



**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO**  
**FACULTAD DE MEDICINA VETERINARIA Y**  
**ZOOTECNIA**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE MEDICINA VETERINARIA Y**  
**ZOOTECNIA**



**DETERMINACIÓN DE METALES PESADOS EN SANGRE DE**  
**ALPACAS HUACAYA EN ZONAS DE CONTAMINACIÓN**  
**MINERA**

**TESIS**

**PRESENTADA POR:**

**NIDIA LOURDES PUMA CHAVEZ**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:**

**MÉDICO VETERINARIO Y ZOOTECNISTA**

**PUNO – PERÚ**

**2025**



# NIDIA LOURDES PUMA CHAVEZ

## DETERMINACION DE METALES PESADOS EN SANGRE DE ALPACAS HUACAYA EN ZONAS DE CONTAMINACIÓN MINERA

 Universidad Nacional del Altiplano

### Detalles del documento

Identificador de la entrega

trn:oid:::8254:450846488

81 Páginas

Fecha de entrega

20 abr 2025, 7:51 p.m. GMT-5

14.672 Palabras

Fecha de descarga

20 abr 2025, 7:54 p.m. GMT-5

78.930 Caracteres

Nombre de archivo

TESIS - NIDIA L. PUMA CHAVEZ.pdf

Tamaño de archivo

3.1 MB





## 19% Overall Similarity

The combined total of all matches, including overlapping sources, for each database.

### Filtered from the Report

- ▶ Bibliography
- ▶ Quoted Text
- ▶ Cited Text
- ▶ Small Matches (less than 20 words)

### Top Sources

- 18% Internet sources
- 1% Publications
- 6% Submitted works (Student Papers)

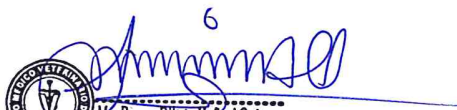

### Integrity Flags

#### 0 Integrity Flags for Review

No suspicious text manipulations found.

Our system's algorithms look deeply at a document for any inconsistencies that would set it apart from a normal submission. If we notice something strange, we flag it for you to review.

A Flag is not necessarily an indicator of a problem. However, we'd recommend you focus your attention there for further review.

  
  
Mg. Renan Dilton Harari Quispe  
FMVZ - UNA PUNO  
C.M.V.P. 9667

  
Dr. Domingo A. Ruelas Calloapaza  
DIRECTOR  
UNIDAD DE INVESTIGACIÓN FMVZ  
UNA - PUNO





UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO  
FACULTAD DE MEDICINA VETERINARIA Y ZOOTECNIA  
ESCUELA PROFESIONAL DE MEDICINA VETERINARIA Y ZOOTECNIA

---

TESIS

DETERMINACIÓN DE METALES PESADOS EN SANGRE DE ALPACAS  
HUACAYA EN ZONAS DE CONTAMINACIÓN MINERA

PRESENTADA POR:

NIDIA LOURDES PUMA CHAVEZ

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

MÉDICO VETERINARIO Y ZOOTECNISTA



APROBADA POR:

PRESIDENTE:

  
Dr. Daniel Hermilio Ramos Dueñas

PRIMER MIEMBRO:

  
Dr. Victor Meliton Zanabria Huisa

SEGUNDO MIEMBRO:

  
M.Sc. Wilbur Ruben Ayma Flores

DIRECTOR / ASESOR:

  
M.Sc Renan Dilton Hañari Quispe

Área : Salud Pública

Tema : Determinación de metales pesados en sangre de alpacas

FECHA DE SUSTENTACIÓN: 24 de abril 2025



## DEDICATORIA

Agradezco al Dios todopoderoso por concederme el don de la vida, orientarme por el camino correcto, brindarme fortaleza y sabiduría para lograr mis objetivos.

Expreso mi gratitud a mi alma mater, la Universidad Nacional del Altiplano, ya la Escuela Profesional de Medicina Veterinaria y Zootecnia, así como a los destacados docentes por los valiosos conocimientos impartidos a lo largo mi formación profesional.

Agradezco profundamente a mi madre, Aguilina Chávez Ccamaque, por su dedicación incansable en su rol materno, siendo un ejemplo de altruismo y humildad que ha marcado mi vida. Valoro enormemente el apoyo y cuidado que siempre me ha brindado, estando a mi lado en los momentos buenos y malos.

A mis hermanas Karina, Rosmery y Mirian, así como a mis familiares y amigos, expreso mi profundo agradecimiento por su constante apoyo en los momentos en que más lo necesita. Su genuino interés por mi bienestar y su presencia incondicional en los instantes más decisivos de mi vida son un testimonio de su inquebrantable compromiso y deseos sinceros de mi éxito y felicidad.

En memoria de mi abuelo Pedro Chávez y mi tío Leoncio Ticona, quienes brindaron un apoyo constante y significativo en mi desarrollo personal, dejando un legado invaluable en mi formación y crecimiento.

A mi querido M.Sc. Yan Pierr Manrique Quispe, cuyo apoyo incondicional y presencia constante han sido fundamentales en mi vida. Gracias por estar a mi lado en los momentos de felicidad y en los desafíos.

Nidia Lourdes Puma Chavez



## AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Nacional del Altiplano, por brindarnos un espacio durante nuestra etapa de formación académica y la oportunidad de crecer tanto personal como profesionalmente. A los docentes de la Escuela Profesional de Medicina Veterinaria y Zootecnia, mi sincero agradecimiento por compartir sus conocimientos y contribuir significativamente.

Al Mg Sc. Renan Dilton Hañari Quispe, expreso mi profundo agradecimiento por proporcionar las herramientas necesarias, compartir su sabiduría, mostrar paciencia y ofrecer valiosas sugerencias, así como por su dirección precisa y acertada en la realización de este trabajo de investigación.

A los distinguidos miembros del jurado: Dr. Daniel Hermilio Ramos Dueñas, Dr. Víctor Melitón Zanabria Huisa y Dr. Wilbur Rubén Ayma Flores, expreso mi sincero agradecimiento por su paciencia y valiosas sugerencias durante el desarrollo de esta tesis. Asimismo, agradezco a todos los docentes de la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia de la Universidad Nacional del Altiplano – Puno, por los conocimientos impartidos que han sido fundamentales en mi formación.

A mis compañeros y compañeras de la distinguida Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, con quienes compartí experiencias significativas de estudio, momentos de alegría y desafíos a lo largo de nuestra etapa estudiantil.

Nidia Lourdes Puma Chavez



# ÍNDICE GENERAL

	<b>Pág.</b>
<b>DEDICATORIA</b>	
<b>AGRADECIMIENTOS</b>	
<b>ÍNDICE GENERAL</b>	
<b>ÍNDICE DE TABLAS</b>	
<b>ÍNDICE DE FIGURAS</b>	
<b>ÍNDICE DE ANEXOS</b>	
<b>ACRÓNIMOS</b>	
<b>RESUMEN .....</b>	<b>14</b>
<b>ABSTRACT.....</b>	<b>15</b>
<b>CAPÍTULO I</b>	
<b>INTRODUCCIÓN</b>	
<b>1.1. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACION.....</b>	<b>17</b>
1.1.1. Objetivo General .....	17
1.1.2. Objetivos Específicos .....	17
<b>CAPÍTULO II</b>	
<b>REVISIÓN DE LITERATURA</b>	
<b>2.1. MARCO TEÓRICO .....</b>	<b>18</b>
2.1.1. Situación de la actividad minera en el Perú .....	18
2.1.2. Situación de la actividad minera en Ananea-Rinconada.....	18
2.1.3. Situación de la actividad en minera en Palca-POMASI.....	19
2.1.4. Situación de los camélidos en el Perú .....	20
2.1.5. Metales pesados .....	20
2.1.6. Metal pesado mercurio.....	23



2.1.6.1. Toxicidad de mercurio .....	23
2.1.6.2. Intoxicación aguda de mercurio .....	24
2.1.6.3. Intoxicación crónica .....	24
2.1.6.4. Toxicodinámica del mercurio .....	24
2.1.7. Metal pesado plomo .....	25
2.1.7.1. Toxicidad del plomo .....	26
2.1.7.2. Intoxicación aguda del plomo .....	26
2.1.7.3. Intoxicación crónica .....	26
2.1.7.4. Toxicocinética del plomo .....	27
2.1.7.5. Absorción del plomo .....	27
2.1.7.6. Por inhalación del plomo .....	28
2.1.7.7. Por ingestión del plomo .....	28
2.1.7.8. Distribución del plomo en el cuerpo .....	28
2.1.7.9. Eliminación .....	29
2.1.7.10. Toxicodinámica del plomo .....	31
2.1.7.11. Efectos sobre la salud por exposición a plomo .....	32
2.1.8. Antecedentes .....	32

### **CAPÍTULO III**

#### **MATERIALES Y MÉTODOS**

<b>3.1. LUGAR DE ESTUDIO .....</b>	<b>41</b>
<b>3.2. MATERIAL DE ESTUDIO .....</b>	<b>42</b>
<b>3.3. MÉTODO DE INVESTIGACIÓN .....</b>	<b>43</b>
3.3.1. Obtención de muestras de sangre de alpacas .....	43
3.3.2. Determinación de plomo y mercurio por espectrofotometría de absorción atómico por la técnica de horno de grafito .....	43



**3.4. ANÁLISIS ESTADÍSTICO ..... 48**

**CAPÍTULO IV**

**RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

**4.1. NIVELES SÉRICOS DE PLOMO EN ALPACAS EN ZONAS DE  
CONTAMINACIÓN MINERA ..... 50**

**4.2. NIVELES SÉRICOS DE MERCURIO EN ALPACAS EN ZONAS DE  
CONTAMINACIÓN MINERA ..... 54**

**V. CONCLUSIONES..... 58**

**VI. RECOMENDACIONES ..... 59**

**VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS..... 60**

**ANEXOS..... 65**



## ÍNDICE DE TABLAS

	<b>Pág.</b>
<b>Tabla 1</b> Contenido de plomo en productos de consumo .....	25
<b>Tabla 2</b> Distribución de las muestras para análisis de plomo y mercurio en suero sanguíneo de alpacas .....	42
<b>Tabla 3</b> Niveles séricos de plomo en alpacas Huacaya en tres zonas de contaminación minera .....	50
<b>Tabla 4</b> Niveles séricos de mercurio en alpacas Huacaya en tres zonas de contaminación minera .....	54
<b>Tabla 5</b> Niveles séricos de plomo en alpacas en zonas de contaminación minera ...	73
<b>Tabla 6</b> ANOVA de Un Factor para concentración de plomo en sangre de alpacas Huacaya en zonas de contaminación minera .....	75
<b>Tabla 7</b> PRUEBAS POST HO para medias de concentración de plomo en sangre de alpacas Huacaya en zonas de contaminación minera .....	75
<b>Tabla 8</b> Niveles séricos de mercurio en alpacas en zonas de contaminación minera	75
<b>Tabla 9</b> ANOVA de Un Factor .....	77



## ÍNDICE DE FIGURAS

	<b>Pág.</b>
<b>Figura 1</b> Box plot de niveles séricos de plomo (mg/L) en alpacas Huacaya en tres zonas de contaminación minera ( $p > 0.05$ ).....	51
<b>Figura 2</b> Box plot de niveles séricos de mercurio (mg/L) en alpacas Huacaya en tres zonas de contaminación minera ( $p > 0.05$ ).....	55
<b>Figura 3</b> Q-Q Plot de concentracion_plomo, al 95% de confiabilidad que muestra la normalidad de datos.....	73
<b>Figura 4</b> Histograma de concentración plomo en sangre de alpaca Huacaya en zonas de contaminación minera.....	74
<b>Figura 5</b> BOX PLOT de concentración plomo en sangre de alpaca huacaya en zonas de contaminación minera.....	74
<b>Figura 6</b> Q-Q PLOT de concentración de mercurio, al 95% de confiabilidad que muestra la normalidad de datos .....	76
<b>Figura 7</b> Histograma de concentración mercurio en sangre de alpaca Huacaya en zonas de contaminación minera.....	76
<b>Figura 8</b> BOX PLOT de concentración mercurio en sangre de alpaca Huacaya en zonas de contaminación minera.....	77
<b>Figura 9</b> Distribución de plomo, Modelo de los Tres Compartimientos en el Organismo. ....	77
<b>Figura 10</b> Ubicación geográfica de la Unidad Minera.....	78



## ÍNDICE DE ANEXOS

	<b>Pág.</b>
<b>Anexo 1</b> Resultado de laboratorio .....	65
<b>Anexo 2</b> Tablas y figuras de metales pesados .....	73
<b>Anexo 3</b> Panel fotográfico.....	78
<b>Anexo 4</b> Declaración jurada de autenticidad de tesis.....	80
<b>Anexo 5</b> Autorización para el depósito de la tesis en el Repositorio Institucional ..	81



## ACRÓNIMOS

<b>Abs</b>	: Absorbancia
<b>CEC</b>	: Centro Experimental Carolina
<b>CE</b>	: Comisión de las Comunidades Europeas. Reglamento 1881/2006
<b>EAA</b>	: Espectrofotometría de absorción atómica.
<b>EPA</b>	: Agencia de Protección Ambiental (Environment Protection Agency)
<b>Hg</b>	: Mercurio
<b>N. D.</b>	: No detectable
<b>NOM</b>	: Norma Oficial Mexicana
<b>OMS</b>	: Organización Mundial de Salud
<b>Pb</b>	: Plomo
<b>Ppb</b>	: Partes por billón.
<b>ppm</b>	: Partes por Millón.
<b>UE</b>	: Unión Europea.
<b>UI</b>	: Unidad Internacional
<b>UNMSM</b>	: Universidad Nacional Mayor de San Marcos
<b>USAQ</b>	: Unidad de Servicios de Análisis Químicos



## RESUMEN

Actualmente, se percibe un crecimiento notable de la actividad minera en zonas dedicadas al desarrollo del sector agropecuario. Dicha expansión ha generado contaminación por metales pesados en animales y personas por ello se tuvo el objetivo de determinar los niveles de metales pesados en sangre de alpacas Huacaya en zonas de contaminación minera, en este sentido se realizó el muestreo de sangre de 45 Huacayas hembras adultas de tres lugares, el primero fue de la comunidad Pampa Blanca del distrito de Ananea, la segunda fue de la Empresa CIEMSA en la parcialidad de Antalla del distrito de Palca y por último del C.E. Carolina. Los datos fueron procesados con un DCA y las medias comparadas con Tukey. Se obtuvo cantidades de plomo de  $0.05 \pm 0.01$  mg/L,  $0.04 \pm 0.01$  mg/L y  $0.08 \pm 0.02$  mg/L para el distrito de Ananea, Palca y C.E. Carolina respectivamente sin diferencias estadísticas. Se obtuvo cantidades de mercurio de  $0.02 \pm 0.00$  mg/L,  $0.02 \pm 0.00$  mg/L y  $0.03 \pm 0.00$  mg/L para el distrito de Ananea, Palca y C.E. Carolina respectivamente sin diferencias estadísticas. Por lo que se concluye que se tiene niveles altos de plomo y mercurio según lo recomendado por la ONU en sangre de alpacas Huacaya siendo un posible riesgo para la salud pública.

**Palabras clave:** Camélido sudamericano, Mercurio, Plomo, Huacaya, *Vicugna pacos*.



## ABSTRACT

Currently, a notable growth in mining activity is perceived in areas dedicated to the development of the agricultural sector. This expansion has generated heavy metal contamination in animals and people, so the objective was to determine the levels of heavy metals in the blood of Huacaya alpacas in areas of mining contamination. In this regard, blood sampling was conducted from 45 adult female Huacayas from three locations: the first was from the Pampa Blanca community in the Ananea district; the second was from the CIEMSA company in the Antalla district of the Palca district; and finally from the Carolina State University. The data were processed with a DCA and the means compared with Tukey's method. Lead levels of  $0.05 \pm 0.01$  mg/L,  $0.04 \pm 0.01$  mg/L, and  $0.08 \pm 0.02$  mg/L were obtained for the Ananea, Palca, and Carolina districts, respectively, with no statistical differences. Mercury levels of  $0.02 \pm 0.00$  mg/L,  $0.02 \pm 0.00$  mg/L, and  $0.03 \pm 0.00$  mg/L were obtained for the districts of Ananea, Palca, and C.E. Carolina, respectively, without statistical differences. Therefore, it is concluded that high levels of lead and mercury are present in the blood of Huacaya alpacas, as recommended by the UN, which is a potential risk to public health.

**Keywords:** Huacaya, Lead, Mercury, South American camelid, *Vicugna pacos*.



# CAPÍTULO I

## INTRODUCCIÓN

En la actualidad se percibe un crecimiento notable de la actividad minera en zonas dedicadas al desarrollo del sector agropecuario, generando contaminación por metales pesados, que se propagan a través de los ríos y la polución, afectando los pastos utilizados para el pastoreo de camélidos sudamericanos, especialmente en las alpacas Huacaya. Esto, a su vez, pone en peligro la salud humana al ingresar estos contaminantes en la cadena trófica. La principal actividad de las familias de los distritos de Palca y Ananea es la crianza de alpacas, acompañada con la crianza de llamas y ovinos. Su ingreso económico proviene principalmente de la venta de carne y fibra, siendo esta última el recurso más valioso debido a las condiciones específicas de la zona.

Metales tóxicos como el plomo y el mercurio no solo ejercen efectos perjudiciales directos, sino que también pueden transmitirse a través de la cadena trófica, representando un riesgo significativo para la salud pública esto debido a la acumulación de estos metales en el agua de consumo, así como en el suelo afectando a sus consumidores. Estos metales afectan gravemente el sistema nervioso central, así como las funciones hepáticas, renal, musculoesquelética y reproductiva provocando mutaciones genéticas, cáncer y alteraciones inmunológicas, cuyo consumo de carne es peligroso para niños y adultos mayores de 60 años, quienes son más vulnerables a sus efectos. El plomo, tras ser ingerido, se distribuye y se acumula en tejidos como el cerebro, hígado, riñones y huesos, contribuyendo a 143,000 muertes anuales y 600,000 casos de discapacidad intelectual, según datos de la (OMS, 1980). En razón a ello nos proponemos los siguientes objetivos:



## **1.1. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN**

### **1.1.1. Objetivo General**

Determinar los niveles de metales pesados en sangre de alpacas huacaya en zonas de contaminación minera

### **1.1.2. Objetivos Específicos**

- Determinar los niveles séricos de plomo en alpacas en zonas de contaminación minera
- Determinar niveles séricos de mercurio en alpacas en zonas de contaminación minera



## CAPÍTULO II

### REVISIÓN DE LITERATURA

#### 2.1. MARCO TEÓRICO

##### 2.1.1. Situación de la actividad minera en el Perú

La minería es una actividad clave para las industrias globales, vinculada al ámbito financiero y ambiental, cuyas fluctuaciones en precios impactan significativamente los mercados bursátiles.

Perú destaca como un actor clave en la minería global, siendo líder en la producción de plata y ocupando posiciones destacadas en zinc, cobre, estaño, plomo y oro. En América Latina, lidera la extracción de varios minerales, contribuyendo significativamente a la posición de la región como referente mundial en la minería de zinc, plomo.

La minería ha sido un pilar fundamental para el crecimiento económico y los ingresos fiscales del Perú, pero sus actividades han provocado preocupaciones significativas, como conflictos sociales y efectos ambientales negativos, especialmente en las comunidades campesinas y en la sociedad (Dammert, 2007).

##### 2.1.2. Situación de la actividad minera en Ananea-Rinconada

La Rinconada, a 4.610 metros sobre el nivel del mar, es el asentamiento humano más alto del mundo, con unos 50.000 habitantes, el 90% dedicados a la minería artesanal e informal. Situado en las faldas del nevado Ritiik'ucho, su acceso se realiza por un estrecho camino llamado "La Compuerta", que conecta con las minas con una población de miles de trabajadores de todo el país.



A pesar de la atracción económica, las condiciones de vida y trabajo en la Rinconada son extremadamente duras. El clima adverso, el hacinamiento y la falta de servicios básicos, como agua potable, desagüe y un sistema de manejo de residuos, agravan la calidad de vida.

La Rinconada enfrenta condiciones precarias por la falta de servicios básicos, el clima adverso y el hacinamiento, mientras que el uso de mercurio en la minería genera graves riesgos de salud, como intoxicaciones, trastornos neurológicos.

En La Rinconada, las viviendas precarias y el hacinamiento agravan problemas sociales como el alcoholismo y la prostitución, aumentando enfermedades como el VIH. La contaminación y el mal manejo de residuos también han elevado casos de desnutrición (Lobato, 2013).

### **2.1.3. Situación de la actividad en minera en Palca-POMASI**

El Consorcio Pomasi. (CIEMSA) implementó su sistema integrado de gestión de riesgos en el año 2020. Desde entonces, ha mostrado una evolución significativa, logrando una mejora sustancial en 2024.

CIEMSA al implementar un sistema integrado de gestión de riesgos garantiza la excelencia del servicio y cumplir con las normas internacionales en calidad, seguridad, salud ocupacional y medio ambiente, alineándose con los estándares.

El sistema de gestión integrado de CIEMSA gestiona y controla todos sus procesos, garantizando la calidad de los productos, la seguridad y salud de los



colaboradores, y la protección del medio ambiente. Asimismo, refuerza el compromiso con el bienestar de las comunidades donde opera (Huisa, 2019).

#### **2.1.4. Situación de los camélidos en el Perú**

El Perú es el principal productor de alpacas a nivel mundial, con una población total de 3,685,516 ejemplares. El departamento de Puno destaca como la región con la mayor concentración, albergando 1,459,903 alpacas (INEI, 2012).

La crianza de alpacas es fundamental para las comunidades altoandinas, proporcionando ingresos económicos y carne de alto valor nutricional. Adaptadas a condiciones extremas entre 3,500 y 5,400 msnm, esta actividad tiene un gran potencial tanto en el mercado interno como en la exportación de carne y derivados (Vargas, 2018).

La carne es esencial en la alimentación humana por su alto contenido de proteínas y aminoácidos esenciales, fundamentales para el crecimiento, el funcionamiento de las glándulas endocrinas, la formación de anticuerpos y otros procesos vitales (Solis, 2000).

#### **2.1.5. Metales pesados**

El término "metal pesado" se refiere a elementos metálicos con una densidad cinco veces mayor que la del agua y que son tóxicos en bajas concentraciones. Aunque suele basarse en la densidad, otras definiciones consideran el número atómico, el peso atómico o su toxicidad. Sin embargo, la UIQPA (IUPAC) cuestiona la coherencia científica del término y su definición contradictoria (Gonzales, 2009). Como alternativa, se utiliza el término "metal tóxico", aunque tampoco existe un consenso exacto sobre su definición. A pesar



de esta falta de precisión, ciertos elementos metálicos, en alguna de sus formas, representan graves problemas ambientales, y comúnmente se les engloba bajo el término genérico de "metales pesados" (Oyarzun et al., 2011).

Los metales pesados, de gran interés económico en la minería, son valorados por sus aplicaciones industriales y comerciales, pero presentan desafíos importantes debido a su toxicidad y los impactos ambientales de su extracción (Oyarzun et al., 2011).

Los metales pesados se identifican como aquellos elementos metálicos de interés económico en el sector minero (Oyarzun *et al.*, 2011). Estos elementos químicos comparten propiedades comunes como alta conductividad eléctrica y térmica, maleabilidad, ductilidad y brillo (Vega, 1988). Además, se caracterizan por una densidad superior a 5 g/ml (Moreno, 1999), lo que los distingue como materiales clave en diversas aplicaciones industriales y comerciales, aunque también representan desafíos debido a su potencial impacto ambiental y toxicológico.

Entre los metales pesados se incluyen elementos como el arsénico (As), cadmio (Cd), cobalto (Co), cromo (Cr), cobre (Cu), mercurio (Hg), níquel (Ni), plomo (Pb), estaño (Sn) y zinc (Zn) (Environmental & Agency, 2004). Estos metales pueden encontrarse en la naturaleza tanto en estado aislado como combinados, formando parte de diversos minerales. Su presencia y extracción están relacionadas con actividades mineras y pueden tener implicaciones económicas y ambientales significativas (Vega, 1988).

Dentro de la clasificación de los metales pesados, se distinguen dos grupos principales:



Oligoelementos o micronutrientes: son elementos requeridos en cantidades mínimas o traza por plantas y animales para completar su ciclo vital. Este grupo incluye elementos como el arsénico (As), boro (B), cobalto (Co), cromo (Cr), cobre (Cu), molibdeno (Mo), manganeso (Mn), níquel (Ni), selenio (Se) y zinc (Zn). Estos elementos suelen encontrarse en concentraciones muy bajas en el suelo y el agua. Sin embargo, si se excede cierto umbral biológico, pueden volverse tóxicos. La ausencia de estos micronutrientes puede provocar enfermedades, mientras que su exceso puede causar intoxicaciones (Environmental & Agency, 2004).

Los metales pesados sin función biológica conocida, como el cadmio, mercurio, plomo, cobre, níquel, antimonio y bismuto, son altamente tóxicos y pueden acumularse en los tejidos, causando disfunciones como la inhibición de actividades enzimáticas esenciales. Su toxicidad depende de su capacidad para interactuar con moléculas orgánicas, siendo algunos más peligrosos (OMS, 1980).

Los metales pesados como cadmio, mercurio, plomo, cobre, níquel, antimonio y bismuto, carecen de funciones biológicas y son altamente tóxicos, acumulándose en tejidos biológicos. Su toxicidad se debe a su capacidad de interactuar con moléculas orgánicas, afectando procesos celulares críticos y bloqueando actividades enzimáticas esenciales, lo que puede causar daño celular, fallas orgánicas y enfermedades. Dada su variabilidad en reactividad y toxicidad, es esencial monitorear y regular su presencia en el medio ambiente y alimentos para proteger (Choquepata, 2018).



## **2.1.6. Metal pesado mercurio**

El mercurio, utilizado desde la antigüedad, fue empleado en culturas como la egipcia, china e india en prácticas medicinales, rituales y otras aplicaciones por sus propiedades únicas (Moreno, 2003).

El mercurio, único metal líquido a temperatura ambiente, tiene una toxicidad que depende de su forma química y nivel de exposición. Según COT 2003/06, valores sanguíneos inferiores a 0,01 mg/L y urinarios por debajo de 0,05 mg/L son aceptables, mientras que concentraciones superiores a 35 µg/L en sangre o 100 µg/L en orina requieren intervención terapéutica. Esto resalta la importancia de monitorear y controlar estrictamente la exposición al mercurio (OMS, 2021).

El mercurio se acumula principalmente en raíces y suelos superficiales, con movilidad limitada hacia las partes aéreas de las plantas. Esto reduce los riesgos directos para los consumidores de vegetales, pero su persistencia en el suelo puede afectar a los ecosistemas y organismos dependientes de raíces, destacando la importancia de gestionar su contacto (OMS, 2021).

### **2.1.6.1. Toxicidad de mercurio**

El mercurio ingresa al organismo principalmente por inhalación, ingestión oral y absorción dérmica, siendo la vía oral la más relevante con una absorción del 90-95% en el tracto gastrointestinal. Su toxicidad se debe a su capacidad para unirse a grupos funcionales como sulfhidrilos, afectando la membrana celular, inhibiendo enzimas esenciales y alterando la homeostasis del calcio. Esto puede causar efectos tóxicos graves, incluida la muerte neuronal a corto plazo, destacando su neurotoxicidad y la necesidad de medidas preventivas (Moreno, 2003).



#### **2.1.6.2. Intoxicación aguda de mercurio**

La exposición breve a vapores de mercurio puede provocar síntomas agudos como náuseas, vómitos, diarrea, hipertensión, irritación ocular y erupciones cutáneas, resaltando la necesidad de mínima (Valdivia, 2005).

#### **2.1.6.3. Intoxicación crónica**

La exposición al mercurio durante el desarrollo fetal y la infancia puede causar graves efectos neurológicos, atravesando la barrera placentaria y afectando al feto. Esto incluye abortos espontáneos, retraso mental

La exposición al mercurio en niños puede causar problemas de aprendizaje, comportamiento y desarrollo neurológico, como el "síndrome del bebé tranquilo", ansiedad, insomnio, fatiga y disfunciones cognitivas y motoras. También debilita el sistema inmunológico y genera efectos adversos a largo plazo. Proteger a poblaciones vulnerables, como niños y mujeres embarazadas, requiere evitar pescados con alto contenido de mercurio, reducir la exposición laboral y promover políticas ambientales y educativas (Ministerio de Salud & Gobierno del Perú, 2015).

#### **2.1.6.4. Toxicodinámica del mercurio**

El mercurio, en formas inorgánicas y orgánicas, es altamente tóxico, afectado sistemas celulares, metabólicos y enzimáticos. Provoca neurotoxicidad, altera la función renal y compromete el sistema

inmunológico, además de causar aberraciones cromosómicas y anomalías congénitas (Valdivia, 2005).

### 2.1.7. Metal pesado plomo

El plomo, utilizado por la humanidad desde hace 6.000 años, tuvo aplicaciones destacadas en la antigua Roma, como en tuberías, vajillas y pigmentos. Aunque sus propiedades facilitan su uso en múltiples aplicaciones, con el tiempo se reconocieron los graves efectos de su exposición prolongada en la salud y el medio ambiente, lo que ha tomado a regulaciones estrictas para limitar su uso (Castro, 2018).

La exposición al plomo es un riesgo importante para la salud, provocando retrasos en el desarrollo en niños y problemas cardiovasculares en adultos. Aunque los niveles de plomo en alimentos han disminuido en la última década gracias a preventivas, el Comité Científico de la Alimentación Humana recomendó una vigilancia continua para reducir aún más su presencia y proteger la salud pública (CEE, 2008).

### Tabla 1

#### *Contenido de plomo en productos de consumo*

<b>Productos alimenticios</b>	<b>Contenido máximo (mg/kg) peso fresco</b>
Leche cruda, leche tratada térmicamente y leche para la fabricación de productos lácteos	0.020
Preparados para lactantes y preparados de continuación	0.020
Carne (excluidos los despojos) de bovinos, ovinos, cerdos y aves de corral	0.10
Despojos de bovinos, ovinos, cerdos y aves de corral	0.50
Carne de pescado	0.30
Crustáceos, carne de los apéndices y del abdomen. En el caso de los cangrejos y crustáceos similares.	0.50
Hortalizas, excluidas las del género Brassica, las hortalizas de hoja, las hierbas frescas y las setas.	0.10
Hortalizas del género Brassica, hortalizas de hoja y setas cultivadas	0.30



### **2.1.7.1. Toxicidad del plomo**

El plomo ingresa al cuerpo a través de vías digestivas, respiratorias y cutáneas, con mayor absorción en niños y en personas con dietas deficientes en minerales como hierro, calcio o zinc. Este metal actúa como neurotóxico, afectando el sistema nervioso periférico y central, inhibiendo enzimas esenciales y causando neuropatía, daño neuronal y degeneración de axones. Se distribuye por los tejidos, acumulándose en huesos por décadas y pudiendo liberarse durante la lactancia, elevando los niveles en la leche materna. Su vida media en sangre es de 30 días (Moreno, 2003).

### **2.1.7.2. Intoxicación aguda del plomo**

La exposición aguda a altas concentraciones de plomo puede causar intoxicación severa con síntomas gastrointestinales y anemia. Niveles en sangre de 0.05 mg/L (50 µg/dL) requieren acciones urgentes para identificar y eliminar las fuentes de contenido (OMS, 2022).

### **2.1.7.3. Intoxicación crónica**

La exposición prolongada al plomo afecta sistemas clave como el nervioso, hematopoyético y renal. En el embarazo, atraviesa la barrera placentaria, causando bajo peso al nacer, partos prematuros y daños fetales. En niños, provoca daños neurológicos permanentes que afectan el desarrollo psicomotor y habilidades cognitivas, motoras y sociales. En adultos, puede causar fatiga, problemas de concentración y alteraciones conductuales (Moreno,2003).



#### **2.1.7.4. Toxicocinética del plomo**

La absorción gastrointestinal de plomo depende de su forma química, siendo los compuestos orgánicos como el tetraetilo de plomo los más absorbibles, con tasas superiores al 90%. El plomo se acumula principalmente en huesos y, en menor medida, en órganos como riñones, sistema nervioso central y hígado. Su eliminación ocurre mayormente por orina (75%) y heces (16%). Factores nutricionales, como deficiencias de hierro o zinc, pueden aumentar su absorción y toxicidad, destacando la importancia de una dieta equilibrada para reducir los riesgos asociados al plomo (Shibamoto & Bjeldanes, 1993).

El plomo, una vez absorbido, se distribuye inicialmente en la sangre, ligado a glóbulos rojos (95%), y luego en tejidos blandos como hígado, riñones y sistema nervioso. Con el tiempo, se transfiere a los huesos, donde permanecen inertes, aunque puede liberarse durante el embarazo, lactancia o descalcificación, provocando toxicidad años después (Valdivia, 2005).

#### **2.1.7.5. Absorción del plomo**

La absorción y distribución del plomo varían según su compuesto y vía de exposición. Los compuestos orgánicos, como el tetraetilo de plomo, tienen mayor absorción y toxicidad, especialmente por inhalación, que es rápido y eficiente en entornos industriales. Por vía oral, la absorción depende de la forma química y el estado nutricional, mientras que la vía dérmica es menos eficiente pero relevante en exposiciones prolongadas (Ramírez *et al.*, 2005).



#### **2.1.7.6. Por inhalación del plomo**

La inhalación de partículas de plomo, especialmente las menores a 5  $\mu\text{m}$ , es altamente peligrosa por su eficiencia de absorción en los alvéolos. La toxicidad varía según su solubilidad y factores como el volumen y frecuencia respiratoria, destacando la necesidad de medidas protectoras (Valdivia, 2005).

#### **2.1.7.7. Por ingestión del plomo**

La absorción de plomo en el tracto gastrointestinal varía según factores como su forma química, estado nutricional y composición de la dieta. Los niños, con tasas de absorción del 30-50%, son más vulnerables que los adultos (10%). Las deficiencias de hierro y calcio, dietas bajas en calorías o ricas en grasas y vitamina D pueden aumentar la absorción. Esto subraya la importancia de monitorear la exposición y mantener una dieta equilibrada para reducir (Valdivia, 2005).

#### **2.1.7.8. Distribución del plomo en el cuerpo**

Tras su absorción, el plomo circula en la sangre, unido en un 95% a los glóbulos rojos, y se distribuye a tejidos como hígado, riñones, médula ósea y sistema nervioso central. Luego se almacena en los huesos, donde permanece inerte, pero puede liberarse durante el embarazo, lactancia o reabsorción ósea, aumentando el riesgo de toxicidad. Esto resalta la importancia de prevenir y monitorear (Valdivia, 2005).

El plomo absorbido se distribuye entre huesos (90%) y tejidos blandos como hígados y riñones. Tiene una vida media de 3-4 semanas en



sangre y tejidos blandos, pero hasta 20-27 años en huesos, donde puede liberarse gradualmente en condiciones como embarazo o descalcificación (Arroyave, 2008).

En la sangre, el plomo se encuentra mayormente unido a los eritrocitos, mientras que una pequeña fracción, entre menos del 1% y hasta el 5%, permanece libre en el plasma (Ramírez, 2005). Sin embargo, cuando las concentraciones de plomo en la sangre son altas, la fracción de plomo en el plasma tiende a aumentar. La alta afinidad del plomo por los eritrocitos se explica por su interacción con la enzima deshidratasa ácido  $\delta$ -aminolevulínico, presente en todas las células, incluidos los eritrocitos. Esta enzima, la segunda en la vía de síntesis del hemo, tiene un peso molecular de 250 kDa y posee cuatro sitios activos con cisteínas reactivas, además de dos tipos de sitios de unión para el zinc. El plomo puede reemplazar al zinc en algunos de estos sitios, mostrando una afinidad por la enzima aproximadamente 20 veces mayor que el zinc. Esta unión interfiere con la función normal de la enzima, inhibiendo su actividad y contribuyendo a los efectos tóxicos del plomo (Velarde, 2021).

#### **2.1.7.9. Eliminación**

La excreción del plomo del organismo ocurre principalmente a través de la orina y, en menor medida, mediante las heces. Aproximadamente, el 76% del plomo absorbido se elimina por vía urinaria, lo que la convierte en la principal ruta de eliminación. En contraste, cerca del 16% del plomo se excreta a través de las heces. La eliminación urinaria del plomo involucra procesos de filtración glomerular



en los riñones, acompañados de cierta reabsorción tubular. En el caso de los niños, la eliminación gastrointestinal adquiere mayor relevancia y puede ser tan significativa como la eliminación urinaria. En exposiciones a niveles bajos de plomo, la proporción de excreción a través de las heces suele ser aproximadamente la mitad de lo excretado por la orina. Sin embargo, en exposiciones más altas, la eliminación por las heces tiende a representar una proporción aún menor en comparación con la vía urinaria. Esto subraya la importancia del sistema renal en la depuración del plomo del cuerpo, especialmente en situaciones de alta exposición (Velarde, 2021).

La excreción del plomo en la orina se realiza principalmente mediante la filtración glomerular en los riñones, aunque una parte del plomo filtrado puede ser reabsorbida parcialmente en los túbulos renales. Este proceso muestra variaciones circadianas, con una menor tasa de excreción urinaria durante la noche. Además de la eliminación a través de la orina, el plomo puede excretarse por otras vías, como la bilis y el jugo pancreático. En el caso de la excreción biliar, se cree que el plomo forma complejos con glutatión, facilitando su eliminación. Aunque en cantidades mínimas, el plomo también puede ser excretado por la saliva y el sudor, y se pueden encontrar trazas en las uñas y el cabello. Sin embargo, estas vías representan una fracción insignificante de la excreción total. Es importante destacar que el plomo puede atravesar la placenta durante el embarazo, exponiendo al feto a sus efectos tóxicos. Asimismo, el plomo puede transferirse a través de la leche materna, representando un riesgo adicional para los lactantes. Estas transferencias subrayan la importancia de reducir



la exposición al plomo, especialmente en mujeres embarazadas y en periodo de lactancia, para minimizar los riesgos en las etapas más vulnerables del desarrollo (Ramírez et al., 2005).

#### **2.1.7.10. Toxicodinámica del plomo**

El plomo (Pb) carece de cualquier función biológica beneficiosa en los organismos vivos. Por lo tanto, su presencia en los sistemas corporales, incluso en niveles bajos, provoca daños y efectos adversos para la salud. Este metal tóxico interfiere con procesos fisiológicos clave, afecta el funcionamiento celular y altera la actividad de múltiples sistemas, incluyendo el sistema nervioso, hematopoyético, renal y cardiovascular. Su acumulación a largo plazo puede tener consecuencias graves, subrayando la importancia de prevenir y minimizar la exposición al plomo en cualquier contexto (Disalvo *et al.*, 2019).

El mecanismo de acción del plomo (Pb) se debe en gran parte a su alta afinidad por los grupos sulfhídrico, afectando particularmente las enzimas dependientes de zinc. A concentraciones bajas, el plomo interfiere con el metabolismo del calcio, actuando como un segundo mensajero intracelular y alterando la distribución de calcio entre los compartimientos celulares. El plomo puede activar la proteína quinasa C, unirse a la calmodulina e inhibir la bomba de Na-K-ATPasa, lo que provoca un aumento de los niveles de calcio intracelular. Este incremento desregulado del calcio intracelular puede desencadenar una serie de respuestas celulares anormales, contribuyendo a la toxicidad del plomo y al daño en tejidos y órganos clave (Valdivia, 2005).



### **2.1.7.11. Efectos sobre la salud por exposición a plomo**

La intoxicación aguda por plomo (Pb) puede manifestarse con síntomas como dolor de cabeza, irritabilidad, dolor abdominal y alteraciones del sistema nervioso. Entre las complicaciones más severas, la encefalopatía por plomo destaca, caracterizándose por insomnio, inquietud y, en casos graves, psicosis aguda, confusión y pérdida progresiva de la conciencia. En niños, la exposición al plomo puede ocasionar alteraciones del comportamiento, dificultades de aprendizaje y problemas de concentración. Por otro lado, en casos de exposición crónica, los adultos pueden experimentar deterioro de la memoria, tiempos de reacción prolongados y una disminución en la capacidad cognitiva. Incluso en niveles moderados de plomo en sangre (menos de 3  $\mu\text{mol/L}$ ), pueden surgir síntomas como neuropatías periféricas, reflejadas en una reducción de la velocidad de conducción nerviosa, afectando tanto la función motora como sensorial. Estos efectos subrayan la necesidad de identificar y minimizar la exposición al plomo para prevenir daños irreversibles en la salud (Valdivia, 2005).

### **2.1.8. Antecedentes**

Esta investigación se realizó en la comunidad de Patacollana, distrito de Condoroma, con el objetivo de determinar los niveles de plomo y mercurio en el suero sanguíneo de alpacas y en los pastos de los bofedales y secanos de la comunidad de Patacollana. Las muestras se analizaron mediante espectrofotometría de absorción atómica con un horno de grafito. Los datos se analizaron mediante ANOVA y comparación de medias con la prueba t-Student.



Las concentraciones medias de plomo en suero sanguíneo fueron de  $0,05 \pm 0,03$ ,  $0,06 \pm 0,03$ ,  $0,05 \pm 0,03$  y  $0,04 \pm 0,02$  mg/L para alpacas jóvenes, adultas, primíparas y multíparas, respectivamente. Las concentraciones medias de mercurio en suero sanguíneo fueron de  $0,098 \pm 0,06$ ,  $0,148 \pm 0,04$ ,  $0,073 \pm 0,06$  y  $0,101 \pm 0,05$  mg/L para alpacas jóvenes, adultas, primíparas y multíparas, respectivamente. Las concentraciones promedio de plomo en las zonas de pastoreo fueron de  $0,70 \pm 0,19$  mg/kg y  $0,57 \pm 0,27$  mg/kg para los humedales y los pastos secos, respectivamente. Los niveles de mercurio en las zonas de pastoreo fueron de  $0,34 \pm 0,29$  mg/kg y  $0,46 \pm 0,36$  mg/kg para los humedales y los pastos secos, respectivamente. En conclusión, la concentración de plomo en el suero sanguíneo de alpacas jóvenes, adultas y primíparas supera los límites establecidos por la OMS (0,05 mg/L), y la concentración de mercurio en el suero sanguíneo de alpacas jóvenes, adultas, primíparas y multíparas supera los límites establecidos por la OMS (0,01 mg/L). En pastizales secos y humedales, la concentración de plomo supera los límites establecidos (Vera & Nuñonca 2023).

La industria petrolera puede tener efectos perjudiciales tanto para el medio ambiente como para la salud humana. Los metales pesados (HM), como el plomo (Pb), el cadmio (Cd), el níquel (Ni) y el vanadio (V), son contaminantes tóxicos presentes en el petróleo que pueden provocar graves problemas de salud. Este estudio examinó los efectos de la industria petrolera en el camello árabe (*Camelus dromedarius*) en la región oriental de Arabia Saudita, centrándose en la acumulación de HM, el daño tisular, el desequilibrio redox, la inflamación y la muerte celular. Se recolectaron muestras de suelo y de camello (leche, sangre, músculo, hígado y riñones) de un sitio cercano a un campo petrolífero, junto con muestras de otros dos lugares, para medir los niveles de HM. Se encontró que las



concentraciones de Pb, Cd, Ni y V eran más altas en el suelo y en la leche, la sangre, el músculo, el hígado y los riñones de los camellos en el sitio contaminado. Se observaron niveles elevados de aminotransferasas séricas, urea y creatinina, así como cambios histopatológicos en el hígado y los riñones de camellos de la zona petrolera. Se detectó un aumento de la peroxidación lipídica hepática y renal, citocinas proinflamatorias, Bax y caspasa-3, junto con una disminución de antioxidantes celulares y Bcl-2, en los camellos de la zona de extracción de aceite. En conclusión, la industria petrolera provocó la acumulación de HM tanto en el suelo como en los tejidos de los camellos, causando daño hepático y renal, estrés oxidativo y muerte celular. Estos resultados subrayan el impacto negativo de la industria petrolera en el medio ambiente, así como en la salud animal y humana (Ajarem *et al.*, 2022).

El consumo de pasturas naturales contaminadas con metales pesados altamente tóxicos como el cadmio (Cd) y el plomo (Pb) por parte de camellos andinos podría tener efectos nocivos para la salud de los individuos expuestos a través del consumo de carne de alpaca contaminada. Se determinó la concentración de Cd, Pb y zinc (Zn) en el sistema suelo-planta-alpaca, y se evaluó el riesgo potencial para la salud asociado con el consumo de carne de alpaca. Se recolectaron muestras de suelo y pasto de áreas de pastoreo del camélido sudamericano, y 30 muestras de músculo pectoral de alpaca se recolectaron del Matadero Municipal de Huancavelica. Las concentraciones de Cd en el suelo, el pasto y el músculo de alpaca superaron los valores umbral establecidos por las normas nacionales e internacionales. Los valores del factor de bioacumulación para los tres metales estudiados fueron inferiores a 1, mostrando el Cd la mayor biodisponibilidad y movilidad dentro del sistema suelo-planta-músculo. La



concentración media de Cd en el músculo fue de  $0,335 \pm 0,088$  mg/kg, superando el nivel máximo permitido por la FAO/OMS y la Comisión Europea. Las concentraciones de Pb y Zn no superaron los límites regulados. No se observaron diferencias significativas en la acumulación en función del sexo. Los valores del índice de riesgo no carcinogénico (IH) para los metales estudiados indicaron que no existe ningún riesgo adverso para la salud ( $IH < 1$ ) tanto para niños como para adultos por el consumo de carne de alpaca; sin embargo, la exposición prolongada al Cd podría suponer un riesgo carcinogénico, ya que superó el umbral de  $1 \times 10^{-4}$ . Se recomiendan más estudios sobre la acumulación de elementos potencialmente tóxicos en los tejidos de alpaca para evaluar el riesgo total de los metales pesados para la salud del consumidor (Orellana *et al.*, 2021).

El objetivo de este estudio fue determinar los niveles de bioacumulación y transferencia de plomo del suelo al pasto y a la leche en vacas de la estación experimental "El Mantaro", y evaluar si los niveles de plomo en la leche excedían los límites máximos permisibles establecidos por el Codex Alimentarius. Se recolectaron 20 muestras de suelo y pasto, así como 24 muestras de leche. Las muestras se cuantificaron mediante absorción atómica de llama y los datos se procesaron con Excel y SPSS v.23, aplicando técnicas de estadística descriptiva. Las concentraciones promedio de plomo encontradas en suelo, pasto y leche fueron de  $83,979 \pm 96,117$  mg/kg,  $5,5265 \pm 2,992$  mg/kg y  $0,01571 \pm 0,003$  mg/kg, respectivamente. Los niveles promedio de transferencia de plomo del suelo al pasto fueron de  $0,194 \pm 0,151$ , mientras que los niveles promedio de bioacumulación de plomo del suelo al pasto fueron de  $0,0913 \pm 0,064745$ . Los niveles de transferencia de plomo del pasto a la leche fueron de  $0,00284237$ . Al comparar los niveles de plomo en la leche con el Codex Alimentarius, se encontró



que el 87,5% de las muestras estaban por debajo de los límites máximos permisibles, el 4,17% estaban en el límite permisible y el 8,33% los excedían. El estudio concluye que en la estación experimental "El Mantaro", los niveles de plomo en la leche cumplen con los estándares establecidos por el Codex Alimentarius y la Unión Europea, y que los niveles de bioacumulación y transferencia en todos los casos son bajos (Quijada, 2021).

Existe muy poca información sobre casos agudos y subagudos de intoxicación con plomo en bovinos en Colombia. La intoxicación con plomo se diagnosticó en bovinos con base en los signos clínicos, determinación del plomo en vísceras y pastos, así como estudios macro y microscópicos de tejidos enviados para análisis. El problema se presentó en una finca cercana a Circasia (Quindío), dedicada especialmente a la ganadería donde 28 terneros mestizos (Cebú Holstein) de 1 a 1 ½ años de edad, que pastaban cerca de una fábrica de baterías. Doce animales murieron con signos nerviosos como apoyar la cabeza en el suelo, ceguera, ptialismo y bruxismo. Con este reporte se describen los hallazgos más significativos de este tipo de intoxicación y además se da información de carácter diagnóstico a los veterinarios que trabajan en condiciones de campo (Martínez *et al.*, 2018).

Los metales pesados representan riesgos significativos para la salud pública, causando efectos negativos en humanos, animales y el medio ambiente. Este estudio se realizó en comunidades del distrito de Ananea a 4,610 metros sobre el nivel del mar, con el objetivo de determinar las concentraciones de arsénico, cadmio, mercurio y plomo en el pasto, fibra, carne y vísceras de alpacas criadas en zonas con actividad minera. Se recolectaron muestras de pasto de áreas de pastoreo, fibra de la costilla media y carne y vísceras de animales faenados. Los



cuatro metales se cuantificaron mediante espectrofotometría de absorción atómica con un horno de grafito (SHIMADZU AA-6800) en la Unidad de Servicios de Análisis Químico de la Universidad Nacional Mayor de San Marcos en Lima. Los datos se transformaron en valores logarítmicos y se analizaron utilizando el software R ([www.r-project.org](http://www.r-project.org)) con comparación de medias de Tukey. Los niveles de metales pesados encontrados en el pasto fueron mercurio (Hg), cadmio (Cd) y arsénico (As), con concentraciones de  $1,996 \pm 0,152$ ,  $1,623 \pm 0,118$  y  $1,606 \pm 0,352$   $\mu\text{g}/\text{kg}$ , respectivamente ( $p > 0,05$ ). En la fibra de alpaca, se encontraron concentraciones de mercurio de  $2,326 \pm 0,191$   $\mu\text{g}/\text{kg}$ , cadmio de  $1,752 \pm 0,155$   $\mu\text{g}/\text{kg}$ , arsénico de  $1,721 \pm 0,247$   $\mu\text{g}/\text{kg}$  y plomo de  $0,884 \pm 0,228$   $\mu\text{g}/\text{kg}$  ( $p < 0,01$ ). Las concentraciones de cadmio en huesos, muslos, pulmones, riñones e hígado de alpaca fueron de  $2,366 \pm 0,295$ ,  $2,157 \pm 0,275$ ,  $1,969 \pm 0,286$ ,  $1,512$  y  $1,214$   $\mu\text{g}/\text{kg}$ , respectivamente ( $p < 0,05$ ). Los niveles de mercurio en huesos, hígado, muslos, pulmones y riñones fueron de  $2,092 \pm 0,222$ ,  $2,061 \pm 0,012$ ,  $1,979 \pm 0,211$ ,  $1,925 \pm 0,243$  y  $1,919 \pm 0,217$   $\mu\text{g}/\text{kg}$ , respectivamente. En conclusión, los niveles de mercurio y cadmio en los músculos y vísceras de las alpacas no superan los límites máximos permisibles según las normas internacionales de seguridad alimentaria (Huanqui, 2018).

Esta investigación se realizó en la SAIS "Túpac Amaru" Ltda. UP Casaracra, ubicada en las provincias de Junín y Yauli, en la región Junín. El estudio se realizó en octubre y noviembre de 2011, durante la temporada de partos. El objetivo fue determinar los niveles de plomo (Pb) en sangre de corderos y su efecto en el peso y la talla al nacer. Los resultados fueron los siguientes: la concentración promedio de Pb-S fue de  $5,47 \pm 1,34$   $\mu\text{g}/\text{dl}$ , casi la mitad del nivel recomendado para niños ( $10$   $\mu\text{g}/\text{dl}$ ), el límite máximo permisible establecido por



la OMS. El peso y la talla promedio al nacer fueron de  $3,45 \pm 0,23$  kg y  $35,13 \pm 0,81$  cm, respectivamente. La ecuación de regresión para el contenido de plomo en sangre en relación con el peso fue  $Y=-0,092X+5,78$ , con un coeficiente de regresión insignificante, y la ecuación de regresión para el contenido de plomo en sangre en relación con la altura fue  $Y=-0,522X+23,82$ , también con un coeficiente de regresión insignificante. Aunque ambas ecuaciones mostraron una tendencia negativa, la asociación fue mínima, concluyendo que no hubo relación estadísticamente significativa entre los niveles de plomo en sangre y el peso o la altura de los corderos nacidos con estas concentraciones de plomo. El estudio no tuvo como objetivo estimar valores de tendencia central o cifras de normalidad debido al pequeño tamaño de la muestra. Las limitaciones de recursos impidieron colecciones de muestras más grandes. Por lo tanto, esta investigación fue diseñada como un estudio piloto destinado a proporcionar datos preliminares útiles para futuros estudios epidemiológicos (Villava, 2016).

Se diagnosticó envenenamiento por plomo en un pequeño rebaño de ganado Holstein, asociado con residuos de baterías recicladas. En este brote, 10 animales mostraron signos clínicos de envenenamiento por plomo, 5 murieron y otros se salvaron después de la terapia de quelación con  $\text{CaNa}_2\text{EDTA}$ . El nivel promedio de plomo en sangre en el ganado clínicamente envenenado fue de  $0,624 \pm 0,388$  ppm, con valores que oscilaron entre 0,320 y 1,300 ppm. Los niveles de plomo en sangre y leche en 9 animales expuestos, pero no afectados oscilaron entre 0,250 y 0,590 ppm y entre 0,060 y 0,290 ppm, respectivamente. Aunque los niveles de plomo en sangre y leche en estos animales disminuyeron significativamente después de que se eliminó la fuente de plomo, algunos animales mostraron niveles superiores a los aceptables en muestras analizadas 60



días después. Los productos de todo el ganado expuesto al plomo podrían no ser seguros para el consumo humano durante varias semanas, por lo que se deben realizar análisis para garantizar su seguridad (Aslani *et al.*, 2012).

El plomo es un contaminante ambiental natural, pero su uso en tuberías de agua, pintura y gasolina ha aumentado su presencia general. Los alimentos son la principal fuente de exposición humana al plomo. El plomo se acumula en el cuerpo y tiene un efecto más severo en el sistema nervioso central en desarrollo en niños pequeños. No existe un nivel de ingesta tolerable recomendado porque no hay evidencia de umbrales para una variedad de efectos críticos para la salud. Se han introducido medidas legislativas graduales para reducir la exposición mediante la eliminación del plomo de la pintura, las latas de alimentos, las tuberías de agua y la gasolina. El estudio actual examinó 144,206 resultados analíticos de plomo en alimentos recolectados durante un período de nueve años. Más de la mitad de las muestras de alimentos analizadas tenían niveles de plomo por debajo de los límites de detección o cuantificación. Los niveles promedio de plomo variaron de 0.3  $\mu\text{g}/\text{kg}$  en fórmulas de continuación para bebés a 4,300  $\mu\text{g}/\text{kg}$  en productos dietéticos, con una mediana general de 21.4  $\mu\text{g}/\text{kg}$  en todas las categorías. Los niveles de plomo en los alimentos disminuyeron aproximadamente un 23 % entre 2003 y 2010, aunque esto debe interpretarse con cautela. La exposición alimentaria promedio estimada a lo largo de la vida fue de 0,68  $\mu\text{g}/\text{kg}$  de peso corporal al día en la población europea, según la incidencia límite promedio de plomo. La exposición fue mayor en niños pequeños y otros niños, con 1,32 y 1,03  $\mu\text{g}/\text{kg}$  de peso corporal al día, respectivamente, mientras que las encuestas en lactantes oscilaron entre 0,83 y 0,91  $\mu\text{g}/\text{kg}$  de peso corporal al día. La exposición en adultos se estimó en 0,50  $\mu\text{g}/\text{kg}$  de peso corporal al día.



Las poblaciones de ancianos y muy ancianos mostraron perfiles similares a los de los adultos, mientras que los adolescentes tuvieron una exposición alimentaria estimada ligeramente mayor. Entre las categorías de alimentos que más contribuyen al consumo están el pan y los panecillos (8,5%), el té (6,2%), el agua del grifo (6,1%), las patatas y los productos derivados de la patata (4,9%), los productos lácteos fermentados (4,2%) y la cerveza y bebidas similares (4,1%), aunque esto varía según los grupos de edad y las encuestas (EFSA, 2012).

En el desierto, la cría de camellos es una práctica cultural importante. En el presente estudio, se muestrearon 240 camellos árabes de los Emiratos Árabes Unidos para la determinación de oligoelementos y diferentes metales pesados. Se analizaron los siguientes elementos: cobre, zinc, hierro, aluminio, arsénico, boro, bario, cobalto, cromo, cadmio, manganeso, molibdeno, níquel, selenio, estroncio y plomo. Los factores de variación incluyeron la edad, el sexo y el estado fisiológico. En promedio, el contenido mineral fue de 190,3  $\mu\text{g}/100\text{ ml}$  (hierro), 60,1  $\mu\text{g}/100\text{ ml}$  (cobre), 44,0  $\mu\text{g}/100\text{ ml}$  (estroncio), 22,5  $\mu\text{g}/100\text{ ml}$  (arsénico), 20,0  $\mu\text{g}/100\text{ ml}$  (zinc), 19,7  $\mu\text{g}/100\text{ ml}$  (selenio), 19,3  $\mu\text{g}/100\text{ ml}$  (boro) y 14,6  $\mu\text{g}/100\text{ ml}$  (bario). Otros minerales como el aluminio (3,7  $\mu\text{g}/100\text{ ml}$ ), el molibdeno (2,9  $\mu\text{g}/100\text{ ml}$ ), el cromo (2,0  $\mu\text{g}/100\text{ ml}$ ), el níquel (1,8  $\mu\text{g}/100\text{ ml}$ ), el plomo (1,5  $\mu\text{g}/100\text{ ml}$ ), el manganeso (0,16  $\mu\text{g}/100\text{ ml}$ ), el cobalto (0,08  $\mu\text{g}/100\text{ ml}$ ) y el cadmio (0,07  $\mu\text{g}/100\text{ ml}$ ) se encontraron en concentraciones muy bajas. Se evaluaron la edad, el sexo y los efectos fisiológicos de algunos parámetros. Dada la falta de referencias en especies de camellos, resulta difícil vincular estos resultados con el contexto contaminante. Sin embargo, estos datos podrían contribuir a comprender el estado de los metales pesados en los camellos frente a la contaminación (Faye *et al.*, 2008).



## CAPÍTULO III

### MATERIALES Y MÉTODOS

#### 3.1. LUGAR DE ESTUDIO

El estudio de investigación fue realizado en tres lugares afectados con la minería:

Primero en la comunidad de Pampa Blanca con actividad minera informal del distrito de Ananea, provincia de San Antonio de Putina, Región Puno; cuenta con una superficie total de 4,560 hectarias – 45.6 km<sup>2</sup>, con una distancia de 200 km desde la ciudad de Puno y con una altitud de 4653 msnm, el clima es frío en la tarde y en la madrugada; bien marcada sobre todo en los meses de junio y julio con heladas que limitan la siembra de productos agrícola. Límites: Por el Norte: distrito de Sina y Cuyo cuyo Sandia, Por el Sur: distrito de Cojata y Quilcapuncu, Por el Este: República de Bolivia, Por el Oeste: distritos de Putina y Quilcapuncu.

Segundo en la Empresa CIEMSA, se encuentra ubicado en la parcialidad de Antalla del distrito de Palca, provincia de Lampa, Región de Puno. Geográficamente se encuentra en la cordillera occidental de los Andes del Perú, a una altitud promedio de 4974 m.s.n.m. De la Concesión Minera Logroño S.A.C, Con sistema de coordenadas UTM, Datum WGS 84, Zona 19 S. Políticamente, se encuentra demarcado en la jurisdicción de la Benemérita provincia de Lampa al Noreste del departamento de Puno, en el Sur del Perú. Sus colindancias geográficas son las siguientes: Por el Norte: distrito de Vilavila y Ocuvi. Por el Sur: distritos de Paratía y Lampa. Por el Este: distritos de Pucará y Lampa. Por el Oeste: distritos de Paratía y Ocuvi.

Tercero en el Centro de Experimental (C.E.) Carolina, el cual pertenece a la Universidad Nacional del Altiplano. El centro está ubicado en el distrito y provincia de



Puno, a la altura del kilómetro 8 de la carretera Puno-Moquegua. Su localización geográfica corresponde a las coordenadas UTM (Universal Transversal Mercator): 389.000 de longitud oeste y 8'242.000 de latitud sur. Se encuentra a una altitud de 3,995 metros sobre el nivel del mar y cuenta con una extensión de 144 hectáreas.

Las muestras han sido procesadas en el laboratorio de la Unidad de Servicios de Análisis Químicos (USAQ) Facultad de Química e Ingeniería Química de la Universidad Mayor San Marcos de la ciudad de Lima.

### 3.2. MATERIAL DE ESTUDIO

Las familias de las comunidades de Pampa Blanca y la parcialidad de Antalla cuentan con un promedio de 110 alpacas en sus sistemas de producción. Las hembras presentan una tasa de parición del 48%, mientras que la mortalidad de las crías alcanza el 20%. La tasa de extracción anual no supera el 10%, lo que se traduce en la venta de aproximadamente 5 a 10 alpacas por familia cada año. Teniendo en cuenta estos indicadores productivos, se recolectaron 15 muestras para analizar la presencia de los 2 metales pesados (Hg y Pb), que consiste en la recolección de muestras sanguíneas, según como se observa en la tabla 3.

**Tabla 2**

*Distribución de las muestras para análisis de plomo y mercurio en suero sanguíneo de alpacas*

	MINERIA	MINERIA	
	FORMAL	INFORMAL	SIN MINERIA
<b>Total de Muestras</b>	15	15	15
<b>Total de muestras x 2 metales</b>	15 x 2 = 30	15 x 2 = 30	15 x 2 = 30

*Fuente: Elaboración Propia*



### **3.3. MÉTODO DE INVESTIGACIÓN**

#### **3.3.1. Obtención de muestras de sangre de alpacas**

- Se realizó la coordinación con los criadores para la obtención de alpacas en el distrito de Ananea, distrito de Palca y CE Carolina.
- El muestreo se realizó en horas de la mañana, entre las 5:00 y las 7:00. Con el apoyo de la persona responsable del cuidado de los animales, se logró identificar las alpacas que serían seleccionadas para el estudio.
- El animal fue inmovilizado y se localizó la vena yugular en el cuello. Se realizó la antisepsia de la zona con yodo y algodón.
- Utilizando jeringas de 10ml y un tubo Vacutainer con activador de coagulación, se extrajeron aproximadamente 6 ml de sangre.
- El tubo fue rotulado y registrado en un cuaderno mediante un código numérico. Las muestras se almacenaron a 4 °C en cajas de Tecnopor con hielo.
- Se envió al laboratorio de Unidad de Servicios de Análisis Químicos de la Universidad Nacional Mayor de San Marcos de la Ciudad de Lima.

#### **3.3.2. Determinación de plomo y mercurio por espectrofotometría de absorción atómico por la técnica de horno de grafito**

Las 45 muestras fueron procesadas en el laboratorio de la Unidad de Servicios de Análisis Químicos (USAQ) utilizando el equipo SHIMADZU AA-6800, perteneciente a la Facultad de Química e Ingeniería Química de la Universidad Nacional Mayor de San Marcos, en la ciudad de Lima. Los reactivos, materiales, equipos, así como la preparación de las muestras y las mediciones, se



llevaron a cabo siguiendo los protocolos establecidos para garantizar la precisión y confiabilidad de los resultados.

- **Reactivos:**

- Estándar certificado de plomo de 1000 mg/L
- Estándar certificado de mercurio de 1000 mg/L
- Ácido nítrico, HNO<sub>3</sub> concentrado ultrapuro, para preparación de estándares.
- Ácido nítrico, HNO<sub>3</sub> concentrado para análisis de trazas, para la digestión de las muestras.
- Diluyente, Ácido nítrico, 0.2 %: Medir 2 mL de ácido nítrico concentrado ultrapuro y llevar a una fiola de 1 litro, enrasar a la marca con agua ultrapura.
- Agua desionizada.

- **Materiales**

- Fiolas de 10 mL, 25 mL y 100 mL clase A
- Pipetas de 5 mL y 10 mL, clase A
- Probetas de 10 ml.
- Vasos de precipitados.
- Papel de filtrado de celulosa Whatman Nro. 40.
- Embudo de líquidos.

- **Equipos**

- Equipo de absorción atómica SHIMADZU AA-6800.
- Horno de grafito GFA-EX7.
- Inyector automático, Autosampler ASC-6100.



- Computadora.
- Plancha térmica, Marca CAT Modelo H30/45.
- Balón de Argón, 99.999% de pureza.
- Balanza analítica SHIMADZU AUW120 d: 0.1mg.

- **Técnicas de laboratorio**

La determinación de metales pesados, como mercurio (Hg) y plomo (Pb), en las muestras se llevó a cabo siguiendo las técnicas empleadas en el Laboratorio de la Unidad de Servicios de Análisis Químico (USAQ) de la Facultad de Química e Ingeniería Química de la Universidad Nacional Mayor de San Marcos (UNMSM), en Lima, utilizando Absorción Atómica con horno de grafito.

El límite de detección para cada metal es aproximadamente de 0,1 ppm, tanto para el plomo como para el mercurio. Las muestras se analizaron por duplicado para garantizar la precisión de los resultados.

Las curvas de calibración se elaboraron con estándares certificados de Hoechst-Fisher Scientific (USAQ, Lima), utilizando estándares multielemento con concentraciones de 0,01 y 0,1 ppm. Los niveles de recuperación de los metales estarán alrededor del 88,9%.

- **Preparación de muestra**

Se pesará aproximadamente 1 g de suero sanguíneo en frascos esterilizados, limpios y secos. Luego, se realizará la digestión ácida añadiendo 20 ml de ácido nítrico. Una vez que la solución se aclare, se llevará a sequedad. Después de enfriar, la muestra se disolverá en agua, se



filtrará y se transferirá a una fiola, ajustando el volumen final a 50 ml con agua desionizada.

- **Medición**

Se procedió a encender el espectrofotómetro de absorción atómica SHIMADZU AA-6800, junto con el horno de grafito GFA-EX7, equipado con inyector automático (autosampler) y la computadora asociada. Se insertará la lámpara de cátodo hueco específica para plomo. Conforme al procedimiento operativo del horno de grafito GFA-600, se verificará la calibración del equipo, asegurando el correcto alineamiento del autosampler antes de iniciar el análisis.

Mediante el control manual, se ajustará el brazo muestreador, posicionándolo sobre el tubo de grafito sin tocar el borde del orificio. Posteriormente, se colocarán el autosampler, el estándar de trabajo a una concentración de 20  $\mu\text{g/L}$ , el blanco reactivo y las muestras, cada una en los niveles previamente identificados y numerados. Finalmente, se programará la calibración automática y se verificará la curva de calibración antes de iniciar la corrida analítica.

**A) Determinación de plomo**

- **Preparación de estándares:**

Para preparar un estándar patrón de plomo con una concentración de 100 mg/L, se midieron 10 mL de un estándar certificado de 1 000 mg/L y se transfirieron a una fiola de 100 mL. Posteriormente, se completó el



volumen con agua ultrapura hasta la marca. Este estándar tiene una vida útil de 6 meses.

Para preparar un estándar de plomo con una concentración de 10 mg/L, se midieron 10 mL del estándar de 100 mg/L y se transfirieron a una fiola de 100 mL. Posteriormente, se completó el volumen con el diluyente correspondiente. Este estándar tiene una vida útil de 3 meses.

Para preparar un estándar de plomo con una concentración de 1 mg/L, se midieron 10 mL del estándar de 10 mg/L y se transfirieron a una fiola de 100 mL. Luego, se completó el volumen con el diluyente correspondiente. Este estándar tiene una vida útil de 1 semana.

Para preparar un estándar de plomo con una concentración de 20  $\mu\text{g/L}$ , se midieron 2 mL del estándar de 1 mg/L y se transfirieron a una fiola de 100 mL. Posteriormente, se completó el volumen con el diluyente correspondiente. Este estándar debe prepararse diariamente.

Los estándares de calibración obtenidos tienen concentraciones de 4  $\mu\text{g/L}$ , 8  $\mu\text{g/L}$ , 12  $\mu\text{g/L}$ , 16  $\mu\text{g/L}$  y 18  $\mu\text{g/L}$ . El equipo de absorción atómica prepara automáticamente estos estándares mediante diluciones precisas a partir del estándar base de 20  $\mu\text{g/L}$ .

Se preparó un blanco de calibración utilizando agua ultrapura, siguiendo el procedimiento previamente establecido.

## **B) Determinación de mercurio (Hg)**

- **Preparación de estándares**



- Para elaborar un estándar patrón de mercurio con una concentración de 100 mg/L, se tomaron 10 mL de un estándar certificado de 1000 mg/L. Este volumen fue transferido a una fiola de 100 mL y se completó hasta el aforo con agua ultrapura. La estabilidad del estándar es de 6 meses.
- Para preparar un estándar de mercurio a una concentración de 10 mg/L, se tomaron 10 mL del estándar de 100 mg/L y se transfirieron a una fiola de 100 mL. Posteriormente, se completó el volumen hasta el aforo utilizando el diluyente. Este estándar tiene una vida útil de 3 meses.
- Para preparar un estándar de mercurio con una concentración de 1 mg/L, se tomaron 10 mL del estándar de 10 mg/L, los cuales se transfirieron a una fiola de 100 mL. Luego, se completó el volumen hasta el aforo con el diluyente. Este estándar tiene una vida útil de 1 semana.
- Los estándares de calibración generados tienen concentraciones de 10  $\mu\text{g/L}$ , 20  $\mu\text{g/L}$  y 40  $\mu\text{g/L}$ , y son preparados automáticamente por el equipo a partir del estándar de 20  $\mu\text{g/L}$ .
- Un blanco de calibración fue preparado utilizando agua ultrapura, siguiendo el método descrito previamente.

### 3.4. ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Los datos cuantitativos continuos de las variables (niveles de mercurio y plomo) en suero sanguíneo fueron analizados mediante diseño completamente al azar, donde los tratamientos serán los 3 lugares de estudio, 2 metales pesados (mercurio y plomo) y serán



interpretados mediante medidas de tendencia central y dispersión, cuyo modelo aditivo

lineal es el siguiente:  $Y_{ijk} = \mu + A_i + E_{ijk}$

Donde:

$Y_{ijk}$  = Variable respuestas (niveles de plomo y mercurio).

$\mu$  = Medidas poblacional.

$A_i$  = Efecto de i-esimo (minería formal e informal)

$E_{ijk}$  = Efecto de error no controlable.

Se determinó los niveles de niveles mercurio y plomo en suero sanguíneo según (minería formal e informal), se utilizará la prueba de Tukey para ver las diferencias o discrepancias de medidas.

## CAPÍTULO IV

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 4.1. NIVELES SÉRICOS DE PLOMO EN ALPACAS EN ZONAS DE CONTAMINACIÓN MINERA

Tabla 3, muestra que en el C.E. Carolina tiene una media  $0.08 \pm 0.02$  mg/L de plomo con nivel sérico máximo de 0.18 mg/L y mínimo de 0.01 mg/L, mientras tanto las muestras del distrito de Ananea considerado como sector de minería informal tienen una media de  $0.05 \pm 0.01$  mg/L con nivel sérico de máximo de 0.15 mg/L y mínimo de 0.002 mg/L; y por último se puede observar que las muestras del distrito de Palca considerado como sector de minería formal tienen una media de  $0.04 \pm 0.01$  mg/L con nivel sérico máximo de 0.090 mg/L y mínimo de 0.010 mg/L.

**Tabla 3**

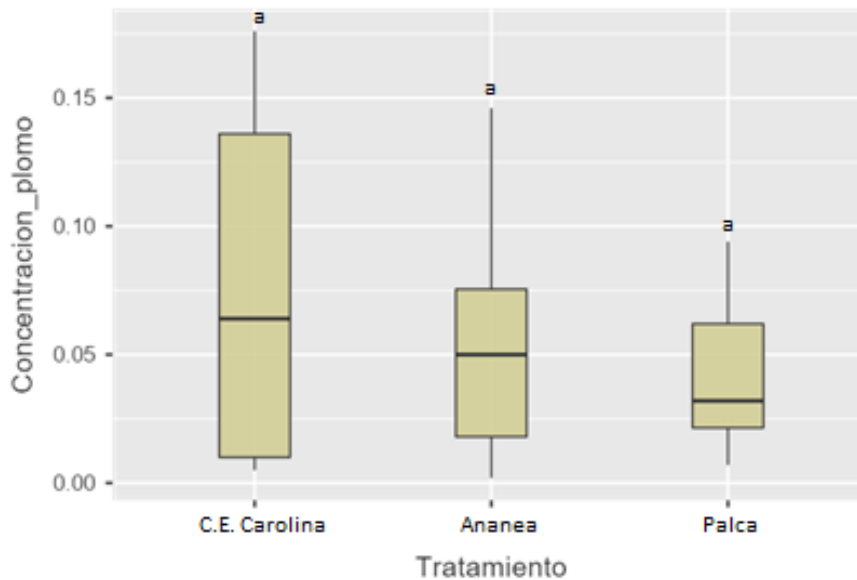
*Niveles séricos de plomo en alpacas Huacaya en tres zonas de contaminación minera*

	<b>C.E. Carolina</b>	<b>Ananea</b>	<b>Palca</b>
	<b>(mg/L)</b>	<b>(mg/L)</b>	<b>(mg/L)</b>
<b>Media <math>\pm</math> EE</b>	$0.08 \pm 0.02$ <sup>a</sup>	$0.05 \pm 0.01$ <sup>a</sup>	$0.04 \pm 0.01$ <sup>a</sup>
<b>Máximo</b>	0.180	0.150	0.090
<b>Mínimo</b>	0.010	0.002	0.010

La figura 1, muestra que después de haber usado la prueba de Tukey el p - valor es mayor a 0.05 ( $p > 0.05$ ) por lo que no se tiene diferencia estadística entre las medias de las diferentes zonas de contaminación minera.

### Figura 1

Box plot de niveles séricos de plomo (mg/L) en alpacas Huacaya en tres zonas de contaminación minera ( $p > 0.05$ )



Nuestros resultados fueron semejantes al reporte de Vera & Nuñonca (2023); quienes reportaron medias de  $0.05 \pm 0.03$ ,  $0.06 \pm 0.03$ ,  $0.05 \pm 0.03$  y  $0.04 \pm 0.02$  mg/L para las alpacas jóvenes, adultas, primíparas y multíparas respectivamente, en la Comunidad de Patacollana distrito de Condorama – Cusco; e igualmente Squadrone *et al.*, (2018) encontró niveles séricos de 0.046 mg/L en alpacas alimentadas en pastos natural sin actividad minera en su cercanía a su vez también encontró plomo en la fibra mencionando que la fibra puede ser más bioacumulador de ciertos metales pesado. También es semejante al reporte de Orellana *et al.*, (2021) quien obtuvo 0.0048 mg/kg en carne de alpacas sin diferencias entre sexos considerado por debajo de los límites regulados por la Comisión Europea y el Codex Alimentarius dicha acumulación se atribuiría a la ingesta diaria y directa de pastos con contenidos de estos elementos en el tejido vegetal a través del pastoreo libre de camélidos en las zonas altoandinas, lo que favorecería la acumulación de estos metales pesados en el organismo del animal.



Por otro lado nuestros datos fueron mayores a las concentraciones en corderos con  $5,47 \pm 1,34$   $\mu\text{g}/\text{dl}$  con máximo de 8.55 y mínimo de 3.10  $\mu\text{g}/\text{dl}$  de la SAIS Tupac Amaru, donde se tiene actividad minera desde el 2009 por la empresa DOE RUN con contaminación de Plomo y otros metales (Villava, 2016). de igual manera es mayor al reporte de Faye *et al.*, (2008). quienes obtuvieron 1.7  $\mu\text{g}/100\text{ml}$  para camellos hembras y 1.3  $\mu\text{g}/100\text{ml}$  para camellos machos, dicha acumulación se debió a la polución de la zona en la que habitaban dichos camellos.

Además nuestro resultados fueron inferiores a la investigación de Ajarem *et al.*, (2022) quien tuvo reportes en Camellos dromedarios de 0.2 a 0.8 ppm de plomo en sangre, el cual difiere al nuestro por el tipo de contaminación por extracción petrolera que genera mayores niveles de contaminación por plomo. Además Martínez *et al.*, (2018) reportaron 0.45, 0.63 y 0.45 ppm de plomo en muestras sanguíneas de vacunos considerado como intoxicación aguda, estos valores altos fueron debido a la contaminación de agua y pasto por una fábrica de baterías e igualmente con el reporte de Aslani *et al.*, (2012) quien obtuvo concentraciones de  $0,624 \pm 0,388$  ppm y los niveles variaron entre 0,320 y 1,300 ppm en las mismas circunstancias anteriores.

El plomo es un contaminante que se encuentra de forma natural en el ambiente, y por su utilización histórica en tuberías de agua, pinturas y gasolina se incrementó significativamente su presencia en el entorno (EFSA, 2012) es por ello que la Organización Mundial de la Salud considera que niveles superiores a  $5\mu\text{g}/\text{dL}$  lo que equivale a 0.05mg/L (OMS, 2022; Vera & Nuñonca, 2023) son nocivos para la salud además se sabe que el algunos metales pesados como el plomo carecen de funciones bioquímicas en los organismos animales, por lo que se consideran tóxicos, incluso cuando están presentes en concentraciones bajas en los órganos de los animales (Akoto *et al.*, 2014) y en nuestro trabajo se encontró niveles de 0.08 mg/L para el C.E. Carolina



considerado como mayor a lo recomendado por la OMS, 0.05 mg/L para Ananea considerado como minería ilegal estando el límite según la recomendación de la OMS y 0.04 mg/L para Palca considerado como minería formal teniendo menores concentración a lo recomendado por la OMS, estos hallazgos de plomo en sangre se podría considerar como un riesgo de salud pública en todos los ámbitos de la investigación (Huanqui, 2018). Esto podría deberse a que los animales pueden incorporar plomo al consumir pastos o beber agua contaminada debido a la presencia de pasivos mineros y actividades mineras en las zonas de evaluación (OMS, 2022; Orellana et al., 2021) puesto que el plomo del suelo puede ser transmitido al pasto generando intoxicación al ganado que lo consume como lo menciona Quijada, (2021). Otro factor que podría estar generando estos niveles altos de metales pesado (plomo) no solo es la contaminación minera sino también la composición del suelo o roca madre y de los procesos erosivos de cada zona, en algunos casos, una alta presencia de metales puede deberse únicamente a las características del material geológico, sin que haya ocurrido una contaminación específica por lo que es necesario realizar análisis de suelo y plantas de las zonas en mención (Adriano, 1986).

La mayor concentración de plomo en el C.E. Carolina también puede ser debido a que está en cercanía de la carretera Puno – Moquegua lo que podría generar emisión de metales por la circulación vehicular (Rosas, 2001), además otro factor que estaría afectan sus niveles altos aun sin minería presente podría ser la pintura con derivados de plomo, estos materiales guardados en los almacenes podrían ser fuente de contaminación sobre todo cuando la pintura se desmorona y se combina con el polvo o arrastrado por las lluvias (ONU, 2020).

Respecto al mayor valor numérico de plomo en las muestras de Ananea respecto a las muestras de Palca podría deberse a contaminación en las proximidades de la minería pues las emisiones de plomo son inadecuadas en casos de minerías informales o empresas

o industrias de pequeña escala como es la zona minera informal de Ananea (OMS, 2022). El hecho de tener niveles más altos de plomo en sangre podría generar la exposición de metales pesados al cuerpo humano por el posible consumo de carne y derivados de las alpacas, agua y plantas, siendo un riesgo para la salud pública y los pobladores de las zonas aledañas consumidores de esta carne (Ajarem et al., 2022).

#### 4.2. NIVELES SÉRICOS DE MERCURIO EN ALPACAS EN ZONAS DE CONTAMINACIÓN MINERA

En la Tabla 4, muestra que el C.E. Carolina tiene una media  $0.03 \pm 0.00$  mg/L de mercurio con nivel sérico máximo de 0.06 mg/L y mínimo de 0.01 mg/L, mientras tanto las muestras del distrito de Ananea considerado como sector de minería informal tiene una media de  $0.02 \pm 0.00$  mg/L con nivel sérico de máximo de 0.04 mg/L y mínimo de 0.002 mg/L; y por último se puede observar que las muestras del distrito de Palca considerado como sector de minería formal se tiene una media de  $0.02 \pm 0.00$  mg/L con nivel sérico máximo de 0.06 mg/L y mínimo de 0.001 mg/L.

**Tabla 4**

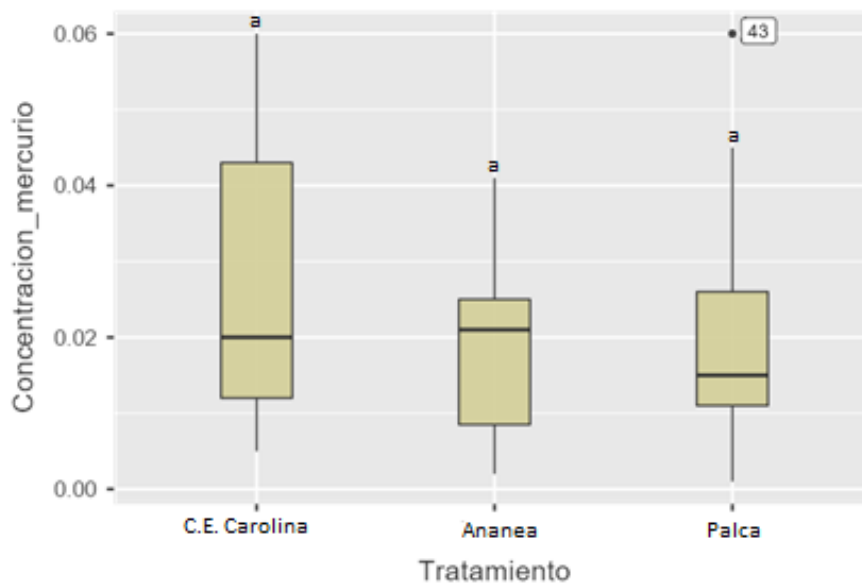
*Niveles séricos de mercurio en alpacas Huacaya en tres zonas de contaminación minera*

	<b>C.E. Carolina</b>	<b>Ananea</b>	<b>Palca</b>
	<b>(mg/L)</b>	<b>(mg/L)</b>	<b>(mg/L)</b>
<b>Media ± EE</b>	$0.03 \pm 0.00^a$	$0.02 \pm 0.00^a$	$0.02 \pm 0.00^a$
<b>Máximo</b>	0.06	0.04	0.06
<b>Mínimo</b>	0.01	0.002	0.001

La figura 2, muestra que después de haber usado la prueba de Tukey el p - valor es mayor a 0.05 ( $p > 0.05$ ) por lo que no se tiene diferencia estadística entre las medias de las diferentes zonas de contaminación minera.

## Figura 2

Box plot de niveles séricos de mercurio (mg/L) en alpacas Huacaya en tres zonas de contaminación minera ( $p > 0.05$ )



Nuestros resultados son mayores a los reportados por Beltrán-Saavedra *et al.*, (2020) quien encontraron en vicuñas (*Vicugna vicugna*) concentraciones séricas desde 0.10 a 0.15  $\mu\text{g/L}$  en ámbitos con y sin actividad minera en el área natural Apolobamba de la Paz que pudieron deberse al reciente ingreso de minería artesanal a esta zona y al ser un área natural protegida no es demasiada la contaminación con metales pesados. También fueron mayores al reporte de Xavier *et al.*, (2013) quien demostró en niños de 8, 9 y 10 años la presencia de mercurio 0,83  $\mu\text{g/L}$  o 0,00083mg, 0,92  $\mu\text{g/L}$  o 0,00092mg/L y 0,89  $\mu\text{g/L}$  o 0,00089mg/L dichas concentraciones se debieron a que el consumo de pescado y mariscos es la principal fuente de Hg orgánico en sangre para la población humana.



Pero fue inferior al reporte de Vera & Nuñonca (2023); en alpacas del distrito de Condorama de la región de Cusco, quienes reportaron concentraciones de  $0.098, \pm 0.06$ ,  $0.148 \pm 0.04$ ,  $0.073 \pm 0.06$  y  $0.101 \pm 0.05$  mg/L, para las alpacas jóvenes, adultas, primíparas y multíparas respectivamente, sin diferencias estadísticas por sexo o edad.

La Organización Mundial de la Salud menciona que los límites aceptables para poblaciones no expuestas al mercurio no deben exceder los  $8.0 \mu\text{g/L}$  o es igual a  $0.008$  mg/L (Xavier *et al.*, 2013) y como se pudo notar en el cuadro 3, tanto las muestras del C.E. Carolina, Ananea y Palca excedieron los límites recomendados con  $0.03$  mg/L,  $0.02$  mg/L y  $0.02$  mg/L respectivamente y siendo aún más riguroso con las concentraciones permitidas excedieron los límites de  $3,5$  y  $5,8 \mu\text{g/L}$  que es considerado preocupante por Mahaffey *et al.*, (2009) por su neurotoxicidad fetal.

Los niveles de mercurio encontrados en áreas de actividad minera como en nuestro caso se deberían a que el mercurio es usado de forma directa en la extracción de oro y por lo general, está en manos de personas que tienen una conciencia limitada o nula sobre los riesgos involucrados, cuentan con poca o ninguna capacitación para reducir dichos riesgos y carecen de acceso a equipo de seguridad adecuado (Brack *et al.*, 2011), además de deficientes tecnologías en la extracción de oro que generaría que el mercurio usado se libere al aire y se precipite a zonas aledañas y fuentes acuáticas (Aquino, 2003) esta probable causa de contaminación con mercurio afectaría a las alpacas de la zona pues estarían tomando agua contaminada por el proceso de obtención de oro (Gammons *et al.*, 2006). Por otro lado la liberación de mercurio por parte de la minería artesanal o a pequeña escala contamina plantas dentro de ellas *Poaceae* y *Rosaceae* como lo demostró Terán-Mita *et al.*, (2013) que podría elevar la acumulación de Hg en la cadena alimentaria porque la llama y la alpaca prosperan únicamente de estas plantas para alimentarse, como ocurre en nuestra investigación.



En nuestro estudio se pudo notar que el C.E. Carolina tiene la mayor concentración de mercurio respecto a Ananea y Palca, esto pudo ocurrir debido a que en el área del C.E. Carolina probablemente se pudo inhalar el mercurio en su forma metilada llamado metilmercurio siendo su forma más toxica contaminando agua y aire y entrando en la red trófica como sugiere Beltrán-Saavedra *et al.*, (2020) para el caso de mercurio en vicuñas, por lo que es necesario investigar más factores para la zona del C.E. Carolina pues podría representar a futuro un problema de salud pública, pues la FDA (Food and Drug Administration) recomienda que el alimento que tenga más de 1 ppm de mercurio no debería ser comercializado (ATSDR, 1999).

Ademas las alpacas del C.E. Carolina pudieron entrar en contacto con desechos industriales o agrícolas que contienen mercurio, como baterías, lámparas fluorescentes rotas, o productos químicos mal gestionados pues se tiene en el C.E. Carolina varios almacenes (OMS, 2022), lo que podría contaminar el pasto y con ellos elevar los niveles de mercurio en sangre generando problemas de salud e intoxicación que por medio de la cadena trófica poniendo en riesgo la salud de las personas que, al consumir sangre, carne y viseras de esta especie (Vera & Nuñonca, 2023), pues generaría afecciones al sistema nervioso y es por esto que se le consideraría un problema de salud pública.



## V. CONCLUSIONES

- Los niveles de plomo en sangre encontrados fueron 0.08 mg/L, 0.05 mg/L y 0.04 mg/L para el C.E. Carolina, Ananea y Palca, respectivamente; lo que demuestra ser superiores al recomendado por la OMS (0.05mg/L)
- Los niveles de mercurio en sangre encontrado fueron 0.03 mg/L, 0.02 mg/L y 0.02 mg/L para el C.E. Carolina, Ananea y Palca, respectivamente; lo que demuestra ser superiores al recomendado por la OMS (0.008 mg/L) en todos los casos siendo un posible riesgo para la salud pública.



## VI. RECOMENDACIONES

- Se recomienda el análisis de suelos de las zonas de investigación para determinar la correlación de concentraciones de metales pesado y su efecto sobre la concentración en planta.
- Se recomienda realizar más estudios sobre la acumulación de elementos potencialmente tóxicos en los tejidos de alpaca para determinar el posible riesgo total de los metales pesados en la salud de los consumidores.
- Se recomienda el análisis de las pasturas de las zonas de investigación para determinar posibles correlaciones entre los niveles de metales en planta y sangre
- Realizar más investigaciones de metales pesados en esta especie para establecer los valores límites aceptables para la salud pública.
- Evitar consumo de agua de riachuelos contaminados previa evaluación, usando manantiales protegidos además de identificar y cercar áreas de pastoreo cercano a minas.



## VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Adriano, D. (1986). Trace elements in the terrestrial environment. Springer Verlag. New York: Springer Verlag.
- Ajarem, J. S., Hegazy, A. K., Allam, G. A., Allam, A. A., Maodaa, S. N., & Mahmoud, A. M. (2022). Heavy Metal Accumulation, Tissue Injury, Oxidative Stress, and Inflammation in Dromedary Camels Living near Petroleum Industry Sites in Saudi Arabia. *Animals*, 12(6). <https://doi.org/10.3390/ani12060707>
- Akoto, O., Bortey-Sam, N., Nakayama, S. M. M., Ikenaka, Y., Baidoo, E., Yohannes, Y. B., Mizukawa, H., & Ishizuka, M. (2014). Distribution of Heavy Metals in Organs of Sheep and Goat Reared in Obuasi: A Gold Mining Town in Ghana. *International Journal of Environmental Science and Toxicology*, 2(4), 2315-9927. <http://www.internationalinventjournals.org/journals/IJEST>
- Aquino, E. (2003). Contaminación por mercurio y cianuro en el distrito Minero de Ananea-Puno”. Tercer Congreso Internacional de Medio Ambiente en Minería y Metalurgia. Crea ediciones graficas E.I.R.L. Tesis, 1-168. [http://repositorio.unap.edu.pe/bitstream/handle/UNAP/7104/Molleapaza\\_Mamani\\_Joel\\_Neftali.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://repositorio.unap.edu.pe/bitstream/handle/UNAP/7104/Molleapaza_Mamani_Joel_Neftali.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Arroyave, C. (2008). Guías Urgencias Toxicológicas.
- Aslani, M. R., Heidarpour, M., Najarnezhad, V., Mostafavi, M., & Khorasani, Y.-. (2012). Lead poisoning in cattle associated with batteries recycling: High lead levels in milk of nonsymptomatic exposed cattle. *Iranian Journal of Veterinary Science and Technology*, 4(1), 47-52.
- ATSDR, L. A. de sustancias toxicas y registro de enfermeades). (1999). Resumen de salud pública. División de Toxicología y Ciencias de la Salud, 8. [https://www.atsdr.cdc.gov/es/phs/es\\_phs46.pdf](https://www.atsdr.cdc.gov/es/phs/es_phs46.pdf)
- Beltrán-Saavedra, L. F., Loayza, O., Salinas, M., Albarracín, V., Chincheros-Paniagua, J., Mollericona, J. L., Rivera, S. J., & Wallace, R. B. (2020). Mercurio total (THg) en vicuñas (*Vicugna vicugna*) en áreas mineras del noroeste del departamento de La Paz, Bolivia. *Mastozoología Neotropical*, 27(1), 177-181.



<https://doi.org/10.31687/saremmn.20.27.1.0.05>

- Brack, A., Alvarez, J., Sotero, V., & Ipenza, C. (2011). Minería aurífera en Madre de Dios y contaminación con mercurio: Una bomba de tiempo. Ministerio del ambiente. Lima. En Ministerio Del Ambiente.
- Castro González, N. P. (2018). Metales pesados en leche de vacas alimentadas con alfalfa producida en suelos irrigados con aguas residuales en Puebla y Tlaxcala , México Heavy metals in milk from cows fed alfalfa produced in soils irrigated with wastewater in Puebla and Tlaxcala , Mexi.
- CEE. (2008). Contenido máximo de determinados contaminantes en los productos alimenticios. (8), 1-18.
- Choquepata, D. P. (2018). determinación de metales pesados en leche y pelo de vacas de la cuenca del río llallimayo Melgar – Puno.
- Dammert Lira, Alfredo;Molinelli Aristondo, F. (2007). Panorama de la Minería en el Perú. Osinergmin, 1-198.
- Disalvo, L., Varea, A., & Finkelstein, J. (2019). Niveles de plomo en sangre de perros de la Cuenca Matanza-Riachuelo . Su función como centinelas de riesgo ambiental Níveis de chumbo no sangue de cães na Bacia Matanza-Riachuelo . A sua função de sentinelas de risco ambiental Lead levels in the blood of canines from the Matanza River Basin . Their role as early. 19(2), 159-168.
- EFSA, E. F. S. A. (2012). Lead dietary exposure in the European population. EFSA Journal, 10(7), 1-59. <https://doi.org/10.2903/j.efsa.2012.2831>
- Environmental, U. S., & Agency, P. (2004). Determinación de metales pesados en aguas. 1-9.
- Faye, B., Seboussi, R., & Askar, M. (2008). Trace Elements and Heavy Metals Status in Arabian Camel. Impact of Pollution on Animal Products, 97-106. [https://doi.org/10.1007/978-1-4020-8359-4\\_10](https://doi.org/10.1007/978-1-4020-8359-4_10)
- Gammons, C. H., Slotton, D. G., Gerbrandt, B., Weight, W., Young, C. A., McNearny, R. L., Cámac, E., Calderón, R., & Tapia, H. (2006). Mercury concentrations of fish, river water, and sediment in the Ríó Ramis-Lake Titicaca watershed, Peru.



Science of the Total Environment, 368(2-3), 637-648.  
<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2005.09.076>

Gonzales, J. (2009). Metales pesados en carne y leche y certificación para la Unión Europea (UE).

Huanqui Perez, R. (2018). Determinacion de metales pesados en pastos, fibra, carne y visceras de alpacas en comunidades del distrito de Ananea - Puno. 100.  
<http://repositorio.unap.edu.pe/handle/20.500.14082/8960>

Huisa Tito, O. F. (2019). Evaluación del sistema de gestión de seguridad en la unidad minera TACAZA– CIEMSA.

INEI. (2012). Resultados Definitivos. IV Censo Nacional Agropecuario 2012.

Lobato Flores, A. L. (2013). “Evaluación ambiental y programas de remediación de la cuenca alta del rio Ramis”.

Mahaffey, K. R., Clickner, R. P., & Jeffries, R. A. (2009). Adult women’s blood mercury concentrations vary regionally in the United States: Association with patterns of fish consumption (NHANES 1999-2004). Environmental Health Perspectives, 117(1), 47-53. <https://doi.org/10.1289/ehp.11674>

Martínez, A. M., Villafañe, F., & López, J. A. (2018). Intoxicación aguda con plomo en bovinos; reporte de caso. Sitio Argentino de Producción Animal, SV(1), 1-4.  
[https://www.produccion-animal.com.ar/suplementacion\\_mineral/23-intoxicacion\\_aguda\\_con\\_plomo.pdf](https://www.produccion-animal.com.ar/suplementacion_mineral/23-intoxicacion_aguda_con_plomo.pdf)

Ministerio de Salud, & Gobierno del Perú. (2015). Guía de practica clinica para el diagnóstico y tratamiento de la intoxicacion por mercurio RM N° 757- 2013 /MINSa. Biblioteca Central del Ministerio de Salud - Peru, 34.

Moreno, M. (2003). Toxicología Ambiental. Evaluacion de Riesgo para la Salud Humana. Madrid: McGraw Hil.

Moreno, R. (1999). Contaminación ambiental por metales pesados impacto en los seres vivos. México: AGT, Editor, S.A. México.

OMS. (1980). Límites de exposición profesional a los metales pesados que se



- recomiendan por razones de salud. En World Health Organization (Vol. 647, Número 126).
- OMS. (2021). Mercury and human health. En World Health Organization.
- OMS, O. M. de la S. (2022). Directriz de la OMS para el tratamiento clínico de la exposición al plomo. En Wwwwho.int. <http://www.who.int/es/>
- ONU, O. de las N. (2020). Eliminación mundial de la pintura con plomo: por qué y cómo los países deben adoptar medidas. Informe técnico. 1-16.
- Orellana Mendoza, E. O., Saenz, L. P., Custodio, M., Bulege, W., Yallico, L., & Cuadrado, W. (2021). Cadmium, Lead and Zinc in the Soil-Plant-Alpaca System and Potential Health Risk Assessment Associated with the Intake of Alpaca Meat in Huancavelica, Peru. *Journal of Ecological Engineering*, 22(3), 40-52. <https://doi.org/10.12911/22998993/132175>
- Oyarzun, Roberto; Higuera, Pablo; Lillo, J. (2011). Minería Ambiental Una introducción a los Impactos y su Remediación.
- Quijada Caro, E. E. (2021). Bioacumulacion y transferencia de plomo del suelo a los pastos y leche en la estacion experimental El Mantaro [Universidad del Centro del Peru. Facultad de Zootecnia]. En Universidad Nacional del Centro del Peru (Vol. 75, Número 17). <http://hdl.handle.net/20.500.12894/6935>
- Ramírez, A. V, De, A., Medicina, F. De, Nacional, U., & San, M. De. (2005). Revisiones El cuadro clínico de la intoxicación ocupacional por plomo. *An Fac Med Lima*, 66(1), 57-70.
- Rosas Rodríguez, H. (2001). Estudio de la contaminación por metales pesados en la cuenca del Llobregat. Tesis doctoral, UPC, Departament d'Enginyeria Minera i Recursos Naturals. En 2001 (Vol. 7, Número 2). <https://doi.org/10.5821/dissertation-2117-94296>
- Shibamoto, T., & Bjeldanes, L. F. (1993). INTRODUCTION TO FOOD TOXICOLOGY.
- Solís, H. (2000). Producción de Camélidos Sudamericanos. Cerro de Pasco, Perú: Imprenta Ríos S.A



- Squadrone, S., Abete, M. C., Rizzi, M., Monaco, G., & Favaro, L. (2018). Bioaccumulation of Trace and Non-trace Elements in Blood and Fibers of Alpacas (Vicugna pacos) that Graze in Italian Pastures. *Water, Air, and Soil Pollution*, 229(2). <https://doi.org/10.1007/s11270-018-3703-7>
- Terán-Mita, T. A., Faz, A., Salvador, F., Arocena, J. M., & Acosta, J. A. (2013). High altitude artisanal small-scale gold mines are hot spots for Mercury in soils and plants. *Environmental Pollution*, 173, 103-109. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2012.10.008>
- Valdivia, M. M. (2005). Intoxicación por plomo. 18(1).
- Vargas, C. A. (2018). Sarcocistiosis (Arrocillo, Falsa triquina, Falso cisticercos, Sarcosporidiosis) Revisión literaria. 1843, 193-206.
- Vega, S. (1988). Evaluacion Epidemiologica de Riego Causado por Agentes Quimicos Ambientales.
- Velarde, J. (2021). Determinación de metales pesados en leche de vaca, pasto y agua de la microcuenca del rio Llallimayo Melgar – Puno.
- Vera Huarca, R., & Nuñonca Ppacco, E. (2023). Determinacion de metales pesados en pastos y suero sanguineo de alpacas de la Comunidad de Paracollana del distrito de Condorama. En Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco. Facultad de Agronomía y Zootenia. Escuela Profesional de Medicina Veterinaria. (Vol. 13, Número 1).
- Villava Fraga, A. M. (2016). Relacion entre los niveles de plomo con el peso y alzada al nacimiento en corderos de la raza juni - UP Casaracra - SAIS Tupac Amaru. Universidad nacional del Centro Del Peru. Facultad de Zootecnia.
- Xavier, O. L. P., Asmus, C. I. R. F., Tambellini, A. T., Meyer, A., & Câmara, V. de M. (2013). Contribuição para o estabelecimento de níveis de referência para a concentração de mercúrio no sangue de crianças na cidade do Rio de Janeiro. *Cadernos Saúde Coletiva*, 21(2), 182-187. <https://doi.org/10.1590/s1414-462x20130002000>



## ANEXOS

### Anexo 1: Resultado de laboratorio



#### INFORME DE ENSAYO

N° 192-2024

Cliente	NIDIA LOURDES PUMA CHAVEZ
Dirección del cliente	PUNO
Referencia USAQ	192
Denominación de la muestra	SANGRE DE ALPACA
Fecha de recepción	19/11/2024
Fecha de análisis	20/11/2024
Fecha de emisión de informe	28/11/2024
Características de muestra.	Soluciones

Referencia USAQ	Determinación o Parámetro	Especificación	Resultado	Unidades
192-01	MERCURIO	MA1	0.002	ppm
192-02	MERCURIO	MA2	0.024	ppm
192-03	MERCURIO	MA3	0.003	ppm
192-04	MERCURIO	MA4	0.029	ppm
192-05	MERCURIO	MA5	0.008	ppm
192-06	MERCURIO	MA6	0.023	ppm
192-07	MERCURIO	MA7	0.009	ppm
192-08	MERCURIO	MA8	0.021	ppm
192-09	MERCURIO	MA9	0.026	ppm
192-10	MERCURIO	MA10	0.015	ppm
192-11	MERCURIO	MA11	0.022	ppm
192-12	MERCURIO	MA12	0.002	ppm

Determinación o parámetro	Límite de detección	Método
MERCURIO	No aplica	USAQ-ME-004 AAS

  
PERCY YAQUE LÓPEZ MARILUZ  
QUÍMICO  
CQP. 876  
RESPONSABLE DE LABORATORIO

Av. Venezuela Cdra. 34 - Ciudad Universitaria - Pabellón B Química, Central Telefónica: 619-7000 anexos 1203, 1218  
E-mail: usaq@unmsm.edu.pe



UNIVERSIDAD NACIONAL MAYOR DE SAN MARCOS  
FACULTAD DE QUÍMICA E INGENIERÍA QUÍMICA



UNIDAD DE SERVICIOS DE ANÁLISIS QUÍMICOS

**INFORME DE ENSAYO**

Nº 192-2024

Cliente	NIDIA LOURDES PUMA CHAVEZ
Dirección del cliente	PUNO
Referencia USAQ	192
Denominación de la muestra	SANGRE DE ALPACA
Fecha de recepción	19/11/2024
Fecha de análisis	20/11/2024
Fecha de emisión de informe	28/11/2024
Características de muestra.	Soluciones

Referencia USAQ	Determinación o Parámetro	Especificación	Resultado	Unidades
192-37	MERCURIO	MP7	0.019	ppm
192-38	MERCURIO	MP8	0.012	ppm
192-39	MERCURIO	MP9	0.014	ppm
192-40	MERCURIO	MP10	0.001	ppm
192-41	MERCURIO	MP11	0.004	ppm
192-42	MERCURIO	MP12	0.026	ppm
192-43	MERCURIO	MP13	0.060	ppm
192-44	MERCURIO	MP14	0.007	ppm
192-45	MERCURIO	MP15	0.026	ppm
192-46	MERCURIO	VACA 1	0.025	ppm
192-47	MERCURIO	VACA 2	0.004	ppm

Determinación o parámetro	Limite de detección	Método
MERCURIO	No aplica	USAQ-ME-004 AAS

PERCY YAQUE LOPEZ MARILLUZ  
QUÍMICO  
CQP. 876

**RESPONSABLE DE LABORATORIO**

Av. Venezuela Cdra. 34 - Ciudad Universitaria - Pabellón B Química, Central Telefónica: 619-7000 anexos 1203, 1218  
E-mail: usaq@unmsm.edu.pe



**INFORME DE ENSAYO** N° 192-2024

Cliente	NIDIA LOURDES PUMA CHAVEZ
Dirección del cliente	PUNO
Referencia USAQ	192
Denominación de la muestra	SANGRE DE ALPACA
Fecha de recepción	19/11/2024
Fecha de análisis	20/11/2024
Fecha de emisión de informe	28/11/2024
Características de muestra.	Soluciones

Referencia USAQ	Determinación o Parámetro	Especificación	Resultado	Unidades
192-25	MERCURIO	MC10	0.005	ppm
192-26	MERCURIO	MC11	0.020	ppm
192-27	MERCURIO	MC12	0.040	ppm
192-28	MERCURIO	MC13	0.012	ppm
192-29	MERCURIO	MC14	0.011	ppm
192-30	MERCURIO	MC15	0.046	ppm
192-31	MERCURIO	MP1	0.026	ppm
192-32	MERCURIO	MP2	0.029	ppm
192-33	MERCURIO	MP3	0.010	ppm
192-34	MERCURIO	MP4	0.045	ppm
192-35	MERCURIO	MP5	0.013	ppm
192-36	MERCURIO	MP6	0.015	ppm

Determinación o parámetro	Límite de detección	Método
MERCURIO	No aplica	USAQ-ME-004 AAS

PERCY YAQUE LÓPEZ MARILLUZ  
 QUÍMICO  
 CQP. 876  
**RESPONSABLE DE LABORATORIO**

Av. Venezuela Cdra. 34 - Ciudad Universitaria - Pabellón B Química, Central Telefónica: 619-7000 anexos 1203, 1218  
E-mail: usaq@unmsm.edu.pe



**INFORME DE ENSAYO** N° 192-2024

Cliente	NIDIA LOURDES PUMA CHAVEZ
Dirección del cliente	PUNO
Referencia USAQ	192
Denominación de la muestra	SANGRE DE ALPACA
Fecha de recepción	19/11/2024
Fecha de análisis	20/11/2024
Fecha de emisión de informe	28/11/2024
Características de muestra.	Soluciones

Referencia USAQ	Determinación o Parámetro	Especificación	Resultado	Unidades
192-13	MERCURIO	MA13	0.041	ppm
192-14	MERCURIO	MA14	0.032	ppm
192-15	MERCURIO	MA15	0.019	ppm
192-16	MERCURIO	MC1	0.046	ppm
192-17	MERCURIO	MC2	0.012	ppm
192-18	MERCURIO	MC3	0.028	ppm
192-19	MERCURIO	MC4	0.051	ppm
192-20	MERCURIO	MC5	0.060	ppm
192-21	MERCURIO	MC6	0.019	ppm
192-22	MERCURIO	MC7	0.037	ppm
192-23	MERCURIO	MC8	0.012	ppm
192-24	MERCURIO	MC9	0.019	ppm

Determinación o parámetro	Limite de detección	Método
MERCURIO	No aplica	USAQ-ME-004 AAS

PERCY YAQUE LÓPEZ MARILUZ  
 QUÍMICO  
 CQP. 876

**RESPONSABLE DE LABORATORIO**



**INFORME DE ENSAYO** N° 192-2024

Cliente	NIDIA LOURDES PUMA CHAVEZ
Dirección del cliente	PUNO
Referencia USAQ	192
Denominación de la muestra	SANGRE DE ALPACA
Fecha de recepción	19/11/2024
Fecha de análisis	20/11/2024
Fecha de emisión de informe	28/11/2024
Características de muestra.	Soluciones

Referencia USAQ	Determinación o Parámetro	Especificación	Resultado	Unidades
192-13	PLOMO	MA13	0.073	ppm
192-14	PLOMO	MA14	0.146	ppm
192-15	PLOMO	MA15	0.043	ppm
192-16	PLOMO	MC1	0.110	ppm
192-17	PLOMO	MC2	0.162	ppm
192-18	PLOMO	MC3	0.134	ppm
192-19	PLOMO	MC4	0.155	ppm
192-20	PLOMO	MC5	0.064	ppm
192-21	PLOMO	MC6	0.138	ppm
192-22	PLOMO	MC7	0.176	ppm
192-23	PLOMO	MC8	0.057	ppm
192-24	PLOMO	MC9	0.008	ppm

Determinación o parámetro	Límite de detección	Método
MERCURIO	No aplica	USAQ-ME-004 AAS

PERCY YAQUE LÓPEZ MARILUZ  
 QUÍMICO  
 CQP. 876  
**RESPONSABLE DE LABORATORIO**

Av. Venezuela Cdra. 34 - Ciudad Universitaria - Pabellón B Química, Central Telefónica: 619-7000 anexos 1203, 1218  
E-mail: usaq@unmsm.edu.pe



**INFORME DE ENSAYO** N° 192-2024

Cliente	NIDIA LOURDES PUMA CHAVEZ
Dirección del cliente	PUNO
Referencia USAQ	192
Denominación de la muestra	SANGRE DE ALPACA
Fecha de recepción	19/11/2024
Fecha de análisis	20/11/2024
Fecha de emisión de informe	28/11/2024
Características de muestra.	Soluciones

Referencia USAQ	Determinación o Parámetro	Especificación	Resultado	Unidades
192-25	PLOMO	MC10	0.006	ppm
192-26	PLOMO	MC11	0.046	ppm
192-27	PLOMO	MC12	0.012	ppm
192-28	PLOMO	MC13	0.072	ppm
192-29	PLOMO	MC14	0.007	ppm
192-30	PLOMO	MC15	0.005	ppm
192-31	PLOMO	MP1	0.020	ppm
192-32	PLOMO	MP2	0.074	ppm
192-33	PLOMO	MP3	0.044	ppm
192-34	PLOMO	MP4	0.050	ppm
192-35	PLOMO	MP5	0.094	ppm
192-36	PLOMO	MP6	0.087	ppm

Determinación o parámetro	Límite de detección	Método
MERCURIO	No aplica	USAQ-ME-004 AAS

PERCY YAQUE LÓPEZ MARILUZ  
 QUÍMICO  
 CQP. 876  
**RESPONSABLE DE LABORATORIO**




**INFORME DE ENSAYO** N° 192-2024

Cliente	NIDIA LOURDES PUMA CHAVEZ
Dirección del cliente	PUNO
Referencia USAQ	192
Denominación de la muestra	SANGRE DE ALPACA
Fecha de recepción	19/11/2024
Fecha de análisis	20/11/2024
Fecha de emisión de informe	28/11/2024
Características de muestra.	Soluciones

Referencia USAQ	Determinación o Parámetro	Especificación	Resultado	Unidades
192-01	PLOMO	MA1	0.098	ppm
192-02	PLOMO	MA2	0.002	ppm
192-03	PLOMO	MA3	0.082	ppm
192-04	PLOMO	MA4	0.078	ppm
192-05	PLOMO	MA5	0.072	ppm
192-06	PLOMO	MA6	0.045	ppm
192-07	PLOMO	MA7	0.021	ppm
192-08	PLOMO	MA8	0.071	ppm
192-09	PLOMO	MA9	0.015	ppm
192-10	PLOMO	MA10	0.005	ppm
192-11	PLOMO	MA11	0.005	ppm
192-12	PLOMO	MA12	0.050	ppm

Determinación o parámetro	Limite de detección	Método
MERCURIO	No aplica	USAQ-ME-004 AAS

  
 PERCY YAQUE LÓPEZ MARILLUZ  
 QUÍMICO  
 CQP. 876  
**RESPONSABLE DE LABORATORIO**

Av. Venezuela Cdra. 34 - Ciudad Universitaria - Pabellón B Química, Central Telefónica: 619-7000 anexos 1203, 1218  
E-mail: [usaq@unmsm.edu.pe](mailto:usaq@unmsm.edu.pe)



UNIVERSIDAD NACIONAL MAYOR DE SAN MARCOS  
FACULTAD DE QUÍMICA E INGENIERÍA QUÍMICA



UNIDAD DE SERVICIOS DE ANÁLISIS QUÍMICOS

**INFORME DE ENSAYO**

**N° 192-2024**

Cliente	NIDIA LOURDES PUMA CHAVEZ
Dirección del cliente	PUNO
Referencia USAQ	192
Denominación de la muestra	SANGRE DE ALPACA
Fecha de recepción	19/11/2024
Fecha de análisis	20/11/2024
Fecha de emisión de informe	28/11/2024
Características de muestra.	Soluciones

Referencia USAQ	Determinación o Parámetro	Especificación	Resultado	Unidades
192-37	PLOMO	MP7	0.036	ppm
192-38	PLOMO	MP8	0.015	ppm
192-39	PLOMO	MP9	0.075	ppm
192-40	PLOMO	MP10	0.007	ppm
192-41	PLOMO	MP11	0.032	ppm
192-42	PLOMO	MP12	0.023	ppm
192-43	PLOMO	MP13	0.032	ppm
192-44	PLOMO	MP14	0.025	ppm
192-45	PLOMO	MP15	0.011	ppm
192-46	PLOMO	VACA 1	0.053	ppm
192-47	PLOMO	VACA 2	0.016	ppm

Límites de detección y Métodos		
Determinación o parámetro	Límite de detección	Método
MERCURIO	No aplica	USAQ-ME-004 AAS

PERCY YAQUE LÓPEZ MARILUZ  
QUÍMICO  
CQP. 876  
**RESPONSABLE DE LABORATORIO**

## Anexo 2: Tablas y figuras de metales pesados

### PLOMO

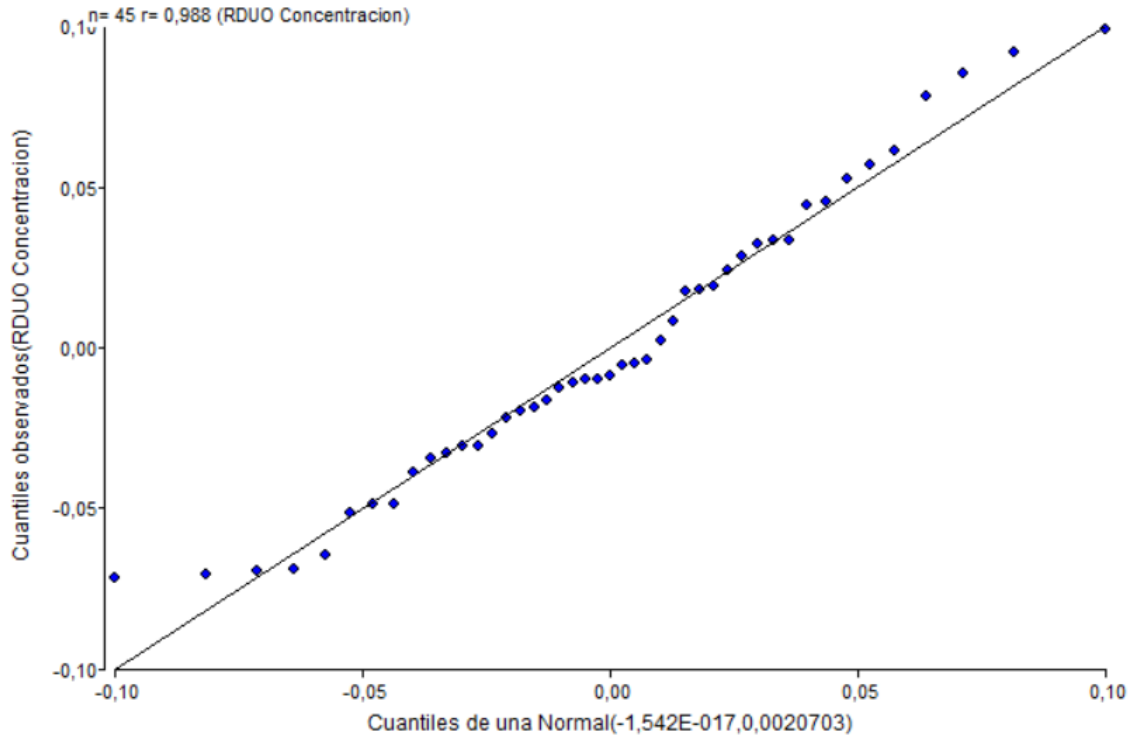
**Tabla 5**

*Niveles séricos de plomo en alpacas en zonas de contaminación minera*

ESTADISTICA DESCRIPTIVA									
	Trat	Media	EE	Mediana	DE	Mínimo	Máximo	Shapiro-Wilk	
								W	p
Concentracion_plomo	C.E. Carolina	0.08	0.02	0.06	0.06	0.01	0.18	0.88	0.05
	Ananea	0.05	0.01	0.05	0.04	0.00	0.15	0.93	0.30
	Palca	0.04	0.01	0.03	0.03	0.01	0.09	0.90	0.11

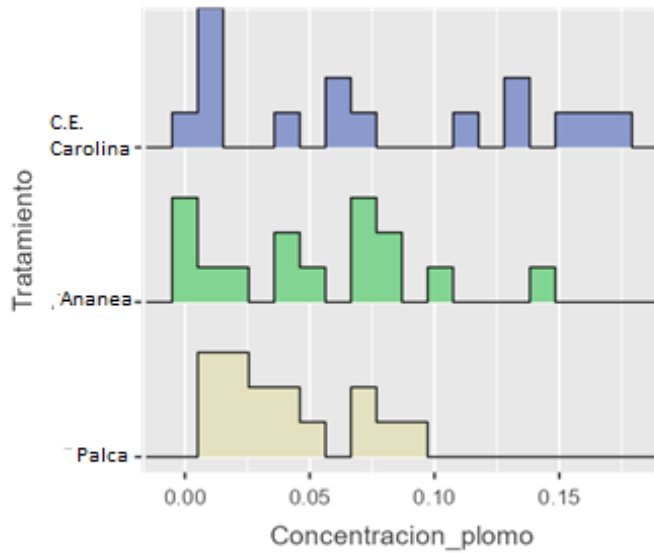
**Figura 3**

*Q-Q Plot de concentracion\_plomo, al 95% de confiabilidad que muestra la normalidad de datos*



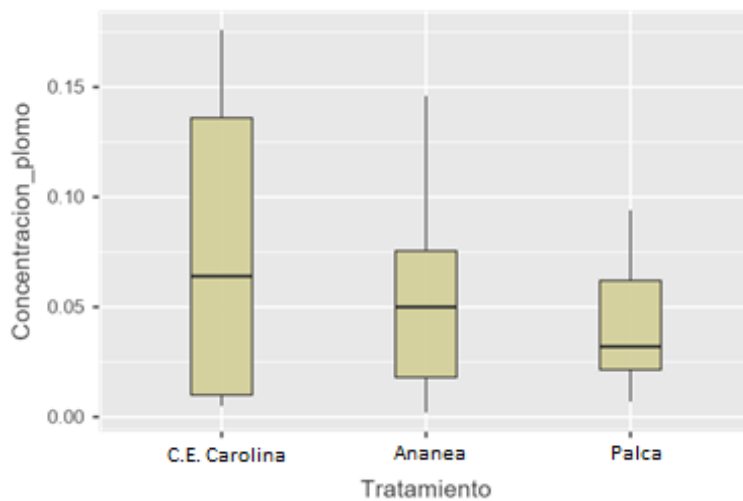
**Figura 4**

*Histograma de concentración plomo en sangre de alpaca Huacaya en zonas de contaminación minera*



**Figura 5**

*BOX PLOT de concentración plomo en sangre de alpaca huacaya en zonas de contaminación minera*





**Tabla 6**

*ANOVA de Un Factor para concentración de plomo en sangre de alpacas Huacaya en zonas de contaminación minera*

ANOVA de Un Factor (Welch)

	F	gl1	gl2	p
Concentracion_plomo	1.98	2	25.74	0.158

**Tabla 7**

*PRUEBAS POST HO para medias de concentración de plomo en sangre de alpacas Huacaya en zonas de contaminación minera*

Tukey Post-Hoc Test – Concentracion\_plomo

		C.E. Carolina	Ananea	Palca
C.E. Carolina	Diferencia de medias	—	0.02	0.04
	valor p	—	0.373	0.109
Ananea	Diferencia de medias		—	0.01
	valor p		—	0.759
Palca	Diferencia de medias			—
	valor p			—

## MERCURIO

**Tabla 8**

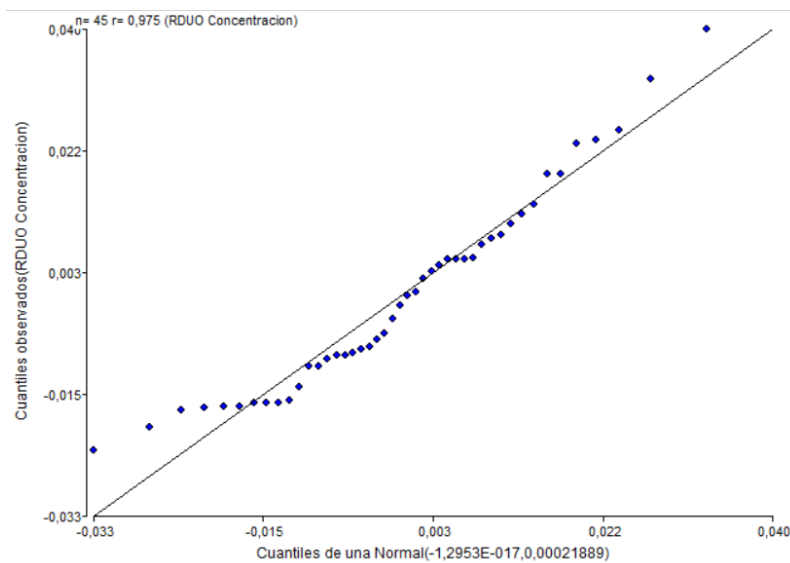
*Niveles séricos de mercurio en alpacas en zonas de contaminación minera*

	Trat	Media	EE	Mediana	DE	Mínimo	Máximo	Shapiro-Wilk	
								W	p
Concentracion_mercurio	C.E. Carolina	0.03	0.00	0.02	0.02	0.01	0.06	0.91	0.15

Ananea	0.02	0.00	0.02	0.01	0.00	0.04	0.95	0.53
Palca	0.02	0.00	0.01	0.02	0.00	0.06	0.89	0.08

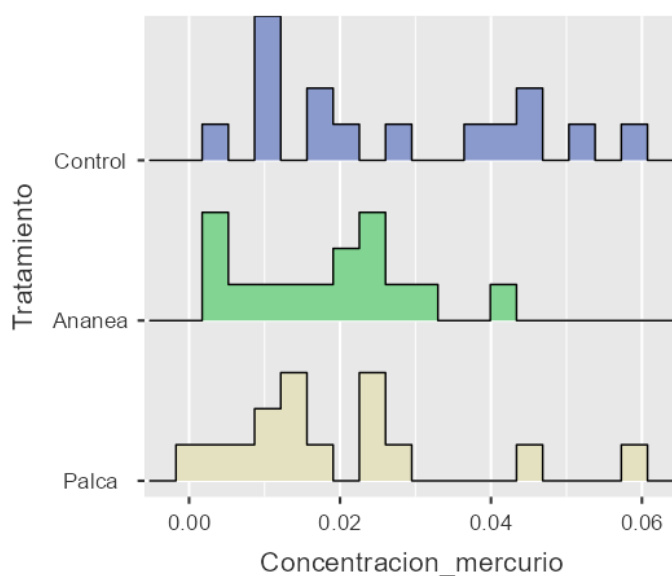
**Figura 6**

*Q-Q PLOT de concentración de mercurio, al 95% de confiabilidad que muestra la normalidad de datos*



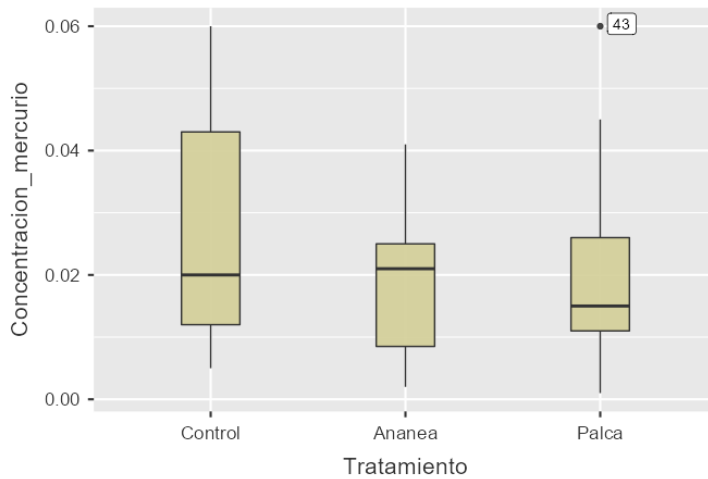
**Figura 7**

*Histograma de concentración mercurio en sangre de alpaca Huacaya en zonas de contaminación minera*



**Figura 8**

*BOX PLOT de concentración mercurio en sangre de alpaca Huacaya en zonas de contaminación minera*



**Tabla 9**

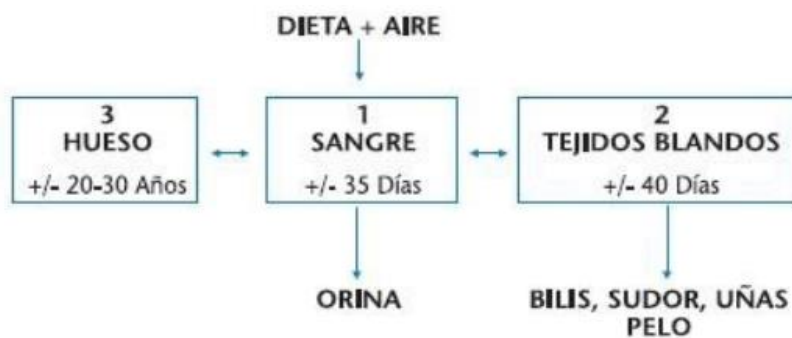
*ANOVA de Un Factor*

ANOVA de Un Factor (Welch)

	F	gl1	gl2	p
Concentracion_plomo	1.98	2	25.74	0.158

**Figura 9**

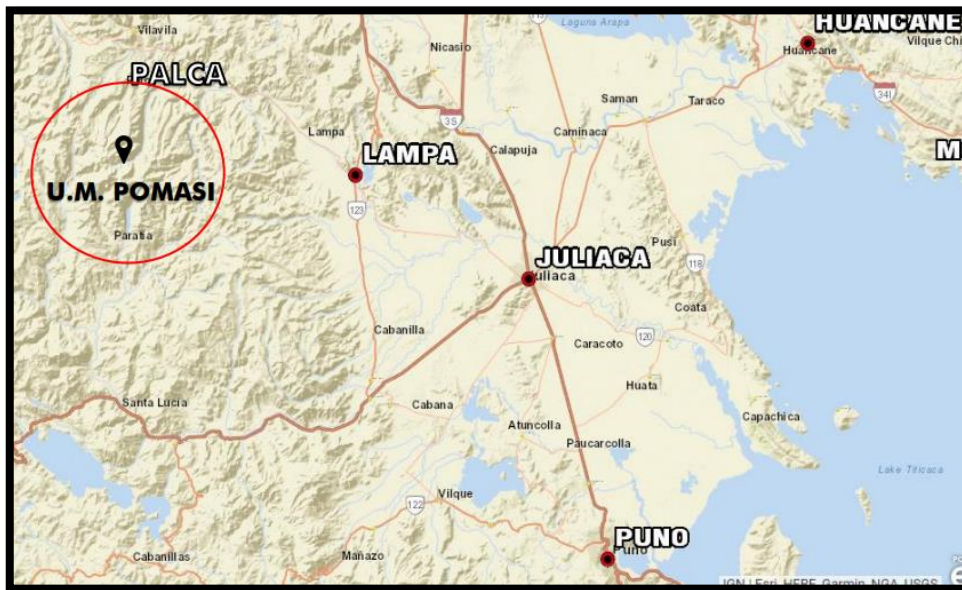
*Distribución de plomo, Modelo de los Tres Compartimientos en el Organismo.*



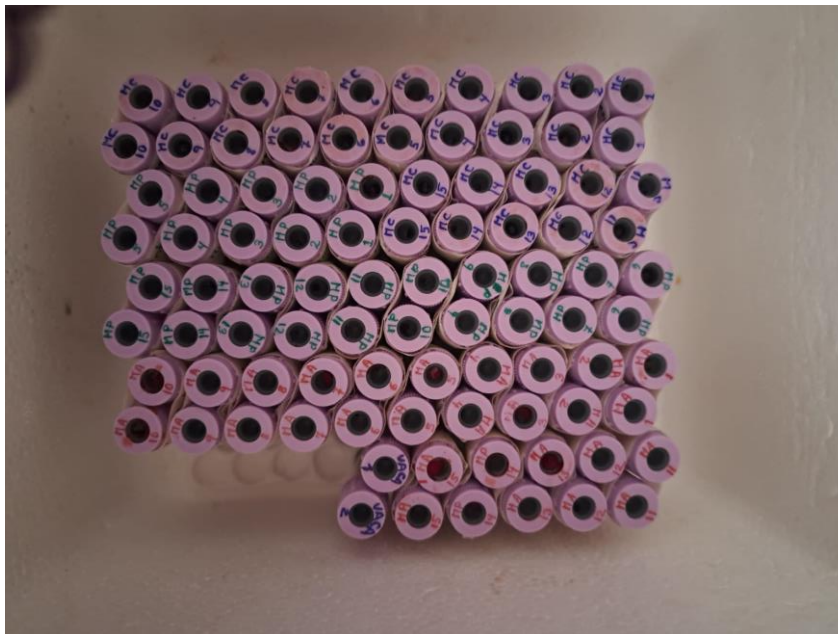
Fuente: (Shibamoto & Bjeldanes, 1993)

**Figura 10**

*Ubicación geográfica de la Unidad Minera*



**Anexo 3: Panel fotográfico**



**Imagen 1:** Traslado de muestras



**Imagen 2:** Toma de muestra de sangre de la vena yugular de las alpacas multíparas aproximada 6ml en tubos de vacutainer con activador de coagulación y su respectiva rotulación.



## Anexo 4: Declaración jurada de autenticidad de tesis



Universidad Nacional  
del Altiplano Puno



Vicerrectorado  
de Investigación



Repositorio  
Institucional

### DECLARACIÓN JURADA DE AUTENTICIDAD DE TESIS

Por el presente documento, Yo NIDIA LOURDES PUHA CHAVEZ,  
identificado con DNI 46635831 en mi condición de egresado de:

Escuela Profesional,  Programa de Segunda Especialidad,  Programa de Maestría o Doctorado

MEDICINA VETERINARIA Y ZOOTECNIA

informo que he elaborado el/la  Tesis o  Trabajo de Investigación denominada:

“ DETERMINACIÓN DE METALES PESADOS EN SANGRE  
DE ALPACAS HUACAYA EN ZONAS DE CONTAMINACIÓN  
MINERA ”

Es un tema original.

Declaro que el presente trabajo de tesis es elaborado por mi persona y **no existe plagio/copia** de ninguna naturaleza, en especial de otro documento de investigación (tesis, revista, texto, congreso, o similar) presentado por persona natural o jurídica alguna ante instituciones académicas, profesionales, de investigación o similares, en el país o en el extranjero.

Dejo constancia que las citas de otros autores han sido debidamente identificadas en el trabajo de investigación, por lo que no asumiré como tuyas las opiniones vertidas por terceros, ya sea de fuentes encontradas en medios escritos, digitales o Internet.

Asimismo, ratifico que soy plenamente consciente de todo el contenido de la tesis y asumo la responsabilidad de cualquier error u omisión en el documento, así como de las connotaciones éticas y legales involucradas.

En caso de incumplimiento de esta declaración, me someto a las disposiciones legales vigentes y a las sanciones correspondientes de igual forma me someto a las sanciones establecidas en las Directivas y otras normas internas, así como las que me alcancen del Código Civil y Normas Legales conexas por el incumplimiento del presente compromiso

Puno 16 de ABRIL del 20 25

FIRMA (obligatoria)



Huella



## Anexo 5: Autorización para el depósito de la tesis en el Repositorio Institucional



Universidad Nacional  
del Altiplano Puno



Vicerrectorado  
de Investigación



Repositorio  
Institucional

### AUTORIZACIÓN PARA EL DEPÓSITO DE TESIS O TRABAJO DE INVESTIGACIÓN EN EL REPOSITORIO INSTITUCIONAL

Por el presente documento, Yo NIDIA LOURDES PUHA CHAVEZ,  
identificado con DNI 46635231 en mi condición de egresado de:

Escuela Profesional,  Programa de Segunda Especialidad,  Programa de Maestría o Doctorado

MEDICINA VETERINARIA Y ZOOTECNIA,  
informo que he elaborado el/la  Tesis o  Trabajo de Investigación denominada:

" DETERMINACIÓN DE METALES PESADOS EN SANGRE DE  
ALPACAS HUACAYA EN ZONAS DE CONTAMINACIÓN MINERA "

para la obtención de  Grado,  Título Profesional o  Segunda Especialidad.

Por medio del presente documento, afirmo y garantizo ser el legítimo, único y exclusivo titular de todos los derechos de propiedad intelectual sobre los documentos arriba mencionados, las obras, los contenidos, los productos y/o las creaciones en general (en adelante, los "Contenidos") que serán incluidos en el repositorio institucional de la Universidad Nacional del Altiplano de Puno.

También, doy seguridad de que los contenidos entregados se encuentran libres de toda contraseña, restricción o medida tecnológica de protección, con la finalidad de permitir que se puedan leer, descargar, reproducir, distribuir, imprimir, buscar y enlazar los textos completos, sin limitación alguna.

Autorizo a la Universidad Nacional del Altiplano de Puno a publicar los Contenidos en el Repositorio Institucional y, en consecuencia, en el Repositorio Nacional Digital de Ciencia, Tecnología e Innovación de Acceso Abierto, sobre la base de lo establecido en la Ley N° 30035, sus normas reglamentarias, modificatorias, sustitutorias y conexas, y de acuerdo con las políticas de acceso abierto que la Universidad aplique en relación con sus Repositorios Institucionales. Autorizo expresamente toda consulta y uso de los Contenidos, por parte de cualquier persona, por el tiempo de duración de los derechos patrimoniales de autor y derechos conexos, a título gratuito y a nivel mundial.

En consecuencia, la Universidad tendrá la posibilidad de divulgar y difundir los Contenidos, de manera total o parcial, sin limitación alguna y sin derecho a pago de contraprestación, remuneración ni regalía alguna a favor mío; en los medios, canales y plataformas que la Universidad y/o el Estado de la República del Perú determinen, a nivel mundial, sin restricción geográfica alguna y de manera indefinida, pudiendo crear y/o extraer los metadatos sobre los Contenidos, e incluir los Contenidos en los índices y buscadores que estimen necesarios para promover su difusión.

Autorizo que los Contenidos sean puestos a disposición del público a través de la siguiente licencia:

Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional. Para ver una copia de esta licencia, visita: <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>

En señal de conformidad, suscribo el presente documento.

Puno 16 de ABRIL del 2025

  
FIRMA (obligatoria)



Huella