna	Cantidad de animales	Ficha de datos
		Género de cada animal muestreado	Existe diferencia entre género en los animales	Sexo - Hembra - Macho		
		Tiempo de vida de cada animal muestreado	Hay diferencias en cuanto a la edad de los animales	Edad - Jóvenes - Adultos - Seniles		
Dependiente	Concentración de Mercurio total (THg) en felinos domésticos (<i>Felis silvestris catus</i>)	Nivel de Mercurio total (THg) de cada animal muestreado	Cantidad de Mercurio total (THg) en cada muestra	Concentración de Mercurio total (THg) en cada muestra	Concentración de Mercurio total (THg)	Equipo de medición de Mercurio

Anexo 2. Matriz de consistencia

Título:	"Estudio Comparativo de la Concentración de Mercurio Total (<i>THg</i>) en felinos domésticos (<i>Felis silvestris catus</i>), en tres Centros Poblados de influencia minera aurífera en la Provincia de Tambopata 2023"			
Nombre del Tesista:	Edu Ccarhuani Quispe			
PROBLEMAS	OBJETIVOS	HIPÓTESIS	VARIABLES/INDICADORES	METODOLOGÍA
General: ¿Cuál será la concentración de Mercurio Total (<i>THg</i>) en felinos domésticos (<i>Felis silvestris catus</i>) en tres Centros Poblados de influencia minera aurífera en la provincia de Tambopata 2023?	General: Comparar la concentración de Mercurio total (<i>THg</i>) en felinos domésticos (<i>Felis silvestris catus</i>) en tres Centros Poblados de influencia minera aurífera en la provincia de Tambopata 2023. Específicos: Determinar la concentración de Mercurio total (<i>THg</i>) en felinos domésticos (<i>Felis silvestris catus</i>) en tres Centros Poblados de influencia minera aurífera en la provincia de Tambopata 2023. Contrastar el nivel de concentración de Mercurio total (<i>THg</i>) en felinos domésticos (<i>Felis silvestris catus</i>), en cada uno de los tres Centros Poblados de influencia minera aurífera en la provincia de Tambopata 2023.	General: Existirá diferencia significativa en la concentración de Mercurio total (<i>THg</i>) en felinos domésticos (<i>Felis silvestris catus</i>) de tres centros poblados de influencia minera aurífera en la provincia de Tambopata 2023. Justificación: Mundialmente, el Hg es considerado un contaminante de impacto negativo sobre la salud humana y animales expuestos a este, el Hg puede entrar al cuerpo a través de la ingesta, inhalación y absorción, por lo cual las poblaciones dedicadas a actividades como la minería ilegal, representan un factor de riesgo importante para la salud global. Importancia: Se establecerá una línea base, a partir de la cual se sugerirán mejoras o se aplicarán técnicas de revalorización.	Variable Dependiente: Concentración de Mercurio total (<i>THg</i>) en felinos domésticos. Dimensiones: Concentración de Mercurio total (<i>THg</i>) en cada muestra. Indicadores: - Conocimiento y Valoración Variables Independientes: - Lugar de procedencia Dimensiones: Nueva Arequipa, Sarayacu y Fortuna. Indicadores: - Cantidad de animales. - Sexo Dimensiones: Hembra y macho. Indicadores: - Cantidad de animales. - Edad Dimensiones: Jóvenes, adultos, seniles. Indicadores: Cantidad de animales.	Enfoque: Observacional, transversal, longitudinal y analítico. Diseño: Cuantitativo. Nivel: Explicativo. Tipo: Correlacional. Métodos: Recopilación de datos y toma de muestras. Técnicas Instrumentales de Muestreo: Casa por casa. De recolección de datos: Fichas de datos y toma de muestras. De procesamiento de datos: Comparativos de medias y la prueba "t de Tukey". De análisis: Laboratorio de Hg y Química Ambiental, Centro de investigación "El Castañal", del IIAP. Población: Felinos domésticos (<i>Felis silvestris catus</i>) que pertenecen a los tres centros poblados donde se realizará la investigación. Muestra: Muestreo por conveniencia.

Anexo 3. Consentimiento informado por el propietario

Autorizo que me pueden re-contactar para futuros estudios en mi(s) felino(s):
Si ☒ No ☐

Autorizo ser re-contactado para recibir los resultados de mi(s) felino(s):
Si ☒ No ☐

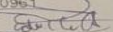
Si usted marcó que **SI** desea ser re-contactado se le pedirá su número de teléfono y dirección al final de este documento.

Derechos del participante:
Si usted decide que su(s) can(es) participe(n) en el estudio, podrá retirarlo de éste en cualquier momento. Si tiene alguna duda adicional, por favor pregunte al asesor de la investigación: MSc. MVZ Ricardo Ysaac García Nuñez al teléfono 941237995.

CONSENTIMIENTO
Acepto voluntariamente que mi(s) felino (os) participe(n) en este estudio.

Especie: Felino	Raza:	Nombre/Código:
		Michino M-001
Especie: Felino	Raza:	Nombre/Código:
		Negro n-002
Especie: Felino	Raza:	Nombre/Código:
		Cris n-003

Comprendo que cosas le(s) puede pasar si participan en el proyecto, como también entiendo que puedo retirarlo(s) del estudio en cualquier momento. Recibiré una copia firmada de este consentimiento.

Propietario(a)	Investigador
Apellidos y Nombres:	Apellidos y Nombres:
Julia Quispe Franco	Ccarhuani Quispe Edu
DNI: 47583743	DNI: 76880961
Teléfono: 931136056	Firma: 
Dirección:	Fecha de firma: 23/09/23
Firma: 	
Fecha de firma: 23/09/2023	

Consentimiento informado para participar en el estudio de investigación.

TITULO DEL ESTUDIO: "CONCENTRACION DE MERCURIO TOTAL (THg) EN FELINOS DOMESTICOS (FELIS SILVESTRES CATUS) EN EL SECTOR LA PAMPA, MADRE DE DIOS, 2023"

Investigadora: Br. MVZ Edu Ccarhuani Quispe

Universidad: Universidad Nacional Amazónica de Madre de Dios (UNAMAD)

Propósito del estudio:
Le invitamos a participar a un estudio de investigación que busca determinar la Concentración de Mercurio total (THg) en felinos domésticos (Felis silvestrus catus), con el fin de saber si sus felinos se encuentran en riesgo ante este metal, brindando una solución a futuro para el bienestar de sus mascotas.

Procedimiento:
Si usted acepta que sus felinos participen en este estudio:

1. Los felinos domésticos serán sujetos por una persona con experiencia.
2. El investigador tomará la muestra de pelo, extrayendo 1 gramo de peso de pelo por felino doméstico.

Costos y compensación:
Usted no deberá pagar nada por participar en este estudio, todos los gastos serán cubiertos por el estudio. Se brindará un servicio de consulta médica y desparasitación gratuita a su mascota posterior a la toma de muestra.

Confidencialidad:
Se guardará la información de su(s) felino(s) con códigos establecidos, cuando los resultados de este estudio salgan publicados no se mostrará ninguna información que permita la identificación de su persona. La información que me brinda y los resultados a obtener no serán mostrados a ninguna persona ajena al estudio sin su consentimiento.

Uso futuro de la información y muestras biológicas obtenidas:
Deseamos conservar las muestras de pelo de su(s) felino(s), para que pueda ser usada en investigaciones futuras. Si usted no desea que la muestra biológica de su felino(s) permanezca almacenada ni utilizada posteriormente, su can aún puede seguir participando del estudio.

Autorizo a tener las muestras de mi(s) felino(s) almacenada(s) y su posterior uso en proyectos de investigación a futuro.

Si ☒ No ☐

Además, la información de los resultados de su(s) felino(s) será(n) guardada(s) y usada(s) posteriormente para estudios de investigación beneficiando al mejor conocimiento sobre el daño que causa este metal. Por este motivo le preguntaremos si desea ser re-contactado para recibir los resultados de su(s) felino(s) y participar en futuros estudios.

Anexo 4. Registro e información de los felinos muestreados en el Centro Poblado "Fortuna"

TABLA DE REGISTRO E INFORMACION DE LOS FELINOS MUESTREADOS

N°	Procedencia			Código de muestra	Edad	Sexo		Raza		Localización			Hábitat			Dieta			Enfermedad		Medicación		Baño			Producto que aplique en el pelaje			
	SA	FOR	PA			M	H	Raza	SRD	U	R	A	CA	CAL	A	BAL	CAS	A	SI	No	SI	No	SI	No	UV	SI	No	UV	NP
01		X		M-01	4m	X			X	X			X					X		X				X		X			
02		X		M-02	4m	X			X	X			X					X		X				X		X			
03		X		M-03	4m		X		X	X			X					X		X				X		X			
04		X		M-04	4m		X		X	X			X					X		X				X		X			
05		X		M-05	1 1/2 años		X		X	X			X					X		X				X		X			
06		X		M-06	4m	X			X	X			X					X		X				X		X			
07		X		M-07	2m		X		X	X			X					X		X				X		X			
08		X		M-08	5m		X		X	X			X					X		X				X		X			
09		X		M-09	5m		X		X	X			X					X		X				X		X			
10		X		M-10	5m	X			X	X			X					X		X				X		X			
11		X		M-11	5m	X			X	X			X					X		X				X		X			
12		X		M-12	5m		X		X	X			X					X		X				X		X			
13		X		M-13	1 año	X			X	X			X					X		X				X		X			
14		X		M-14	6m	X			X	X			X					X		X				X		X			
15		X		M-15	8m		X		X	X			X					X		X				X		X			
16																													
17																													
18																													
19																													
20																													
21																													
22																													
23																													
24																													
25																													
26																													
27																													

LEYENDA

- PA - Pampa
- FOR- Fortuna
- PEM- Puerto Maldonado
- M- macho
- H- hembra
- SRD- sin raza definida
- U- urbano

- R- rural
- A- ambos
- CA- casa
- CAL- calle
- BAL- balanceado
- CAS- casero
- UV- última vez
- NP- nombre producto

Anexo 5. Registro e información de los felinos muestreados en el Centro Poblado "Sarayacu"

TABLA DE REGISTRO E INFORMACION DE LOS FELINOS MUESTREADOS

N°	Procedencia			Código de muestra	Edad	Sexo		Raza		Localización			Hábitat			Dieta			Enfermedad		Medicación		Baño			Producto que aplique en el pelaje			
	SAR	FOR	MA			M	H	Raza	SRD	U	R	A	CA	CAL	A	BAL	CAS	A	Si	No	Si	No	Si	No	UV	Si	No	UV	NP
01	X			N 01	2 meses	X		SRD	X	X			X			X				X		X							
02	X			N 02	2 meses	X		SRD	X	X			X			X				X		X							
03	X			N 03	1 año	X		SRD	X	X			X			X				X		X							
04	X			N 04	1 año	X		SRD	X	X			X			X				X		X							
05	X			N 05	1 año		X	SRD	X	X			X				X			X		X							
06	X			M 06	1 año	X		SRD	X	X			X				X			X		X							
07	X			N 07	4 meses	X		SRD	X	X			X				X			X		X							
08	X			N 08	10 meses		X	SRD	X	X			X			X				X		X							
09	X			M 09	2 años		X	SRD	X	X			X			X				X		X							
10	X			M 10	3 meses		X	SRD	X	X			X				X			X		X							
11	X			N 11	1 año	X		SRD	X	X			X				X			X		X							
12	X			N 12	2 años	X		SRD	X	X			X				X			X		X							
13	X			N 13	2 meses	X		SRD	X	X			X				X			X		X							
14	X			N 14	1 año	X		SRD	X	X			X				X			X		X							
15	X			M 15	2 años		X	SRD	X	X			X			X				X		X							
16	X			M 16	6 meses		X	SRD	X	X			X			X				X		X							
17	X			N 17	3 años		X	SRD	X	X			X				X			X		X							
18	X			N 18	6 meses	X		SRD	X	X			X				X			X		X							
19	X			M 19	2 meses	X		SRD	X	X			X				X			X		X							
20	X			M 20	4 meses		X	SRD	X	X			X				X			X		X							
21	X			M 21	2 meses		X	SRD	X	X				X				X		X		X							
22	X			M 22	1 año		X	SRD	X	X			X				X			X		X							
23	X			M 23	2 años	X		SRD	X	X			X				X			X		X							
24																													

LEYENDA

- PA - Pampa
- FOR- Fortuna
- PEM-Puerto Maldonado
- M-macho
- H-hembra
- SRD-sin raza definida
- U-urbano
- R-rural
- A-ambos
- CA-casa
- CAL-calle
- BAL-balanceado
- CAS-casero
- UV-última vez
- NP-nombre producto

Anexo 6. Registro e información de los felinos muestreados en el Centro Poblado "Nueva Arequipa"

TABLA DE REGISTRO E INFORMACION DE LOS FELINOS MUESTREADOS

N°	Procedencia			Código de muestra	Edad	Sexo		Raza		Localización			Hábitat			Dieta			Enfermedad		Medicación		Baño			Producto que aplique en el pelaje			
	PA	FOR	YA			M	H	Raza	SRD	U	R	A	CA	CAL	A	BAL	CAS	A	SI	No	SI	No	SI	No	UV	SI	No	UV	NP
01			X	M-01	1 m		X		X	X			X			X				X			X						
02			X	M-02	5 m	X			X	X			X			X				X			X						
03			X	M-03	4 m	X			X	X			X			X				X			X						
04			X	M-04	1 año		X		X	X			X			X				X			X						
05			X	M-05	2 m		X		X	X			X			X				X			X						
06			X	M-06	2 años		X		X	X			X			X				X			X						
07			X	M-07	1 año		X		X	X			X			X				X			X						
08			X	M-08	3 años	X			X	X			X				X			X			X						
09			X	M-09	1 año		X		X	X			X			X				X			X						
10			X	M-10	1 año	X			X	X			X			X				X			X						
11			X	M-11	2 años	X			X	X			X			X				X			X						
12			X	M-12	2 años		X		X	X			X			X				X			X						
13			X	M-13	1 m	X			X	X			X			X				X			X						
14			X	M-14	2 años		X		X	X			X			X				X			X						
15			X	M-15	2 años		X		X	X			X			X				X			X						
16			X	M-16	1 año		X		X	X			X				X			X			X						
17			X	M-17	2 años		X		X	X			X			X				X			X						
18			X	M-18	1 año		X		X	X			X			X				X			X						
19			X	M-19	2 años	X			X	X			X			X				X			X						
20			X	M-20	3 años	X			X	X			X			X				X			X						
21			X	M-21	3 años		X		X	X			X			X				X			X						
22			X	M-22	2 años		X		X	X			X			X				X			X						
23			X	M-23	4 m	X			X	X			X			X				X			X						
24			X	M-24	2 años	X			X	X			X				X			X			X						
25			X	M-25	2 años		X		X	X			X			X				X			X						
26			X	M-26	2 años	X			X	X			X			X				X			X						
27			X	M-27	1 año		X		X	X			X			X				X			X						
28			X	M-28	1 año	X			X	X			X			X				X			X						
29			X	M-29	9 meses	X			X	X			X			X				X			X						
30			X	M-30	1 año	X			X	X			X			X				X			X						
31			X	M-31	6 meses		X		X	X			X			X				X			X						
32			X	M-32	1 año		X		X	X			X			X				X			X						
33																													
34																													
35																													
36																													
37																													
38																													
39																													
40																													

LEYENDA

- PA - Pampa
- FOR - Fortuna
- PEM - Puerto Maldonado
- M - macho
- H - hembra
- SRD - sin raza definida
- U - urbano
- R - rural
- A - ambos
- CA - casa
- CAL - calle
- BAL - balanceado
- CAS - casero
- UV - última vez
- NP - nombre producto

Anexo 7. Panel fotográfico

Figura 1. Explicando el procedimiento de estudio al propietario del felino y corte de pelo del felino.



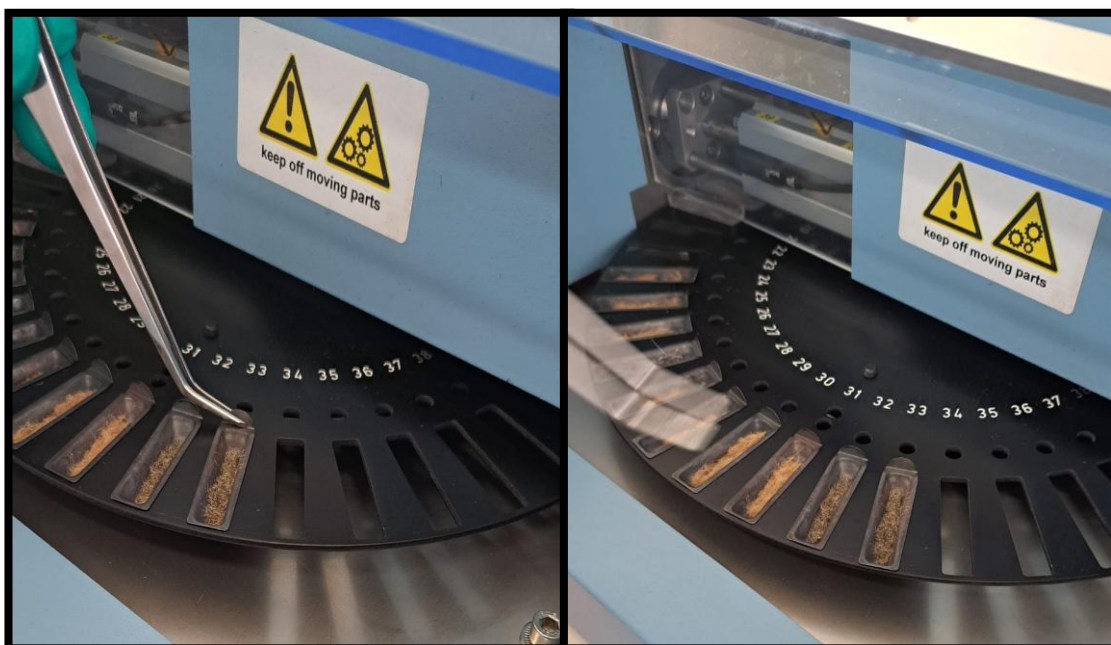
Figura 2. Recolección de pelo extraído del felino en una bolsa hermética y rotulación de las bolsas con los datos del muestreo.



Figura 3. Pesaje de muestras para el análisis de Hg y colocación de la baqueta con muestras de pelo hacia el equipo DMA-80.



Figura 4. Muestras colocadas correctamente y en orden para su respectivo análisis y culminación del análisis con los respectivos materiales de referencia y limpieza.



Anexo 1. Resultados de THg de los felinos domésticos de los 3 Centros Poblados

CENTRO POBLADO	CODIGO	THG ATMOSFERICO	THG BIOLOGICO
Sarayacu	M01	0.0870	1.4068
Sarayacu	M02	0.0798	1.4204
Sarayacu	M03	0.2395	2.1286
Sarayacu	M04	0.0501	0.3579
Sarayacu	M05	0.0715	0.2779
Sarayacu	M06	2.7002	7.6380
Sarayacu	M07	0.0311	4.1468
Sarayacu	M08	0.0217	0.3115
Sarayacu	M09	0.0739	4.4165
Sarayacu	M10	0.0839	1.6284
Sarayacu	M11	0.0969	2.5784
Sarayacu	M12	0.0103	0.3439
Sarayacu	M13	0.0768	1.5812
Sarayacu	M14	0.2033	2.5755
Sarayacu	M15	0.3460	1.2030
Sarayacu	M16	0.0234	0.2738
Sarayacu	M17	0.0193	0.9151
Sarayacu	M18	0.4971	3.1941
Sarayacu	M19	0.5416	1.9993
Sarayacu	M20	0.2974	7.3570
Nueva Arequipa	M21	0.0760	1.7238

Nueva Arequipa	M22	0.1959	0.8817
Nueva Arequipa	M23	0.4597	1.2301
Nueva Arequipa	M24	2.0244	3.0917
Nueva Arequipa	M25	0.6444	0.6894
Nueva Arequipa	M26	0.2217	0.5921
Nueva Arequipa	M27	0.3197	0.3378
Nueva Arequipa	M28	0.2594	0.4263
Nueva Arequipa	M29	3.9895	4.0783
Nueva Arequipa	M30	8.0285	29.7842
Nueva Arequipa	M31	0.2206	0.3622
Nueva Arequipa	M32	0.1932	0.6586
Nueva Arequipa	M33	0.2202	0.4078
Nueva Arequipa	M34	0.0820	0.8164
Nueva Arequipa	M35	0.0046	0.2058
Nueva Arequipa	M36	0.0292	0.3540
Nueva Arequipa	M37	0.0372	0.4832
Nueva Arequipa	M38	0.0025	1.5052
Nueva Arequipa	M39	0.0437	0.3857
Nueva Arequipa	M40	0.0011	0.9422
Nueva Arequipa	M41	0.1088	0.6214
Nueva Arequipa	M42	0.1028	0.2209
Nueva Arequipa	M43	0.0889	0.2532
Nueva Arequipa	M44	0.0515	0.4436
Nueva Arequipa	M45	0.0634	0.4958

Nueva Arequipa	M46	0.0836	0.5052
Nueva Arequipa	M47	0.1010	0.8497
Nueva Arequipa	M48	0.0946	0.2090
Nueva Arequipa	M49	0.1322	0.2147
Nueva Arequipa	M50	0.0878	0.2592
Nueva Arequipa	M51	0.1286	0.1658
Nueva Arequipa	M52	1.6830	3.1625
Fortuna	M53	0.0674	1.7431
Fortuna	M54	0.0366	1.7809
Fortuna	M55	0.1372	1.3767
Fortuna	M56	1.0167	11.4693
Fortuna	M57	0.0741	1.7266
Fortuna	M58	0.1275	5.7682
Fortuna	M59	0.2810	1.7204
Fortuna	M60	0.0637	1.9074
Fortuna	M61	0.2368	1.9739
Fortuna	M62	0.4657	3.6341
Fortuna	M63	0.1862	7.1491
Fortuna	M64	0.0228	1.4754
Fortuna	M65	0.0012	0.5581
Fortuna	M66	0.1396	6.2895
Fortuna	M67	0.5300	6.0026

Anexo 9. Resultados estadísticos

Análisis descriptivos

Descriptivas

					Shapiro-Wilk	
					W	p
	Centro Poblado	Media	EE	DE		
Hg_biológico	Sarayacu	2.288	0.4824	2.157	0.821	0.002
	Nueva Arequipa	1.761	0.9189	5.198	0.286	< .001
	Fortuna	3.638	0.7875	3.050	0.808	0.005
Hg_atmosférico	Sarayacu	0.278	0.1323	0.592	0.443	< .001
	Nueva Arequipa	0.618	0.2772	1.568	0.414	< .001
	Fortuna	0.226	0.0693	0.268	0.755	0.001

Análisis de Comparación de medias y poshoc

Kruskal-Wallis

	χ^2	gl	p
Hg_atmosférico	0.72	2	0.697
Hg_biológico	18.56	2	< .001

Comparaciones entre parejas - Hg_atmosférico

		W	p
Sarayacu	Nueva Arequipa	1.28	0.639
Sarayacu	Fortuna	0.61	0.902
Nueva Arequipa	Fortuna	-0.10	0.997

Comparaciones entre parejas - Hg_biológico

		W	p
Sarayacu	Nueva Arequipa	-3.70	0.024
Sarayacu	Fortuna	2.12	0.291
Nueva Arequipa	Fortuna	5.84	< .001

Análisis de chi cuadrado en relación al Centro poblado y género (Hg biológico)

Tablas de Contingencia

		Genero		
Centro Poblado				Total
		Macho	Hembra	
Sarayacu	Observado	27	18	46
	Esperado	26.71	19.05	45.75
Nueva Arequipa	Observado	41	15	56
	Esperado	32.90	23.46	56.36

Tablas de Contingencia

		Genero		
		Macho	Hembra	Total
Fortuna	Observado	23	32	55
	Esperado	31.85	22.72	54.58
Total	Observado	91	65	157
	Esperado	91.46	65.23	156.69

Pruebas de χ^2

	Valor	gl	p
χ^2	11.42	2	0.003
N	157		

Análisis de chi cuadrado en relación al Centro Poblado y género (Hg atmosférico)

Tablas de Contingencia

Centro Poblado		Genero		
		Macho	Hembra	Total
Sarayacu	Observado	4	2	6
	Esperado	3.73	1.82	5.55
Nueva Arequipa	Observado	14	6	20
	Esperado	13.30	6.48	19.78
Fortuna	Observado	2	2	3
	Esperado	2.28	1.11	3.39
Total	Observado	19	9	29
	Esperado	19.31	9.40	28.72

Pruebas de χ^2

	Valor	gl	p
χ^2	0.41	2	0.816
N	29		

Análisis de chi cuadrado en relación al centro poblado y etapa (Hg biológico)

Tablas de Contingencia

		Etapa			
		Cachorro	Joven	Adulto	Total
Sarayacu	Observado	22	24	0	46
	Esperado	18.07	18.61	9.08	45.75
Nueva Arequipa	Observado	6	20	30	56
	Esperado	22.25	22.92	11.18	56.36
Fortuna	Observado	34	20	1	55
	Esperado	21.55	22.20	10.83	54.58
Total	Observado	62	64	31	157
	Esperado	61.87	63.73	31.09	156.69

Pruebas de χ^2

	Valor	gl	p
χ^2	72.80	4	< .001
N	157		

Análisis de chi cuadrado en relación al Centro Poblado y etapa (Hg atmosférico)

Tablas de Contingencia

		Etapa			
		Cachorro	Joven	Adulto	Total
Sarayacu	Observado	2	4	0	6
	Esperado	1.54	2.42	1.59	5.55
Nueva Arequipa	Observado	4	8	8	20
	Esperado	5.49	8.61	5.68	19.78
Fortuna	Observado	3	1	0	3
	Esperado	0.94	1.47	0.97	3.39
Total	Observado	8	13	8	29
	Esperado	7.97	12.51	8.24	28.72

Pruebas de χ^2

	Valor	gl	p
χ^2	8.14	4	0.087
N	29		