

**UNIVERSIDAD NACIONAL AMAZÓNICA DE MADRE
DE DIOS
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA PROFESIONAL DE MEDICINA
VETERINARIA - ZOOTECNIA**



TESIS

**“Evaluación de los niveles de mercurio en el agua y leche de bovinos
en zonas mineras de la provincia de Tambopata”**

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

AUTOR:

Bach. RAMOS DÍAZ, Katherine
Amelia

ASESOR:

Dr. HUANCA FRIAS, René Eduardo

CO-ASESOR:

MSc. FLORES MENDOZA, Jimmy

Puerto Maldonado, diciembre 2024

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



TESIS

**“Evaluación de los niveles de mercurio en el agua y leche de bovinos
en zonas mineras de la provincia de Tambopata”**

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

AUTOR:

Bach. RAMOS DIAZ, Katherine
Amelia

ASESOR:

Dr. HUANCA FRIAS, René Eduardo

CO-ASESOR:

MSc. FLORES MENDOZA, Jimmy

Puerto Maldonado, diciembre 2024

DEDICATORIA

A mis padres Justino Ramos Pillaca y Cristina Diaz Ttito por todos los consejos, amor y apoyo incondicional durante mi formación académica. Gracias a ustedes he podido lograr uno de mis sueños.

A mis hermanos Ana Cristina Ramos Diaz y Alejandro Josue Ramos Diaz por el cariño, consejos y porque están siempre en los momentos más importantes de mi vida. Decirles que si se puede y que ahora les toca a ustedes seguir mis pasos.

A mi asesor Dr. René Eduardo Huanca Frias por el tiempo, dedicación y confianza.

A Frida Milagros Vargas Pereira por acompañarme en toda mi trayectoria universitaria y por ser una persona importante en mi vida.

A mis compañeros de clase y profesores, quienes han sido una fuente constante de motivación y aprendizaje.

KATHERINE AMELIA RAMOS DIAZ

AGRADECIMIENTO

A Dios por guiar mi camino y brindarme la fuerza para concluir esta etapa de mi vida.

A mi asesor, Dr. René Eduardo Huanca Frias, por su paciencia, apoyo constante, dedicación, valiosos consejos y disposición, así como por su guía durante el desarrollo de esta investigación.

A mi alma mater, la Universidad Nacional Amazónica de Madre de Dios, y a la carrera profesional de Medicina Veterinaria y Zootecnia; y a mis docentes por la buena formación ética, académica y profesional de mi persona.

Al centro de Innovación científica amazónica (CINCIA) por financiar el trabajo de investigación.

KATHERINE AMELIA RAMOS DIAZ

TURNITIN_KATHERINE RAMOS DIAZ

INFORME DE ORIGINALIDAD

11%

INDICE DE SIMILITUD

12%

FUENTES DE INTERNET

6%

PUBLICACIONES

5%

TRABAJOS DEL
ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1

www.gob.pe

Fuente de Internet

3%

2

www.researchgate.net

Fuente de Internet

3%

3

repositorio.unsaac.edu.pe

Fuente de Internet

2%

4

repositorio.unheval.edu.pe

Fuente de Internet

1%

5

www.yanacocha.com.pe

Fuente de Internet

1%

6

1library.co

Fuente de Internet

1%

7

pt.scribd.com

Fuente de Internet

1%

8

repositorio.unamad.edu.pe

Fuente de Internet

1%

Excluir citas

Activo

Excluir coincidencias < 1%

Excluir bibliografía

Activo

PRESENTACIÓN

La simultaneidad de la actividad minera y la ganadería en la provincia de Tambopata ha despertado preocupaciones sobre la posible presencia de mercurio tanto en el agua como en la leche. En particular, este mineral es un metal pesado bien reconocido por su toxicidad, ha generado un interés especial debido a sus efectos negativos en la salud.

La minería, una fuente esencial de recursos económicos y desarrollo, puede también tener implicaciones en la calidad del agua y, por extensión, en los cultivos y la alimentación del ganado. Este estudio se enfocó en analizar los niveles de mercurio en el agua y la leche de bovinos en las áreas mineras de la provincia, con el fin de entender la presencia de contaminación y los riesgos que podrían ocasionar.

El mercurio puede infiltrarse en el agua y el suelo a través de distintas actividades mineras, como la extracción y el procesamiento de minerales. Una vez liberado en el medio ambiente, puede acumularse en el agua y entrar en la cadena alimentaria. El ganado que patea en estas zonas puede estar expuesto a altos niveles de mercurio, lo que podría hacer que la leche producida por estos animales se convierta en una fuente de exposición para los seres humanos.

Para enfrentar esta problemática, se llevó a cabo el estudio detallado que incluyó la recolección y análisis de muestras de agua y leche de bovinos en diversas zonas mineras de la provincia de Tambopata.

KATHERINE AMELIA RAMOS DIAZ

RESUMEN

El objetivo de la investigación fue Evaluar el nivel de concentración de mercurio en el agua y leche de bovinos en zonas mineras de la provincia de Tambopata, utilizando un diseño descriptivo y transversal. La concentración de mercurio en el agua consumida por los bovinos en estas zonas fue de 0.00034 mg/L, un valor inferior a los límites máximos permitidos por normativas internacionales, que generalmente establecen 0.001 mg/L para agua. En cuanto a la leche de bovinos, la concentración de mercurio fue de 0.000955 mg/Kg, también por debajo del límite máximo aceptable de 0.005 mg/Kg. Al comparar las concentraciones de mercurio en el agua y la leche, se observa que ambas están dentro de los límites permitidos, aunque la concentración en la leche es ligeramente superior. Los resultados indican que la presencia de mercurio no es significativa en ninguno de los casos. En conclusión, el nivel de concentración promedio de mercurio en el agua que consumen los bovinos fue de 0.00034 mg/L. El nivel de concentración promedio de mercurio en la leche de bovinos fue de 0.000955 mg/Kg. La concentración de mercurio en el agua de las zonas mineras de la provincia de Tambopata no es significativa, superando los límites aceptables el consumo animal y en la leche se encuentra por debajo de los límites aceptables para el consumo humano.

Palabras clave: Agua. Leche, mercurio, límites permisibles, toxicidad.

ABSTRACT

The objective of the research was to evaluate the level of mercury concentration in the water and milk of bovines in mining areas of the province of Tambopata, using a descriptive and transversal design. The concentration of mercury in the water consumed by cattle in these areas was 0.00034 mg/L, a value lower than the maximum limits allowed by international regulations, which generally establish 0.001 mg/L for water. Regarding bovine milk, the mercury concentration was 0.000955 mg/Kg, also below the maximum acceptable limit of 0.005 mg/Kg. When comparing the concentrations of mercury in water and milk, it is observed that both are within the permitted limits, although the concentration in milk is slightly higher. The results indicate that the presence of mercury is not significant in any of the cases. In conclusion, the average concentration level of mercury in the water consumed by cattle was 0.00034 mg/L. The average concentration level of mercury in bovine milk was 0.000955 mg/Kg. The concentration of mercury in the water of the mining areas of the province of Tambopata is not significant, with animal consumption exceeding acceptable limits and in milk it is below acceptable limits for human consumption.

Keywords: Water. Milk, mercury, permissible limits, toxicity.

INTRODUCCIÓN

Es cierto que la minería informal e ilegal, especialmente en regiones como Madre de Dios en Perú, ha sido un problema grave en términos de contaminación ambiental y de salud pública. La utilización de mercurio en el proceso de extracción de oro es una técnica frecuentemente empleada en esta industria, sin embargo, acarrea efectos extremadamente perjudiciales para el entorno natural y las personas vinculadas a esta actividad.

La fuente de contaminación por metales pesados puede ser tanto natural como antropogénica (causadas por actividades humanas). La minería, especialmente la extracción de minerales y metales puede liberar grandes cantidades de metales pesados en el aire y el agua. La minería de oro, plata, plomo, zinc y otros metales puede ser especialmente problemática debido a la liberación de residuos y efluentes contaminados. (1)

El crecimiento indiscriminado de la minería pueden ser fuentes significativas de contaminación al medio ambiente por mercurio en la actividad agrícola y ganadera. Estos metales pesados pueden ingresar al entorno a través de diversas vías, causando problemas de salud humana y daños ecológicos. (2), pero la contaminación de fuentes naturales también afecta, resultando en exposición directa del ganado a fuentes de contaminación que en muchas situaciones son inevitables. (3)

La contaminación del mercurio puede presentarse a través de diversas vías, y una de ellas es la cadena alimentaria y el agua que involucra a los animales de granja, como el ganado. La transferencia de metales pesados a través del agua de riego y su posterior acumulación en el suelo y en los forrajes es una preocupación importante en la seguridad alimentaria y la salud animal. (4).

ÍNDICE

DEDICATORIA	
AGRADECIMIENTO	
PRESENTACIÓN	
RESUMEN	
ABSTRACT	
INTRODUCCIÓN	
ÍNDICE	
ÍNDICE DE TABLAS	
ÍNDICE DE FIGURAS	
CAPÍTULO I: PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN	1
1.1. Descripción del problema.	1
1.2. Formulación del problema.	2
1.2.1. Problema general:	2
1.3. Objetivos.	3
1.3.1. Objetivo general:	3
1.3.2. Objetivos específicos:	3
1.4. Variables.	3
1.4.1. Independiente	3
1.4.2. Dependiente	3
1.5. Operacionalización de variables.	4
1.6. Hipótesis.	5
1.6.1. General	5
1.6.2. Específicas	5
1.7. Justificación.	6
1.8. Consideraciones éticas.	7
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO	8
2.1. Antecedentes de estudio.	8
2.2. Marco teórico.	11
2.3. Definición de término.	13
CAPÍTULO III: METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN	16
3.1. Tipo de estudio.	16

3.2. Diseño del estudio.....	16
3.3. Población y muestra.....	16
3.4. Ubicación del área de estudio.	17
3.5. Métodos y técnicas.....	17
3.6. Tratamiento de los datos.	21
CAPÍTULO IV: RESULTADOS DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN	22
DISCUSIÓN	30
CONCLUSIONES.....	32
SUGERENCIAS.....	33
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	34
Anexo 1: Matriz de consistencia.	38

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Nivel de concentración de mercurio en el agua que consumen los bovinos en zonas mineras de la provincia de Tambopata.	22
Tabla 2. Nivel de concentración de mercurio en la leche de bovinos en zonas mineras de la provincia de Tambopata.	25
Tabla 3. Comparación de la concentración de mercurio si es significativo y supera los límites aceptables en el agua y la leche en zonas mineras de la provincia de Tambopata.	27

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Nivel de concentración de mercurio en el agua que consumen los bovinos en zonas mineras de la provincia de Tambopata.	24
Figura 2. Nivel de concentración de mercurio en la leche de bovinos en zonas mineras de la provincia de Tambopata.	26
Figura 3. Comparación de la concentración de mercurio si es significativo y supera los límites aceptables en el agua y la leche en zonas mineras de la provincia de Tambopata.	28

CAPÍTULO I: PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1. Descripción del problema.

La provincia de Tambopata, ubicada en una región minera, ha experimentado un notable aumento en la actividad minera en los últimos años. Este proceso de extracción puede generar impactos adversos en el medio ambiente y la salud de las personas, debido a su vinculación frecuente con la liberación de mercurio altamente nocivo en los alrededores, incluido el agua en los ríos y afluentes.

La leche, siendo uno de los productos lácteos más consumidos por la sociedad, desempeña una función de importancia en la alimentación y el bienestar de las personas. No obstante, la eventual contaminación de la leche con mercurio por el consumo de agua en áreas mineras constituye una amenaza latente para la salud colectiva.

Es de suma importancia realizar una investigación y análisis exhaustivos de la cantidad de mercurio presente en el agua y leche obtenida de los animales que pastorean en las regiones mineras de Tambopata. Este enfoque es esencial para adquirir una comprensión completa de la envergadura de este problema y de las posibles implicaciones en la salud de la población. La identificación precisa de los niveles de contaminación y de las fuentes potenciales de polución posibilitará la adopción de medidas preventivas y correctivas adecuadas con el propósito de contrarrestar los efectos negativos en la salud de las personas y salvaguardar el bienestar de las comunidades locales.

Además, es de interés determinar si existen diferencias significativas en los niveles de concentración de mercurio entre bovinos que consumen

agua y pastos cercanas a las minas. Esto proporcionará información adicional sobre el alcance de la contaminación y permitirá enfocar los esfuerzos de control y regulación en las áreas más afectadas.

La exploración de los niveles de mercurio en el agua y leche de ganado pastoreado en las áreas mineras de Tambopata es esencial para captar y enfrentar el posible peligro para la salud pública vinculado a la minería. Los resultados de esta investigación aportarán a la toma de decisiones informadas, la ejecución de acciones de regulación y la salvaguardia de la salud de aquellos que consumen estos productos.

1.2. Formulación del problema.

1.2.1. Problema general:

- ¿Cuál será el nivel de concentración de mercurio en el agua y leche de bovinos en zonas mineras de la provincia de Tambopata?

1.2.2. Problemas específicos:

- ¿Cuál es el nivel de concentración de mercurio en el agua que consumen los bovinos en zonas mineras de la provincia de Tambopata?
- ¿Cuál es el nivel de concentración de mercurio en la leche de bovinos en zonas mineras de la provincia de Tambopata?
- ¿Existen diferencias significativas y superan los límites aceptables de mercurio en el agua y la leche en zonas mineras de la provincia de Tambopata?

1.3. Objetivos.

1.3.1. Objetivo general:

- Evaluar el nivel de concentración de mercurio en el agua y leche de bovinos en zonas mineras de la provincia de Tambopata.

1.3.2. Objetivos específicos:

- Analizar el nivel de concentración de mercurio en el agua que consumen los bovinos en zonas mineras de la provincia de Tambopata.
- Analizar el nivel de concentración de mercurio en la leche de bovinos en zonas mineras de la provincia de Tambopata.
- Comparar la concentración de mercurio si es significativo y supera los límites aceptables en el agua y la leche en zonas mineras de la provincia de Tambopata.

1.4. Variables.

1.4.1. Independiente

- X = Concentración de mercurio.

1.4.2. Dependiente

- Y = Agua y leche

1.5. Operacionalización de variables.

DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL	DIMENSIONES	INDICADORES
Variable Dependiente Concentración de mercurio Cantidad de mercurio presente en una determinada cantidad de muestra. Variable Independiente Agua y leche El agua es una sustancia líquida que se encuentra en la naturaleza y es necesaria para el metabolismo de la alimentación de los animales Leche es un líquido segregado por la glándula mamaria destinada al consumo humano.	Independiente: Nivel de concentración de mercurio en el agua de consumo. Nivel de concentración de mercurio en la leche El análisis se lleva a cabo con la Técnica de Espectrofotometría de Absorción Atómica donde permite medir las concentraciones de mercurio en las muestras.	• Límite máximo permisible	• Microgramos por litro ($\mu\text{g/L}$) • Microgramos por kilogramo ($\mu\text{g/Kg}$)

1.6. Hipótesis.

1.6.1. General

- H_i : La concentración de mercurio se encuentra dentro de los límites permisibles en el agua y leche de bovinos en la provincia de Tambopata.
- H_0 : La concentración de mercurio supera los límites permisibles en el agua y leche de bovinos en la provincia de Tambopata.

1.6.2. Específicas

- **H1**= La concentración de mercurio se encuentra dentro de los límites permisibles en el agua de consumo de bovinos en la provincia de Tambopata.
- **H0**= La concentración de mercurio supera los límites permisibles en el agua de consumo de bovinos en la provincia de Tambopata.
- **H1**= La concentración de mercurio se encuentra dentro los límites permisibles en la leche de bovinos en la provincia de Tambopata.
- **H0**= La concentración de mercurio supera los límites permisibles en la leche de bovinos en la provincia de Tambopata.
- **H1**= Las concentraciones de mercurio en el agua y la leche son significativas y superan los límites aceptables en las zonas mineras de la provincia de Tambopata.
- **H0**= Las concentraciones de mercurio en el agua y leche no son significativas y no superan los límites aceptables en las zonas mineras de la provincia de Tambopata.

1.7. Justificación.

Existe la necesidad de abordar un problema relevante y actual en la provincia de Tambopata, la posible contaminación del agua y leche con mercurio provenientes de las zonas mineras. A medida que la actividad minera ha ido en aumento, es esencial evaluar los posibles impactos en la contaminación del agua de consumo de los animales y la calidad de la leche y la salud de la población. Existen varias razones que respaldan la importancia de esta investigación. En primer lugar, el agua es el principal componente esencial en la alimentación de los bovinos y la leche constituye un alimento muy nutritivo cotidiano de muchas personas, en especial de niños y lactantes. La posible contaminación de la leche con metales pesados lleva consigo implicaciones serias para la salud, dado que estos compuestos son reconocidos por sus propiedades tóxicas y sus efectos perjudiciales en el sistema nervioso, los riñones, el hígado y otros órganos.

En segundo lugar, la provincia de Tambopata se encuentra en una región minera en constante desarrollo. La actividad minera puede liberar metales pesados al medio ambiente, ya sea a través de las aguas residuales, las emisiones atmosféricas o los residuos de la minería. Estos metales pueden ser absorbidos por los cultivos y los pastos que luego son consumidos por el ganado, lo que resulta en una potencial acumulación en la leche.

Además, la información actual sobre las concentraciones de mercurio en el agua y leche producida en zonas mineras de la provincia de Tambopata es limitada. La falta de datos y estudios específicos sobre este tema impide una evaluación precisa del posible riesgo para la salud pública y dificulta la implementación de medidas preventivas y de control. Por tanto, es fundamental llevar a cabo esta investigación para evaluar de manera sistemática el nivel de concentración de mercurio en la leche producida por el ganado pastoreado en las zonas mineras de Tambopata. Los resultados obtenidos permitirán tomar decisiones informadas y establecer

medidas de mitigación efectivas garantizando la calidad y seguridad de la leche consumida en la provincia.

Además, se espera que esta investigación genere conciencia sobre la importancia de promover prácticas sostenibles en la actividad minera y de implementar regulaciones adecuadas para minimizar la contaminación ambiental y proteger la salud de la comunidad. La investigación es justificada por la necesidad de abordar un problema real y relevante en la provincia de Tambopata, donde la actividad minera puede estar generando una potencial de contaminación de la leche con mercurio.

1.8. Consideraciones éticas.

Durante todo el proceso de estudio y análisis, se contemplarán diversos aspectos éticos para asegurar la integridad de la investigación y el bienestar de todos los involucrados. En primer lugar, se garantizará la confidencialidad y la privacidad en la recolección de muestras y datos, asegurando que la información personal y sensible sea gestionada de manera segura y utilizada exclusivamente con fines investigativos. Además, la transparencia será fundamental en la presentación de los resultados, que se comunicarán de forma precisa y objetiva, evitando cualquier manipulación o exageración, con el fin de preservar la integridad de la investigación y proporcionar información veraz tanto a la comunidad científica como al público en general.

CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes de estudio.

La acumulación de metales pesados en suelos, agua y plantas representa una amenaza para la salud humana, asociándose con enfermedades como cáncer y problemas renales y hepáticos. Tanto la contaminación industrial como la agricultura intensiva, debido al uso excesivo de agroquímicos, contribuyen a este problema. En un estudio sobre suelos agrícolas, se midieron varios metales en suelos bajo cultivo convencional y sembrío directo, en dos niveles: napa alta y baja, utilizando fluorescencia de rayos X para el análisis. Los resultados mostraron mayores concentraciones de Co, Cu, Ni, Cd y Zn en el sembrío directo, posiblemente por los abonos fosfatados. La napa baja también registró más acumulación debido a la composición del suelo. Los niveles de Co, Cu y Cd superaron los límites ambientales permitidos. Se concluye que es necesario reducir el uso de agroquímicos y aplicar biorremediación para evitar problemas de salud y contaminación a largo plazo (5).

El análisis de metales pesados en carne y leche, orientado a la certificación para la Unión Europea (UE), mostró concentraciones promedio de plomo de 4.34 µg/kg, junto con otros metales como aluminio (192.16 µg/kg), cromo (69.28 µg /kg), níquel (45,11 µg/kg), molibdeno (45,20 µg/kg), zinc (4860 µg/kg), hierro (300 µg/kg), manganeso (31,82 µg/kg) y cobre (63,51 µg/kg). Las concentraciones de mercurio, arsénico y cadmio en las muestras de leche, tanto individuales como de tanque, estuvieron por debajo de los límites permitidos. En general, el riesgo para la salud de los consumidores de leche de vaca en la provincia de León es muy bajo, aunque no se puede descartar totalmente. Concluyendo que los niveles de metales pesados en la leche de

vaca en León cumplen con los estándares establecidos en estudios previos (6).

Se investigó la presencia de metales pesados en leche cruda de bovinos en Machachi, Ecuador. Se recolectaron 58 muestras de leche de 29 establos lecheros cercanas al municipio de Machachi, una zona con actividad industrial y próxima a la Panamericana Sur. A través de técnicas analíticas, se evaluó la presencia de plomo, mercurio y arsénico. Los resultados mostraron que todas las muestras contenían plomo, con una concentración promedio de 0,208 mg/kg, variando entre 0,0016 y 0,719 mg/kg. Alarmantemente, el 98,28% de las muestras excedieron los límites máximos permitidos de 0,02 mg/kg según la normativa NTE INEN 9. El mercurio fue detectado en cuatro muestras y el arsénico en dos, con concentraciones promedio muy bajas de 0,00009 mg/kg para mercurio y 0,00003 mg/kg para arsénico. A pesar de estas bajas concentraciones, la capacidad de acumulación y el potencial cancerígeno de estos metales son motivo de preocupación (7).

Un estudio realizado para evaluar el grado de contaminación de alimentos en la zona minera de Zaruma-Portovelo reveló una concentración promedio de mercurio de 0.318 ppm en el hígado de ganado vacuno y 0.1045 ppm en café tostado y molido. Sin embargo, no se detectó presencia de mercurio en la esencia de café ni en la leche de vaca. Estos resultados indican la presencia de contaminación en partes por millón (ppm) en algunos alimentos, vinculada a las actividades mineras de la región (8).

Estudio metalómico del mercurio en la leche materna recogida de la población ribereña del área de influencia de la cuenca del río Ahe Jirau-Madeira. Las metodologías empleadas en el estudio de biomarcadores vinculados a metaloproteínas asociadas con el mercurio en muestras de leche de madres demostraron ser comparativamente efectivas. La aplicación de la técnica de electroforesis bidimensional (2D-PAGE) permitió una separación adecuada de las proteínas. Al analizar la presencia de mercurio en los puntos proteicos obtenidos a lo largo del proceso de separación por 2D-PAGE, se identificó la existencia de mercurio en dos puntos proteicos designados como 1 y 2. Estos

puntos proteicos exhibieron concentraciones de mercurio de 4.70 mg/g y 12.06 mg/g, correspondientemente (9).

Al evaluar la contaminación por mercurio en la minería artesanal aurífera en la comunidad de Santa Filomena, Ayacucho, Perú, entre agosto de 2002 y septiembre de 2001. Los resultados mostraron que el 67.74% de los participantes (21 de 31 muestras) tenían niveles elevados de mercurio, con concentraciones entre 41 y 90 $\mu\text{g/L}$, según las directrices de la Organización Mundial de la Salud (OMS). Los grupos más afectados fueron adultos jóvenes de entre 24 y 34 años (29,03%) y niños de 2 a 12 años (19,35%), con valores dentro del mismo rango. En términos de género, el 75% de las mujeres evaluadas (6 muestras) y el 65.22% de los hombres (15 muestras) presentaron concentraciones de mercurio en orina entre 40 y 90 $\mu\text{g/L}$. Asimismo, el 58.06% de los participantes expuestos entre 0 y 7 horas semanales también mostraron niveles significativos de mercurio en orina en ese rango (10).

Se realizó un estudio sobre las causas de la presencia de metales pesados en la leche de bovino en Cajamarca. Diversas investigaciones en toxicología, epidemiología, bioquímica y fisiología han mostrado los efectos adversos en la salubridad de los pobladores expuestos, incluyendo su relación con enfermedades como el cáncer. Es importante señalar que no existe una concentración segura del metal pesado dentro del organismo, lo que resalta la necesidad de llevar a cabo evaluaciones exhaustivas en individuos en riesgo de exposición. Los órganos y sistemas más vulnerables a la toxicidad de estos metales son los riñones, el sistema nervioso y el sistema hematológico. La presencia de plomo en la sangre (plumbemia) y niveles altos de zinc protoporfirina pueden tener efectos negativos significativos en la salud (11)

El estudio titulado "Presencia de metales pesados (Hg, As, Pb y Cd) en agua y leche en la cuenca del río Coata 2015" analizó la concentración de metales pesados en estos dos elementos en la cuenca del río Coata durante 2015. Los resultados mostraron que las concentraciones de mercurio en el agua estaban

por debajo de 0.00020 mg/l, el arsénico tenía una concentración promedio de 0.048 mg/l, el plomo 0.014 mg/l y el cadmio estaba por debajo de 0.00050 mg/l. Ninguno de estos metales superó los estándares nacionales de calidad ambiental del Ministerio del Ambiente Peruano para el consumo animal y el riego de vegetales. En la leche, la concentración promedio de mercurio fue de 0.0028 mg/l, que se encontraba dentro del límite máximo permisible según la norma técnica ecuatoriana (0.005 mg/kg). Sin embargo, el arsénico presentó un promedio de 0.43 mg/l, superando el límite permitido de 0.015 mg/kg, y el plomo alcanzó un promedio de 0.21 mg/l, excediendo el límite establecido por el Codex Alimentarius y la Unión Europea (0.020 mg/kg). Por otro lado, la concentración promedio de cadmio fue de 0.0037 mg/l, lo que no superó el límite máximo permitido según la norma técnica rumana (0.010 mg/kg) (12).

2.2. Marco teórico.

2.2.1. Metabolización del Mercurio

Una vez que el mercurio ingresa al organismo, tiende a acumularse en tejidos como el bazo y puede atravesar la barrera hematoencefálica debido a su solubilidad en lípidos. También se ha constatado que se acumula en las mitocondrias y lisosomas de las células. En el caso de especies marinas como delfines, marsopas, morsas y focas, la concentración de mercurio en los ovarios ha sido identificada como significativa en ciertos estudios científicos. (13).

2.2.2. Toxicología del Mercurio

El mercurio incrementa su toxicidad cuando se presenta en forma de compuestos solubles en lípidos, siendo las formas orgánicas más dañinas que las inorgánicas. El impacto tóxico del mercurio fluctúa dependiendo del compuesto específico, y esta toxicidad se intensifica con la solubilidad en lípidos característica de las formas orgánicas. Estas últimas resultan ser más perjudiciales en comparación con las formas inorgánicas y poseen una estructura menos compleja (14).

La administración de una dosis de 8 gramos de mercurio en bovinos puede resultar en toxicidad, evidenciada por la aparición de síntomas como hemorragias, diarrea con presencia de sangre, fatiga, inflamación, debilidad, gastroenteritis, exceso de salivación, neumonía, falta de apetito, disminución en la producción de orina y orina con una densidad anormal. En el análisis microscópico del sedimento urinario, se puede observar la presencia de cilindros y células renales, lo que indica una necrosis renal, uremia, anuria y, en última instancia, el fallecimiento del animal (15).

2.2.3. Medios de contaminación de Mercurio

La cantidad letal por ingestión de distintas sales de mercurio se acerca a aproximadamente 1 gramo, habiéndose registrado casos fatales con tan solo 0.5 gramos ingeridos por vía oral. Los efectos de la dosis y su influencia pueden variar debido a diversas variables como el estado nutricional, género, edad y otros, además de depender del tipo específico de compuesto de mercurio presente. Se ha observado que la neurotoxicidad constituye uno de los principales impactos perjudiciales del mercurio, afectando tanto al sistema nervioso como al digestivo y renal (16)

La exposición aguda al mercurio puede tener un impacto en el desarrollo neuronal, lo que puede resultar en retrasos mentales o trastornos neurológicos potenciales. En el caso de la intoxicación cardíaca, los niños pueden experimentar dificultades en su aprendizaje y comportamiento, conocido como el "síndrome del bebé tranquilo". Hay una mayor susceptibilidad a los problemas del habla y desafíos en la coordinación motora relacionado con las concentraciones de mercurio, acompañados de episodios de ansiedad, excitación, cambios de humor, dificultades para dormir, pérdida de apetito, agitación y alteraciones tanto cognitivas como motoras. Además, se ha registrado un incremento en la frecuencia de enfermedades infecciosas en estas condiciones (17).

2.2.4. Mercurio en el agua

Uno de los principales problemas relacionados con el medio ambiente y la salud pública es la contaminación de los ríos debido al empleo de mercurio en la minería de oro aluvial. Este tema ha alcanzado niveles preocupantes y abarca una serie de factores complejos que van más allá de la esfera ambiental, incluyendo aspectos sociales, económicos y culturales. En este contexto, la principal fuente de contaminación del agua con mercurio proviene, en su mayoría, de prácticas de minería artesanal e informal. La toxicidad del mercurio tiene efectos extremadamente dañinos en las fuentes de agua, los ecosistemas y la salud humana. Este impacto negativo no solo afecta a los mineros que participan en la extracción de oro, sino que también repercute en la población en general (18).

2.2.5. Mercurio en la leche

El mercurio es un metal que se encuentra en la naturaleza tanto por procesos naturales como por actividades industriales humanas. En el medio ambiente, puede presentarse en varias formas, siendo las sales inorgánicas y los compuestos orgánicos las más significativas en la cadena alimentaria humana. Aunque la principal fuente de mercurio en la dieta actual proviene del consumo de productos marinos, no se debe menospreciar la relevancia del mercurio presente en la leche y sus derivados. Estos productos son importantes en la alimentación humana, especialmente en la infancia, y podrían convertirse en la vía principal de exposición al mercurio en caso de contaminación. Además, la forma en que el mercurio se encuentra en la leche, su distribución en las diferentes partes de la leche humana y bovina, así como su interacción con las proteínas presentes en estos alimentos, pueden afectar su absorción en el tracto intestinal (19)

2.3. Definición de término.

Mercurio (Hg). – El mercurio es un elemento químico que se encuentra en forma líquida a temperatura ambiente y tiene múltiples usos en diferentes campos. Sin embargo, sus formas naturales e inorgánicas

resultan peligrosas y pueden generar consecuencias desfavorables para los órganos y el sistema nervioso. Este elemento químico es conocido por su toxicidad y su capacidad para causar diversas enfermedades, especialmente aquellas que resultan de la exposición ambiental o del consumo de alimentos contaminados provenientes de fuentes como ríos y océanos (20)

Concentración de Mercurio. - La presencia de mercurio en el cuerpo, en diversas cantidades, puede inducir modificaciones en el cerebro de los bebés, mientras que en niveles elevados, puede generar perturbaciones neurológicas en los adultos. Por ello, es de relevancia primordial que la exposición al mercurio sea reducida al mínimo y sea controlada a través de procesos biológicos de desintoxicación. Estos procedimientos son ejecutados por diferentes conjuntos de organismos que varían en su capacidad para eliminar el mercurio en su forma orgánica. (16).

Concentración de Mercurio en el agua y leche. - La presencia de mercurio en el entorno ha sido amplificada debido a las acciones humanas, y este elemento se encuentra en alimentos, aire, suelo y agua. (21)

En Europa, la concentración de mercurio en distintos alimentos estaba regulada por la Directiva 315/93/CEE. Sin embargo, no había normativas específicas para ciertos productos alimenticios como el queso, la sal, los ácidos, las pastas y el agua potable, para los cuales se establecieron posteriormente límites de 0,5 mg/kg, 1 mg/kg, 0,05 mg/kg, 1 mg/kg y 1 mg/L, respectivamente. Además, el contenido máximo permitido de mercurio en grasas lácteas y aceites se fijó en 0,1 mg/kg de peso fresco (22). Según la OMS (Organización Mundial de la Salud), se ha establecido que la ingesta tolerable de mercurio es de 0,3 mg por día, mientras que para el metilmercurio es de 0,2 mg por semana (16).

Leche. - La leche es un producto lácteo ampliamente consumido y apreciado en todo el mundo, conocido por su valor nutricional y su papel en la alimentación humana. Es un líquido de color blanco que es producido

por las glándulas mamarias de los mamíferos, principalmente las vacas, y utilizado como alimento tanto para las crías como para los seres humanos. La composición de la leche y sus componentes, incluyendo los nutrientes, proteínas, lípidos, carbohidratos, vitaminas y minerales presentes en la leche de diferentes especies animales. (23).

Características de la leche. - La leche presenta características físicas, químicas y organolépticas que definen las propiedades y la calidad de este producto lácteo. Estas características incluyen aspectos como la composición nutricional, la apariencia física, el sabor, el aroma, la textura y la estabilidad de la leche. (24).

Zonas Mineras. – Una zona minera se refiere a una región geográfica o área específica que está caracterizada por la presencia y actividad significativa de la extracción y explotación de minerales y recursos mineros (25)

CAPÍTULO III: METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

3.1. Tipo de estudio.

El estudio adoptó un enfoque descriptivo, permitiendo una descripción exhaustiva de las concentraciones de mercurio en el agua y la leche producidas en diferentes zonas mineras de la provincia de Tambopata. Además, se analizó los niveles de mercurio en las muestras, lo que facilitó la identificación de contaminación en zonas cercanas a la actividad minera.

3.2. Diseño del estudio.

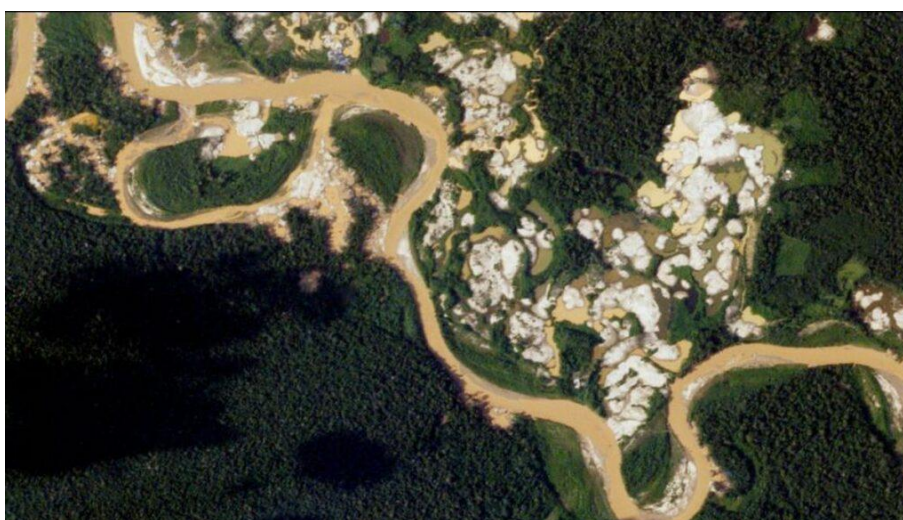
El diseño del estudio fue transversal y comparativo, en el que se recolectaron datos de muestras de agua y leche de vacas en distintas zonas dentro del perímetro de la provincia de Tambopata en un solo momento, con la finalidad de determinar y realizar la comparación de los niveles de mercurio que se encontraron en estas muestras mediante técnicas analíticas de laboratorio. Las zonas fueron seleccionadas mediante muestreo aleatorio, y se realizó un análisis estadístico para identificar diferencias significativas en el perímetro de 20 km cercanos a la minería.

3.3. Población y muestra.

Se recolectaron 10 muestras de agua y 20 muestras de leche en zonas cercanas a las áreas mineras de la provincia de Tambopata, en el departamento de Madre de Dios, utilizando un procedimiento adecuado de almacenamiento, transporte y análisis para asegurar la validez de los resultados. La toma de las muestras fue en un radio de menos de 20 km de las zonas mineras, con el propósito de analizar el posible impacto de la actividad minera en la contaminación por mercurio.

3.4. Ubicación del área de estudio.

Se realizaron muestreos en el río Tambopata, específicamente en el sector La Pampa, para analizar la concentración de mercurio en el agua. Para determinar los niveles de mercurio en la leche, se recolectaron muestras de productores de bovinos ubicados en proximidad a las zonas mineras. Posteriormente, las muestras fueron analizadas en el laboratorio de química del Instituto de Investigación de la Amazonía Peruana (IIAP) en Madre de Dios.



Coordenadas 12°53'47"S 69°59'46"O

Entidad: Área Minera

Figura 1: Río de Tambopata sector La Pampa

3.5. Métodos y técnicas.

Selección de Sitios de Muestreo: La identificación y selección de los sitios de muestreo en las zonas mineras de la provincia de Tambopata se realizó considerando la intensidad de la actividad minera, así como la proximidad a fuentes de agua y áreas de pastoreo utilizadas por los productores de bovinos. Estos factores fueron fundamentales para asegurar que las muestras recolectadas reflejaran el impacto potencial de la minería en la calidad del agua y la leche.

Recolección de Muestras de Agua: La recolección de muestras de agua se efectuó en diversas fuentes, tales como ríos, arroyos y cuerpos de agua cercanos a las zonas mineras. Se emplearon recipientes estériles y apropiados para garantizar la integridad de las muestras y evitar cualquier tipo de contaminación que pudiera alterar los resultados.

Recolección de Muestras de Leche: La obtención de muestras de leche se realizó en bovinos de distintas fincas lecheras ubicadas en las zonas mineras. Durante el proceso de recolección, se siguieron estrictas pautas de higiene, asegurando el uso de materiales estériles para evitar la contaminación cruzada y preservar la calidad de las muestras para posteriormente ser analizadas en laboratorio.

Preparación de Muestras: Se llevó a cabo siguiendo protocolos específicos. Teniendo en cuenta que cada muestra de agua se filtró para eliminar impurezas y se conservaron a temperaturas controladas para prevenir cambios en su composición. Por otro lado, las muestras de leche se homogeneizaron y se refrigeraron inmediatamente para mantener su integridad. Ambas muestras se etiquetaron con información relevante, como la fecha y el lugar de recolección, antes de ser enviadas al laboratorio para su análisis de concentración de mercurio.

Análisis de Mercurio en el Laboratorio: Se utilizó la técnica de espectrofotometría de absorción atómica para medir las concentraciones de mercurio en las muestras de agua y leche. Este método permitió una detección precisa y cuantitativa del mercurio en ambas matrices, garantizando la validez de los resultados obtenidos.

Registro de Datos: Se llevó a cabo una documentación detallada de los datos de muestreo, que incluyó información sobre la ubicación, la fecha, la hora y las condiciones ambientales en el momento de la recolección. Este registro minucioso fue fundamental para asegurar la trazabilidad de las muestras y facilitar la interpretación de los resultados analíticos, permitiendo correlacionar los datos con factores ambientales que pudieran influir en las concentraciones de mercurio.

Comparación con Estándares: Se realizó una comparación de la concentración de mercurio hallados en las muestras con los estándares de

seguridad y calidad establecidos a nivel nacional e internacional. Este análisis permitió evaluar la contaminación en las muestras de agua y leche, así como el riesgo potencial para la salud humana y el medio ambiente. Identificar cualquier superación de los límites fijados fue esencial para comprender la contaminación de la minería en la región y para orientar posibles acciones de mitigación.

Análisis de las muestras

La técnica analítica utilizada para analizar la concentración de mercurio se realizó utilizando espectrofotometría de absorción atómica (EAA), que se emplea para cuantificar las concentraciones de mercurio en muestras de agua y leche. Esta técnica se basa en la capacidad de los átomos para absorber luz a longitudes de onda específicas, lo que posibilita cuantificar la concentración de este elemento químico en las muestras analizadas.

El procedimiento de la EAA en la evaluación de mercurio en las muestras comprendió los siguientes pasos:

Preparación de Muestras:

Las muestras de agua y leche previamente recolectadas fueron preparadas para el análisis, lo que incluyó la digestión de las muestras. El propósito de este proceso era extraer el mercurio de su matriz y transformarlo en una forma apta para la medición, lo que asegura la exactitud y confiabilidad en el resultado obtenido en el análisis de la concentración de mercurio.

Selección de Longitud de Onda:

Se seleccionó una longitud de onda específica de luz que es absorbida por el mercurio en su estado elemental. Esta elección fue crucial para asegurar la selectividad y precisión del análisis, permitiendo una cuantificación más precisa de las concentraciones de mercurio en las muestras de agua y leche.

Calibración:

Se prepararon soluciones de referencia con concentraciones conocidas de mercurio. Estas soluciones se emplearon para crear una curva de calibración que vinculaba la absorción de la luz con las concentraciones

de mercurio en las muestras. Este procedimiento permitió establecer un patrón de referencia que facilitó la cuantificación precisa del mercurio en cada muestra de agua y leche.

Análisis de Muestras:

Cada muestra de agua y leche se colocó en el espectrofotómetro de absorción atómica. La luz con la longitud de onda seleccionada atravesó cada muestra, y se registró la cantidad de luz absorbida. Este proceso permitió determinar la cantidad de mercurio en que encontraba, empleando la correlación entre la absorción y la concentración que se estableció en la curva calibrada.

Medición de Absorbancia:

La cantidad de luz absorbida por el mercurio en la muestra se convirtió en una señal de absorbancia. Esta señal se utilizó para calcular la concentración de mercurio en las muestras de agua y leche, proporcionando datos precisos para evaluar la contaminación por mercurio en las áreas analizadas.

Interpolación en la Curva de Calibración:

La absorbancia medida en las muestras se comparó con la curva de calibración para determinar la concentración de mercurio en cada una. Este procedimiento permitió cuantificar con precisión la cuantificación del mercurio que se encontró en cada muestra de agua y leche, facilitando la evaluación de su posible impacto en la salud y el medio ambiente.

Cálculos y Resultados:

Se realizaron los cálculos necesarios para convertir la absorbancia en concentración de mercurio. Los resultados obtenidos se expresaron en unidades de medida apropiadas, como microgramos por litro ($\mu\text{g/L}$) o partes por millón (ppm), lo que facilitó la interpretación del nivel de mercurio en cada muestra de agua y leche analizadas.

Control de Calidad:

Se llevaron a cabo medidas de control de calidad para asegurar la precisión y exactitud de los resultados. Esto incluyó el análisis de muestras de referencia certificadas, lo que permitió validar los métodos utilizados y garantizar la confiabilidad de los datos obtenidos. Los resultados finales se

presentaron como valores de concentración de mercurio en las muestras de agua y leche, lo que facilitó su interpretación y comparación con los estándares de seguridad establecidos.

La espectrofotometría de absorción atómica es una técnica frecuentemente utilizada para la determinación cuantitativa de elementos en muestras en estado líquido (26)

3.6. Tratamiento de los datos.

Se llevó a cabo un análisis de comparación de medias entre los dos grupos. Los promedios se evaluaron utilizando la prueba estadística t o un ANOVA (Análisis de Varianza) para establecer si había diferencias significativas en los niveles de mercurio entre las concentraciones de mercurio en el agua y en la leche de bovinos de las áreas mineras de la provincia de Tambopata.

CAPÍTULO IV: RESULTADOS DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

Item	Código de muestra	Tipo de muestra	Mercurio Total (mg/L)	Obs.
1	M-01	Agua	0.0005	Por debajo del ECA Categoría 3. Por encima del ECA Categoría 4.
2	M-02	Agua	0.0000	Por debajo del ECA Categoría 3. Por debajo del ECA Categoría 4.
3	M-03	Agua	0.0000	Por debajo del ECA Categoría 3. Por debajo del ECA Categoría 4.
4	M-04	Agua	0.0000	Por debajo del ECA Categoría 3. Por debajo del ECA Categoría 4.
5	M-05	Agua	0.0007	Por debajo del ECA Categoría 3. Por encima del ECA Categoría 4.
6	M-06	Agua	0.0010	Por debajo del ECA Categoría 3. Por encima del ECA Categoría 4.
7	M-07	Agua	0.0005	Por debajo del ECA Categoría 3.

				Por encima del ECA Categoría 4.
8	M-08	Agua	0.0004	Por debajo del ECA Categoría 3. Por encima del ECA Categoría 4.
9	M-09	Agua	0.0000	Por debajo del ECA Categoría 3. Por encima del ECA Categoría 4.
10	M-10	Agua	0.0003	Por debajo del ECA Categoría 3. Por encima del ECA Categoría 4.

Tabla 1. Nivel de concentración de mercurio en el agua que consumen los bovinos en zonas mineras de la provincia de Tambopata.

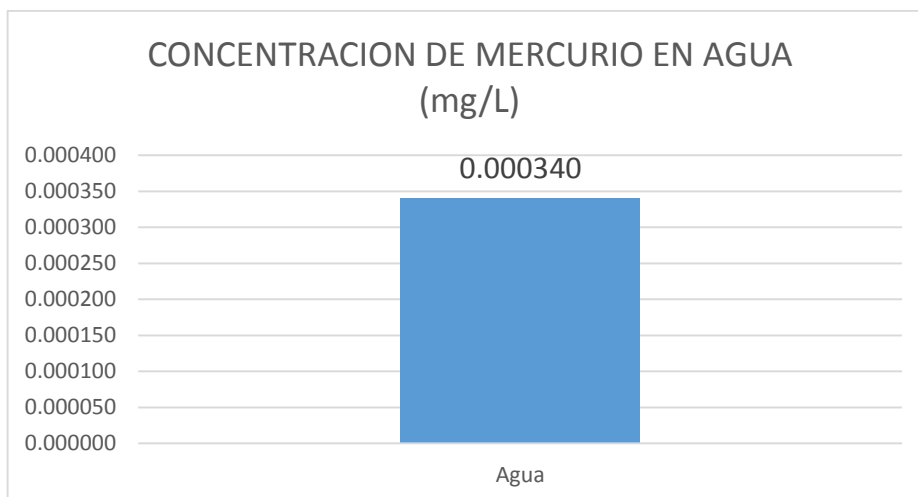
DESCRIPTIVOS NIVELES DE CONCENTRACION DE MERCURIO EN AGUA

	N	Media	Desviación estándar	Error estándar	95% de intervalo de confianza para la media		Mínimo	Máximo
					Límite inferior	Límite superior		
Agua	10	0.000340	0.0003471	0.0001097	0.000092	0.000588	0.0000	0.0010

En la tabla 1. Los resultados indican que las concentraciones de mercurio total en las muestras de agua analizadas varían entre 0.0000 mg/L y 0.0010 mg/L. Todos los valores se encuentran por debajo del límite establecido para la Categoría 3 de los Estándares de Calidad Ambiental (ECA), lo que sugiere que no representan un riesgo para la preservación del medio acuático. No obstante, en la mayoría exceden los límites permitidos para la Categoría 4, lo que indica que estas concentraciones son inapropiadas para el riego y otras actividades que implican contacto humano. Esto sugiere que el agua en estas áreas mineras podría no ser segura para su uso en actividades agrícolas, lo

que genera inquietudes sobre la salud pública y la seguridad alimentaria.

Figura 1. Nivel de concentración de mercurio en el agua que consumen los bovinos en zonas mineras de la provincia de Tambopata.



Fuente: Elaboración propia.

En la figura 1. Los niveles promedio de concentración de mercurio en el agua consumida por los bovinos en las zonas mineras de la provincia de Tambopata, que es de 0.000340 mg/L, son motivo de preocupación. Aunque este valor está por debajo del límite establecido para la Categoría 3 de los Estándares de Calidad Ambiental (ECA), supera los límites permitidos para la Categoría 4. Esto sugiere que el agua no es adecuada para el riego ni para el consumo animal. Esta situación puede poner en riesgo la salud de los bovinos y representar un peligro potencial para la salud pública, ya que el mercurio puede acumularse en los tejidos y transferirse a la cadena alimentaria a través de la carne y los productos lácteos. Por lo tanto, es fundamental realizar un monitoreo continuo de la calidad del agua y evaluar las implicaciones de estos niveles de contaminación para implementar medidas de mitigación que protejan tanto la salud animal como la humana.

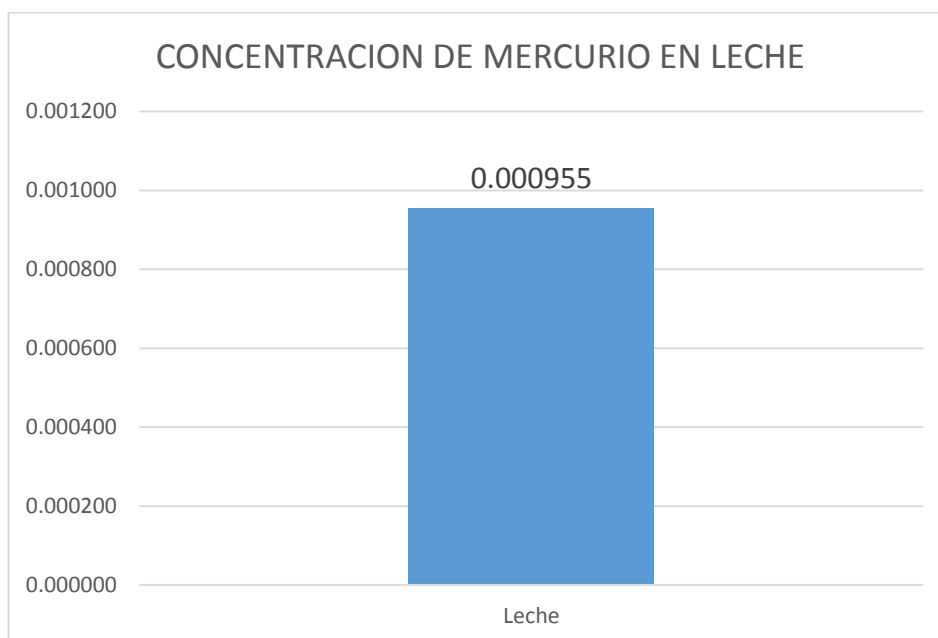
Tabla 2. Nivel de concentración de mercurio en la leche de bovinos en zonas mineras de la provincia de Tambopata.

Item	Código de muestra	Tipo de muestra	Mercurio Total (mg/Kg)	Obs.
11	M-11	Leche	0.0014	Por debajo de 0.005 mg/kg de la Norma Técnica Ecuatoriana NTE 0009:2008
12	M-12	Leche	0.0005	Por debajo de 0.005 mg/kg de la Norma Técnica Ecuatoriana NTE 0009:2009
13	M-13	Leche	0.0000	Por debajo de 0.005 mg/kg de la Norma Técnica Ecuatoriana NTE 0009:2008
14	M-14	Leche	0.0043	Por debajo de 0.005 mg/kg de la Norma Técnica Ecuatoriana NTE 0009:2009
15	M-15	Leche	0.0033	Por debajo de 0.005 mg/kg de la Norma Técnica Ecuatoriana NTE 0009:2009
16	M-16	Leche	0.0002	Por debajo de 0.005 mg/kg de la Norma Técnica Ecuatoriana NTE 0009:2009
17	M-17	Leche	0.0000	Por debajo de 0.005 mg/kg de la Norma Técnica Ecuatoriana NTE 0009:2008
18	M-18	Leche	0.0000	Por debajo de 0.005 mg/kg de la Norma Técnica Ecuatoriana NTE 0009:2008
19	M-19	Leche	0.0000	Por debajo de 0.005 mg/kg de la Norma Técnica Ecuatoriana NTE 0009:2008
20	M-20	Leche	0.0000	Por debajo de 0.005 mg/kg de la Norma Técnica Ecuatoriana NTE 0009:2008
21	M-21	Leche	0.0004	Por debajo de 0.005 mg/kg de la Norma Técnica Ecuatoriana NTE 0009:2008
22	M-22	Leche	0.0003	Por debajo de 0.005 mg/kg de la Norma Técnica Ecuatoriana NTE 0009:2009
23	M-23	Leche	0.0000	Por debajo de 0.005 mg/kg de la Norma Técnica Ecuatoriana NTE 0009:2008
24	M-24	Leche	0.0000	Por debajo de 0.005 mg/kg de la Norma Técnica Ecuatoriana NTE 0009:2008
25	M-25	Leche	0.0000	Por debajo de 0.005 mg/kg de la Norma Técnica Ecuatoriana NTE 0009:2008
26	M-26	Leche	0.0007	Por debajo de 0.005 mg/kg de la Norma Técnica Ecuatoriana NTE 0009:2009
27	M-27	Leche	0.0053	Por encima de 0.005 mg/kg de la Norma Técnica Ecuatoriana NTE 0009:2009
28	M-28	Leche	0.0008	Por debajo de 0.005 mg/kg de la Norma Técnica Ecuatoriana NTE 0009:2009
29	M-29	Leche	0.0011	Por debajo de 0.005 mg/kg de la Norma Técnica Ecuatoriana NTE 0009:2010
30	M-30	Leche	0.0008	Por debajo de 0.005 mg/kg de la Norma Técnica Ecuatoriana NTE 0009:2011

DESCRIPTIVOS NIVELES DE CONCENTRACION DE MERCURIO EN LECHE

	N	Media	Desviación estándar	Error estándar	95% de intervalo de confianza para la media		Mínimo	Máximo
					Límite inferior	Límite superior		
Leche	20	0.000955	0.0015340	0.0003430	0.000237	0.001673	0.0000	0.0053

En la tabla 2. Los resultados muestran las concentraciones de mercurio total en las muestras de leche analizadas mostrando valores que oscilan entre 0.0000 mg/kg y 0.0053 mg/kg. La mayoría de la muestra (19 de 20) están por debajo del límite permitido de 0.005 mg/kg establecido por la Norma Técnica Ecuatoriana NNT 0009:2008 y sus versiones posteriores, lo que indica que estas concentraciones son aceptables y no representan inseguridad para la salud humana. Sin embargo, una muestra (M-27) presenta una concentración de 0.0053 mg/kg que excede el límite de esa leche. En general, aunque la mayoría de las muestras cumplen con estándares de seguridad, es importante monitorear la muestra que excede los límites para garantizar la salud pública. Figura 2. Nivel de concentración de mercurio en la leche de bovinos en zonas mineras de la provincia de Tambopata.



Fuente: Elaboración propia.

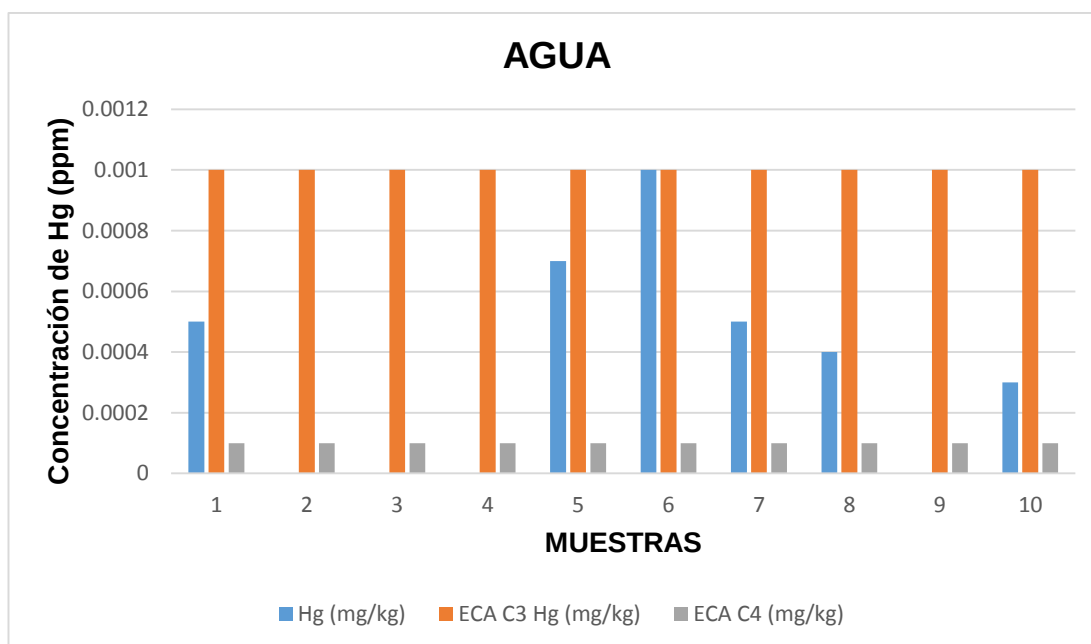
La Figura 2. Muestra que el nivel promedio de concentración de mercurio en la leche de bovinos en las zonas mineras de la provincia de Tambopata es de 0.000955 mg/Kg, lo que genera serias preocupaciones sobre la seguridad de los productos lácteos de esta región. Este valor indica un riesgo potencial para los consumidores, ya que la exposición al mercurio pudiendo ocasionar problemas adversos en la salud, como problemas neurológicos y de desarrollo, especialmente en grupos vulnerables como niños y mujeres embarazadas. Además, este nivel promedio sugiere una acumulación de mercurio en los bovinos, probablemente debido al consumo de agua contaminados, lo que resalta la importancia de un monitoreo exhaustivo y la aplicación de medidas de mitigación en las áreas mineras para salvaguardar la salud de los animales y de las personas.

Tabla 3. Comparación significativa y límites aceptables de la concentración de mercurio en el agua y la leche en zonas mineras de la provincia de Tambopata.

Item	Tipo de muestra	Mercurio Total (mg/L)	Límites aceptables	Sig.
1	Agua	0.000340	Categoría 3. 0.001(mg/L) Categoría 4. 0.0001(mg/L)	0.225
2	Leche	0.000955	0.005 mg/kg de la Norma Técnica Ecuatoriana NTE 0009:2008	0.101

En la tabla 3. Los resultados muestran la concentración de mercurio en el agua (0.000340 mg/L) cumple con la norma de calidad inferior (0.001 mg/L) pero excede el límite más estricto para consumo humano (0.0001 mg/L), lo que plantea un potencial riesgo si se utiliza para este fin. En la leche, la concentración de mercurio (0.000955 mg/kg) está dentro del límite aceptable de 0.005 mg/kg según la Norma Técnica Ecuatoriana NTE 0009:2008, garantizando su seguridad para consumo. La significancia estadística refuerza que las concentraciones medidas no difieren significativamente de los límites establecidos, destacando la necesidad de priorizar controles en agua y mantener monitoreos regulares.

Figura 3. Comparación de los límites aceptables de la concentración de mercurio en el agua en zonas mineras de la provincia de Tambopata.

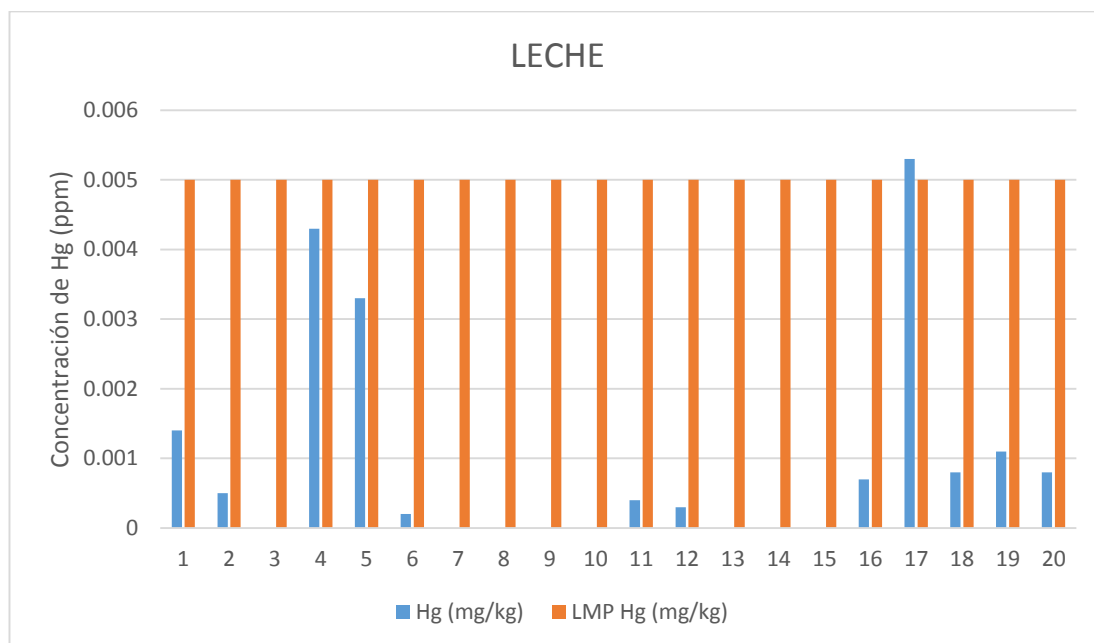


La Figura 3. El promedio de concentración de mercurio en el agua analizada en las zonas mineras de la provincia de Tambopata es de 0.000340 mg/L. Este valor se encuentra por debajo del límite establecido para la Categoría 3 de los Estándares de Calidad Ambiental (ECA), que es ≤ 0.001 mg/L, lo que sugiere que el agua es aceptable para ciertas actividades recreativas. Sin embargo, el promedio supera el límite para la Categoría 4, que es ≥ 0.0001 mg/L. Esto indica que el agua no es adecuada para el riego ni para el consumo de los bovinos, lo que plantea preocupaciones sobre la salud de los animales y, por ende, de los consumidores humanos que podrían estar expuestos a residuos de mercurio a través de la cadena alimentaria.

La muestra que el agua tiene una concentración de mercurio que supera los límites aceptables para su uso en riego y consumo animal, lo que podría suponer un riesgo considerable para la salud de los bovinos y de los humanos que consumen productos derivados. Por otro lado, aunque la leche se encuentra dentro de los límites seguros para el consumo humano, la proximidad del valor promedio al límite crítico sugiere que es fundamental implementar medidas de mitigación y monitoreo riguroso en estas áreas

mineras. Esto es esencial para abordar la contaminación por mercurio y proteger tanto la salud pública como la de los animales.

Figura 4. Comparación de los límites aceptables de la concentración de mercurio en la leche en zonas mineras de la provincia de Tambopata.



La Figura 4. El promedio de concentración de mercurio en la leche de los bovinos, el promedio de concentración de mercurio es de 0.000955 mg/Kg, que está por debajo del límite aceptable para el consumo humano de 0.005 mg/Kg. Aunque este resultado sugiere que la leche podría ser segura para el consumo, el valor se encuentra relativamente cercano al límite crítico, lo que genera inquietudes sobre la exposición acumulativa en los bovinos. La cercanía al límite resalta la importancia de realizar un monitoreo constante de la calidad de la leche para garantizar que no se excedan los niveles de mercurio en el futuro.

DISCUSIÓN

Las concentraciones de mercurio en las muestras de leche de bovinos analizadas varían entre 0.0000 mg/L y 0.0053 mg/L. En 19 de las 20 muestras, los niveles de mercurio se encuentran por debajo de los límites establecidos por la Norma Técnica Ecuatoriana NTE 0009:2008, que es de 0.005 mg/kg, lo que indica que estas concentraciones no representan un riesgo significativo para la salud humana. Sin embargo, una muestra (M-27) superó ligeramente este límite, alcanzando una concentración de 0.0053 mg/L. Esto podría suscitar preocupaciones sobre la seguridad alimentaria si se produce una exposición prolongada a leche contaminada.

Los resultados indican que, aunque el mercurio en la mayoría de las muestras de leche se encuentra en niveles considerados seguros según las normativas técnicas, es necesario seguir con el monitoreo y la evaluación de la presencia de metales pesados, especialmente en áreas mineras, para asegurar la salud de los consumidores y prevenir posibles riesgos a largo plazo.

Los estudios de Mendoza-Escalona et al. (2021) demostró que la acumulación de metales pesados como Co, Cu, Ni, Cd y Zn en suelos agrícolas puede derivarse del uso intensivo de agroquímicos. En nuestro estudio, si bien nos enfocamos en el mercurio en áreas mineras, hay paralelismos con la acumulación de estos metales en el agua y el suelo. La principal diferencia radica en la fuente de contaminación: mientras Mendoza-Escalona et al. señalan la agricultura intensiva como principal causa, nuestro estudio identifica la actividad minera como el factor predominante en la provincia de Tambopata. La acumulación de mercurio en agua que, aunque esté por debajo de los límites de Categoría 3 según los estándares ambientales, supera los niveles permitidos para la Categoría 4, sugiere un impacto potencial sobre la salud humana y agrícola.

Metales pesados en la leche, los niveles de mercurio en la leche de bovinos de Tambopata son generalmente bajos, con la mayoría de las muestras (19 de 20) por debajo del límite establecido por la Norma Técnica Ecuatoriana (0.005 mg/kg). Esto concuerda con los resultados obtenidos por González-

Montaña (2009) y De la Cueva et al. (2021), donde se reportaron concentraciones de metales pesados en la leche dentro de límites permitidos por las regulaciones locales y europeas. Sin embargo, una muestra (M-27) mostró un valor superior (0.0053 mg/kg), lo que debe ser considerado en futuras investigaciones para evaluar los factores que podrían haber contribuido a este resultado anómalo.

Según el estudio de Chata (2015) en la cuenca del río Coata, las concentraciones de mercurio en el agua fueron considerablemente bajas, en línea con nuestros hallazgos. No obstante, el arsénico y el plomo en ese estudio superaban los límites permisibles, lo que sugiere que en otras zonas mineras la contaminación puede variar según las actividades industriales específicas. La consistencia en los bajos niveles de mercurio en nuestro estudio y otros, como el de Monteagudo (2002), refuerza la importancia de monitorear este elemento en regiones mineras.

Los resultados obtenidos en esta investigación, así como otros trabajos previos, subrayan la necesidad de continuar con el monitoreo de metales pesados en zonas mineras. Aunque la mayoría de las concentraciones de mercurio en el agua y leche de la provincia de Tambopata están dentro de los límites permitidos, la superación de ciertos valores de referencia en muestras individuales destaca la importancia de aplicar medidas de mitigación para evitar un incremento en la contaminación. Estudios como el de López (2020) también alertan sobre los peligros a largo plazo de la exposición a metales pesados, y nuestra investigación resalta que, aunque el mercurio no sea el metal más comúnmente encontrado en estas áreas, su potencial acumulativo puede representar un riesgo a futuro.

CONCLUSIONES

El nivel de concentración de mercurio en el agua que consumen los bovinos fue de 0.00034 mg/L en zonas mineras de la provincia de Tambopata.

El nivel de concentración de mercurio en la leche de bovinos fue de 0.000955 mg/Kg en zonas mineras de la provincia de Tambopata.

La concentración de mercurio no es significativa, pero supera los límites aceptables en el agua y no supera para la leche en zonas mineras de la provincia de Tambopata.

SUGERENCIAS

Llevar a cabo un monitoreo regular y sistemático de los niveles de mercurio en el agua y la leche de bovinos en las áreas mineras de Tambopata, con el fin de garantizar que las concentraciones de mercurio se mantengan dentro de los límites aceptables y evitar cualquier aumento en el futuro.

Implementar y fortalecer las normativas locales y nacionales que regulen las actividades mineras en Tambopata, garantizando que se minimice la contaminación del agua y otros recursos naturales.

Fomentar la supervisión constante de las actividades mineras en la provincia de Tambopata, para mitigar el impacto ambiental y reducir la posible dispersión de mercurio en el entorno.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Yang, Guang. Gu., Qu, Sheng. Li. Identification of heavy metal sources in the reclaimed farmland soils of the pearl river estuary in China using a multivariate geostatistical approach. ScienceDirect. 2014.
2. Chen, Ye, Orpheus, M., Butler, Ming, Du., Wenzhi, Liu., Quanfa, Zhang. Spatio-temporal dynamics, drivers and potential sources of heavy metal pollution in riparian soils along a 600 kilometre stream gradient in Central China. ScienceDirect. 2019.
3. Salman, A., Salman, Salah., A. M., Zeid., Montser, M., Seleem, M. A., Abdel, H. Soil characterization and heavy metal pollution assessment in Orabi farms, El Obour, Egypt. SpringerOpen. 2019.
4. Azam, Karimi., Ali, Naghizadeh., Hamed, Biglari., Roya, Peirovi., Aliyeh, Ghasemi, Ahmad. Zarei. Assessment of human health risks and pollution index for heavy metals in farmlands irrigated by effluents of stabilization ponds. Springer Link. 2020.
5. Mendoza, Escalona, B., Torres, Rodríguez, D., Marcó, L. M., Gómez, C., EstangaBarrios, M., García, Orellana. Y. Concentración de metales pesados en suelos agrícolas bajo diferentes sistemas de labranza. TecnoLógicas. 2021.
6. González, Montaña, J. R. Metales pesados en carne y leche y certificación para la Unión Europea (UE). Scielo. 2009.
7. De la Cueva, F., Naranjo, A., Puga, T. B., Aragón, E. Presencia De Metales Pesados En Leche Cruda Bovina De Machachi, Ecuador. La Granja. 2021.
8. Loaiza, Farfán. E. F. Estudio para determinar el grado de contaminación de alimentos en la zona minera Zaruma-Portovelo. 2022.

9. Santos, F. A. Estudo metalômico do mercúrio em leite materno coletado da população ribeirinha da área de influência do Ahe Jirau-bacia do rio Madeira. 2013.
10. Monteagudo, Montenegro. F. A. 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 2002-septiembre 2001. 2002.
11. Lopez, Salazar. Aylin., Vásquez Huaranca, G. M. Estudio de causas de la presencia de metales pesados en leche de bovino - Cajamarca. 2020.
12. Chata, Quenta. A. Presencia de Metales Pesados (Hg, As, Pb y Cd) En Agua y Leche En la Cuenca del Rio Coata 2015. 2015.
13. Storelli, M. S. R. Total mercury in muscle of benthic and pelagic fish from the South Adriatic Sea (Italy). 2008.
14. Lucas, M. A. J. Toxicidad renal de dosis bajas de ciclosporina A en enfermos sin nefropatía. Nefrología. 2005.
15. Vadillo, J. M. Monitoring of high-temperature samples by noninvasive open-path laser plasma spectrometry. Anal Bioanal Chem.6. 2003.
16. Rubio, Armendáriz. C. Ingesta dietética de contaminantes metálicos (Hg, Pb, Cd, Fe, Cu, Zn y Mn) en la Comunidad Autónoma Canaria. Evaluación toxicológica. 2002.
17. Ramón, R. S. Synthetic, Structural and Catalytic Studies. 2011.
18. Gafner, Rojas. C. La contaminación hídrica por mercurio y su manejo en el derecho comolbiano. 2013.
19. Mata, L., Sanchez, L., Calvo, M. Mercurio en la leche. 2003.

20. Weiner, J. A. N. The relationship between mercury concentration in human organs and different predictor variables. 2003.
21. Nriagu, J. P. Quantitative assessment of worldwide contamination of air, water and soils by trace metals. 2008.
22. Rodríguez, Fuentes, H., Sánchez Alejo, E., Rodríguez, Sánchez. M., Vidales, Contreras. J. A., Acuña, Askar. K., Martínez, Turanzas, G., Rodríguez, Ortiz, J. C. Metales Pesados En Leche Cruda De Bovino. Revista Salud Pública Y Nutrición. 2005.
23. Park, Y. W. Descripción general de los componentes bioactivos en la leche y los productos lácteos. En: Componentes Bioactivos en Leche y Productos Lácteos. Parque Y W, Ed. Wiley-Blackwell Publishers, Ames, Iowa y Oxford. 2009.
24. Walstra, P., Pieter, W., Jan, T. M., Wouters, Tom, J. G. Ciencia y tecnología láctea; 2005.
25. MINEM, Ministerio de Energía y Minas. Minería. 2022.
26. Welz, B., Sperling, M. Atomic absorption spectrometry. John Wiley & Sons. 2017.

ANEXOS

Anexo 1: Matriz de consistencia.

Título: “EVALUACIÓN DE LOS NIVELES DE MERCURIO EN EL AGUA Y LECHE DE BOVINOS EN ZONAS MINERAS DE LA PROVINCIA DE TAMBOPATA”				
Nombre de tesista: Katherine Amelia Ramos Diaz				
Problema	Objetivos	Hipótesis	Variables/Indicadores	Metodología
¿Cuál será el nivel de concentración de mercurio en el agua y leche de bovinos en zonas mineras de la provincia de Tambopata?	• Evaluar el nivel de concentración de mercurio en el agua y leche de bovinos en zonas mineras de la provincia de Tambopata.	H1 = Existe un nivel significativo de concentración de mercurio en el agua y leche de bovinos en la provincia de Tambopata. H0 = No existe un nivel significativo de concentración de mercurio en el agua y leche de bovinos en la provincia de Tambopata.	Variable Nivel de concentración de mercurio en el agua y leche de bovinos Variables Dimensión Análisis de laboratorio Indicadores Microgramos por litro (µg/L)	Enfoque: Contaminación de alimentos Diseño: Descriptivo Nivel: Investigación Tipos: No experimental Método: Análisis Muestra: 15 Procedimiento: Espectrofotometría de absorción atómica (EAA)
Específicos				
Problema	Objetivos	Hipótesis		
¿Cuál es el nivel de concentración de mercurio en el agua que consumen los bovinos en zonas mineras de la provincia de Tambopata? ¿Cuál es el nivel de concentración de mercurio en la leche de bovinos en zonas mineras de la provincia de Tambopata? ¿Existen diferencias significativas y superan los límites aceptables de mercurio en el agua y la leche en zonas mineras de la provincia de Tambopata?	• Analizar el nivel de concentración de mercurio en el agua que consumen los bovinos en zonas mineras de la provincia de Tambopata. • Analizar el nivel de concentración de mercurio en la leche de bovinos en zonas mineras de la provincia de Tambopata. • Comparar la concentración de mercurio si es significativo y supera los límites aceptables en el agua y la leche en zonas mineras de la provincia de Tambopata.	H1 = Existe diferentes concentraciones de mercurio en el agua de consumo en zonas mineras de la provincia de Tambopata. H0 = No existe. H1 = Existe diferentes concentraciones de mercurio en la leche de bovinos en zonas mineras de la provincia de Tambopata. H0 = No existe. H1 = Las concentraciones de mercurio en el agua y la leche son significativas y superan los límites aceptables en las zonas mineras de la provincia de Tambopata. H0 = Las concentraciones de mercurio en el agua y la leche no son significativas y no superan los límites aceptables en las zonas mineras de la provincia de Tambopata.		

Panel fotográfico

Obtención de muestras de leche



FOTO 1: OBTENCIÓN DE MUESTRA DE LECHE

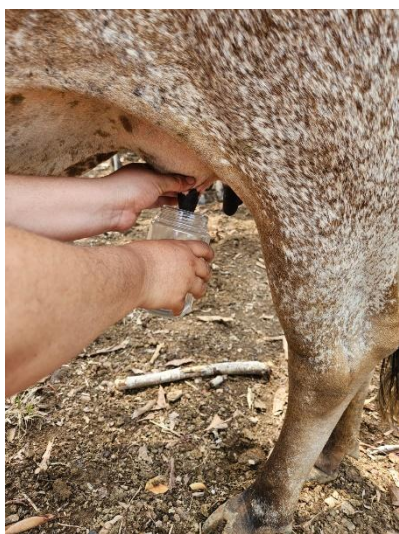


FOTO 2: TOMA DE MUESTRA DE LECHE.



FOTO 3:MUESTRA DE LECHE

Obtención de muestras de agua



FOTO 4: OBTENCION DE MUESTRA DE AGUA.



FOTO 6: LUGAR DE RECOLECCION DE AGUA.



FOTO 5: MUESTRA DE AGUA

Equipos de análisis de mercurio



FOTO 7: EQUIPO DE ANALISIS DE MERCURIO

Espectrofotómetro de absorción atómica



FOTO 8: ESPECTROFOTOMETRO DE ABSORCION ATÓMICA.

Lectura de las concentraciones de mercurio en agua

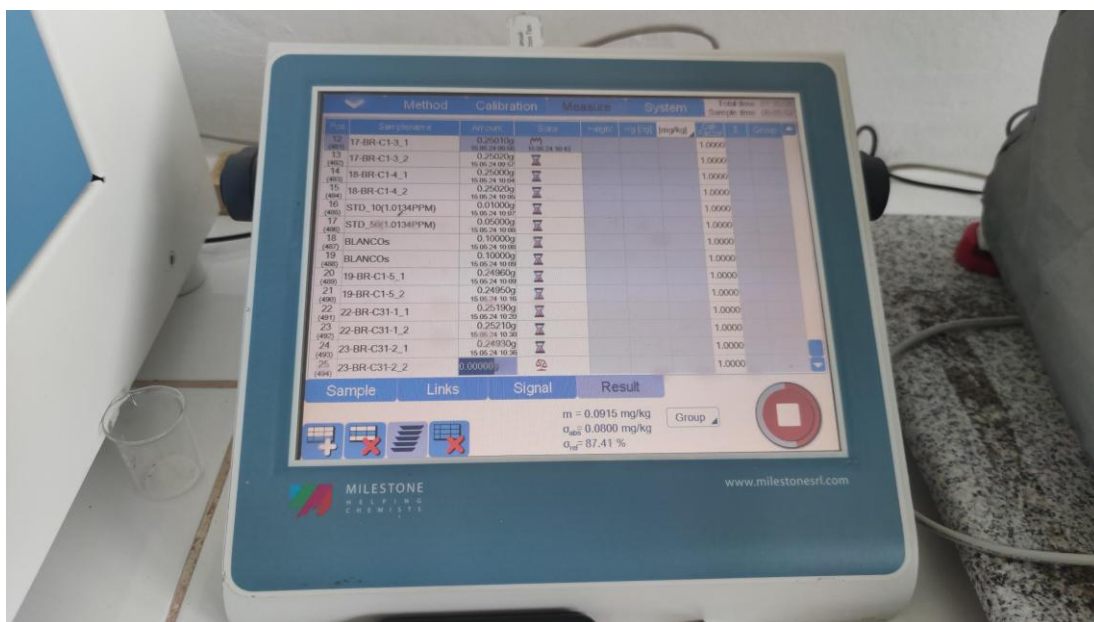


FOTO 9: LECTURA DE CONCENTRACIONES DE MERCURIO EN AGUA.

Lectura de las concentraciones de mercurio en leche



FOTO 10: LECTURA DE CONCENTRACIONES DE MERCURIO EN LECHE.

Resultados

INSTITUTO DE INVESTIGACIONES DE LA AMAZONIA PERUANA LABORATORIO DE MERCURIO Y QUÍMICA AMBIENTAL (LAMQA)



Informe de ensayo N° 001-2024

Oficina en: Jr. Ica 1662 Telefono: 51-082-571897
Centro experimental: Kilómetro 20 de la carretera interoceánica
Puerto Maldonado-Cusco

ANÁLISIS DE MERCURIO

N° Solicitud : S/N

Solicitante : Katherine Amelia Ramos Díaz

Sector : -

Distrito : Tambopata

Fecha de recep. Lab. : 18/05/2024

Fecha de reporte : 10/06/2024

Departamento : Madre de Dios

Provincia : Tambopata

Item	Código de muestra	Tipo de muestra	Mercurio Total (mg/L)	Obs.
1	M-01	Agua	0.0005	Por debajo del ECA Categoría 3. Por encima del ECA Categoría 4.
2	M-02	Agua	0.0000	Por debajo del Limite de Detección del Método
3	M-03	Agua	0.0000	Por debajo del Limite de Detección del Método
4	M-04	Agua	0.0000	Por debajo del Limite de Detección del Método
5	M-05	Agua	0.0007	Por debajo del ECA Categoría 3. Por encima del ECA Categoría 4.
6	M-06	Agua	0.0010	Por debajo del ECA Categoría 3. Por encima del ECA Categoría 4.
7	M-07	Agua	0.0005	Por debajo del ECA Categoría 3. Por encima del ECA Categoría 4.
8	M-08	Agua	0.0004	Por debajo del ECA Categoría 3. Por encima del ECA Categoría 4.
9	M-09	Agua	0.0000	Por debajo del Limite de Detección del Método
10	M-10	Agua	0.0003	Por debajo del ECA Categoría 3. Por encima del ECA Categoría 4.
11	M-11	Leche	0.0014	Por debajo de 0.005 mg/kg de la Norma Técnica Ecuatoriana NTE 0009:2008
12	M-12	Leche	0.0005	Por debajo de 0.005 mg/kg de la Norma Técnica Ecuatoriana NTE 0009:2009
13	M-13	Leche	0.0000	Por debajo de 0.005 mg/kg de la Norma Técnica Ecuatoriana NTE 0009:2008
14	M-14	Leche	0.0043	Por debajo de 0.005 mg/kg de la Norma Técnica Ecuatoriana NTE 0009:2009
15	M-15	Leche	0.0033	Por debajo de 0.005 mg/kg de la Norma Técnica Ecuatoriana NTE 0009:2009
16	M-16	Leche	0.0002	Por debajo de 0.005 mg/kg de la Norma Técnica Ecuatoriana NTE 0009:2009
17	M-17	Leche	0.0000	Por debajo de 0.005 mg/kg de la Norma Técnica Ecuatoriana NTE 0009:2008
18	M-18	Leche	0.0000	Por debajo de 0.005 mg/kg de la Norma Técnica Ecuatoriana NTE 0009:2008
19	M-19	Leche	0.0000	Por debajo de 0.005 mg/kg de la Norma Técnica Ecuatoriana NTE 0009:2008
20	M-20	Leche	0.0000	Por debajo de 0.005 mg/kg de la Norma Técnica Ecuatoriana NTE 0009:2008
21	M-21	Leche	0.0004	Por debajo de 0.005 mg/kg de la Norma Técnica Ecuatoriana NTE 0009:2008
22	M-22	Leche	0.0003	Por debajo de 0.005 mg/kg de la Norma Técnica Ecuatoriana NTE 0009:2009
23	M-23	Leche	0.0000	Por debajo de 0.005 mg/kg de la Norma Técnica Ecuatoriana NTE 0009:2008
24	M-24	Leche	0.0000	Por debajo de 0.005 mg/kg de la Norma Técnica Ecuatoriana NTE 0009:2008

25	M-25	Leche	0.0000	Por debajo de 0.005 mg/kg de la Norma Técnica Ecuatoriana NTE 0009:2008
26	M-26	Leche	0.0007	Por debajo de 0.005 mg/kg de la Norma Técnica Ecuatoriana NTE 0009:2009
27	M-27	Leche	0.0053	Por encima de 0.005 mg/kg de la Norma Técnica Ecuatoriana NTE 0009:2009
28	M-28	Leche	0.0008	Por debajo de 0.005 mg/kg de la Norma Técnica Ecuatoriana NTE 0009:2009
29	M-29	Leche	0.0011	Por debajo de 0.005 mg/kg de la Norma Técnica Ecuatoriana NTE 0009:2010
30	M-30	Leche	0.0008	Por debajo de 0.005 mg/kg de la Norma Técnica Ecuatoriana NTE 0009:2011

Método:

US EPA 7473 (Mercurio en sólidos y soluciones por descomposición térmica, amalgamación y espectrometría de absorción atómica)

Límite de detección del método: 1 ng Hg

ECA para agua Categoría 3 (Bebida para animales): 0.01 mg Hg/L

ECA para agua Categoría 4 (Conservación del medio acuático para ríos en selva): 0.0001 mg Hg/L



Firmado digitalmente por:
 MUÑOZ USHÑAHUA Adenka
 Estela FAU 20171781848 soft
 Motivo: Soy el autor del
 documento
 Fecha: 10/08/2024 15:00:14-0500

Ing. Adenka Estela Muñoz Ushñahua
Investigador en Laboratorio

Proyecto de Áreas degradadas y Manejo sistémico del Bosque

ANOVA

CONCENTRACION DE MERCURIO

	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	0.000	1	0.000	1.542	0.225
0.Dentro de grupos	0.000	28	0.000		
Total	0.000	29			

Nota: Elaboración propia.

PRUEBA DE t

		Prueba de Levene de igualdad de varianzas		prueba t para la igualdad de medias						
		F	Sig.	t	gl	Sig. (bilateral)	Diferencia de medias	Diferencia de error estándar	95% de intervalo de confianza de la diferencia	
									Inferior	Superior
CONCENTRACION	Se asumen varianzas iguales	5.095	0.032	-1.242	28	0.225	-0.0006150	0.0004953	-0.0016296	0.0003996
	No se asumen varianzas iguales			-1.708	22.589	0.101	-0.0006150	0.0003601	-0.0013608	0.0001308

Nota: Elaboración propia.