

**UNIVERSIDAD NACIONAL AMAZONICA DE MADRE  
DE DIOS  
FACULTAD DE INGENIERIA  
ESCUELA PROFESIONAL DE MEDICINA  
VETERINARIA-ZOOTECNIA**



**“Estudio comparativo de la concentración de Mercurio total (THg) en  
caninos (*Canis lupus familiaris*) de tres Centros Poblados  
con influencia de minería aurífera en la  
provincia Tambopata, 2023”**

**PARA OPTAR EL TITULO  
PROFESIONAL DE MEDICO  
VETERINARIO-ZOOTECNISTA**

**AUTOR:**

Bach. ROJAS MEDINA, Nazia Mabel

**ASESOR:**

Dr. GARCIA NUÑEZ, Ricardo Ysaac

**CO-ASESOR:**

MSc. NASCIMENTO HERBAY, Pedro  
Romel

Puerto Maldonado, noviembre del 2024



**UNIVERSIDAD NACIONAL AMAZONICA DE MADRE  
DE DIOS  
FACULTAD DE INGENIERIA  
ESCUELA PROFESIONAL DE MEDICINA  
VETERINARIA- ZOOTECNIA**



**“Estudio comparativo de la concentración de Mercurio total (THg) en  
caninos (*Canis lupus familiaris*) de tres Centros Poblados  
con influencia de minería aurífera en la  
provincia Tambopata, 2023”**

**PARA OPTAR EL TITULO  
PROFESIONAL DE MEDICO  
VETERINARIO-ZOOTECNISTA**

**AUTOR:**

Bach. ROJAS MEDINA, Nazia Mabel

**ASESOR:**

Dr. GARCIA NUÑEZ, Ricardo Ysaac

**CO-ASESOR:**

MSc. NASCIMENTO HERBAY, Pedro  
Romel

Puerto Maldonado, noviembre del 2024

## **DEDICATORIA**

A Dios primeramente por darme salud, fuerza y sabiduría para culminar mi carrera profesional y llevar a cabo este proyecto de investigación.

A mis abuelos Pedro Medina y Rosa Arimuya por su apoyo incondicional y por ser siempre mi fortaleza para seguir superándome.

En memoria de mis queridas mascotas, Blanca y Felipe, cuya compañía y amor incondicional fueron una fuente de constante inspiración y motivación para mi crecimiento personal y profesional.

## **AGRADECIMIENTO**

Primeramente, agradezco a Dios por regalarme tiempo y salud para poder llevar a cabo un logro más en mi vida. Agradezco profundamente a quienes considero mis padres, Rosa Arimuya y Pedro Medina, por su inquebrantable apoyo y confianza. También me agradezco a mí misma por la voluntad, esfuerzo y dedicación que tuve para seguir adelante.

Agradecer también al Instituto de Investigación Peruana Amazónica (IIAP) por proporcionarme los recursos, herramientas y el apoyo necesario para llevar a cabo esta investigación. En especial agradezco a la ingeniera Adenka Muñoz Ushñahua, jefa del Laboratorio de Mercurio y Química Ambiental (LAMQA) perteneciente al IIAP, por su paciencia y sabiduría, asimismo a sus colaboradores, José Flores y Rut Cutipa, por brindarme su apoyo y amistad en el laboratorio, y en memoria del señor Ronal Fuentes, por brindarme su apoyo y compañía en la toma de muestras realizadas en campo.

A mi co- asesor MSc. Pedro Romel Nascimento Herbay, por su valiosa colaboración y apoyo incondicional. Asimismo, extiendo mi agradecimiento a mi asesor Dr. Ricardo Ysaac Garcia Nuñez, por su invaluable orientación a lo largo de este proceso.

# TURNITIN\_NAZIA MABEL ROJAS MEDINA

---

## INFORME DE ORIGINALIDAD

---

1 %

INDICE DE SIMILITUD

1 %

FUENTES DE INTERNET

1 %

PUBLICACIONES

0 %

TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

---

## FUENTES PRIMARIAS

---

1

[bdigital.unal.edu.co](http://bdigital.unal.edu.co)

Fuente de Internet

1 %

---

Excluir citas

Activo

Excluir coincidencias < 1%

Excluir bibliografía

Activo

## PRESENTACIÓN

Investigaciones sobre el impacto del Mercurio (Hg) liberado por la minería aurífera y su efecto en los seres vivos en el departamento de Madre de Dios han demostrado que puede traer graves consecuencias. En 2021, reportaron una concentración de Mercurio total (THg) de 11.9 mg Hg/kg pelo en humanos superando los estándares recomendados (1.0 mg Hg/kg pelo) por la Agencia de Protección Ambiental de los US (USEPA) (1). Y el año 2023, reportaron una concentración de THg de 117 mg Hg/ kg pelo seco en murciélagos, indicando un alto nivel que superó el umbral de Mercurio en mamíferos pequeños (10 mg Hg/kg pelo) (2).

Considerando los estudios recientes sobre Hg en animales silvestres y humanos, no pasan por alto el posible impacto en animales domésticos, como el canino doméstico (*Canis lupus familiaris*), animal que mantiene una relación cercana con el hombre, el cual se expone a los mismos contaminantes químicos, agentes infecciosos y factores ambientales.

Basado en lo mencionado anteriormente, este estudio tuvo como objetivo determinar la concentración de THg en pelo de caninos domésticos habitantes de tres zonas con influencia de minería aurífera (Nueva Arequipa, Sarayacu y Fortuna) en la provincia de Tambopata. Es importante destacar que este estudio es pionero en la región de Madre de Dios en lo que respecta a investigaciones realizadas en animales domésticos. La información obtenida será un valioso aporte para los sectores de salud y medio ambiente, permitiendo visualizar el impacto de la actividad minera.

## INTRODUCCION

Perú es uno de los principales exportadores de minerales y ocupa el sexto lugar a nivel mundial en la producción de oro, sus recursos naturales permiten la extracción de metales valiosos como el oro por medio de yacimientos de llanuras aluviales, sierras andinas y la amazonia (3,4). Según el Ministerio de Energía y Minas en 2020, la región de Madre de Dios obtuvo el primer lugar con una producción de 1,243,552 gramos de oro fino, abarcando el 44.13% de la producción a nivel nacional de mineros artesanales (5). La minería aurífera en Madre de Dios ha tenido un impacto ambiental significativo debido al uso de Hg; esta región es conocida como la capital de la biodiversidad del Perú y reconocida mundialmente como una de las regiones tropicales con mayor biodiversidad biológica (6,7)

Según la Agencia para registro de Sustancias Tóxicas y Enfermedades del Gobierno de los Estados Unidos, el Mercurio ocupa el tercer lugar después del Plomo y el Arsénico dentro de la clasificación de los metales más tóxicos del mundo (8). El Hg es un contaminante ubicuo que perjudica a todo ser vivo; gran parte de este metal es liberado por fuentes antropogénicas (9). En 2015, la MAPE (Minería de oro artesanal y en pequeña escala) liberó una cantidad de 838 toneladas de Hg, lo que representó el 37% del total mundial, ocupando el primer lugar en emisiones (10). En 2019, la Organización de las Naciones Unidas (ONU) reportó que la minería aurífera y la combustión de carbón representan en conjunto un 60% de las emisiones (11).

Estudios recientes realizados en Madre de Dios por (1) el año 2021, reportaron una concentración de 11.9 mg Hg/kg pelo en humanos, superando los estándares recomendados (1.0 mg Hg/kg pelo) por la Agencia de Protección Ambiental de los US; y en 2023,(2) reportaron una concentración de 117 mg Hg/kg pelo en murciélagos, indicando un alto nivel que superó el umbral de Hg en mamíferos pequeños (10 mg Hg/kg).

Teniendo en cuenta los estudios recientes sobre Hg en animales silvestres y seres humanos, no se dispone de información sobre la exposición al Hg en animales domésticos en la amazonia peruana como el canino doméstico

(*Canis lupus familiaris*), animal que mantiene una relación cercana con el hombre y están expuestos a los mismos contaminantes químicos, agentes infecciosos y factores ambientales. Por lo que es razonable que los caninos domésticos también podrían estar en un alto riesgo. Se seleccionaron tres Centros Poblados las cuales fueron tres: “Nueva Arequipa”, “Sarayacu” y “Fortuna” en la provincia de Tambopata; por sus antecedentes de minería aurífera, el crecimiento migratorio, su continuidad laboral y varios estudios realizados por (12–14), en áreas degradadas y sobre políticas ambientales. Por lo expuesto anteriormente, el propósito de este estudio fue determinar la concentración de THg en pelo de caninos domésticos habitantes de tres zonas con influencia de minería aurífera (Nueva Arequipa, Sarayacu y Fortuna) en la provincia de Tambopata. Se utilizó el pelo como un indicador biológico, debido a que proporciona una mejor estimación de la ingesta corporal total de ciertos elementos a comparación de la sangre u orina según (15), por ello fue aplicado como un método no invasivo.

Este es el primer estudio en detallar la exposición y estado actual frente a la contaminación por Hg sobre caninos domésticos en la amazonia peruana, se espera contribuir al conocimiento científico, promoviendo que aumente la conciencia sobre los impactos negativos de la minería aurífera, y fomente la realización de acciones preventivas y de control prevención y/o control en la región de Madre de Dios, estas acciones deberían ser promovidas por organizaciones e instituciones nacionales e internacionales dedicadas a la defensa y protección animal.

## RESUMEN

Este estudio evaluó la concentración de Mercurio total (THg) en caninos domésticos de tres centros poblados —Nueva Arequipa, Sarayacu y Fortuna— ubicados en la provincia de Tambopata, Perú, una región afectada por la minería aurífera. Se recolectaron muestras de pelo de 87 caninos para analizar el nivel de exposición al Mercurio mediante espectrometría de absorción atómica. Los resultados mostraron que, los caninos de Nueva Arequipa presentaron las concentraciones más altas de Mercurio bioacumulado, alcanzando un máximo de 10.3844 mg Hg/kg pelo seco. Los hallazgos sugieren una mayor exposición ambiental en Nueva Arequipa, probablemente debido a las numerosas tiendas de compra y venta de oro que realizan el refogeo de Mercurio.

El 94.25% de los caninos de los tres Centros Poblados presentaron concentraciones dentro del rango de 0.04 a 2 mg Hg/kg pelo seco. Los hallazgos subrayan la importancia de implementar medidas de monitoreo y control ambiental para mitigar los riesgos asociados a la exposición al mercurio en fauna doméstica y comunidades humanas. Además, el uso de biomarcadores como el pelo en estudios de toxicología ambiental ofrece una herramienta eficaz para la evaluación de la bioacumulación de Mercurio, con implicancias significativas para la salud pública y ambiental en la región.

**Palabras clave:** Minería aurífera, Caninos domésticos, Mercurio, Centros Poblados.

## ABSTRACT

This study evaluated the concentration of total Mercury (THg) in domestic canines from three population centers -Nueva Arequipa, Sarayacu and Fortuna- located in Tambopata province, Peru, a region affected by gold mining. Hair samples were collected from 87 canines to analyze the level of Mercury exposure by atomic absorption spectrometry. The results showed that canines from Nueva Arequipa presented the highest concentrations of bioaccumulated Mercury, reaching a maximum of 10.3844 mg Hg/kg dry hair. The findings suggest a higher environmental exposure in Nueva Arequipa, probably due to the numerous gold buying and selling stores that carry out Mercury refining.

The 94.25% of the canines in the three population centers presented concentrations within the range of 0.04 to 2 mg Hg/kg dry hair. The findings underscore the importance of implementing environmental monitoring and control measures to mitigate the risks associated with mercury exposure in domestic wildlife and human communities. In addition, the use of biomarkers such as hair in environmental toxicology studies offers an effective tool for the evaluation of mercury bioaccumulation, with significant implications for public and environmental health in the region.

**Keywords:** Gold mining, Domestic canines, Mercury, Populations centers.

## INDICE

DEDICATORIA .....	IV
AGRADECIMIENTO .....	V
PRESENTACIÓN.....	VI
INTRODUCCION .....	VII
RESUMEN .....	IX
ABSTRACT.....	X
CAPITULO I: PROBLEMA DE LA INVESTIGACION.....	1
1.1 Descripción del problema .....	1
1.2 Formulación del problema .....	3
1.3 Objetivos.....	3
1.3.1 Objetivo general .....	3
1.3.2 Objetivos específicos.....	3
1.4 Variables .....	4
1.5 Operacionalización de variables.....	5
1.6 Hipótesis.....	5
1.7 Justificación.....	6
1.8 Consideraciones éticas .....	7
CAPITULO II: MARCO TEORICO .....	8
2.1 Antecedentes de estudio .....	8
2.1.1 Antecedentes locales y nacionales.....	8
2.1.2 Antecedentes internacionales .....	10
2.2 Marco teórico.....	12
2.2.1 Canis lupus familiaris.....	12
2.2.2 Minería aurífera en Madre de dios .....	12
2.2.3 Mercurio .....	13

2.2.4 DMA-80 EVO.....	19
2.3 Definición de términos .....	20
CAPITULO III: METODOLOGIA DE LA INVESTIGACION .....	21
3.1 Tipo de estudio .....	21
3.2 Diseño del estudio .....	21
3.3 Población y muestra .....	23
3.4 Métodos y técnicas .....	25
3.5 Tratamiento de los datos .....	29
CAPITULO IV: RESULTADOS DEL TRABAJO DE INVESTIGACION .....	30
CONCLUSIONES.....	43
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	45
ANEXOS.....	55
Anexo 1: Matriz de operacionalización de las variables .....	55
Anexo 2: Matriz de consistencia .....	56
Anexo 3: Instrumento .....	57
Anexo 4: Fotografías .....	64

## INDICE DE FIGURAS

Figura 1: Mecanismo molecular de la genotoxicidad del Hg .....	17
.....	22
Figura 2: Puntos de muestreo .....	22
Figura 3: Ubicación geográfica de toma de muestras de los caninos domésticos.....	24
Figura 4. Ubicación de la toma de muestra de pelo en el canino doméstico.....	27

## INDICE DE GRAFICOS

Gráfico 1: Comparación de la concentración de Mercurio total bioacumulado entre los tres Centros Poblados .....	34
Gráfico 2: Comparación de la concentración de Mercurio total ambiental entre los tres Centros Poblados .....	39

## INDICE DE TABLAS

Tabla 1: Operacionalización de variables .....	5
Tabla 2: Tabla del Centro Poblado, Población canina y Porcentaje de la población canina. ....	24
Tabla 3: Contenido de registro de datos por orden de toma de muestra .....	25
Tabla 4: Concentración de Mercurio total bioacumulado de los caninos domésticos de tres Centros Poblados con influencia de minería aurífera en la provincia de Tambopata, 2023 .....	33
Tabla 5: Concentración de Mercurio total ambiental de los caninos domésticos de tres Centros Poblados con influencia de minería aurífera en la provincia de Tambopata, 2023 .....	38

## **CAPITULO I: PROBLEMA DE LA INVESTIGACION**

### **1.1 Descripción del problema**

Según estimaciones mundiales, aproximadamente el 27% de las emisiones globales de Hg hacia la atmósfera se originan en la Amazonia por la Minería ilegal e informal de oro (MIIO), lo que implica el 78,5% de las emisiones totales en América del Sur (16). (17) calcularon que la MAPE libera en promedio 615 toneladas/año de Hg al medio ambiente.

En los últimos 10 años hubo un crecimiento acelerado de la actividad minera aurífera en países como Perú, Colombia, Brasil, Venezuela, Indonesia y Ghana, esto debido en partes al aumento en el precio de la onza de oro (hasta un 18%) y a la crisis económica mundial (18,19).

A nivel nacional aproximadamente el 70% de la producción artesanal de oro surge de Madre de Dios, departamento ubicado en el suroriente de la amazonia peruana, consolidando a la minería aurífera como la principal actividad económica, no obstante, la minería aurífera informal e ilegal son los mayores productores de oro (18,20).

La distribución y uso de forma incorrecta del Hg, genera un impacto negativo al medio ambiente y por ende la salud de todos los sistemas biológicos. Las últimas investigaciones de (1,2) demostraron la presencia de Hg en humanos y murciélagos con concentraciones elevadas, siendo consecuencia del incremento de zonas mineras.

De este modo, el Ministerio de la Producción en salvaguarda de la salubridad pública informa por medio del comunicado N°004-2026-SANIPES/DSNPA, la prohibición de la comercialización y consumo de peces contaminados como la Mota Punteada, al mismo tiempo, con Decreto Supremo N°034-2016-PCM, se declara en estado de emergencia al departamento de Madre de Dios por contaminación por Hg en el marco de la Ley 29664, el cual regula la Gestión de Riesgos de Desastres (21,22).

Por otro lado, los caninos domésticos comparten el mismo entorno con el hombre, exponiéndose a contaminantes químicos, agentes infecciosos y factores ambientales (23). Por ejemplo (24) encontraron trazas de Hg en Lobos grises (*Canis lupus*) proveniente de dieta silvestre, y los autores relacionan esto con la actividad humana. En esa misma línea de estudio, (25) el año 2007 utilizaron caninos domésticos como bioindicadores de contaminación por metales en áreas rurales y urbanas.

Asimismo (26) el año 2013 realizaron un estudio para la determinación de Hg en caninos domésticos. Según (27,28), la toxicidad por Hg en caninos domésticos se da por exposición ante el metal, la eliminación inadecuada y la composición química, en cambio, los diferentes signos clínicos dependen de la composición química, la frecuencia de exposición, dosis y la vía de administración del Hg, indicando que los signos más consistentes son disfunción renal y neurológica, signos gastrointestinales y anorexia.

En 1994 fue reportado por primera vez un caso de toxicidad por Hg en caninos domésticos, basándose en los signos neurológicos y gastrointestinales, lesiones cerebrales y renales que presentaba, sospecharon toxicidad por metales pesados, encontrando concentraciones de Hg elevadas, en hígado 2.8 y riñón 3.3 mg/kg (27). El año 2020 (28), reportaron un caso de toxicidad por Hg de un canino juvenil, presentando letargia, anorexia y tetraplejia en proceso; en el examen clínico observaron una herida abierta con presencia de pus localizado en el preescapular derecho de la espalda, las extremidades inferiores y posteriores inflamadas con hipermovilidad, realizaron análisis de laboratorio teniendo como resultados hipoalbuminemia, hiperglobulinemia, hiperfosfatemia y en el examen radiográfico, apreciaron articulaciones anormales en los miembros anteriores y en los miembros posteriores observaron pérdida de opacidad mineral de las cabezas y cuellos femorales, zonas radiolúcidas en la metáfisis del fémur, tibia, falange y metatarso. Post cirugía de extracción de sustancia de Hg, el canino falleció, realizaron la necropsia, encontrando nódulos subcutáneos distribuidos alrededor de la herida, laxitud ligamentosa extrema de las articulaciones apendiculares, textura blanda y disminución de densidad de los huesos, congestión en el riñón, presencia de manchas blanquecinas en el hígado, no hubo cambios

patológicos evidentes en el sistema neurológico. Realizaron la medición de las concentraciones de Hg de las diferentes muestras de órganos, indicando que el mayor órgano que contenía Hg era la piel y músculos que se encontraban en el preescapular derecho de la espalda, las extremidades inferiores y posteriores, seguidamente el riñón, hígado, los huesos, médula espinal, cerebro y cerebelo. Este es el primer informe en mostrar que la intoxicación por Mercurio afecta a los huesos.

## **1.2 Formulación del problema**

¿Cuánto será la concentración de Mercurio total (THg) en caninos (*Canis lupus familiaris*), de tres Centros Poblados con influencia de minería aurífera en la provincia de Tambopata?

## **1.3 Objetivos**

### **1.3.1 Objetivo general**

Comparar la concentración de Mercurio total (THg) en caninos (*Canis lupus familiaris*) de tres Centros Poblados con influencia de minería aurífera en la provincia de Tambopata, 2023.

### **1.3.2 Objetivos específicos**

- Determinar la concentración de Mercurio total (THg) en caninos (*Canis lupus familiaris*) de los Centros Poblados Nueva Arequipa, Sarayacu y Fortuna.
- Clasificar por nivel de contaminación los Centros Poblados de Nueva Arequipa, Sarayacu y Fortuna en función de la concentración de Mercurio total (THg) presente de los caninos (*Canis lupus familiaris*).

## 1.4 Variables

Variable dependiente

- Concentración de THg

Variable independiente

- Género
- Lugar de procedencia
- Edad
- Permanencia habitual
- Raza
- Tipo de alimento

## 1.5 Operacionalización de variables

Tabla 1: Operacionalización de variables

VARIABLES	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL	DIMENSIÓN	INDICADORES	ITEMS	
Independiente	Lugar de procedencia	Localización geográfica del cual provienen cada CDM	Identificación del lugar de procedencia del CDM mediante la información PPD	D1 Nueva Arequipa D2 Sarayacu D3 Fortuna	Nombre del lugar de procedencia	Ficha de datos de los CDM
	Género	Diferencia biológica de cada CDM	Identificación del género del CD mediante observación fenotípica e información PPD	D4 Hembra D5 Macho	♂, ♀	
	Etapas de vida	Etapas de vida de cada CDM	Identificación de la edad del CD mediante la información PPD y observación.	D6 Infante D7 Adolescente D8 Adulto D9 Anciano D10 Geriátrico	Años de vida	
	Permanencia habitual	Tiempo y frecuencia de permanencia de cada CDM en un área específica	Lugar donde el CD pasa la mayor parte de su tiempo mediante la información PPD	D11 Casa D12 Calle D13 Campamento minero	Permanencia del lugar habitual	
	Raza	Clasificación biológica de cada CDM considerando sus características fenotípicas	Identificación de la raza del CD por observación y comparación con otras razas reconocidas y la información PPD	D14 Mestizo D15 Otras razas	Especificación de raza (ejm: Mestizo, Cocker)	
	Tipo de alimentación	Variedad y composición del tipo de alimento que consume cada CDM	Tipo de alimento que consume el CD mediante la información PPD	D16 Casero D17 Balanceado	Alimento casero, balanceado, casero y balanceado	
Dependiente	Concentración THg en caninos domésticos ( <i>Canis lupus familiaris</i> )	Cantidad de THg presente en el pelo de cada CDM, expresado en mg Hg/Kg de pelo seco.	Medición de la concentración de THg en muestra biológica (pelo) del CD mediante espectrometría de absorción atómica por descomposición térmica con amalgama de oro	No aplica	mg Hg/kg pelo seco	DMA-80 Direct Mercury Analyzer [Milestone Inc., Shelton, CT, US]

**Leyenda:** CDM: Canino doméstico muestreado, CD: Canino doméstico, PPD: Proporcionada por el dueño, THg: Mercurio total, mg Hg/kg pelo seco: miligramos de mercurio por kilogramo de pelo seco, DMA-80: Direct Mercury Analyzer

Elaboración propia, 2024

## 1.6 Hipótesis

### 1.6.1 Hipótesis general

H<sub>c</sub>: Existe diferencia significativa de la concentración de Mercurio total (THg) en caninos (*Canis lupus familiaris*), de tres Centros Poblados Nueva Arequipa, Sarayacu y Fortuna, en la provincia de Tambopata, 2023.

### 1.6.2 Hipótesis específicas

- H<sub>E1</sub>: Existe una diferencia significativa de la concentración de Mercurio total (THg) en caninos (*Canis lupus familiaris*) de los tres Centros Poblados Nueva Arequipa, Sarayacu y Fortuna, situados en la provincia de Tambopata, 2023.
- H<sub>E2</sub>: Existe una diferencia significativa en la clasificación de los tres Centros Poblados Nueva Arequipa, Sarayacu y Fortuna, en la provincia de Tambopata, 2023.

### 1.7 Justificación

El problema de la contaminación al medio ambiente por el uso del Hg es una preocupación enorme en todo el mundo. En Madre de Dios, departamento de la biodiversidad del Perú está afectado por la minería aurífera, hasta la actualidad solo realizaron investigaciones sobre la exposición y contenido de Hg en animales silvestres y humanos, pero no en animales domésticos como los caninos domésticos (*Canis lupus familiaris*), especie que mantiene una relación cercana con el hombre.

El Hg es un potente elemento tóxico sujeto a bioacumulación, incrementando con el tiempo sus efectos letales en los organismos vivos, por ello, no pasan por alto la posible afectación ante la exposición y bioacumulación de este metal llegando a una intoxicación y posible mortalidad en las poblaciones caninas. Esta investigación permitió obtener una visión de la situación actual de exposición por Hg de los caninos domésticos de los Centros Poblados de Nueva Arequipa, Sarayacu y Fortuna, mediante la determinación de la concentración de THg y en función de los resultados se clasificó por nivel de contaminación los Centros Poblados, con esto, esperamos contribuir conocimiento científico, promover conciencia del daño que genera la minería aurífera, incentivando a realizar futuras acciones de prevención y/o control de la minería aurífera en la región de Madre de Dios por medio de organizaciones e instituciones encargadas de la defensa y protección ambiental y animal a nivel nacional e internacional.

### **1.8 Consideraciones éticas**

Debido a la utilización de animales vivos, se consideró los lineamientos de la Ley N° 30407 que considera la Protección y Bienestar Animal; respetando la vida de los caninos domésticos, evitando posibles efectos secundarios, llevando el uso de matrices no invasivas, que en este caso fue el pelo.

## CAPITULO II: MARCO TEORICO

### 2.1 Antecedentes de estudio

#### 2.1.1 Antecedentes locales y nacionales

**Ashe K. (2012)**, identificó los niveles de THg en la población humana, en habitantes de zonas mineras y la ciudad de Puerto Maldonado, en el departamento de Madre de Dios. Utilizaron como muestra, el pelo, obteniendo como resultados que, los habitantes en los Centros Poblados de minería aurífera tanto varones y mujeres tenían una alta concentración de Hg (3.39 mg Hg/kg pelo seco en varones y 2.23 mg Hg/kg pelo seco en mujeres) a comparación de los habitantes en la ciudad de Puerto Maldonado (2.30 mg Hg/kg pelo seco en varones y 1.37 mg Hg/kg pelo seco en mujeres); tomando en cuenta según la OMS (Organización Mundial de la Salud): el nivel de Hg por encima de los 6.0 mg Hg/kg , pelo seco, no es saludable y en niveles que pasan los 16 mg Hg/kg pelo son considerados toxicológicamente sintomáticos por los estándares de la OMS. Concluyendo que no se encontraban en riesgo de intoxicación, pero brindó una alarma significativa para prevenir (19).

**Contreras J. y Chávez E. (2017)**, determinaron la concentración de Hg en murciélagos de la zona de influencia del río Madre de Dios en época seca y húmeda, en un Centro Privado de Turismo y Conservación "Amazon Planet", ubicado a una hora río abajo Madre de Dios a una hora de la ciudad de Puerto Maldonado; colectaron las muestras de pelo y posteriormente realizaron su análisis mediante el equipo DMA-80. Como resultados obtuvieron que, murciélagos insectívoros presentaron 1.25 mg Hg/kg pelo seco), siendo la concentración más alta en su estudio (29).

**Carrasco F. (2020)**, determinó el nivel de Hg en murciélagos capturados en áreas agrícolas privadas a 3 hasta 89 km de distancia de las zonas mineras ubicados en los distritos de Las Piedras (Inambari y Laberinto) y Tahuamanu (Tahuamanu), recolectó las muestras de pelo de murciélagos que cayeron en las redes; analizó las muestras en el equipo DMA-80, donde según el estudio supusieron que era mayoritariamente en Metilmercurio (MeHg), reportándolo como Concentración THg en mg/kg. Obtuvieron como resultados que, hubo diferencias entre los murciélagos insectívoros y carnívoros que contenían un 9.88 mg Hg/kg pelo y en frugívoros no hubo contenido de Hg. Evidenciando que las concentraciones de Hg en el pelo obtenidas en los murciélagos capturados, estaban por debajo del nivel, el cual es probable que afecte la salud de los murciélagos (10 mg Hg/kg pelo). Concluyendo que los murciélagos insectívoros y carnívoros, están en riesgo a pesar de la distancia con las zonas (30).

**Koenigsmark F, et al. (2021)**, evaluaron la exposición de THg en pelo humano como biomarcador de exposición al MeHg; realizaron la toma de muestras en comunidades dentro y fuera de la MAPE ubicados en la provincia del Manu. Obteniendo como resultados que, en personas de comunidades no nativas fuera de la minería obtuvieron un 10.8 mg Hg/kg pelo, y dentro de la minería comunidades no nativas 11.9 mg Hg/kg pelo, y en comunidades nativas 11.3 mg Hg/kg pelo. Superando los estándares recomendados (1.0 mg Hg/kg pelo) por la Agencia de Protección Ambiental de los US (USEPA), indicando que, comunidades que habitan dentro y fuera de zonas de la MAPE se encuentran expuestos a intoxicación por Hg, como también este estudio apoya el uso del pelo para monitorear la exposición ante el Hg (1).

**Portillo A, et al. (2023)**, evaluaron el uso de murciélagos como bioindicadores ante la contaminación por Hg afectados por la MAPE en Madre de Dios, sus resultados evidencian una amplia distribución del metal (0.001 a 117.71 mg Hg/kg pelo), indicando que los murciélagos insectívoros acumulaban más Hg en comparación de los piscívoros (117 mg Hg/kg pelo), superando el umbral de Hg para mamíferos pequeños (10 mg Hg/kg pelo) (2).

**Panduro G, et al. (2020)**, evaluaron la bioacumulación de Hg en humanos de una Comunidad Nativa (CN) en la región de Ucayali, distrito de Masisea, por medio de la extracción de una porción del músculo de los peces de mayor consumo por la comunidad, en época seca y húmeda. Como resultados, en estación seca y húmeda su mayor consumo de la CN fue del pez Mota (*Calophysus macropterus*): en época seca tuvo 0.19 mg Hg/kg músculo, y en época húmeda, 0.13 mg Hg/kg músculo. En visto a que, los resultados no sobrepasaron las concentraciones máximas permisibles por la USEPA (0.3 mg Hg/kg), la FAO/OEFA, lo clasificó como nivel de peligrosidad, indicando que la CN está propenso a intoxicación por Hg, considerando la estación, la seca brindó mayor concentración de Hg en el músculo de los peces (31).

### 2.1.2 Antecedentes internacionales

**Sousa A, et al. (2013)**, cuantificaron la concentración de THg en muestras de sangre y pelo de 26 caninos (*Canis lupus familiaris*) que fueron a dos clínicas veterinarias, en la ciudad de Portugal, obteniendo los siguientes resultados: en sangre oscilaron entre 0.16 y 12.38 mg Hg/L sangre, y en pelo fue de 0.24 y 0.82 mg Hg/kg pelo. Las concentraciones THg fueron independientes del sexo, edad y el tipo de dieta, hubo una correlación significativamente positiva entre el THg del pelo con la sangre, la información sobre las concentraciones de Hg en animales domésticos era escasa, entonces compararon con la referencia establecida en humanos según la US EPA (1 mg Hg/kg pelo), y aún estaban por debajo de lo establecido. Este estudio validó al pelo como una matriz no invasiva para la evaluación de la exposición al Hg en caninos domésticos (26).

**Kral T, et al. (2015)**, evaluaron la contaminación por Hg mediante el análisis de pelo en 131 caninos (*Canis lupus familiaris*), como también midieron el contenido de THg en el alimento granulado. Dividieron los caninos en dos grupos designados como A y B. El grupo A recibió alimento granular con contenido de pescado y el grupo B sin pescado. Ambas muestras (pelo y alimento granulado) fueron evaluados mediante espectrofotometría de absorción atómica AMA 254. Como resultados, los valores de contenido THg en el pelo de los caninos, tuvo un valor medio 0.0375 mg Hg/kg pelo en el grupo

A y de 0.0336 mg Hg/kg pelo en el grupo B. No hubo diferencia estadísticamente significativa entre ambos grupos ( $p < 0.05$ ). Ahora en el contenido THg del alimento granulado también los resultados se presentaron como valores medios, en el grupo A fue 0.0048 mg Hg/kg pelo y en el grupo B, 0.0017 mg Hg/kg pelo, encontrando una diferencia significativa de ( $p < 0.01$ ). Concluyendo que no hubo correlación entre el contenido de THg en pelo con el alimento granulado (32).

**Abrantes R. (2016)**, monitoreó los niveles de Hg en caninos y felinos domésticos mediante el análisis de la sangre y pelo, la población muestral estaba en el centro de Portugal (Aveiro y Colvinha); obtuvieron como resultados en el canino doméstico: sangre (0.021 y 21.39 mg Hg/L sangre) y en pelo (11.01 y 66.208 mg Hg/kg pelo); en gatos: sangre (0.68 y 33.41 mg Hg/L sangre) y en pelo (66.28 y 88.774 mg Hg/kg pelo). Demostrando que la concentración THg fueron más altos en el pelo a comparación en la sangre, registrándose correlaciones significativas entre las concentraciones de Hg en el pelo y sangre en los caninos como también en los gatos; validando el uso de pelo para monitorización de Hg (33).

**Mihailovna L, et al. (2018)**, determinaron el contenido THg en el pelo de 136 felinos y 113 caninos domésticos en Cherepovets-Vologda. Como resultados, los valores de Hg en caninos, variaron de menos de 0.001 y 1.858 mg Hg/kg pelo y en gatos, menos de 0.001 y 13.00 mg Hg/kg pelo; encontraron diferencias estadísticamente significativas de acuerdo al contenido de Hg en el pelo de ambas especies, teniendo los gatos 3.5 veces superior a los caninos. En función al género (macho y hembras) de ambas especies, no hubo diferencias estadísticas (34).

## **2.2 Marco teórico**

### **2.2.1 Canis lupus familiaris**

Es perteneciente a la especie *Canis lupus*, y como subespecie es *Canis lupus familiaris*; se asoció con el hombre hace más de 33.000 años; hoy en día, es un animal criado especialmente para brindar compañía y protección en las diversas actividades que realiza el hombre (35–38). Dado que el canino doméstico comparte el mismo entorno con el hombre, la exposición a contaminantes químicos, agentes infecciosos y factores ambientales los afectan (39,40), habiendo una relación entre la salud animal y la salud pública (41).

### **2.2.2 Minería aurífera en Madre de dios**

El departamento de Madre de Dios, está ubicado en el suroriente del Perú, abarca el 6,64% del territorio peruano (42), produce el 70% del oro artesanal a nivel nacional (43,44), atrayendo continuamente inmigrantes recientes, principalmente de la zona andina (42,45). Un promedio de 250 000 personas vive de la extracción de oro informal en Madre de Dios (46,47) La MAPE, es una de las principales fuentes antropogénicas de Hg en el medio ambiente, juntamente con otras actividades antropogénicas que influyen en el ciclo del Hg, generando el mayor número de problemas ambientales (48,49).

Un estudio realizado el año 2008 por la Agencia de Protección Ambiental (EPA) y el Laboratorio Nacional Argone (LNA) de los Estados Unidos, evaluaron mediante muestreo, las concentraciones de Hg vaporizado en las zonas externas e internas de tiendas acopiadoras de refogeo de oro en Puerto Maldonado y Laberinto, indicando que, los niveles de Hg fueron elevados, excediendo lo permitido que recomienda la OMS (47,50).

### **2.2.3 Mercurio**

#### **Caracterización general**

Es un elemento natural que se puede encontrar en aire, suelo y agua; las fuentes naturales de este metal en la biosfera se dan en erupciones volcánicas, degradación de rocas y capas sedimentarias, resaltando que actividades antropogénicas como la combustión de carbón, el uso de incineradoras y la extracción de oro, entre otros, liberan Hg al medio ambiente provocando alteración del ciclo geoquímico natural, las formas orgánicas en particular el MeHg, es la más peligrosa en la biota (34,51) provocando efectos adversos que generan preocupación mundial (52). Por ello la OMS, considera al Hg como uno de los diez grupos químicos más tóxicos debido al transporte atmosférico de largo alcance permitiendo dispersarse y permanecer en el medio ambiente (34).

#### **Ciclo biogeoquímico del Mercurio**

El Hg posee tres etapas fundamentales en su ciclo biogeoquímico: liberación de sus fuentes, transporte y deposición, y por último la conversión biológica y su acumulación en la biota. El Hg al ser volátil a temperatura ambiente se evapora con facilidad llegando a la atmósfera, transportándose mediante el viento a otros lugares y ser devuelto al agua por medio de las lluvias, permaneciendo en el agua y éste ser absorbido por la biota, proceso conocido como bioacumulación (53).

#### **Efectos en la salud**

Los efectos del Hg en la salud dependen de la forma química, vía de exposición, periodo de exposición, la dosis y susceptibilidad biológica del individuo (54). La exposición al Hg en cualquiera de sus formas: elemental, orgánica e inorgánica, provocan numerosas patologías afectando los diferentes sistemas de los órganos del ser vivo (55). El riesgo de intoxicación es mayor en zonas que desarrollan actividades mineras, debido a la inhalación de vapores de Hg metálico por el proceso de amalgación de oro, y por el consumo de peces contaminados (56). La base molecular que permite el

desarrollo de la toxicidad aún no se comprende por completo, a comparación de los efectos adversos asociados a los compuestos de Hg, son bien conocidos (57).

### **Fuentes de Mercurio**

**Mercurio elemental e inorgánico:** Se encuentra de forma líquida, la volatilidad del Hg elemental a temperatura ambiente y su continua emisión mediante la aplicación industrial hacen del Mercurio un tóxico potencial. La inhalación de los vapores es la principal vía de exposición (58). La absorción en el organismo es mínima, producen signos clínicos leves, en lesiones patológicas son similares a los que genera el Hg orgánico (59).

**Mercurio orgánico o Metilmercurio:** Es la forma orgánica del Mercurio, se considera el más tóxico, se biomagnifica principalmente en la cadena trófica marina y terrestre, generando neurotoxicidad, citotoxicidad, genotoxicidad, cambios del metabolismo y hormonales en mamíferos, dejando a futuro efectos letales y subletales para personas y animales (26,51,60,61). El pelo, los dientes y los huesos, tienen la capacidad de concentrar MeHg de la circulación sanguínea (26).

### **Toxicopatofisiología del Mercurio**

Según Graemme 1998, el Mercurio tiene tres formas químicas: el Hg elemental, Mercuriales inorgánicos, Mercuriales orgánicos. Los mercuriales inorgánicos están conformados por el cloruro mercúrico, yoduro mercúrico, óxido mercúrico, sulfuro mercúrico y cloruro mercurioso. Los mercuriales orgánicos son etilmercurio, MeHg, la merbromina, el mertiolato y las sales fenilmercúricas. Todas las presentaciones de Hg se transforman en el ecosistema llegando a producir toxicidad sistémica. La intoxicación por Hg se puede producir por medio de la inhalación, ingestión, inyección o absorción dérmica. Los mercuriales se sienten atraídos por los grupos sulfhidrilo, uniéndose a las proteínas de las membranas y enzimas. Los alquimercurios mercuriales de cadena corta como son el MeHg y Etilmercurio, ingresan en los eritrocitos y se unen a la hemoglobina a comparación del Hg inorgánico no

realiza este proceso. El MeHg penetran fácilmente la barrera hematoencefálica quedando atrapados en los cuerpos densos lisosomales de las neuronas(62).

### **Toxicocinética y toxicodinámica del Mercurio**

El MeHg y en menor grado el Hg inorgánico se distribuyen por todo el cuerpo, absorbiéndose en el tracto gastrointestinal, tracto respiratorio y la piel (27,60). El MeHg ingresa al organismo, penetrando la barrera hematoencefálica, acumulándose en el cerebro y depositándose en los derivados de la piel (pelo, uñas, glándulas sudoríparas y sebáceas) (63,64).

#### **Toxicocinética**

Las vías de ingreso del Hg al organismo, son por: vía respiratoria, digestiva y cutánea (65).

**Vía respiratoria (por inhalación):** Tanto el Hg elemental inorgánico y sus compuestos, pueden ingresar por inhalación, absorbiéndose en la sangre hasta un 80% (65,66). El vapor de Hg elemental, es no polar, porque no se disuelve en la membrana mucosa del tracto nasofaríngeo ni traqueobronquial, el vapor de Hg elemental inhalado penetra el árbol bronquial alcanzando los alveolos y penetrando la membrana alveolar, seguidamente pasa al torrente sanguíneo, absorbiendo un 80% de Hg inhalado (el % resultante es obtenido por la relación cuantitativa entre el volumen de inspiración y el espacio muerto fisiológico del pulmón) (66).

**Vía digestiva (por ingesta):** El Hg inorgánico o elemental se absorbe a una cantidad mínima del 0,01%, esto debido a su incapacidad de reacción ante las moléculas biológicamente importantes. Los compuestos inorgánicos de Hg (sales) se absorben entre 2-5% de acuerdo a su solubilidad; mientras que el MeHg pasa por el tracto gastrointestinal y casi en su totalidad a la circulación sanguínea uniéndose un 90% a los eritrocitos (65–67). Debido a su afinidad por las proteínas y solubilidad en lípidos, las células absorben el Hg uniéndose a proteínas, lisosomas y mitocondrias, produciendo efecto citológico, debido

al aumento de permeabilidad celular al unirse, dañando las enzimas intracelulares causando la muerte celular (48).

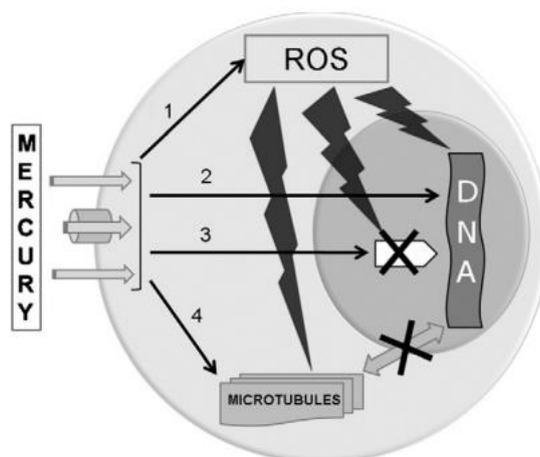
**Vía cutánea:** Se puede absorber fácilmente por la piel intacta pudiendo intoxicarse por la aplicación tópica de productos que contengan Hg, conllevando a una intoxicación ya sea por inhalación o lamido de la piel (65).

### **Toxicodinámica**

El Hg se une primordialmente a los grupos químicos presentes en las diferentes estructuras del organismo vivo causando toxicidad. Primeramente, al sulfhidrilo (provocando daño en el ADN), seguidamente a los grupos amida, carboxilo y fosforilo. El Hg y sus compuestos están implicados en 04 mecanismos importantes que tienen lugar en las células, dando lugar a la genotoxicidad que son: la directa acción en el ADN, estrés oxidativo y la generación de radicales libres, inhibición de la formación del huso mitótico (acción sobre los microtúbulos), e influencia sobre los mecanismos de reparación del ADN; interrumpiendo las enzimas celulares y las proteínas a nivel de todo el cuerpo del ser vivo (68,69).

Esto causaría una disfunción significativa en las membranas, enzimas, mecanismos de transporte y proteínas fibrosas. La inhibición de las enzimas como la colinacetiltransferasa y el catecol O-metiltransferasa, puede ocasionar deficiencia de acetilcolina y por ende causa taquicardia e hipertensión. Poco tiempo después de la exposición a las sales de Hg, estos dañan la mucosa del tracto digestivo y los túbulos renales a causa de los efectos oxidativos directos de los iones de Hg. Las sales inorgánicas de Hg, no penetran fácilmente la barrera hematoencefálica, debido a que tienen baja solubilidad en lípidos, por ende, a causa de su lenta eliminación, se produce cierta acumulación. El MeHg, es lipofílico, distribuyéndose a todos los tejidos, incluido el SNC. Se cree que los depósitos de MeHg en el SNC se convierten en Hg inorgánico lo que causaría toxicidad (68,69).

## Mecanismos moleculares de la genotoxicidad del Mercurio



**Figura 1: Mecanismo molecular de la genotoxicidad del Hg (68)**

**Figura 1:** Los compuestos del Hg ingresan a la célula, atravesando la membrana plasmática o de proteínas transportadoras (cilindro gris). Una vez dentro de la célula, producen especies reactivas de oxígeno (ROS) que reaccionan con el ADN directamente o indirectamente, induciendo cambios conformacionales en las proteínas responsables de la formación y mantenimiento del ADN (proteínas de los microtúbulos, enzimas de reparación del ADN). Los compuestos de Hg pueden ser capaces de unirse directamente a: moléculas de ADN, formando aductos de especies de Hg-ADN, núcleo de “dedos de zinc” de la reparación del ADN, evitando del huso mitótico y la segregación cromosómica (68).

### Vías de excreción

La excreción del Hg va depender de su forma original (70), en los mamíferos es por medio del sistema digestivo y urinario (60), las sales elementales e inorgánicas se eliminan principalmente por medio de los riñones (70), estos solo excretan el 10% de Hg absorbido mediante la orina, los riñones también son afectados debido a que el Hg se une a la metalotioneína epitelial tubular renal (27). A través del sistema digestivo, la excreción es baja (70). En MeHg un 90% es excretado por vía fecal y la semivida biológica es de unos 70 días de vida media en sangre y pelo (70).

### **Efectos del Mercurio en el organismo animal**

En vertebrados, se describieron efectos nocivos en la estructura molecular del ADN, sistema nervioso central (SNC), sistema reproductor, sistema cardiovascular, sistema endocrino e inmunológico (48).

En los animales, las sustancias mercuriales inorgánicas generan gastroenteritis, coagulación de mucosa digestiva, altera la presión sanguínea, ritmo cardiaco, digestivo y función renal, colitis y estomatitis, afecta la fertilidad provocando abortos, afectan a los fetos y recién nacidos; la inhalación de concentraciones altas de Hg genera neumonías agudas, bronquitis corrosiva. La exposición crónica por Hg genera daño al SNC y otras anomalías neurológicas progresivas (71,72).

### **Mercurio en los animales domésticos**

Hasta la actualidad, no realizaron estudios del Hg a nivel fisiológico en el organismo animal. Diversos estudios evaluaron y examinaron los niveles de Hg en animales a gran escala, no molecularmente. Un estudio realizado en murciélagos vampiros, indican que los murciélagos en América del Sur, presentaban una alta carga de Hg, debido a su alimentación en animales domésticos, a comparación de los vampiros que se alimentaban de animales salvajes, determinando que los animales domésticos tienen una alta carga de Hg (63).

### **Mercurio en el pelo**

En las últimas tres décadas los investigadores iniciaron la busca de un material que permita el muestreo intravital de una forma menos invasiva; incluyeron el análisis de contenidos de metales pesados en derivados de tegumentos comunes como el pelo, ya que sería el más importante para el análisis de contenido de metales y metaloides, como también es un material de investigación adecuada que refleja correctamente el nivel de Hg en el organismo, permitiendo observar la exposición prolongada al metal (67). Estudios realizados indican que la concentración THg en el pelo está correlacionado con el Hg en sangre, denominándolo como un marcador de los niveles de THg (32,73) .

(74) indica que, a comparación con otros materiales biológicos, el pelo brinda ventajas tales como, un muestreo sin traumatismo, estabilidad relativa de las muestras. Otras investigaciones demuestran que en pequeños mamíferos suelen ser más resistentes a la toxicidad por Hg a comparación de los grandes mamíferos, debido a la tasa de acumulación y desintoxicación por este metal (71).

En mamíferos, el Hg presente en el pelo está compuesto de un 80% de MeHg y el resto de Hg inorgánico. Una vez que el MeHg se une al tejido queratinizado, como el pelo, y éste se encuentre en crecimiento, deja de estar biodisponible en el huésped, volviéndose un indicativo de los niveles de exposición de los anteriores (60).

La concentración de Hg es mayor en el pelo a comparación que la sangre u orina (67); Gill, U. indica unas 150 a 200 veces mayor que la sangre, debido a que contienen azufre, las proteínas se unen en el pelo con el Hg (75). Teniendo como ventaja que la medición de Hg en muestras de pelo es un método intrínseco a la naturaleza, mínimamente invasiva, determinado para caracterizar con seguridad el grado de exposición al Hg en personas y animales, considerándose confiable, permitiendo el análisis y biomonitoreo, como también puede conservarse sin refrigeración durante su almacenamiento, debido a que el pelo se degrada lentamente comparando con otros tejidos y sustancias como la sangre y orina que requieren de un preservante (60,67,71).

#### **2.2.4 DMA-80 EVO**

El equipo Milestone DMA-80 Direct Mercury Analyzer (Milestone Inc., Shelton, CT, US): Es un analizador directo de Hg de séptima generación, analiza matrices tanto sólidas como líquidas con igual exactitud de muestras medioambientales, alimentos, piensos, polímeros entre otros (76). Analiza las muestras a través de su principio de descomposición térmica directa, amalgación y espectrometría de absorción atómica (77,78). Este equipo es de fácil manipulación, no requiere de una digestión ácida previa de la muestra y brinda resultados de forma eficiente, confiable y rápida.

### 2.3 Definición de términos

- **Mercurio:** Es un metal pesado existente en la corteza terrestre, de color plateado blanquecino, es denso y se funde a  $-38.9\text{C}^{\circ}$ (79). Considerado como una de las 10 sustancias más peligrosas para la salud según la OMS (56).
- **Minería aurífera:** Actividad económica donde realizan la extracción de oro llevada a cabo por mineros individuales o pequeñas empresas con una producción e inversión de capital ilimitada (80,81) , desarrollándose en varias regiones principalmente en zonas de potencial minero como Madre de Dios (82).
- **Canis lupus familiaris:** Es el nombre científico del canino doméstico, familia de los cánidos, denominado también como can, coloquialmente es un mamífero, cuadrúpedo, considerado como animal de compañía, caza y exhibición a nivel global (83). Vive en relación con el ser humano, presente en los hogares y actividades como la caza, la pesca, entre otros (84).
- **Centro poblado:** Es todo lugar habitado permanentemente, ya sea rural o urbano, identificado mediante un nombre, perteneciente al territorio nacional. Donde sus habitantes se encuentran vinculados por intereses: económico, social, cultural e histórico (85,86). El Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI), describe como un lugar que comprende como mínimo cien viviendas agrupadas (87).
- **THg ambiental:** Se refiere al Mercurio total presente en el ambiente.
- **THg bioacumulado:** Se refiere al Mercurio total acumulado presente en el organismo a lo largo del tiempo.

## **CAPITULO III: METODOLOGIA DE LA INVESTIGACION**

### **3.1 Tipo de estudio**

Estudio tipo no experimental descriptivo, no hubo intervenciones en las condiciones ambientales del área de estudio, así mismo, fue transversal, comparativo y cuantitativo, debido a que la colecta de muestras fue realizada en estación seca y los valores determinados de THg fueron comparados entre los tres Centros Poblados en función de la concentración de THg presente en los caninos domésticos.

### **3.2 Diseño del estudio**

El diseño de estudio fue explicativo, dado que, revela la validez de una hipótesis, buscando encontrar las causas que generan ciertos fenómenos.

#### **Delimitación espacial**

Se desarrolló en la región de Madre de Dios, sureste del Perú (88) .La toma de muestras se efectuó en tres Centros Poblados con influencia de minería aurífera: Nueva Arequipa, Sarayacu y Fortuna, ubicados en la provincia de Tambopata; son zonas que fueron primeramente explotadas por la extracción de oro ilegalmente y posterior a ello se convirtió en un Centro Poblado, actualmente se caracterizan por la presencia de personas habitantes que se dedican al comercio del oro, por ello se deduce que el aire pueda estar contaminado debido a la emisión de Hg por parte de comerciantes que refogan el oro bañado de Hg, como también el agua y la tierra debido a sus antecedentes. A partir de esas matrices, la contaminación puede extenderse a los cultivos u organismos biológicos que habitan en el ecosistema contaminado. Posteriormente el Hg entra en contacto directo con el animal por medio del ambiente y la ingesta de alimento y agua.

## Nueva Arequipa

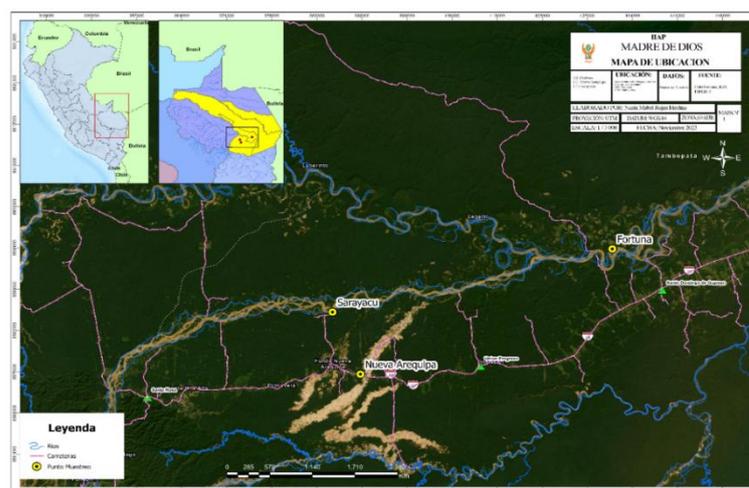
El Centro Poblado “Nueva Arequipa”, se encuentra a 271 m.s.n.m, en el departamento de Madre de Dios, distrito de Inambari, provincia de Tambopata. Se encuentra a una distancia de aproximadamente 103 km de la ciudad de Puerto Maldonado (12).

## Sarayacu

El Centro Poblado “Sarayacu”, se encuentra a 232 m.s.n.m, en el departamento de Madre de Dios, distrito de Inambari, provincia de Tambopata, a orillas del río Inambari. La zona es accesible, se encuentra a 110 km de distancia de la ciudad de Puerto Maldonado, mediante vía interoceánica (13).

## Fortuna

El Centro Poblado “Fortuna”, se encuentra a 195 m.s.n.m., en el departamento de Madre de Dios, distrito de Laberinto, provincia Tambopata, a orillas del río Madre de Dios, a 60 km de Puerto Maldonado, a cinco km por vía fluvial desde Puerto Rosario, capital del distrito de Laberinto (14,88)



**Figura 2: Puntos de muestreo**

### Delimitación temporal

El estudio se llevó a cabo desde el mes de setiembre hasta el mes de febrero, incluyendo la toma de muestra y su respectivo análisis. La toma de muestras realizada en setiembre, correspondió a un mes de estación seca, según el estudio de (89) realizado en Madre de Dios.

### 3.3 Población y muestra

Se utilizó un muestreo probabilístico. De acuerdo con la DIRESA MDD,2022, la población canina fue estimada en función de la Micro red, Establecimiento de Salud y población humana. A partir de estos datos, se determinó que los tres establecimientos de salud encargados de los Centros Poblados con influencia de minería aurífera contaban con un total de 473 caninos domésticos (90).

El tamaño de la muestra se determinó utilizando la fórmula para poblaciones finitas según lo establecido por (91).

$$n = \frac{N * Z^2 * p * q}{d^2(N - 1) + Z^2 * p * q}$$

$$^{\wedge}p = \text{Éxito} = 0.5$$

$$^{\wedge}q = \text{Fracaso} = 1 - ^{\wedge}p = 0.5$$

$$d = \text{Error del muestreo} = 5\% = 0.05$$

$$Z_{\alpha} = 1.96 \text{ (dato preestablecido)}$$

$$n = \text{Tamaño de la población}$$

Se consideró la suma total de la población canina estimada por la DIRESA MDD,2022, siendo 473 caninos domésticos, entonces:

$$n = \frac{(473) * (1.96)^2 * (0.5) * (0.5)}{(0.05)^2(473 - 1) + (1.96)^2 * (0.5) * (0.5)} = 212$$

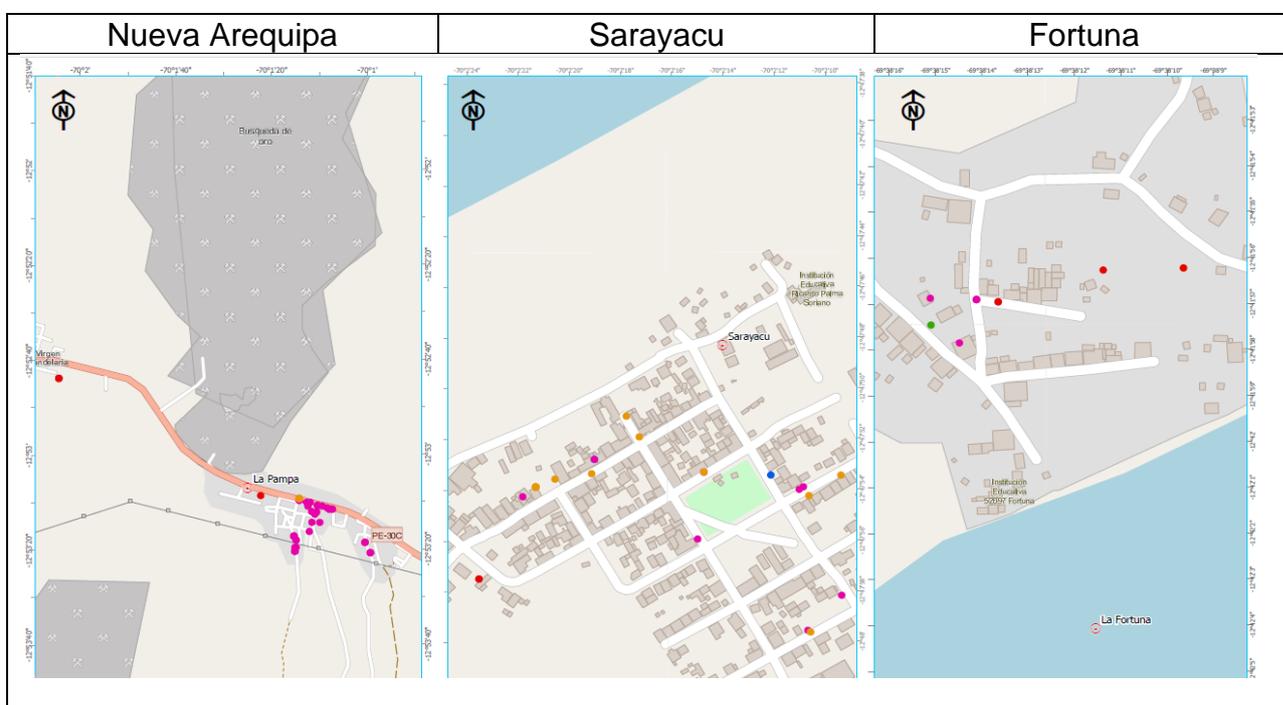
Se obtuvo un total de 212 caninos domésticos. Para la distribución de la población canina, se utilizó un muestreo probabilístico estratificado. La

muestra se distribuyó por estratos de acuerdo con los Establecimientos de Salud ubicados, donde se obtuvo lo siguiente:

**Tabla 2:** Tabla del Centro Poblado, Población canina y Porcentaje de la población canina.

Centro Poblado	Población canina (N°)	Porcentaje (%)
Sarayacu	31	36
Nueva Arequipa	43	49
Fortuna	13	15
<b>Total</b>	<b>87</b>	<b>100</b>

En el presente estudio se trabajó con un total de 87 caninos domésticos.



**Figura 3:** Ubicación geográfica de toma de muestras de los caninos domésticos

### Selección de caninos domésticos

Se consideraron criterios de inclusión y exclusión, así como el permiso y consentimiento del propietario del canino doméstico. Se colectaron 87 muestras de pelo para la determinación del contenido de THg, con un peso entre 1-3 g. Se obtuvieron las siguientes características de los caninos domésticos de los tres Centros Poblados (**Anexo 3**). Cada muestra fue identificada con un código designado según el orden de toma de muestra.

**Criterios de inclusión:**

- Ambos sexos
- Todas las razas
- Cualquier edad
- Permanencia habitual (casa, calle, campamento minero)
- Aparentemente saludable
- Caninos domésticos con dueño

**Criterios de exclusión:**

## ➤ Caninos domésticos:

- Con ausencia de pelo
- Caninos domésticos sin dueño
- Enfermos o con algún tratamiento médico
- No cuenten con el permiso y consentimiento de su propietario para la obtención de la muestra.

**Criterios de eliminación**

- Dueño del canino doméstico cambia de decisión y quiere excluirlo del estudio de investigación.
- Pérdida de las muestras

**Tabla 3: Contenido de registro de datos por orden de toma de muestra**

N°	Procedencia			Código de muestra
	Sarayacu	Nueva Arequipa	Fortuna	
001				

*Fuente: Elaboración propia, 2024*

**3.4 Métodos y técnicas****Toma de muestras**

Para cada canino doméstico muestreado, primero se obtuvo el consentimiento del propietario. Luego se registró la información del can mediante un formulario previamente elaborado, y finalmente se realizó la toma de muestra:

**Consentimiento informado**

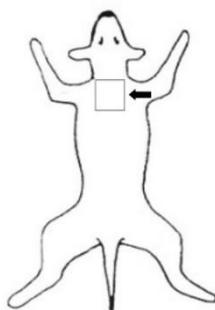
- A cada propietario de uno o varios caninos domésticos, se les extendió una invitación para participar en el estudio, brindándole los detalles y beneficios del mismo. Tras su aceptación, se le proporcionó el documento de

consentimiento informado, en el cual el propietario autoriza la participación de su(s) can(es) **(Anexo 3)**.

- Luego, se procedió a completar el registro de información de los caninos domésticos proporcionados por el propietario **(Anexo 3)**.
- Posteriormente, se llevó a cabo la toma de muestra(s) **(Anexo 4)**.

### **Toma y conservación de las muestras**

- En presencia del propietario, se realizó la sujeción adecuada del canino doméstico, manteniendo serenidad y minimizando el estrés.
- Se utilizaron guantes de látex.
- De acuerdo a (67), la toma de muestra se realizó en la zona de la cruz, área anatómica delimitada por la parte dorsal de los cartílagos escapulares, punto de inserción del cuello con el tórax del canino doméstico (Figura 2), la limpieza de la zona se efectuó siguiendo el método de (30) y la OMS,2008 (92), utilizando alcohol isopropílico para limpiar previamente la zona de la cruz. Se empleó una tijera inoxidable de punta roma, limpia y desinfectada con alcohol de 96°C entre cada toma de muestra.
- La colecta de la muestra se llevó a cabo de acuerdo con el método descrito por la OMS,2008 (92), cortando un mechón de pelo lo más cerca posible de la piel. Todo el pelo recolectado se depositó en bolsas Ziploc incoloras, limpias, nuevas, con cierre hermético, previamente etiquetadas y enumeradas según el orden de toma de muestra.
- La muestra recolectada en la bolsa fue pesada utilizando una balanza portátil, obteniéndose entre 1-3 gramos de peso de pelo seco por canino doméstico.
- Las muestras se conservaron en un recipiente térmico y fueron transportadas a temperatura ambiente al Laboratorio de Mercurio y Química Ambiental (LAMQA) para su análisis THg. Para la protección ante la humedad se utilizó un desecante (silica gel).



**Figura 4.** *Ubicación de la recolección de muestra de pelo en el canino doméstico*

### **Preparación y análisis de las muestras**

Se llevó a cabo en los ambientes del Laboratorio de Mercurio y Química Ambiental (LAMQA), ubicado en el Centro de investigación “El Castañal” del Instituto de Investigaciones de la Amazonia Peruana (IIAP), en el kilómetro 20 de la carretera interoceánica de Cusco-Puerto Maldonado, en la provincia y distrito de Tambopata.

#### ❖ Preparación de las muestras

En primer lugar, las muestras se pesaron en una balanza analítica siguiendo un orden establecido, y se distribuyeron en muestras lavadas y no lavadas. Las muestras lavadas se pesaron en tubos de centrifuga y 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 (26) con la diferencia de que se utilizó detergente neutro. El pelo fue lavado dos veces con detergente neutro al 1% (30 ml) y agua desionizada (500 ml). Posteriormente, se homogenizó el pelo en la disolución de detergente y agua. A continuación, las muestras se colocaron en una gradilla y se sometieron a un equipo ultrasónico digital: la primera durante 30 minutos y la segunda por 15 minutos, en tubos de centrifuga. Entre ambos intervalos, el agua fue retirada y las muestras se enjuagaron nuevamente, siguiendo el método utilizado por (93).

Al finalizar el tiempo, las muestras se dejaron escurrir para eliminar el agua restante. A continuación, se prepararon para el liofilizado utilizando el equipo liofilizador L101 durante 24 horas a  $-50^{\circ}\text{C}$ , con una presión de vacío a  $-500$

$\mu\text{Hg}$ . Tras la liofilización, las muestras se homogenizaron cortándolas en pequeñas fracciones con tijeras de acero inoxidable. Las tijeras se desinfectaron con agua desionizada y alcohol 96° tras cada uso, evitando la contaminación cruzada. Las muestras no lavadas se homogenizaron directamente, sin ser lavadas ni secadas.

#### ❖ Análisis de las muestras

- Las concentraciones de THg en las muestras de pelo se midieron mediante espectrometría de absorción atómica por descomposición térmica con amalgama de oro (DMA-80 Direct Mercury Analyzer [Milestone Inc., Shelton, CT, US]), previamente calibrado con un límite de detección de 1 ng, a una longitud de onda de 253,7 nm, siguiendo el método US EPA-7473 (92). La cuantificación de THg se verificó mediante el análisis de dos materiales de referencia certificados: DOLT-5 ( $0.44 \pm 0.18$  mg/kg Hg) y CMR-13 ( $4.42 \pm 0.20$  mg/kg Hg). Antes de iniciar el análisis de las muestras de pelo, se analizaron dos blancos, los cuales presentaron concentraciones inferiores a 0.0030 ng Hg, y la concentración de THg en los dos materiales de referencia estuvo dentro del rango certificado.
- Las muestras presentaron un peso mínimo y máximo de: Lavadas (0.0150 y 0.0369 mg/kg de pelo seco); No lavadas (0.0097 y 0.0326 mg/kg de pelo seco).
- El peso obtenido se ingresó en el software del equipo Milestone DMA-80 Direct Mercury Analyzer (Milestone Inc., Shelton CT, US).
- Las baquetas con muestras se colocaron en el automuestreador del equipo Milestone DMA-80.
- Se realizaron 4 lecturas por cada muestra y los resultados de las muestras lavadas se promediaron para obtener el resultado final reportado, lo mismo se hizo con las muestras no lavadas para su posterior el análisis de datos.

#### **Seguro de calidad**

- Para el control de calidad, se utilizaron dos pruebas de materiales de referencia estándar certificados siendo el DOLT-5 ( $0.44 \pm 0.18$  mg/kg Hg) y el MR\_CM-13 ( $4.42 \pm 0.20$  mg/kg Hg). Estas pruebas se realizaron al inicio y

culminación del análisis de las muestras, considerando aceptables las recuperaciones entre el 90 al 110%. Las mediciones de las muestras se aceptaron si los resultados los materiales de referencia DOLT-5 ( $0.44 \pm 0.18$  mg/kg Hg) y el MR\_CM-13 ( $4.42 \pm 0.20$  mg/kg Hg), se encontraban dentro de un rango de precisión del 90 al 110%.

- Para las medidas de control de calidad se incluyeron materiales de referencia estándar, a partir del patrón líquido Hg AAHG-1-125 ml de  $1000 \pm 10$  µg/ml. La verificación de la calibración se realizó de manera continua, determinándose en cada décima muestra analizada, de acuerdo con los nanogramos de Hg presente en el lote de muestras.
- Todos los blancos presentaron concentraciones inferiores a 0.0030 mg/kg THg.
- Las muestras analizadas fueron sometidas a una temperatura de hasta 650 °C para la descomposición de las mismas y la evaporación total del Hg, el cual fue atrapado selectivamente por el amalgador del equipo.
- El contenido total de Hg en el pelo se midió en mg Hg/kg pelo seco.

### 3.5 Tratamiento de los datos

Para el análisis descriptivo y pruebas estadísticas, se utilizó el software IBM SPSS® (versión 26). Se aplicaron pruebas de normalidad a todos los datos cuantitativos (pruebas de Shapiro-Wilk y Kolmogorov-Smirnov), las cuales revelaron distribuciones no normales. A partir de estos resultados, se aplicaron pruebas no paramétricas: Mann-Whitney (para dos grupos) y Kruskal-Wallis (para más de dos grupos) a todos los resultados; considerando las variables: Lugar de procedencia, Género, Etapa, Raza, Tipo de alimentación y Permanencia habitual. Se consideró un p valor crítico de 0.05 para determinar la significancia estadística, esto fue para todas las pruebas estadísticas.

## **CAPITULO IV: RESULTADOS DEL TRABAJO DE INVESTIGACION**

### **4.1 Concentración de Mercurio total bioacumulado**

La concentración de THg bioacumulado en los caninos se distribuyó de la siguiente forma: el 94.25% presentaron concentraciones de 0.04-2 mg Hg/kg pelo seco, mientras que el 2.30% se ubicaron en el rango de 3-5 mg Hg/kg pelo seco. Un 1.15% de los caninos mostraron niveles de concentración de Hg entre 6-8 mg Hg/kg pelo seco. y el 2.30% restante presentaron concentraciones de 9-10.3844 mg Hg/kg pelo seco. (Tabla 4).

El valor máximo de concentración de THg bioacumulado observado fue de 10.3844 mg Hg/kg pelo seco correspondiente al Centro Poblado “Nueva Arequipa”. En contraste, se registró el valor mínimo de 0.044 mg Hg/kg pelo seco en el Centro Poblado “Sarayacu”. Entre los Centros Poblados evaluados, se observa un valor promedio de  $0.86 \pm 0.18$  mg Hg/kg pelo seco.

#### **4.1.1 Por Lugar de procedencia**

El análisis del Lugar de procedencia en relación con la concentración de THg bioacumulado no mostró diferencia estadísticamente significativa, con un p-valor de 0.634 según la prueba Kruskal-Wallis. La mayoría de los caninos (94.25%), tiene concentraciones de Hg en el rango de 0.04-2 mg Hg/kg pelo seco, siendo Nueva Arequipa, el Centro Poblado con mayor número de caninos en este rango. Los niveles más altos de Hg (3-5 mg Hg/kg pelo seco, 6-8 mg Hg/kg pelo seco y 8-10.3844 mg Hg/kg pelo seco) son menos frecuentes, pero se observan principalmente en los caninos de Nueva Arequipa (Tabla 4, #1).

#### 4.1.2 Por Género

El análisis del Género en relación con la concentración de THg bioacumulado, no mostró diferencia estadísticamente significativa, con un p-valor de 0.881 determinado por la prueba de Mann-Whitney. La mayoría de los caninos, tanto hembras como machos (94.25%), tienen concentraciones de Hg entre 0.04-2 mg Hg /kg pelo seco, con una ligera predominancia de los machos (58.5%).

En los niveles de 3-5 mg Hg/kg pelo seco, hubo una igualdad entre ambos géneros, y en los niveles más altos se encontró una hembra entre 6-8 mg Hg /kg pelo seco, mientras que los casos de concentración más elevados (8-10.3844 mg Hg/kg pelo seco) correspondieron a dos hembras. Aunque no se detectaron diferencias estadísticamente significativas, las hembras presentaron una mayor frecuencia de niveles altos de Hg. (Tabla 4, #2).

#### 4.1.3 Por Etapa de vida

El análisis de la variable Etapa de vida en relación con la concentración de THg bioacumulado no mostró diferencia estadísticamente significativa con la concentración de Hg bioacumulado entre las diferentes etapas, con un p-valor de 0.423 según la prueba de Kruskal Wallis. El 94.25% de los caninos en todas las etapas de vida tienen concentraciones de Hg dentro del rango de 0.04-2 mg Hg/kg pelo seco, siendo los adultos el grupo más representado (35.3%). En los rangos más altos de concentración solo se observaron caninos adultos. Aunque no se observaron diferencias estadísticamente significativas entre las etapas de vida, los caninos adultos, son los que presentaron las concentraciones más altas de Hg bioacumulado. (Tabla 4, #3).

#### 4.1.4 Por raza

El análisis de la variable Raza en relación con la concentración de THg bioacumulado mostró diferencia estadísticamente significativa, con un p-valor de 0.018 determinado por la prueba Kruskal-Wallis. La mayoría de los caninos de todas las razas (94.25%) tuvieron concentraciones de Hg dentro del rango de 0.04-2 mg Hg/kg pelo seco, la gran mayoría representado por los mestizos (84.1%). En los rangos de concentración más altos (6-8 mg Hg /kg pelo seco y 8-10.3844 mg Hg/kg pelo seco), dos eran mestizos y uno de raza Cocker, lo que

indica que la raza Mestizo podría estar más expuesta a la bioacumulación de Hg (Tabla 4, #4).

#### **4.1.5 Por Tipo de alimentación**

El análisis de la variable Tipo de alimentación en relación con la concentración de THg bioacumulado no mostró diferencia estadísticamente significativa, con un p-valor de 0.213 determinado por la prueba Kruskal-Wallis. La mayoría de los caninos (94.25%) tienen concentraciones dentro del rango de 0.04-2 mg Hg /kg pelo seco, con el grupo más grande conformado por aquellos caninos que se alimentan de comida casera y balanceada (59.7%). En los rangos de concentración (6-8 mg Hg/kg pelo seco y 8-10.3844 mg Hg/kg pelo seco) los caninos con alimentación combinada son los que predominan. Aunque no hubo diferencias estadísticamente significativas, los caninos con un tipo de alimentación combinada, presentaron niveles de Hg más elevados. (Tabla 4, #5).

#### **4.1.6 Por Permanencia habitual**

El análisis de la variable Permanencia habitual en relación con la concentración de THg bioacumulado, no mostró diferencia estadísticamente significativa, con un p-valor de 0.165 determinado por la prueba Kruskal-Wallis. El (94.25%) de los caninos tuvieron concentraciones de Hg dentro del rango de 0.04-2 mg Hg/kg pelo seco, con el grupo que permanecen en casa (64.6%). En los rangos de concentración más altos (6-8 mg Hg/kg pelo seco y 8-10.3844 mg Hg/kg pelo seco), se encontraron los caninos que permanecían en casa y calle (Tabla 4, #6).

Tabla 4: Concentración de Mercurio total bioacumulado de los caninos domésticos de tres Centros Poblados con influencia de minería aurífera en la provincia de Tambopata, 2023

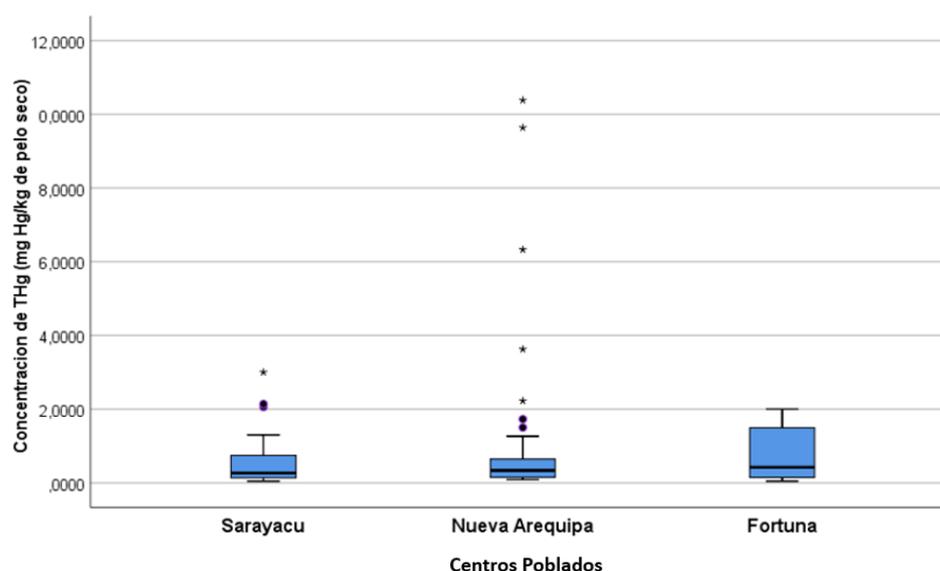
#	Variables	Dimensiones	Concentración de THg bioacumulado								N	%	Estadístico	P valor
			0.04-2 mg Hg/kg		3-5 mg Hg/kg pelo seco		6-8 mg Hg/kg pelo seco		8-10.3844 mg Hg/kg pelo seco					
			n1	%a	n2	%b	n3	%c	n4	%d				
1	Lugar de procedencia	Sarayacu	30	37	1	50	0	0	0	0	31	35.6	Kruskal Wallis	0.634
		Nueva Arequipa	39	48	1	50	1	100	2	100	43	49.4		
		Fortuna	13	16	0	0	0	0	0	0	13	14.9		
		Total	82	94.25	2	2.30	1	1.15	2	2.30	87	100		
2	Género	Hembra	34	41	1	50	1	100	2	100	38	43.6	Mann-Whitney	0.881
		Macho	48	59	1	50	0	0	0	0	49	56.3		
		Total	82	94.25	2	2.30	1	1.15	2	2.30	87	100		
3	Etapa de vida	Infante	12	15	1	50	0	0	0	0	13	14.9	Kruskal Wallis	0.423
		Adolescente	26	32	1	50	0	0	0	0	27	31		
		Adulto	29	35	0	0	1	100	2	100	32	36.7		
		Anciano	14	17	0	0	0	0	0	0	14	16		
		Geriátrico	1	1.2	0	0	0	0	0	0	1	1.1		
Total	82	94.25	2	2.30	1	1.15	2	2.30	87	100				
4	Raza	Mestizo	69	84	2	100	1	100	1	50	73	83.9	Kruskal Wallis	0.018*
		Cocker	3	3.6	0	0	0	0	1	50	4	4.6		
		Rottweiler	4	4.8	0	0	0	0	0	0	4	4.6		
		Siberiano	2	2.4	0	0	0	0	0	0	2	2.3		
		Chihuahua	2	2.4	0	0	0	0	0	0	2	2.3		
		Gran Danés	1	1.2	0	0	0	0	0	0	1	1.1		
		Schnauzer	1	1.2	0	0	0	0	0	0	1	1.1		
		Total	82	94.25	2	2.30	1	1.15	2	2.30	87	100		
5	Tipo de alimentación	Balanceado	22	27	1	50	0	0	1	50	24	27.5	Kruskal Wallis	0.213
		Casero	11	13	0	0	0	0	0	0	11	12.6		
		Casero y balanceado	49	60	1	50	1	100	1	50	52	59.7		
		Total	82	94.25	2	2.30	1	1.15	2	2.30	87	100		
6	Permanencia habitual	Calle	2	2.4	0	0	0	0	0	0	2	2.3	Kruskal Wallis	0.165
		Campamento minero	1	1.2	0	0	0	0	0	0	1	1.1		
		Casa	53	65	1	50	0	0	1	50	55	63.2		
		Casa y calle	16	20	0	0	1	100	1	50	18	20.6		
		Casa, calle y campamento minero	10	12	1	50	0	0	0	0	11	12.6		
Total	82	94.25	2	2.30	1	1.15	2	2.30	87	100				

**Leyenda:** #: número de variable, **N:** número total de caninos domésticos analizados por cada categoría de variable, **%:** porcentaje del total de caninos domésticos, **THg bioacumulado:** Mercurio total bioacumulado, **Estadístico:** Prueba estadística, **mg Hg/kg pelo seco:** miligramos de Mercurio por kilogramo de pelo seco, **n1,n2,n3,n4:** número total de caninos domésticos en los rangos de 0.04-2, 3-5, 6-8 y 8-10.3844 mg<sub>Hg</sub>/kg<sub>pelo seco</sub>, respectivamente, **%a,%b,%c,%d:** porcentaje de caninos domésticos en los rangos de 0.04-2, 3-5, 6-8 y 8-10.3844 mg<sub>Hg</sub>/kg<sub>pelo seco</sub>, **Kruskal-Wallis** y **Mann-Whitney:** pruebas estadísticas, **P valor:** valor de significancia estadística, \*: resultado significativo a nivel p<0.05.

#### 4.1.7 Comparación de la concentración de Mercurio total bioacumulado entre los tres Centros Poblados

El Gráfico 1, muestra la concentración de THg bioacumulado en miligramos de Hg por kilogramo de pelo seco ( $\text{mg Hg/kg}_{\text{pelo seco}}$ ) en caninos domésticos de tres Centros Poblados: “Sarayacu”, “Nueva Arequipa” y “Fortuna”. En el eje vertical, representan las concentraciones de Hg, que van de 0 a 12  $\text{mg Hg/kg}_{\text{pelo seco}}$ , mientras que en el eje horizontal distinguen los tres Centros Poblados.

**Gráfico 1: Comparación de la concentración de Mercurio total bioacumulado entre los tres Centros Poblados**



**Concentración de THg (mg Hg/kg de pelo seco):** concentración de Mercurio total expresado en miligramos de Mercurio por kilogramo de pelo seco.

Fuente: Elaboración propia, 2024

Según el Gráfico 1, Sarayacu presentó una mediana de concentración de THg bioacumulado de  $0.266 \text{ mg Hg/kg}_{\text{pelo seco}}$ , con un rango intercuartil de  $0.616 \text{ mg Hg/kg}_{\text{pelo seco}}$ . Aunque se identificaron tres valores atípicos por encima de  $2 \text{ mg Hg/kg}_{\text{pelo seco}}$ , ninguno superó los  $4 \text{ mg Hg/kg}_{\text{pelo seco}}$ , lo que refleja cierta variabilidad en la exposición al Hg. En Nueva Arequipa, la mediana fue de  $0.308 \text{ mg Hg/kg}_{\text{pelo seco}}$  similar a la de Sarayacu, pero con una mayor dispersión de los datos. Los valores atípicos en Nueva Arequipa superaron los  $2 \text{ mg Hg/kg}_{\text{pelo seco}}$ , llegando casi a  $12 \text{ mg Hg/kg}_{\text{pelo seco}}$ .

Por otro lado, Fortuna mostró una mediana de concentración de Hg (0.423 mg Hg/kg pelo seco) similar a los otros Centros Poblados, pero con una menor dispersión de los datos dentro de la caja. No se identificaron valores atípicos extremos, indicando que los niveles de exposición al Hg en esta población fueron más homogéneos y uniformes.

## 4.2 Concentración de Mercurio total ambiental

En cuanto a la Concentración de THg ambiental, los resultados se distribuyeron de la siguiente manera: el 70.11% de los caninos presentaron niveles de Hg en el pelo en el rango de 0.003 – 0.1 mg Hg/kg pelo seco. El 12.64 % se ubicó en el rango de 0.1001 – 0.2000 mg Hg/kg pelo seco, mientras que el 17.24% mostraron concentraciones más elevadas, dentro del rango de 0.2001 – 3.4817 mg Hg/kg pelo seco (Tabla 5).

En el caso de concentración de THg ambiental, el mayor valor observado fue de 3.4817 mg Hg/kg pelo seco, registrado en el Centro Poblado “Nueva Arequipa”, por otro lado, la menor concentración de THg ambiental fue de 0.003 mg Hg/kg pelo seco registrado en el Centro Poblado “Sarayacu”. El valor promedio estimado entre los Centros Poblados evaluados fue de  $0.15 \pm 0.04$  mg Hg/kg pelo seco.

### 4.2.1 Por lugar de procedencia

El análisis de la variable Lugar de procedencia en relación con la concentración de THg ambiental en los caninos mostró diferencia estadísticamente significativa entre los tres Centros Poblados, con un p-valor de 0.005 determinado por la prueba Kruskal-Wallis. La mayoría de los caninos (70.11%) tienen concentraciones de Hg dentro del rango de 0.0033-0.1000 mg Hg/kg pelo seco, con una representación importante en Sarayacu. Sin embargo, los caninos de Nueva Arequipa son los que presentaron las concentraciones más altas de Hg, con un 66.6% de los casos en el rango de 0.2001-3.4817 mg Hg/kg pelo seco. Por ello Nueva Arequipa es el Centro Poblado con mayor número de caninos con concentraciones más elevadas (Tabla 5, #1).

#### 4.2.2 Por Género

El análisis de la variable Género en relación con la concentración de THg ambiental en los caninos no mostró diferencia estadísticamente significativa, con un p-valor de 0.626 determinado por la prueba de Mann-Whitney. La mayoría de los caninos (70.11%) de ambos géneros tienen concentraciones de Hg dentro del rango 0.0033-0.1000 mg Hg/kg pelo seco, con los machos con una mayor proporción (57.3%) en este rango. En los rangos de concentración más altos (0.2001-3.4817 mg Hg/kg pelo seco), los machos también predominan ligeramente, aunque a diferencia entre géneros no es estadísticamente relevante. Aunque no se observaron diferencias estadísticamente significativas, los machos presentan una mayor frecuencia en los rangos más altos de Hg acumulado (Tabla 5, #2).

#### 4.2.3 Por Etapa

El análisis de la variable Etapa de vida en relación con la concentración de THg ambiental en los caninos no mostró diferencia estadísticamente significativa, con un p-valor de 0.463 según la prueba de Kruskal-Wallis. La mayoría de los caninos (70.11%) en todas las etapas de vida tuvieron concentraciones de Hg dentro del rango de 0.0033-0.1000 mg Hg/kg pelo seco, siendo los adolescentes el grupo más representado en esta categoría. Sin embargo, en los rangos de concentración más altos (0.2001-3.4817 mg Hg/kg pelo seco) los adultos fueron los más afectados, con un 53.3%. Aunque no se observaron diferencias estadísticamente significativas, los adultos presentaron una mayor frecuencia de Hg en los rangos más altos, aunque no de manera estadísticamente concluyente (Tabla 5, #3).

#### 4.2.4 Por Raza

El análisis de variable Raza en relación con la concentración de THg ambiental en los caninos domésticos no mostró diferencia estadísticamente significativa, con un p-valor de 0.313 según la prueba de Kruskal-Wallis. La mayoría de los caninos de todas las razas (70.11%) tuvieron concentraciones de Hg dentro del rango de 0.0033-0.1000 mg Hg/kg pelo seco, con los mestizos representando la gran mayoría de caninos. En los rangos de concentraciones más altas

(0.2001-3.4817 mg Hg/kg pelo seco), los mestizos siguen siendo los más afectados, indicando que, esta raza es más susceptible a la acumulación de Hg (Tabla 5, #4).

#### **4.2.5 Por Tipo de alimentación**

El análisis de la variable Tipo de alimentación en relación con la concentración de THg ambiental no mostró diferencia estadísticamente significativa, con un p-valor de 0.666 según la prueba de Kruskal-Wallis. La mayoría de los caninos (70.11%) con tres tipos de alimentación tuvieron concentraciones de Hg dentro del rango de 0.0033-0.1000 mg Hg/kg pelo seco, con los caninos que consumían una combinación de casero y balanceado representando la mayoría de caninos (55.7%). Este grupo también presentó niveles altos de Hg (0.2001-3.4817 mg Hg/kg pelo seco). aunque no se observaron diferencias estadísticamente significativas entre los diferentes tipos de alimentación, los caninos que consumen alimento casero y balanceado parecen estar más expuestos a niveles más altos de Hg (Tabla 5, #5).

#### **4.2.6 Por Permanencia habitual**

El análisis de la variable Permanencia habitual en relación con la concentración de THg ambiental no mostró diferencias significativas, con un p-valor de 0.163 según la prueba de Kruskal-Wallis. La mayoría de los caninos (70.11%) de todas las categorías tuvieron concentraciones dentro del rango de 0.0033-0.1000 mg Hg/kg pelo seco, donde el 59% permanecían en sus casas, inclusive el grupo con niveles más altos de Hg (0.2001-3.4817 mg Hg/kg pelo seco) (Tabla 5, #6).

**Tabla 5: Concentración de Mercurio total ambiental de los caninos domésticos de tres Centros Poblados con influencia de minería aurífera en la provincia de Tambopata, 2023**

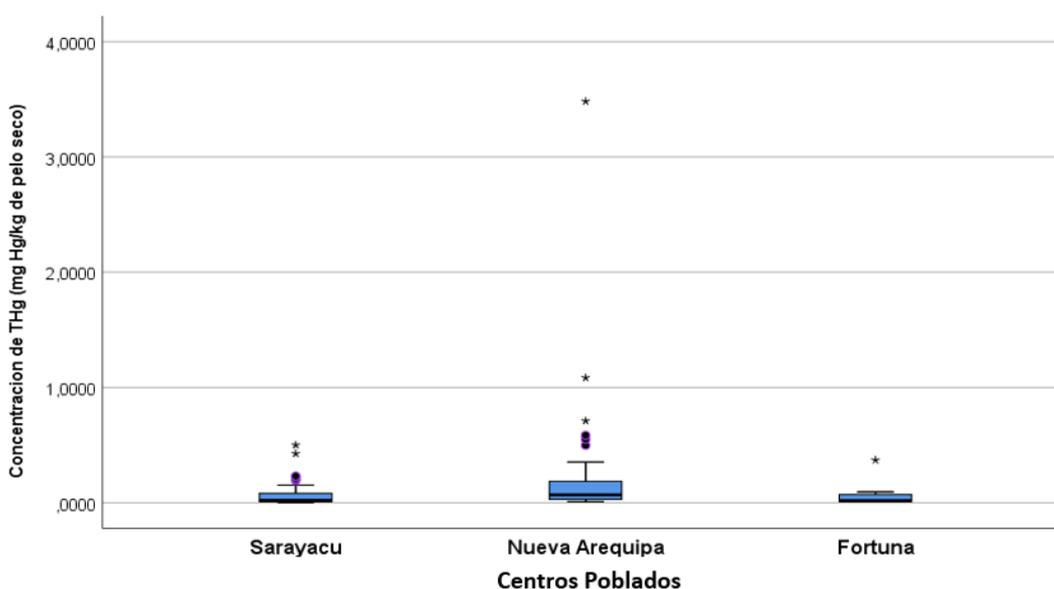
#	Variables	Dimensiones	Concentración de THg ambiental						N	%	Estadístico	P valor
			0.0033-0.1000 mg <sub>Hg/kg</sub>		0.1001 - 0.2000 mg		0.2001 -3.4817 mg					
			pelo seco		Hg/kg pelo seco		Hg/kg pelo seco					
		n1	%a	n2	%b	n3	%c					
1	Lugar de procedencia	Sarayacu	25	40.9	2	18.1	4	26.6	31	35.6	Kruskal Wallis	0.005*
		Nueva Arequipa	24	39.3	9	81.8	10	66.6	43	49.4		
		Fortuna	12	19.6	0	0	1	6.6	13	14.9		
		Total	61	70.11	11	12.64	15	17.24	87	100		
2	Género	Hembra	26	42.6	5	45.4	7	46.6	38	43.6	Mann-Whitney	0.626
		Macho	35	57.3	6	54.5	8	53.3	49	56.3		
		Total	61	70.11	11	12.64	15	17.24	87	100		
3	Etapa de vida	Infante	9	14.7	1	9	3	20	13	14.9	Kruskal Wallis	0.463
		Adolescente	20	32.7	3	27.2	4	26.6	27	31		
		Adulto	19	31.1	5	45.4	8	53.3	32	36.7		
		Anciano	13	21.3	1	9	0	0	14	16		
		Geriátrico	0	0	1	9	0	0	1	1.1		
Total	61	70.11	11	12.64	15	17.24	87	100				
4	Raza	Mestizo	48	78.6	11	100	14	93.3	73	83.9	Kruskal Wallis	0.313
		Cocker	3	4.9	0	0	1	6.6	4	4.6		
		Rottweiler	4	6.5	0	0	0	0	4	4.6		
		Siberiano	2	3.2	0	0	0	0	2	2.3		
		Chihuahua	2	3.2	0	0	0	0	2	2.3		
		Gran Danés	1	1.6	0	0	0	0	1	1.1		
		Schnauzer	1	1.6	0	0	0	0	1	1.1		
Total	61	70.11	11	12.64	15	17.24	87	100				
5	Tipo de alimentación	Balanceado	17	27.8	3	27.2	4	26.6	24	27.5	Kruskal Wallis	0.666
		Casero	10	16.3	0	0	1	6.6	11	12.6		
		Casero y balanceado	34	55.7	8	72.7	10	66.6	52	59.7		
		Total	61	70.11	11	12.64	15	17.24	87	100		
6	Permanencia habitual	Calle	1	1.6	0	0	1	6.6	2	2.3	Kruskal Wallis	0.163
		Campamento minero	1	1.6	0	0	0	0	1	1.1		
		Casa	36	59	9	81.8	10	66.6	55	63.2		
		Casa y calle	15	24.5	0	0	3	20	18	20.6		
		Casa, calle y campamento minero	8	13.1	2	18.1	1	6.6	11	12.6		
Total	61	70.11	11	12.64	15	17.24	87	100				

**Leyenda:** #: número de variable, **N:** número total de caninos domésticos analizados por cada categoría de variable, **%:** porcentaje del total de caninos domésticos, **THg ambiental:** Mercurio total ambiental, **Estadístico:** Prueba estadística, **mg<sub>Hg/kg</sub> pelo seco:** miligramos de Mercurio por kilogramo de pelo seco, **n1,n2,n3,n4:** número total de caninos domésticos en los rangos 0.0033-0.1000, 0.1001 - 0.2000, 0.2001 -3.4817 mg<sub>Hg/kg</sub>pelo seco, respectivamente, **%a,%b,%c:** porcentaje de caninos domésticos en los rangos de 0.0033-0.1000, 0.1001 - 0.2000, 0.2001 -3.4817 mg<sub>Hg/kg</sub>pelo seco, **Kruskal-Wallis** y **Mann-Whitney:** pruebas estadísticas, **P valor:** valor de significancia estadística, \*: resultado significativo a nivel p<0.05.

#### 4.2.7 Comparación de la concentración de Mercurio total ambiental entre los tres Centros Poblados

El Gráfico 2, muestra la concentración de THg ambiental en miligramos de Hg por kilogramo de pelo seco ( $\text{mg Hg/kg pelo seco}$ ) en caninos domésticos de tres Centros Poblados: “Sarayacu”, “Nueva Arequipa” y “Fortuna”. En el eje vertical, representan las concentraciones de Hg, que van de 0 a 4  $\text{mg Hg/kg pelo seco}$ , mientras que en el eje horizontal distinguen los tres Centros Poblados.

**Gráfico 2: Comparación de la concentración de Mercurio total ambiental entre los tres Centros Poblados**



Fuente: Elaboración propia, 2024

Según el Gráfico 2, Sarayacu presentó una mediana de concentración de THg ambiental de ( $0.0195 \text{ mg Hg/kg pelo seco}$ ), con una distribución de datos compacta. Sin embargo, se identificaron valores atípicos superiores a  $0.50 \text{ mg Hg/kg pelo seco}$ . En Nueva Arequipa, la mediana ( $0.0674 \text{ mg Hg/kg pelo seco}$ ) fue similar, pero con los valores atípicos alcanzaron hasta los  $3.4817 \text{ mg Hg/kg pelo seco}$ , en comparación con Sarayacu. Por otro lado, Fortuna, tuvo la mediana más baja ( $0.0168 \text{ mg Hg/kg pelo seco}$ ), y una distribución de datos ajustada, lo que sugiere que la mayoría de los caninos domésticos tuvo niveles muy bajos de exposición al Hg, solo se identificó un valor atípico que superó ligeramente los  $0.370 \text{ mg Hg/kg pelo seco}$ .

## 4.3 DISCUSION

### 4.3.1 Concentración de Mercurio total en los caninos domésticos

Los resultados revelaron que los caninos domésticos de Nueva Arequipa estuvieron expuestos a niveles de Hg ambiental significativamente más altos, alcanzando los 3.4817 mg Hg/kg pelo seco, en comparación con los de Sarayacu y Fortuna. En cuanto al Hg bioacumulado, los caninos de Nueva Arequipa también presentaron niveles altos, llegando hasta los 10.3844 mg Hg /kg pelo seco.

La alta concentración de Hg ambiental y bioacumulado en los caninos de Nueva Arequipa, podría estar relacionada con numerosas tiendas de compra y venta de oro, observadas al llegar al Centro Poblado, como también la quema de oro amalgamado con Hg en las viviendas según afirmaciones de algunos propietarios habitantes del Centro Poblado. De acuerdo a los hallazgos de Nogueira F, et al. (94), indicaron que personas que laboraban y estaban a los alrededores de las tiendas de oro, tuvieron una concentración alta de Hg. Asimismo, Fernández L. (95) señala que la concentración de Hg vaporizado es elevada tanto en el interior de las tiendas como sus alrededores. De acuerdo a los estudios de Yépez D., Koenigsmark F. y Ashe K. (56,1,19), confirman que el riesgo de intoxicación por Hg es mayor en áreas donde se desarrollan actividades mineras auríferas.

Según Londoño L., et al. (72) la inhalación de concentraciones altas de Hg puede generar neumonías agudas, bronquitis y una exposición crónica dañar al sistema nervioso central. Por ende, los caninos domésticos evaluados de este estudio están susceptibles ante la contaminación y posible intoxicación por Hg.

Autores como Farrar W. y Chung C. (27,28) y sus respectivos colaboradores, indican que la toxicidad por Hg en caninos domésticos se da por exposición ante el metal, la eliminación inadecuada y la composición química; los diferentes signos clínicos dependen de la composición química, la frecuencia de exposición, dosis y la vía de administración del Hg, indicando que los signos más consistentes son disfunción renal y neurológica, signos gastrointestinales y anorexia.

El año 1994, Farrar W. (27) reportaron por primera vez un caso de toxicidad por Hg en un canino doméstico adulto que presentó signos neurológicos (tetraparesia) y gastrointestinales (vómitos y diarrea). Debido a la falta de respuesta a la terapia y deterioro progresivo de su condición, fue eutanasiado. Durante la necropsia y basándose en los signos clínicos observados, sospecharon de una intoxicación por metales pesados. Al analizar el hígado y los riñones, encontraron concentraciones de 2.8 y 3.3 mg Hg/kg peso, consideradas elevadas. Sin embargo, no lograron identificar la fuente ni el tipo de compuesto mercurial, ya que el propietario no tenía información al respecto.

En 2020, Chung C. (28) reportaron un caso similar de toxicidad por Hg en un canino juvenil que presentó signos neurológicos como tetraplejía y letargia. A diferencia del caso anterior, este canino tenía una herida con presencia de pus. Tras realizar una radiografía, observaron materiales metálicos dispersos a nivel de la vértebra torácica. Al debridar la herida, encontraron pus y materiales color plateado. A pesar de realizar una cirugía para extraer todo el material, el animal falleció. En la necropsia confirmaron la presencia de Hg en varios órganos, como hueso, piel, musculo, riñón, hígado, médula espinal, cerebro y cerebelo. Sin embargo, no determinaron la cantidad exacta de Hg, solo realizaron un examen histopatológico y visual.

En comparación con ambos casos, el del canino juvenil presentaba una diferencia notable: la propietaria mencionó haber encontrado al animal alrededor de jeringas con contenido desconocido.

De acuerdo a este estudio todos los caninos domésticos de los tres Centros Poblados se encontraban con un aspecto físico saludable, pese a sus concentraciones altas de Hg, ninguno presentó signos ni síntomas referidos a una posible intoxicación por Hg, de acuerdo a la información proporcionada por el propietario de los antecedentes de algún posible signo ante la reacción de este metal. De acuerdo a Dahmardeh R. y Poma G. (71), indican que podría ver una resistencia a la toxicidad por Hg de acuerdo al tamaño de los mamíferos.

Coincidiendo con Abrantes F. (33), los caninos estudiados, a pesar de haber tenido concentraciones elevadas de Hg (66.208 mg Hg/kg pelo) no presentaron

algún tipo de intoxicación por presencia de este metal en su organismo, a diferencia de este estudio, estos no estuvieron cerca a áreas de influencia de minería aurífera.

#### **4.3.2 Factores asociados**

A pesar de no haberse encontrado diferencias estadísticamente significativas en relación con el género, etapa de vida, tipo de alimentación, permanencia habitual, se observó que los caninos de raza mestiza fueron los más afectados. Esto podría deberse a su mayor representación en la población canina estudiada.

De acuerdo a literatura, Sousa A. (26), no encontraron diferencia estadísticamente significativa en los niveles de Hg en función al género, edad, tipo de alimentación. Sin embargo, a diferencia de lo reportado por Kral T. (32), observaron diferencia significativa en la bioacumulación de Hg entre caninos alimentados con pescado contaminado y aquellos que no lo consumían, destacando así el tipo de alimentación como un factor clave. Comparando con este estudio, los caninos domésticos no presentaron una tendencia hacia el consumo frecuente de pescado.

Por otro lado, los caninos que consumían tanto comida casera como alimento balanceado tendieron a presentar concentraciones más altas de Hg. Aunque este hallazgo no alcanzó significancia estadística, es importante considerarlo como un punto relevante para futuras investigaciones.

#### **4.3.3 Clasificación por nivel de contaminación**

La clasificación por nivel de contaminación revela que los caninos domésticos de Nueva Arequipa presentaron las mayores concentraciones de Hg lo que indica una mayor exposición a este metal, probablemente debido a su proximidad a fuentes de contaminación directa. Esto coincide con Koenigsmark F., Portillo A. y Ashe K. (1,2,19), indicaron que, los organismos expuestos a áreas afectadas por la minería aurífera tenían concentraciones más altas de Hg que otras áreas lejanas.

## CONCLUSIONES

1. Las concentraciones de THg bioacumulado en los caninos domésticos de los tres Centros Poblados se situaron en un rango de 0.04-2 mg Hg/kgpelo seco.
2. Los niveles de Hg variaron entre los Centros poblados, siendo Nueva Arequipa la que presentó las concentraciones más altas, clasificándose como el área con mayor nivel de contaminación por Hg.
3. En THg bioacumulado de acuerdo a la raza, hubo una diferencia estadísticamente significativa, esto se debe a la mayor representación en la población canina.
4. Considerar al canino doméstico como un bioindicador clave de la contaminación por Hg, destaca la eficacia del pelo como un indicador confiable para evaluar la bioacumulación de este metal.
5. La exposición al Mercurio durante actividades de minería aurífera representa un riesgo a la salud animal y humana.

## SUGERENCIAS

- Investigar la acumulación de Hg en diversas especies de animales domésticos, tanto de compañía y consumo, permitiendo ampliar el conocimiento sobre la exposición al Hg y las diferencias en la bioacumulación según la especie.
- Considerar otros factores asociados que podrían influir en la bioacumulación de Hg.
- Considerar en complementar una evaluación clínica al animal.
- Considerar el uso de otros bioindicadores, como muestras de sangre, orina, entre otros; para obtener una evaluación más completa de la exposición al Hg.
- Fomentar la conciencia sobre protección de mascotas y personas frente a influencias ambientales perjudiciales, y al mismo tiempo promover una mayor responsabilidad en el uso del Hg.
- Realizar un monitoreo continuo junto con medidas preventivas y de control para reducir el riesgo de exposición al Hg, protegiendo la salud de los seres vivos y disminuir la contaminación ambiental.
- Proponer al Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI) que, el programa de censo poblacional, incluya información sobre la población de animales domésticos en cada Centro Poblado, con el fin de mejorar la planificación y gestión tanto de la salud ambiental como de la salud pública.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Koenigsmark F, Weinhouse C, Berky A, Morales A, Ortiz E, Pierce E, et al. Efficacy of hair total mercury content as a biomarker of methylmercury exposure to communities in the area of artisanal and small-scale gold mining in Madre de Dios, Peru. *Int J Environ Res Public Health*. 2021;18(24):1–16.
2. Portillo A, Vega C, Mena J, Bonifaz E, Ascorra C, Silman M, et al. Mercury bioaccumulation in bats in Madre de Dios, Peru: implications for Hg bioindicators for tropical ecosystems impacted by artisanal and small-scale gold mining. *Ecotoxicology*. 2023;
3. Dammert A. La Importancia del sector Minero para el Perú. *Journal of Economics Finance and International Business*. 2021;4(1):33–40.
4. Velásquez G. Problemas medioambientales de la minería aurífera ilegal en Madre de Dios (Perú). *Observatorio Medioambiental*. 2020;23:229–41.
5. Ministerio de Energía y Minas. Anuario Minero 2021: Reporte estadístico. Vol. 1, Ministerio de Energía y Minas. 2020.
6. Markham K. Evaluating Amphibian Vulnerability to Mercury Pollution from Artisanal and Small-Scale Gold Mining in Madre de Dios, Peru. *Clark University Clark Digital Commons*. 2017;1–41.
7. Markham K, Sangermano F. Evaluating Wildlife Vulnerability to Mercury Pollution From Artisanal and Small-Scale Gold Mining in Madre de Dios, Peru. *Trop Conserv Sci*. 2018 Jan 1;11.
8. Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos. Lista de prioridades de sustancias de la ATSDR de 2015. 2015.
9. Liu M, Xiao W, Zhang Q, Yuan S, Raymond PA, Chen J, et al. Substantial accumulation of mercury in the deepest parts of the ocean and implications for the environmental mercury cycle. *Proc Natl Acad Sci U S A*. 2021;118(51).
10. United Nations Environment Programme. Global Mercury assessment. 2018.

11. Cooke C, Martínez A, Bindler R, Sexauer M. Environmental archives of atmospheric Hg deposition – A review. *Science of the Total Environment*. 2020;709:134800.
12. Ancco C. Sobrevivencia y producción de biomasa de especies de flora en diferentes modelos de siembra, en suelos degradados por la minería en el sector La Pampa-Comunidad “Nueva Arequipa”, distrito Inambari -provincia Tambopata-Madre de Dios. Repositorio UNAMAD. Universidad Nacional Amazónica de Madre de Dios; 2017.
13. Baca S. Estudio comparativo de la diversidad arborea en dos áreas degradadas por minería aurífera aluvial en el sector de Sarayacu, distrito de Inambari, Tambopata-Madre de Dios. Universidad Nacional Amazónica de Madre de Dios; 2020.
14. Romero K. Proceso de formalización minera: políticas ambientales y respuestas del sector minero informal a pequeña escala en el poblado Fortuna de Laberinto, Madre de Dios 2012-2014. Pontificia Universidad Católica Del Perú Escuela De Posgrado Maestría En Desarrollo Ambiental. Pontificia Universidad Católica del Perú; 2017.
15. Zaccaroni A, Corteggio A, Altamura G, Silvi M, Di Vaia R, Formigaro C, et al. Elements levels in dogs from “triangle of death” and different areas of Campania region (Italy). *Chemosphere*. 2014;108:62–9.
16. Rubiano S. The Amazon biome in the face of mercury contamination. 2019.
17. Cheng Y, Watari T, Seccatore J, Nakajima K, Nansai K, Takaoka M. review of gold production, mercury consumption, and emission in artisanal and small-scale gold mining (ASGM). *Resources Policy*. 2023;81:1–9.
18. Kahhat R, Parodi E, Larrea G, Mesta C, Vázquez I. Environmental impacts of the life cycle of alluvial gold mining in the Peruvian Amazon rainforest. *Science of the Total Environment*. 2019;662:940–51.
19. Ashe K. Elevated mercury concentrations in humans of Madre de Dios, Peru. *PLoS One*. 2012;7(3):1–6.
20. Langeland A, Hardin R, Neitzel R. Mercury levels in human hair and farmed fish near artisanal and small-scale gold mining communities in

- the Madre de Dios River Basin, Peru. *Int J Environ Res Public Health*. 2017;14(3).
21. Patricia V, Zender A, Roberto D, Revoredo D. Contaminación ambiental por mercurio y la salud fisiológica y psicológica del poblador de Huepetuhe -Madre de Dios-2019. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*. 2021;5(6):11435–56.
  22. Humala O, Cateriano P, Benites J, Dumler J, Velásquez A, Pulgar-Vidal O, et al. Decreto Supremo N° 034-2016 PCM. 587792 Perú: Diario Oficial El Peruano; 2016 p. 1–3.
  23. Avila A, Prieto L, Luna A. Nine decades of data on environmental chemical pollutant exposure in dogs: a bibliometric analysis. *Environmental Science and Pollution Research*. 2022;1–13.
  24. McGrew A, Ballweber L, Moses S, Stricker C, Beckmen K, Salman M, et al. Mercury in gray wolves (*Canis lupus*) in Alaska: Increased exposure through consumption of marine prey. *Science of the Total Environment*. 2014;468–469:609–13.
  25. López-Alonso M, Miranda M, García P, Cantero F, Hernández J, Benedito J. Use of dogs as indicators of metal exposure in rural and urban habitats in NW Spain. *Science of the Total Environment*. 2007;372(2–3):668–75.
  26. Sousa A, De Sá Teixeira I, Marques B, Vilhena H, Vieira L, Soares A, et al. Mercury, pets' and hair: Baseline survey of a priority environmental pollutant using a noninvasive matrix in man's best friend. *Ecotoxicology*. 2013;22(9):1435–42.
  27. Farrar W, Edwards J, Willard M. Pathology in a Dog Associated with Elevated Tissue Mercury Concentrations. *Journal of Veterinary Diagnostic Investigation*. 1994;6(4):511–4.
  28. Chung C, Li Y, Lin L. Radiographic findings and pathology of a dog with mercury toxicity. *Forensic Imaging*. 2020 Dec;23(July):200421.
  29. Contreras J, Chavez E. Concentración de mercurio en el orden Chiroptera en la zona de influencia minera de la cuenca del río Madre de Dios. Universidad Nacional Agraria La Molina; 2017.

30. Carrasco-Rueda F, Loïselle B, Frederick P. Mercury bioaccumulation in tropical bats from a region of active artisanal and small-scale gold mining. *Ecotoxicology*. 2020;29(7):1032–42.
31. Panduro G, Rengifo G, Barreto J, Arbaiza-Peña K, Lannacone J, Alvariño L, et al. Bioacumulación por mercurio en peces y riesgo por ingesta en una comunidad nativa en la amazonia peruana. *Revista de Investigaciones Veterinarias del Perú*. 2020;31(3):e18177.
32. Kral T, Blahova J, Sedlackova L, Vecerek V, Svobodova Z. Evaluation of mercury contamination in dogs using hair analysis. *Neuroendocrinology Letters*. 2015;36(2015):1–5.
33. Abrantes F. Utilização de cães e gatos como sentinelas para a exposição a mercúrio. Universidade da Beira Interior; 2016.
34. Abramova L, Andreeva I, Iliina V. Features of *Adenophora lilifolia* (L.) A. DC. cenopopulations organization on specially protected natural areas of the Middle Volga and Southern Urals. *Samara Journal of Science*. 2018;7(3):13–9.
35. Calderón L. Evaluación de la presencia de perros en humedales de la sabana de Bogotá y su efecto potencial sobre la fauna silvestre. Universidad de los Andes. Universidad de los Andes; 2008.
36. Salcedo D. Evaluación de la aplicación de microorganismos benéficos en problemas diarreicos en cachorros *Canis lupus familiaris*. Universidad de Guayaquil; 2015.
37. Colchau P. Frecuencia de anticuerpos de Adenovirus Canino en canes domésticos de la Comunidad Nativa Ese'Eja de Infierno, Madre de Dios. Universidad Peruana Cayetano Heredia. Universidad Peruana Cayetano Heredia; 2018.
38. Lessa I, Corrêa T, de Godoy H, Cunha A, Vieira E. Domestic dogs in protected areas: a threat to Brazilian mammals? *Natureza e Conservacao*. 2016;14(2):46–56.
39. Sumner R, Harris I, Van Der M, Byers A, England G, Lea R. The dog as a sentinel species for environmental effects on human fertility. *Reproduction*. 2020;159(6):265–76.

40. Park S, Lee M, Kim S. Studies on Cd, Pb, Hg and Cr Values in Dog Hairs from Urban Korea. *Asian-Australas J Anim Sci.* 2005;18(11):1135–40.
41. Overgaauw P, Vinke C, van Hagen M, Lipman L. A one health perspective on the human-companion animal relationship with emphasis on zoonotic aspects. *Int J Environ Res Public Health.* 2020;17(11):1–29.
42. Cuya A, Glikman J, Groenendijk J, Macdonald D, Swaisgood R, Barocas A. Socio-environmental perceptions and barriers to conservation engagement among artisanal small-scale gold mining communities in Southeastern Peru. *Glob Ecol Conserv.* 2021;31(e01816):1–13.
43. Cerón C, Miranda S, Rubin L. Deforestación por actividad minera en el departamento de Madre de Dios-Perú para los años 2000 y 2017. *Anales Científicos.* 2021;82(1):122–9.
44. Del Aguila M, Walker T. Correspondence to the Editor Re: Artisanal and small-scale gold mining impacts in Madre de Dios, Peru: Management and mitigation strategies. *Environment International.* 2017 Nov;111:133–4.
45. Arostegui V. Determinación de los niveles de concentración de mercurio en suelos y plátano Musa Cultivar AAB, Sub grupo Platin, en Sarayacu, Punkiri chico e Iberia - Madre de Dios. Universidad nacional amazónica de Madre de Dios. Universidad Nacional Amazónica de Madre de Dios; 2017.
46. Díaz J. Appropriate technologies and the geosocial evolution of informal, small-scale gold mining in Madre de Dios, Peru. *Extractive Industries and Society.* 2022;12:1–10.
47. Osoreo F, Grández A, Fernández J. Mercurio y salud en Madre de Dios, Perú. *Acta Med Per.* 2010 Apr;27(4):310–4.
48. Lopes M, Carvalho de Oliveira G, Bernardo Roney R, Macedo J, Lino A, Ramalho E, et al. Total mercury in wild felids occurring in protected areas in the central Brazilian amazon. *Acta Amazon.* 2020;50(2):142–8.
49. Huayllani M. Presencia de Metales Pesados en La Estructura Vegetal de Apeiba membranacea Spruce ex Benth. (Peine de mono), Ochroma pyramidale (Cav, ex. Lam.) Urb. (Topa), Ceiba pentandra (L.) Gaerth. (Lupuna), Erythrina ulei Harms (Amasisa) Instaladas en Áreas Interve.

- Universidad Nacional de Madre de Dios. Universidad Nacional Amazónica de Madre de Dios; 2016.
50. Huamán F, Palma G, Flores L. Caracterización preliminar de residuos de minería aluvial en la región Madre de Dios - Perú. *Revista Cubana de Química*. 2020;32(2):232–44.
  51. Teles M, Borgues C, Sato Y, Araújo É, Tallarico M, Lopes S. Determination and evaluation of mercury concentration in fish in the São Francisco River Watershed, Brazil. *Revista Ambiente e Agua*. 2020;1–14.
  52. Eggins S, Schneider L, Krikowa F, Vogt R, Silveira R, Maher W. Mercury concentrations in different tissues of turtle and caiman species from the Rio Purus, Amazonas, Brazil. *Environ Toxicol Chem*. 2015;34(12):2771–81.
  53. Sedano S, Zanabria A. Eficacia fitorremediadora de las especies *Urtica urens* y *Amaranthus hybridus* en la remoción de Mercurio en suelos del pasivo ambiental minero de Santa Bárbara-Huancavelica-2021. Repositorio Institucional - UNH. Universidad Nacional de Huancavelica; 2022.
  54. de Souza D. Avaliação da exposição ao mercúrio em comunidades ribeirinhas de Porto Velho, Rondônia. Escola Nacional de Saúde Pública Sergio Arouca. Escola Nacional de Saúde Pública Sergio Arouca; 2016.
  55. Michael P, Cauvi D, Toomey C, Per H, Dwight H. Mercury-Induced Inflammation and Autoimmunity. *Biochim Biophys*. 2019;1863(12):1–23.
  56. Yépez D. Efectos tóxicos en la salud relacionados con la exposición a mercurio debido a la actividad minera en Ecuador. Universidad Central del Ecuador; 2022.
  57. Vasco B, Caito S, Farina M, Teixeira J, Aschner M, Carvalho C. Biomarkers of mercury toxicity: Past, present and future trends. *Physiol Behav*. 2017;20(3):1–50.
  58. Navio S. Evaluación del conocimiento sobre los riesgos de exposición del Mercurio por el consumo del pescado en residentes urbanos de la ciudad de Puerto Maldonado, Madre de Dios-Perú de Abril del 2014 a

- Mayo del 2015. Universidad Nacional Amazónica de Madre de Dios; 2016.
59. 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). *Revista Internacional de Contaminacion Ambiental*. 2018;34(1):93–102.
  60. Treu G, Krone O, Unnsteinsdóttir E, Greenwood A, Czirják G. Correlations between hair and tissue mercury concentrations in Icelandic arctic foxes (*Vulpes lagopus*). *Science of the Total Environment*. 2018;619–620:1–10.
  61. Valbuena S, Navarro M. Total mercury in striped catfish and bocachico from river Meta, Colombia. *Revista UDCA Actualidad and Divulgacion Cientifica*. 2021;24(2):1–9.
  62. Graeme K. Heavy metal toxicity , part I : Arsenic and Mercury. *J Emerg Med*. 1998;16(1):45–56.
  63. Abbott L. The Effects of Environmental Mercury Contamination on Wild and Domestic Animals. *Approaches in Poultry, Dairy & Veterinary Sciences*. 2017 Sep 21;1–3.
  64. Hansmann F, Stephan I, Wirtz A, Gruber A, Wohlsein P. Mercury poisoning in a german shepherd dog. *Veterinary Record*. 2009 Oct;165(15):447–8.
  65. Ramírez A. Intoxicación ocupacional por mercurio. *Anales de la Facultad de Medicina*. 2008;69(46–51):1–6.
  66. Español S. Toxicología del mercurio. actuaciones preventivas en sanidad laboral y ambiental. *Jornada Internacional sobre el impacto ambiental del Mercurio utilizado por la minería aurífera artesanal en Iberoamérica*. 2001;1–66.
  67. Skibniewska E, Skibniewski M. Mercury Contents in the Liver, Kidneys and Hair of Domestic Cats from the Warsaw Metropolitan Area. *Applied Sciences (Switzerland)*. 2023;13(1):1–12.
  68. Crespo M, Macêdo G, Pereira S, Arrifano G, Picanço D, Nascimento J, et al. Mercury and human genotoxicity: Critical considerations and possible molecular mechanisms. *Pharmacol Res*. 2009;60(4):212–20.

69. Bjørklund G, Dadar M, Mutter J, Aaseth J. The toxicology of mercury: Current research and emerging trends. *Environ Res.* 2017;159(August):545–54.
70. Sakamoto M, Nakamura M, Murata K. Mercury as a Global Pollutant and Mercury Exposure Assessment and Health Effects. *Nihon Eiseigaku Zasshi.* 2018;73(3):258–64.
71. Dahmardeh R, Poma G. Evaluation of Mercury Contamination in Iranian Wild Cats Through Hair Analysis. *Biol Trace Elem Res.* 2021;199(1):166–72.
72. Londoño L, Londoño P, Muñoz F. Los riesgos de los metales pesados en la Salud Humana Y Animal. *Biotechnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial.* 2016;14(2):145–53.
73. Kosik D, Osten N, Łanocha N, Kot K, Pilarczyk B, Tomza A, et al. Selenium and mercury in the hair of raccoons (*Procyon lotor*) and European wildcats (*Felis s. silvestris*) from Germany and Luxembourg. *Ecotoxicology.* 2020;29(1):1–12.
74. Wilhelm M, Ohnesorge F, Lombeck I, Hafner D. Uptake of Aluminum, Cadmium, Copper, Lead, and Zinc by Human Scalp Hair and Elution of the Adsorbed Metals. Vol. 13, *Journal of Analytical Toxicology.*
75. Gill U, Schwartz H, Bigras L. Results of multiyear international interlaboratory comparison program for mercury in human hair. *Arch Environ Contam Toxicol.* 2002;43(4):466–72.
76. Milestone. DMA-80, Direct Mercury Analyzer, 5-Minute Mercury Analysis Without Sample Preparation. In: *Dma-80/00/2009.* Italia; 2009. p. 1–8.
77. García A. Estudio para la determinación de Pb y Hg en sedimentos y aguas costeras del Ártico. Universidad de Valladolid. Universidad de Valladolid; 2022.
78. Diringer S, Feingold B, Ortiz E, Gallis J, Araújo J, Berky A, et al. River transport of mercury from artisanal and small-scale gold mining and risks for dietary mercury exposure in Madre de Dios, Peru. *Environmental Sciences: Processes and Impacts.* 2015;17(2):478–87.

79. Peña L. Distribución y adsorción de mercurio en minería abandonada en el sector de Laberinto-Tambopata-Puerto Maldonado. Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco; 2022.
80. Monteagudo F. Evaluación de la contaminación por mercurio en población de mineros artesanales de oro de la comunidad de Santa Filomena-Ayacucho-Perú durante el periodo agosto 2000-septiembre 2001. *Environ Health Perspect.* 2001;112(3):1–6.
81. Organización Mundial de la Salud (OMS). La minería aurífera artesanal o de pequeña escala y la salud. Organizaci. Suiza; 2017. 1–36 p.
82. Ministerio del Ambiente. Manual de buenas prácticas en minería aurífera aluvial para facilitar una adecuada recuperación de áreas. Morales Qu. Constantin A, Cardich Salazar C, Jara Rojas J, editors. Ministerio del Ambiente. Lima; 2017. 1–28 p.
83. Criollo K. Prevalencia de Toxoplasmosis en caninos domésticos (*Canis lupus familiaris*) en la parroquia La Matriz, Cantón Latacunga. Universidad Técnica de Cotopaxi; 2018.
84. Santamaría F. Prevalencia de *Brucella canis* en perros domésticos en el Barrio Salache, provincia de Cotopaxi. Universidad Técnica De Cotopaxi; 2018.
85. Valle K. Plan de desarrollo urbano – rural sostenible para mejorar la calidad de vida del centro poblado de San Sebastian de quera distrito de Santa Maria del Valle-Huanuco, 2015. Universidad Nacional Hermilio Valdizan; 2016.
86. Fuentes F. Digitalización y georreferenciación de centros poblados y equipamiento urbano bajo administración municipal y elaboración de estudio de prefactibilidad de macrocircuito norte de distribución de agua potable de zonas 2,3,6 y 7, Villa Nueva, mancomunidad gr. Universidad de San Carlos de Guatemala; 2017.
87. Saavedra R. El principio de subsidiariedad y la asignación de recursos a la Municipalidad del Centro Poblado Las Delicias, en el año 2017. Universidad César Vallejo; 2018.
88. Huamaní V. Caracterización de la vegetación arbórea y arbustiva en concesiones mineras del sector de Fortuna, distrito de Laberinto de la

- provincia de Tambopata de la región de Madre de Dios. Universidad Nacional Amazónica de Madre de Dios; 2018.
89. Macedo K. “Evaluación del Potencial Dendrocronológico de tres Especies de la Familia Lauraceae en Madre de Dios – Perú”, 2019. Universidad Nacional Amazónica de Madre de Dios; 2022.
  90. Dirección Regional de Salud M de D. Informe ejecutivo de la Campaña Regional de Vacunación Antirrábica Canina VANCAN- 2022. Madre de Dios; 2022.
  91. Jara K. Prevalencia del síndrome metabólico en la Escuela de Estomatología de la Universidad Alas Peruanas. Universidad Alas Peruanas; 2015.
  92. Geneva S. Guindace for identifying populations at risk from Mercury exposure. UNEP Chemicals. 2008.
  93. 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.
  94. Nogueira F, Da Cruz O, Castro E, Junk W. Mercúrio total em cabelos: uma contribuição para se avaliar o nível de exposição em Poconé, Mato Grosso, Brasil. *Cad Saúde Públ, Rio de Janeiro.* 1997;13(4):601–9.
  95. Fernandez L. Ministerio de Energía y Minas. EPA Proyecto “Reducción de emisiones de Mercurio en la Extracción y Refinación de Oro Artesanal”. Madre de Dios; 2009 Nov.

## ANEXOS

### Anexo 1: Matriz de operacionalización de las variables

VARIABLES		DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL	DIMENSIÓN	INDICADORES	ITEMS
Independiente	Lugar de procedencia	Localización geográfica del cual provienen cada CDM	Identificación del lugar de procedencia del CDM mediante la información PPD	D1 Nueva Arequipa D2 Sarayacu D3 Fortuna	Nombre del lugar de procedencia	Ficha de datos de los CDM
	Género	Diferencia biológica de cada CDM	Identificación del género del CD mediante observación fenotípica e información PPD	D4 Hembra D5 Macho	♂, ♀	
	Etapas de vida	Etapas de vida de cada CDM	Identificación de la edad del CD mediante la información PPD y observación.	D6 Infante D7 Adolescente D8 Adulto D9 Anciano D10 Geriátrico	Años de vida	
	Permanencia habitual	Tiempo y frecuencia de permanencia de cada CDM en un área específica	Lugar donde el CD pasa la mayor parte de su tiempo mediante la información PPD	D11 Casa D12 Calle D13 Campamento minero	Permanencia del lugar habitual	
	Raza	Clasificación biológica de cada CDM considerando sus características fenotípicas	Identificación de la raza del CD por observación y comparación con otras razas reconocidas y la información PPD	D14 Mestizo D15 Otras razas	Especificación de raza (ejm: Mestizo, Cocker)	
	Tipo de alimentación	Variedad y composición del tipo de alimento que consume cada CDM	Tipo de alimento que consume el CD mediante la información PPD	D16 Casero D17 Balanceado	Alimento casero, balanceado, casero y balanceado	
	Dependiente	Concentración THg en caninos domésticos ( <i>Canis lupus familiaris</i> )	Cantidad de THg presente en el pelo de cada CDM, expresado en mg <sub>Hg</sub> /kg <sub>pelo seco</sub> .	Medición de la concentración de THg en muestra biológica (pelo) del CD mediante espectrometría de absorción atómica por descomposición térmica con amalgama de oro	No aplica	

**Legenda:** CDM: Canino doméstico muestreado, CD: Canino doméstico, PPD: Proporcionada por el dueño, THg: Mercurio total, mg<sub>Hg</sub>/kg<sub>pelo seco</sub>: miligramos de mercurio por kilogramo de pelo seco, DMA-80: Direct Mercury Analyzer.

**Fuente:** Elaboración propia, 2024

## Anexo 2: Matriz de consistencia

PROBLEMA	OBJETIVOS	HIPOTESIS	VARIABLES E INDICADORES	METODOLOGIA
<p><b>General:</b> ¿Cuánto será la concentración de Mercurio total (THg) en caninos (<i>Canis lupus familiaris</i>), por cada Centro Poblado con influencia de minería aurífera: Nueva Arequipa, Sarayacu y Fortuna en la provincia de Tambopata, 2023?</p>	<p><b>General:</b> Comparar la concentración de Mercurio total (THg) en caninos (<i>Canis lupus familiaris</i>) de tres Centros Poblados con influencia de minería aurífera Nueva Arequipa, Sarayacu y Fortuna en la provincia de Tambopata, 2023.</p> <p><b>Específicos:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>•Determinar la concentración de Mercurio total (THg) en caninos (<i>Canis lupus familiaris</i>) de los Centros Poblados Nueva Arequipa, Sarayacu y Fortuna.</li> <li>•Clasificar por nivel de contaminación los Centros Poblados de Nueva Arequipa, Sarayacu y Fortuna en función de la concentración de Mercurio total (THg) presente de los caninos (<i>Canis lupus familiaris</i>).</li> </ul>	<p><b>General:</b> Existirá diferencia significativa de la concentración de Mercurio total (THg) en caninos (<i>Canis lupus familiaris</i>), de tres Centros Poblados Nueva Arequipa, Sarayacu y Fortuna, en la provincia de Tambopata, 2023.</p> <p><b>Específicos:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>•E1: Existirá una diferencia significativa de la concentración de Mercurio total (THg) en caninos (<i>Canis lupus familiaris</i>) de los tres centros poblados Nueva Arequipa, Sarayacu y Fortuna.</li> <li>•E2: Existirá una diferencia significativa en la clasificación de los tres Centros Poblados Nueva Arequipa, Sarayacu y Fortuna, en la provincia de Tambopata.</li> </ul>	<p><b>Variable Dependiente:</b> Concentración de THg en caninos domésticos.</p> <p><b>Dimensiones:</b> Concentración de Mercurio total en cada muestra.</p> <p><b>Indicadores:</b> Conocimiento y valoración.</p> <p><b>Variables Independientes:</b></p> <p><b>1. Lugar de procedencia:</b> Nueva Arequipa, Sarayacu, Fortuna</p> <p><b>1. Permanencia habitual Dimensiones:</b> Casa, calle, campamento minero</p> <p><b>Indicadores:</b> Cantidad de caninos domésticos</p> <p><b>2.Edad</b></p> <p><b>Dimensiones:</b> Infante, Adolescente, Adulto, Geriátrico</p> <p><b>Indicadores:</b> Cantidad de caninos domésticos</p> <p><b>3.Sexo</b></p> <p><b>Dimensiones:</b> Hembra y Macho</p> <p><b>Indicadores:</b> Cantidad de caninos domésticos</p> <p><b>4.Raza</b></p> <p><b>Dimensiones:</b> Mestizo, entre otros</p> <p><b>Indicadores:</b> Cantidad de caninos domésticos</p> <p><b>5.Tipo de alimento</b></p> <p><b>Dimensiones:</b> De acuerdo al tipo de alimento que consume cada canino doméstico</p> <p><b>Indicadores:</b> Casero, balanceado</p>	<p><b>Enfoque:</b> No experimental, descriptivo, transversal, comparativo.</p> <p><b>Diseño de la investigación:</b> Cuantitativo.</p> <p><b>Nivel de investigación:</b> Explicativo</p> <p><b>Tipo de investigación:</b> Correlacional</p> <p><b>Métodos:</b> Recopilación de datos, toma de muestras y análisis de las muestras.</p> <p><b>Técnicas instrumentales de Muestreo:</b> Vivienda por vivienda.</p> <p><b>De recolección de datos:</b> Tabla de datos y toma de muestras</p> <p><b>De procesamiento de datos:</b> Programa estadístico SPSS Versión 26.</p> <p><b>De análisis:</b> Laboratorio de Mercurio y Química Ambiental (LAMQA), del Centro de investigación “El Castañal” del Instituto de Investigaciones de la Amazonia Peruana (IIAP).</p> <p><b>Población:</b> 87 Caninos domésticos habitantes de los tres Centros Poblados donde se realizó la investigación.</p> <p><b>Muestra:</b> Muestreo probabilístico estratificado.</p>

Fuente: Elaboración propia, 2024

### Anexo 3: Instrumento

Consentimiento informado y firmado por el propietario del (de los) can (es).

**Consentimiento informado para participar en el estudio de investigación.**

**TITULO DEL ESTUDIO:** "ESTUDIO COMPARATIVO DE LA CONCENTRACION DE MERCURIO TOTAL (THg) EN CANINOS (*CANIS LUPUS FAMILIARIS*) DE TRES CENTROS POBLADOS CON INFLUENCIA DE MINERIA AURIFERA EN LA PROVINCIA TAMBOPATA, 2023"

**Investigadora:** Br. MVZ Nazia Mabel Rojas Medina

---

**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 total de Mercurio (THg) en caninos (*Canis lupus familiaris*), con el fin de saber si sus canes se encuentran en riesgo ante este metal, brindando una solución a futuro para el bienestar de sus mascotas.

**Procedimiento:**

**Si usted acepta que sus canes participen en este estudio:**

1. Los caninos domésticos serán sujetados por una persona con experiencia, colocando un bozal si es agresivo, evitando accidentes.
2. El investigador tomará la muestra de pelo, extrayendo 1 gramo de peso de pelo por canino 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 can 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 su can, para que pueda ser usada en investigaciones futuras. Si usted no desea que la muestra biológica de su can permanezca almacenada ni utilizada posteriormente, su can aún puede seguir participando del estudio.

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

Si

No

Además, la información de los resultados de su(s) can(es) 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) can(es) y participar en futuros estudios.

Autorizo que me pueden re-contactar para futuros estudios en mi(s) can(es):

Si  No

Autorizo ser re-contactado para recibir los resultados de mi(s) can(es):

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) can(es) participe(n) en este estudio.

Especie: Canino	Raza: SRD	Nombre/Código: Balto/H-002
Especie: Canino	Raza: SRD	Nombre/Código: Gringo/H-003
Especie: Canino	Raza:	Nombre/Código:

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)

Apellidos y Nombres:

Tomasa Francisco Trase

DNI: 45615357

Teléfono: 902227721

Dirección:

Firma: 

Fecha de firma: 23/09/2023

#### Investigadora

Apellidos y Nombres:

Rojas Medina Nazia Mabel

DNI: 73457865

Firma: 

Fecha de firma: 23/09/2023

**Tabla de registro de los caninos domésticos de los tres Centros Poblados**  
**Centro Poblado "Sarayacu"**

CENTRO POBLADO "SARAYACU"  
 TABLA DE REGISTRO E INFORMACION DE LOS CANES DOMÉSTICOS MUESTREADOS EN PUERTO MALDONADO

N°	Código de muestra	Edad	Sexo		Raza		Permanencia habitual				Contacto con la minería aurífera		Dieta		
			M	H	Raza	SRD	CA	CAL	CM	T	Si	No	BAL	CAS	A
01	M-001	2ā	X			X	X	X				X			X
02	M-002	3ā		X		X	X	X				X		X	
03	M-003	8ā	X			X	X	X				X			X
04	M-004	1ā		X		X	X	X				X			X
05	M-005	4ā	X			X		X				X			X
06	M-006	3 meses	X			X	X					X			X
07	M-007	3 meses	X			X	X					X			X
08	M-008	9ā		X		X	X	X				X			X
09	M-009	10ā	X			X	X	X				X			X
10	M-010	1ā		X		X	X					X		X	
11	M-011	1ā	X			X	X					X		X	
12	M-012	1ā	X			X	X					X		X	
13	M-013	8ā	X			X	X					X			X
14	M-014	6ā		X		X	X	X				X			X
15	M-015	3 meses	X			X	X					X			X
16	M-016	4 meses		X		X	X					X	X		
17	M-017	6ā	X			X	X					X			X
18	M-018	1ā y 6m		X		X	X					X		X	
19	M-019	4 meses	X			X	X					X			X
20	M-020	4ā		X		X	X	X				X			X
21	M-021	3ā	X		Schnauzer		X					X			X
22	M-022	4 meses	X			X	X					X	X		

**LEYENDA**

- SAR - Sarayacu
- FOR- Fortuna
- NA-Nueva Arequipa
- M-macho
- H-hembra
- SRD-sin raza definida
- A-ambos
- T-todos
- CA-casa
- CAL-calle
- BAL-balanceado
- CAS-casero



## Centro Poblado "Nueva Arequipa"

CENTRO POBLADO "NUEVA AREQUIPA"  
TABLA DE REGISTRO E INFORMACION DE LOS CANES DOMÉSTICOS MUESTREADOS EN PUERTO MALDONADO

N°	Código de muestra	Edad	Sexo		Raza		Permanencia habitual				Contacto con la minería aurífera		Dieta		
			M	H	Raza	SRD	CA	CAL	CM	T	SI	No	BAL	CAS	A
01	M-032	2a		X	Cocker		X					X	X		
02	M-033	4 meses	X			X	X					X	X		
03	M-034	2a		X		X	X					X	X		
04	M-035	3a		X		X	X					X	X		
05	M-036	4a	X			X	X					X	X		
06	M-037	3a		X		X	X					X	X		
07	M-038	4a		X		X	X					X	X		
08	M-039	1a		X		X	X					X	X		
09	M-040	13a	X			X	X					X	X		
10	M-041	5a	X			X	X					X	X		
11	M-042	4 meses	X			X	X					X	X		
12	M-043	1a	X			X	X					X			X
13	M-044	1a		X	Gran Danés		X					X			X
14	M-045	11a		X		X	X					X			X
15	M-046	3a		X		X	X					X	X		
16	M-047	3a		X		X	X					X			X
17	M-048	3a	X			X	X					X			X
18	M-049	8a	X			X	X					X			X
19	M-050	3a	X			X	X					X			X
20	M-051	3a	X			X	X					X	X		
21	M-052	8a	X			X	X					X			X
22	M-053	3a		X		X	X					X			X

## LEYENDA

- SAR - Sarayacu
- FOR- Fortuna
- NA-Nueva Arequipa
- M-macho
- H-hembra
- SRD-sin raza definida
- A-ambos
- T-todos
- CA-casa
- CAL-calle
- BAL-balanceado
- CAS-casa

CENTRO POBLADO "NUEVA AREQUIPA"  
 TABLA DE REGISTRO E INFORMACION DE LOS CANES DOMÉSTICOS MUESTREADOS EN PUERTO MALDONADO

N°	Código de muestra	Edad	Sexo		Raza		Permanencia habitual				Contacto con la minería aurífera		Dieta		
			M	H	Raza	SRD	CA	CAL	CM	T	Si	No	BAL	CAS	A
23	n-054	1a	X			X	X					X			X
24	n-055	2a		X		X	X					X	X		
25	n-056	8a	X			X	X					X		X	
26	n-057	2a	X			X	X					X			X
27	n-058	1a		X		X	X					X	X		
28	n-059	2a	X			X	X					X			X
29	n-060	2a	X			X	X					X			X
30	n-061	1a	X			X	X					X			X
31	n-062	7 meses	X			X	X					X	X		
32	n-063	3a		X	Cocker		X	X				X			X
33	n-064	3a		X		X	X	X				X			X
34	n-065	5 meses	X			X	X					X	X		
35	n-066	1a		X		X				X	X		X		
36	n-067	9 meses		X		X				X	X		X		
37	n-068	3a	X			X				X	X				X
38	n-069	3 meses	X			X				X	X				X
39	n-070	4a	X			X	X					X			X
40	n-071	2a		X		X	X					X			X
41	n-072	4a		X		X	X					X			X
42	n-073	8a		X		X	X					X			X
43	n-074	3 meses	X			X	X					X			X

**LEYENDA**

- SAR - Sarayacu
- FOR- Fortuna
- NA-Nueva Arequipa
- M-macho
- H-hembra
- SRD-sin raza definida
- A-ambos
- T-todos
- CA-casa
- CAL-calle
- BAL-balanceado
- CAS-casero

## Centro Poblado "Fortuna"

CENTRO POBLADO "FORTUNA"  
 TABLA DE REGISTRO E INFORMACION DE LOS CANES DOMÉSTICOS MUESTREADOS EN PUERTO MALDONADO

N°	Código de muestra	Edad	Sexo		Raza		Permanencia habitual				Contacto con la minería aurífera		Dieta		
			M	H	Raza	SRD	CA	CAL	CM	T	Si	No	BAL	CAS	A
01	M-075	1a		X		X	X	X				X		X	
02	M-076	1a, 4m	X		Siberiano					X					X
03	M-077	2a	X			X				X					X
04	M-078	3a		X		X				X					X
05	M-079	4a		X	Cocker		X								X
06	M-080	2a		X	Chihuahua		X						X		
07	M-081	3a		X	Chihuahua		X						X		
08	M-082	3a		X		X				X					X
09	M-083	6 meses	X			X				X	X			X	
10	M-084		X		Siberiano		X								X
11	M-085			X	Cocker		X							X	
12	M-086		X			X			X					X	
13	M-087		X			X	X							X	

## LEYENDA

- SAR - Sarayacu
- FOR- Fortuna
- NA-Nueva Arequipa
- M-macho
- H-hembra
- SRD-sin raza definida
- A-ambos
- T-todos
- CA-casa
- CAL-calle
- BAL-balanceado
- CAS-casero

## Anexo 4: Fotografías

Proceso de toma de muestra en los caninos domésticos



**Figura 1:** Explicando el procedimiento del estudio al propietario del can.



**Figura 2:** Corte de pelo del canino doméstico.



**Figura 3:** Recolección del pelo extraído del can en una bolsa hermética.



**Figura 4:** Pesando el pelo extraído del can.



**Figura 5:** Bolsas herméticas con el pelo recolectado, con sus respectivos datos de la toma de muestra.

## Proceso del análisis de las muestras de pelo de los caninos domésticos



**Figura 1:** Pesaje de las muestras para el análisis de Mercurio



**Figura 2:** Colocación de la baqueta con muestra de pelo hacia el equipo DMA-80-EVO



**Figura 3:** Muestras colocadas correctamente y en orden para su respectivo análisis



**Figura 4:** Culminación del análisis de las muestras con los respectivos materiales de referencia y limpieza

### Resultados de THg en pelo de los caninos domésticos

CENTRO POBLADO	CODIGO	THg ambiental (mg Hg/kg pelo seco)	THg bioacumulado (mg Hg/kg pelo seco)
SARAYACU	C001	0.0789	0.2895
SARAYACU	C002	0.0284	0.2668
SARAYACU	C003	0.0095	0.1683
SARAYACU	C004	0.0515	0.7599
SARAYACU	C005	0.2317	2.0589
SARAYACU	C006	0.1936	0.7498
SARAYACU	C007	0.5002	0.7079
SARAYACU	C008	0.0315	0.1932
SARAYACU	C009	0.0096	0.5687
SARAYACU	C010	0.0871	2.1390
SARAYACU	C011	0.0196	0.4078
SARAYACU	C012	0.0133	0.3408
SARAYACU	C013	0.0337	1.2996
SARAYACU	C014	0.0077	0.7448
SARAYACU	C015	0.0123	0.2389
SARAYACU	C016	0.0105	0.1743
SARAYACU	C017	0.0033	0.1386
SARAYACU	C018	0.0819	0.2411
SARAYACU	C019	0.4258	3.0000
SARAYACU	C020	0.2109	0.2437
SARAYACU	C021	0.0551	0.2680
SARAYACU	C022	0.0045	0.0657
SARAYACU	C023	0.0039	0.0925
SARAYACU	C024	0.0055	0.0816
SARAYACU	C025	0.0079	0.0448
SARAYACU	C026	0.0081	0.1007
SARAYACU	C027	0.0077	0.1336
SARAYACU	C028	0.0182	0.0972
SARAYACU	C029	0.0142	0.0925
SARAYACU	C030	0.0827	0.8056
SARAYACU	C031	0.1543	1.1247
NUEVA AREQUIPA	C032	0.0657	0.2580
NUEVA AREQUIPA	C033	0.0163	0.0648
NUEVA AREQUIPA	C034	0.0452	0.2952
NUEVA AREQUIPA	C035	0.3533	0.4264
NUEVA AREQUIPA	C036	0.3313	0.4828
NUEVA AREQUIPA	C037	3.4817	9.6376
NUEVA AREQUIPA	C038	0.0508	0.1536
NUEVA AREQUIPA	C039	0.3268	0.3729
NUEVA AREQUIPA	C040	0.1778	0.7812
NUEVA AREQUIPA	C041	0.0506	0.3461
NUEVA AREQUIPA	C042	0.0554	0.1451
NUEVA AREQUIPA	C043	0.1793	0.5474

NUEVA AREQUIPA	C044	0.0267	0.0879
NUEVA AREQUIPA	C045	0.0675	0.1480
NUEVA AREQUIPA	C046	0.1055	0.1303
NUEVA AREQUIPA	C047	0.0132	0.3084
NUEVA AREQUIPA	C048	0.0087	0.3724
NUEVA AREQUIPA	C049	0.0171	0.2426
NUEVA AREQUIPA	C050	0.0136	0.0909
NUEVA AREQUIPA	C051	0.0595	0.1275
NUEVA AREQUIPA	C052	0.0709	0.1485
NUEVA AREQUIPA	C053	0.1310	0.2467
NUEVA AREQUIPA	C054	0.0335	0.1442
NUEVA AREQUIPA	C055	0.0101	0.1236
NUEVA AREQUIPA	C056	0.0911	0.1418
NUEVA AREQUIPA	C057	0.0187	0.1211
NUEVA AREQUIPA	C058	0.1157	0.6438
NUEVA AREQUIPA	C059	0.5853	1.5016
NUEVA AREQUIPA	C060	0.0218	0.6017
NUEVA AREQUIPA	C061	0.7103	1.2639
NUEVA AREQUIPA	C062	0.0336	0.1692
NUEVA AREQUIPA	C063	0.5509	10.3844
NUEVA AREQUIPA	C064	0.4985	6.3282
NUEVA AREQUIPA	C065	0.0089	0.1679
NUEVA AREQUIPA	C066	0.0126	0.2214
NUEVA AREQUIPA	C067	0.0518	3.6256
NUEVA AREQUIPA	C068	0.1341	0.2184
NUEVA AREQUIPA	C069	0.2760	0.3591
NUEVA AREQUIPA	C070	0.1016	0.3354
NUEVA AREQUIPA	C071	1.0836	1.2073
NUEVA AREQUIPA	C072	0.1281	1.7293
NUEVA AREQUIPA	C073	0.1928	2.2250
NUEVA AREQUIPA	C074	0.0401	0.4074
FORTUNA	C075	0.0650	1.9989
FORTUNA	C076	0.0900	1.7537
FORTUNA	C077	0.0126	1.7969
FORTUNA	C078	0.0716	1.4966
FORTUNA	C079	0.0943	0.4234
FORTUNA	C080	0.0148	0.0877
FORTUNA	C081	0.0090	0.0456
FORTUNA	C082	0.0169	0.2691
FORTUNA	C083	0.0121	0.5143
FORTUNA	C084	0.0235	0.1469
FORTUNA	C085	0.0076	0.1267
FORTUNA	C086	0.0100	0.3574
FORTUNA	C087	0.3705	1.0624