

UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE GROHMANN

Facultad de Ciencias Agropecuarias

Escuela Profesional de Ingeniería en Industrias Alimentarias

**DETERMINACIÓN DE LA PRESENCIA DE ARSÉNICO, CADMIO Y
PLOMO EN VÍSCERAS Y MÚSCULO EN GANADO OVINO
(*Ovis aries*) DE LOS HUMEDALES DE ITE, REGIÓN TACNA**

TESIS

Presentada por:

Bach. KARLA NOELIA TACURI URQUIZO

Para optar Título Profesional de:

INGENIERO EN INDUSTRIAS ALIMENTARIAS

TACNA - PERÚ

2026

UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE GROHMANN

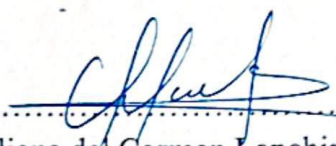
Facultad de Ciencias Agropecuarias

Escuela Profesional de Ingeniería en Industrias Alimentarias

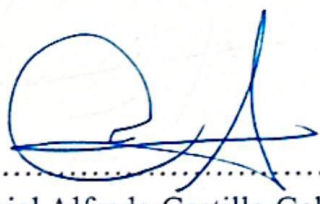
DETERMINACIÓN DE LA PRESENCIA DE ARSÉNICO, CADMIO Y PLOMO EN
VÍSCERAS Y MÚSCULO EN GANADO OVINO (*Ovis aries*) DE LOS HUMEDALES DE
ITE, REGIÓN TACNA

Tesis sustentada y aprobada el 17 de diciembre del 2025, estando conformado por el
Jurado Calificador:

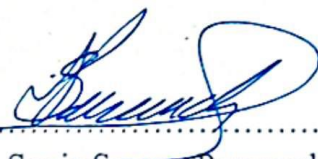
PRESIDENTE :


.....
Dra. Liliana del Carmen Lanchipa Bergamini

SECRETARIO :


.....
Dr. Marcial Alfredo Castillo Cohaila

MIEMBRO :


.....
MSc. Sonia Susana Pomareda Angulo

ASESOR :


.....
Dr. Abraham Erasmo Apaza Canqui

CERTIFICADO DE SIMILITUD

Yo **Abrahan Erasmo Apaza Canqui**, en mi condición de **ASESOR DE TRABAJO DE TESIS**, titulado:

"DETERMINACIÓN DE LA PRESENCIA DE ARSÉNICO, CADMIO Y PLOMO EN VÍSCERAS Y MÚSCULO EN GANADO OVINO (*Ovis Aries*) DE LOS HUMEDALES DE ITE, REGIÓN TACNA",
Presentado por el autor **Bach. Karla Noelia Tacuri Urquizo** para ser publicado en el Repositorio de la UNJBG.

Habiendo cumplido con lo establecido en el reglamento de originalidad y de similitud de trabajos de investigación y producción intelectual, considerando que según la evaluación realizada a través del software de similitud textual **TURNITIN**, cuenta con el nivel de similitud permitido cuyo porcentaje es **6%**, por lo que **CERTIFICO LA SIMILARIDAD DEL TRABAJO DE TESIS** está de acuerdo al nivel **PERMITIDO**, para continuar con los trámites correspondientes y para su publicación.

Se emite el presente certificado con fines de continuar con los trámites respectivos para su publicación.


.....

Dr. Abrahan Erasmo Apaza Canqui
DNI: N° 00440471


.....

Bach. Karla Noelia Tacuri Urquizo
DNI: N° 72888623

DEDICATORIA

Dedico este trabajo, con profundo amor y respeto, a mi familia, columna firme en cada etapa de mi vida. A mis padres, por enseñarme que el conocimiento es la herencia más valiosa; a quienes ya no están, pero dejaron huellas imborrables en mi camino; y a quienes, con su fe inquebrantable, me impulsaron a seguir incluso en mis días más difíciles. Esta meta es tan suya como mía.

AGRADECIMIENTO

Expreso mi más sincero agradecimiento a Dios, por darme la fuerza de continuar y la claridad de propósito. A mis docentes y asesores, por su guía exigente pero justa, que me permitió crecer intelectual y humanamente. A mis compañeros, por los intercambios que enriquecieron este proceso. A la institución que me acogió, por brindarme las herramientas necesarias para llevar a cabo esta investigación. Finalmente, agradezco a cada persona que creyó en mí cuando ni yo mismo lo hacía. Esta tesis es testimonio de perseverancia, gratitud y compromiso.

ÍNDICE GENERAL

DEDICATORIA	iv
AGRADECIMIENTO	v
RESUMEN.....	xii
ABSTRACT.....	xiii
INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO I: EL PROBLEMA.....	3
1.1. Planteamiento del problema.....	3
1.2. Formulación del problema	5
1.2.1. Problema principal	5
1.2.2. Problemas específicos	5
1.3. Delimitación de la investigación.....	6
1.3.1. Delimitación espacial	6
1.3.2. Delimitación temporal.....	6
1.3.3. Delimitación teórica	6
1.4. Justificación.....	6
1.5. Limitaciones.....	8
1.6. Objetivos de la investigación	9
1.6.1. Objetivo general	9
1.6.2. Objetivos específicos.....	9

CAPÍTULO II: FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA	10
2.1. Antecedentes	10
2.2. Conceptos generales y definiciones	13
2.3. Enfoques teóricos - técnico	14
2.3.1. Ganado ovino	14
2.3.2. Los metales pesados	22
2.3.3. Codex Alimentarius.....	24
2.3.4. Contaminación por metales pesados	24
2.3.5. Toxixología de alimentos y metales pesados	26
CAPÍTULO III: VARIABLES	30
3.1. Diagrama de variable	30
3.2. Indicadores de las variables	30
3.3. Operacionalización de variables	31
CAPÍTULO IV: METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN	32
4.1. Tipo de investigación	32
4.2. Población y muestra	33
4.2.1. Población	33
4.2.2. Muestra	33
4.3. Materiales y métodos	34
4.3.1. Materiales y equipos para análisis.....	34

4.3.2. Método procedimental.....	36
CAPÍTULO V: TRATAMIENTO DE RESULTADOS.....	38
5.1. Técnicas aplicadas en la recolección de información	38
5.2. Resultados	39
5.2.1. Estadísticas descriptivas para arsénico, cadmio y plomo en músculo de ovinos.....	39
5.2.2. Estadísticas descriptivas para arsénico, cadmio y plomo en hígado de ovinos.....	43
5.2.3. Estadísticas descriptivas para arsénico, cadmio y plomo en riñón de ovinos.....	47
DISCUSIONES.....	51
CONCLUSIONES	54
RECOMENDACIONES	55
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICA	56
ANEXOS	63

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Composición química de 100 g de carne de ovino	20
Tabla 2. Decreto Supremo N° 004-2011-AG, Reglamento sobre vigilancia y control sanitario de alimentos y bebidas	24
Tabla 3. Límites máximos permisibles de presencia de metales pesados, arsénico, cadmio y plomo en ppm según la Organización Mundial la Salud OMS para las muestras de hígado, riñón y músculo de los ovinos	26
Tabla 4. Determinación de presencia de arsénico, cadmio y plomo en músculo de ovinos	39
Tabla 5. Determinación de valores de arsénico en músculo de ovinos.....	39
Tabla 6. Determinación de presencia de arsénico en hígado de ovinos.....	43
Tabla 7. Determinación de valores de arsénico en hígado de ovinos	43
Tabla 8. Determinación de presencia de arsénico, cadmio y plomo en riñón de ovinos	47
Tabla 9. Determinación de valores de arsénico en riñón de ovinos.....	47

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Diagrama de variable del estudio de la investigación.	30
Figura 2. Esquema procedimental de la presencia de As, Cd y Pb en ganado ovino.....	37
Figura 3. Medición de la concentración de metales (arsénico, cadmio y plomo). ..	38
Figura 4. Distribución del arsénico en el músculo de ovinos	41
Figura 5. Distribución del arsénico en el hígado de ovinos	45
Figura 6. Distribución del arsénico en el riñón de ovinos.....	49

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Ficha para la recolección de muestras al azar	63
Anexo 2. Imágenes de ovinos en los Humedales de Ite	64
Anexo 3. Imágenes recolección de muestras (hígado, riñón y músculo) de ganado ovino.....	65

RESUMEN

El objetivo del estudio fue identificar la presencia de arsénico (As), cadmio (Cd) y plomo (Pb) en tejidos de músculo, hígado y riñón de ovinos provenientes de los humedales de Ite, en la región Tacna. Esta área ha sido afectada históricamente por residuos de la actividad minera, lo que podría comprometer la salud de animales y personas. El estudio fue de tipo básico, con nivel descriptivo, diseño no experimental y corte transversal. Se analizaron 10 muestras por tejido, utilizando la técnica de espectrofotometría de absorción atómica conforme a la norma NTP 211.047:2015. Los resultados revelaron que el arsénico fue el único metal detectable en los tejidos evaluados. La presencia de As se evaluó a través de niveles de concentración que oscilaron entre 0,010 ppm y 0,250 ppm. El hígado presentó la mayor acumulación, seguido por el riñón y el músculo. Una muestra hepática superó el límite máximo permisible (0,15 ppm) según la FAO. No se detectaron niveles de cadmio ni plomo en las muestras analizadas. Se determinó que, aunque el arsénico en la mayoría de muestras no excede los límites establecidos por la normativa internacional, su presencia constante en vísceras sugiere un proceso activo de acumulación. Esta condición refleja una posible exposición ambiental sostenida en la zona evaluada.

Palabras clave: metales pesados, ovinos, hígado, riñón y músculo

ABSTRACT

The objective of this study was to identify the presence of arsenic (As), cadmium (Cd), and lead (Pb) in muscle, liver, and kidney tissues of sheep from the Ite wetlands in the Tacna region. This area has historically been affected by mining waste, which could compromise the health of animals and humans. The study was basic, descriptive, non-experimental, and cross-sectional. Ten samples per tissue were analyzed using atomic absorption spectrophotometry in accordance with NTP standard 211.047:2015. The results revealed that arsenic was the only metal detectable in the tissues evaluated. The presence of As was assessed using concentration levels ranging from 0,010 ppm to 0,250 ppm. The liver showed the highest accumulation, followed by the kidney and muscle. One liver sample exceeded the maximum permissible limit (0,15 ppm) according to the FAO. No levels of cadmium or lead were detected in the samples analyzed. It was determined that, although the arsenic content in most samples does not exceed the limits established by international regulations, its constant presence in viscera suggests an active accumulation process. This condition reflects possible sustained environmental exposure in the area evaluated.

Keywords: heavy metals, sheep, liver, kidney, muscle

INTRODUCCIÓN

A nivel mundial, la seguridad alimentaria y la salud pública enfrentan amenazas crecientes debido a la contaminación por metales pesados. Estos contaminantes, como el arsénico (As), el cadmio (Cd) y el plomo (Pb) tienden a acumularse en los organismos vivos, afectando tanto la salud animal como humana (Jomova et al., 2025; Nkosi et al., 2021). En este contexto, se ha vuelto prioritario el monitoreo de residuos tóxicos en alimentos de origen animal, especialmente en aquellos procedentes de zonas con antecedentes de actividad minera (Piñeiro et al., 2021; Galagarza et al., 2021).

La presente investigación se desarrolla en los Humedales de Ite, Región Tacna, una zona que por décadas ha estado expuesta a pasivos ambientales generados por relaves mineros. Por ello, este estudio se centra en analizar la concentración de metales pesados en músculo y vísceras de ganado ovino criado en esta área, con el fin de identificar posibles riesgos toxicológicos y contribuir a estrategias de control y vigilancia sanitaria (Tahir et al., 2023). Se aplicó un diseño descriptivo, no experimental y de corte transversal, utilizando espectrofotometría de absorción atómica para el análisis.

La finalidad de este trabajo no solo es describir la exposición actual de los animales a contaminantes, sino también ofrecer recomendaciones técnicas que contribuyan a proteger la salud de los consumidores y fortalecer la inocuidad alimentaria.

La tesis se estructura en cinco capítulos. El primero comprende la exposición del problema, los objetivos, la justificación y los límites del estudio. El segundo capítulo aborda el marco teórico, presentando antecedentes relevantes, tanto nacionales como internacionales, fundamentos sobre metales pesados y sus impactos en animales, además de conceptos clave de toxicología alimentaria. En el tercer capítulo se detalla el enfoque metodológico, describiendo el tipo y diseño de la investigación, la población y muestra, así como las técnicas de recolección de datos y los procesos de análisis en laboratorio (Abd-Elghany et al., 2020).

El cuarto capítulo presenta los hallazgos sobre la concentración de metales pesados en los distintos tejidos ovinos, con su respectivo tratamiento estadístico y representaciones gráficas. Finalmente, el quinto capítulo discute los resultados obtenidos, concluye y formula recomendaciones dirigidas a mejorar la gestión ambiental, el control sanitario y la seguridad alimentaria en el área estudiada.

CAPÍTULO I

EL PROBLEMA

1.1. Planteamiento del problema

El problema de investigación consiste en determinar la presencia de metales pesados como As, Cd y Pb y en vísceras y músculo de ganado ovino en los Humedales de Ite, estos humedales son ecosistemas donde se realizan actividades, como la minería, la agricultura y el uso de aguas residuales (Jomova et al., 2025; Nkosi et al., 2021), las cuales pueden generar contaminación por metales pesados como arsénico, cadmio y plomo, que son altamente tóxicos y pueden ser absorbidos por las plantas y, posteriormente, por los animales que las consumen.

El ganado ovino criado en esta zona se alimenta principalmente de los pastos naturales disponibles en los humedales, favoreciendo la acumulación de metales pesados en sus tejidos, especialmente en las vísceras (como hígado y riñón) y en el músculo, que son partes comúnmente consumidas por la población lo que podría representar un riesgo, ya que estos metales pesados pueden causar daños si se ingieren en cantidades elevadas.

En consecuencia, toxicológicamente las vísceras y músculo contaminados por estos metales pesados, afectan al ser humano y puede ocasionar daños graves

en órganos y sistemas biológicos, así como problemas reproductivos y efectos carcinogénicos en animales y humanos (Upadhyay et al., 2019), por ello, según Scaramozzino et al. (2019), las principales soluciones al problema serían identificar estos metales a través de un método oficial estandarizado y aislar la población de ovinos contaminados para darle su respectivo tratamiento y así cuidar la calidad y seguridad de los productos cárnicos.

Por ello, resulta importante determinar la presencia de metales pesados a través de niveles de concentración en tejidos de consumo frecuente, a fin de evaluar los riesgos sanitarios, proteger al consumidor y garantizar la inocuidad alimentaria.

En este sentido, se plantea la interrogante respecto a los niveles de concentración de arsénico, cadmio y plomo presentes en el músculo, hígado, riñón de los ovinos procedentes de los humedales de Ite. Asimismo, se considera necesario determinar si las concentraciones encontradas representan un riesgo toxicológico para la salud humana y si la acumulación de estos metales pesados podría constituir una amenaza para la seguridad alimentaria.

1.2. Formulación del problema

1.2.1. Problema principal

¿En qué medida se da la presencia del As, Cd y Pb en músculo, hígado y riñón del ganado ovino de los Humedales de Ite, Región Tacna?

1.2.2. Problemas específicos

¿Cuál será el nivel de concentración de la presencia de metales pesados (As, Cd y Pb) en el músculo en ganado ovino de los Humedales de Ite, Región Tacna?

¿Cuál será el nivel de concentración de la presencia de metales pesados (As, Cd y Pb) en el hígado en ganado ovino de los Humedales de Ite, Región Tacna?

¿Cuál será el nivel de concentración de la presencia de metales pesados (As, Cd y Pb) en el riñón en ganado ovino de los Humedales de Ite, Región Tacna?

1.3. Delimitación de la investigación

1.3.1. Delimitación espacial

Las muestras se recolectarán de ovinos (*Ovis aries*) criados en la zona baja de los Humedales de Ite, distrito de Ite, provincia Jorge Basadre, región Tacna. En particular, se considerarán rebaños semi-extensivos pertenecientes al pastor León Cahuana Laura.

1.3.2. Delimitación temporal

La investigación se desarrollará desde el mes de marzo hasta fines de diciembre del 2025.

1.3.3. Delimitación teórica

Dentro de los aspectos dentro del alcance de la investigación son:

- Tejidos de ganado ovino, Metales pesados (As, Cd y Pb), niveles máximos permisibles (LMP).
- Método: Espectrofotometría de absorción atómica.

1.4. Justificación

Esta investigación reviste gran importancia para la población local de Tacna, ya que la posible contaminación de productos ganaderos con metales pesados representa un riesgo directo para la salud de los consumidores de carne y

derivados de ovino. Los metales como arsénico (As), cadmio (Cd) y plomo (Pb) son elementos que tienden a concentrarse en los organismos vivos como las ovejas, por ello, al consumir carne contaminada, especialmente en alimentos procesados, puede tener efectos graves para la salud, como cáncer y daños neurológicos, entre otros (Jomova et al., 2025; Nkosi et al., 2021).

El conocimiento científico generado a través de este estudio permitirá comprender los niveles de concentración y los tejidos específicos donde ocurre mayor acumulación, información fundamental para la evaluación de riesgos toxicológicos y la implementación de medidas preventivas. De esta manera, los resultados podrán contribuir a la seguridad alimentaria y al fortalecimiento de la salud pública (Piñeiro et al., 2021).

Desde el punto de vista académico, la investigación aporta nuevos conocimientos en el campo de la toxicología de alimentos y la eco toxicología, ya que se enfoca en un área poco explorada en la región sur del Perú (Tahir et al., 2023). Cabe destacar que los avances en esta temática han permitido establecer regulaciones internacionales y nacionales. Entre ellas se encuentra la Resolución Directoral N.º 0019-2022-MIDAGRI-SENASA-DIAIA, que establece normas generales para contaminantes y toxinas en alimentos y piensos, así como la norma UNE-EN 15763:2010, que describe los métodos de determinación de arsénico, cadmio, mercurio y plomo en productos alimenticios mediante espectrometría.

1.5. Limitaciones

La investigación presenta algunas limitaciones que deben ser consideradas al interpretar los resultados. En primer lugar, la disponibilidad de datos históricos sobre la actividad minera en los Humedales de Ite es limitada, lo que dificulta reconstruir con precisión la cronología de la contaminación y establecer una relación directa con los niveles actuales de concentración de metales pesados en ovinos. Asimismo, la presencia de estos contaminantes en los tejidos animales puede estar influenciada por múltiples factores asociados a la cadena alimentaria, como la dieta, el metabolismo y las características del hábitat, los cuales no fueron objeto de un análisis exhaustivo en este estudio. Finalmente, si bien se obtuvieron datos cuantitativos sobre la concentración de arsénico, cadmio y plomo, la evaluación integral del riesgo para la salud humana y animal requerirá estudios complementarios que consideren límites de seguridad, exposición acumulativa y análisis toxicológicos más detallados.

1.6. Objetivos de la investigación

1.6.1. Objetivo general

Determinar la presencia de metales pesados (As, Cd y Pb) en las muestras de músculo y vísceras del ganado ovino de los Humedales de Ite, Región Tacna.

1.6.2. Objetivos específicos

- a) Determinar la presencia de metales pesados (As, Cd y Pb) en las muestras de músculo en ganado ovino de los Humedales de Ite, Región Tacna.
- b) Determinar la presencia de metales pesados (As, Cd y Pb) en las muestras de hígado en ganado ovino de los Humedales de Ite, Región Tacna.
- c) Determinar la presencia de metales pesados (As, Cd y Pb) en las muestras de riñón en ganado ovino de los Humedales de Ite, Región Tacna.

CAPÍTULO II

FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

2.1. Antecedentes

Condori et al. (2021) investigaron la acumulación de metales pesados en tres especies marinas (*Concholepas concholepas*, *Fissurella latimarginata* y *Thais chocolata*) recolectadas en los bancos naturales de Punta Meca y Santa Rosa, en el distrito de Ite, Tacna. El estudio evidenció la influencia de los residuos mineros en la zona, al detectar concentraciones de cadmio (Cd), mercurio (Hg), plomo (Pb), arsénico (As) y zinc (Zn) en moluscos de diferentes edades. Las muestras se obtuvieron mediante transectos lineales de 1000 metros y fueron procesadas de acuerdo con el método EPA 200.7 (1994), el cual corresponde al protocolo de la *Environmental Protection Agency* para la determinación de metales y oligoelementos mediante espectrometría de emisión atómica con plasma acoplado inductivamente (ICP-AES), que incluye etapas de secado, trituration y homogeneización de los tejidos. Los resultados revelaron que *Thais chocolata* superó los límites establecidos para Cd y As, alcanzando valores de 1,02 mg/kg y 21,14 mg/kg, respectivamente, según los parámetros fijados por el Ministerio de Salud de Chile y la Unión Europea. En contraste, las otras especies evaluadas no sobrepasaron los niveles tolerables de Hg, Zn ni Pb.

Alviz (2021) realizó un análisis comparativo de la concentración de metales pesados (As, B, Cd, Cr, Cu, Fe, Mn, Pb) en sedimentos, entre las zonas alta y baja del río Locumba, en la región Tacna, Perú. La investigación se centró en la subcuenca del río Locumba, ubicada en el distrito de Ite, provincia de Jorge Basadre. La relevancia del estudio radica en que el río Locumba es la principal fuente de abastecimiento de agua para consumo humano en Ite. El objetivo fue comparar los niveles de concentración de metales pesados en sedimentos entre ambas zonas del río. Los resultados mostraron que en los diez puntos de monitoreo se detectaron metales pesados en los sedimentos, con concentraciones variables. No se hallaron diferencias significativas en los niveles promedio y desviación estándar de los metales entre las zonas alta y baja del río. Sin embargo, el arsénico fue el único metal que superó el límite máximo permitido (57 mg/Kg) en los diez puntos de monitoreo, de acuerdo con los Estándares de Calidad en Sedimentos Marino Costeros de la US-EPA. Esto sugiere la presencia de fuentes de contaminación y posibles rutas de exposición, donde el consumo de plantas o animales contaminados podría causar síntomas de intoxicación.

Yaguana (2021) desarrolló una investigación titulada “*Determinación de cadmio y plomo en carne de ganado porcino comercializados en dos mercados municipales de la ciudad de Guayaquil*”, en la cual destaca que la carne, aunque rica en nutrientes y oligoelementos, puede representar un riesgo si contiene metales pesados. La contaminación con plomo y cadmio constituye una amenaza

relevante debido a su toxicidad dentro de la cadena alimentaria. Estos metales pueden acumularse en los tejidos animales por factores ambientales y prácticas de producción, incluyendo la administración de fármacos veterinarios. El objetivo fue identificar los niveles de Cd y Pb en carne porcina distribuida en dos mercados municipales de Guayaquil, utilizando espectrometría de absorción atómica para el análisis. Los resultados mostraron que el cadmio no fue detectable en las muestras (límite $>0,014$ mg/kg), mientras que el plomo apareció en cantidades mínimas en algunos casos ($0,01435 \pm 0,0080$ mg/kg y $0,0054 \pm 0$ mg/kg). En el resto, no se detectó presencia de este metal ($<0,035$ mg/kg). Se concluyó que las concentraciones halladas de estos metales no representan un riesgo significativo para la salud humana.

Abd-Elghany et al. (2020) realizaron una evaluación del riesgo para la salud asociado a la exposición a metales pesados presentes en carne y vísceras de oveja en Kuwait. Se analizaron 600 muestras, correspondientes a músculo, hígado y riñón (200 de cada tejido), recolectadas de 200 canales de ovinos sacrificados en mataderos locales. Las muestras fueron evaluadas mediante espectrofotometría de absorción atómica para determinar la presencia de mercurio (Hg), arsénico (As), plomo (Pb), cadmio (Cd) y cromo (Cr). Todos los metales fueron detectados en la totalidad de las muestras (100 %), observándose concentraciones más elevadas en riñón, seguidas por el hígado y luego el músculo. Los niveles promedio ($\pm$ error estándar) para Hg fueron $0,320 \pm 0,061$, $0,488 \pm 0,042$ y $0,791 \pm 0,152$ $\mu\text{g/g}$ en

músculo, hígado y riñón, respectivamente. Para As, los valores fueron $0,349 \pm 0,074$, $0,504 \pm 0,049$ y $0,642 \pm 0,113$ $\mu\text{g/g}$; para Pb, $0,482 \pm 0,098$, $0,567 \pm 0,042$ y $0,706 \pm 0,098$ $\mu\text{g/g}$; para Cd, $0,301 \pm 0,344$, $0,433 \pm 0,032$ y $0,586 \pm 0,064$ $\mu\text{g/g}$; y para Cr, $0,362 \pm 0,064$, $0,585 \pm 0,044$ y $0,738 \pm 0,111$ $\mu\text{g/g}$.

2.2. Conceptos generales y definiciones

▪ Metal pesado

Un metal pesado es un elemento químico metálico que posee una alta densidad relativa (generalmente superior a 5 g/cm^3) y que, en concentraciones elevadas, puede ser tóxico o perjudicial para los organismos vivos y el medio ambiente (Prieto et al., 2009).

▪ Ovino

Se refiere a una especie de ganado doméstico perteneciente a la familia de los bóvidos, específicamente al género *Ovis*, siendo la oveja (*Ovis aries*) su representante más común. Se componen de corderos, carneros y ovejas (Figueredo & Iser, 2005).

▪ Concentración

Es la cantidad de una sustancia o componente específico presente en un determinado medio, como suelo, agua o tejidos biológicos expresada en miligramos por kilogramos o ppm (Raviolo & Farré, 2020).

2.3. Enfoques teóricos - técnico

2.3.1. Ganado ovino

El ganado ovino se refiere a un grupo de animales de la especie *Ovis aries*, que son las ovejas y los carneros. Este tipo de ganado es criado principalmente por su carne, lana y leche. Las ovejas son conocidas por su capacidad de adaptarse a diferentes climas y terrenos, lo que las hace muy valiosas en la agricultura y la ganadería. Además, el ganado ovino juega un papel importante en la economía rural y en la producción de productos derivados, como quesos. Los ovinos son animales herbívoros y rumiantes que se alimentan principalmente de hierba fresca y cuentan con un sistema digestivo complejo de cuatro estómagos, lo que les permite descomponer y absorber los nutrientes eficientemente. Su piel presenta dos tipos de estructuras: una de pelo y otra de lana, la cual varía según la raza y las condiciones climáticas. Además, poseen un agudo sentido del gusto, lo que les convierte en "rumiantes selectivos", ya que eligen su comida y la cortan con sus dientes.

La clasificación taxonómica del ovino es un sistema que organiza a estos animales en diferentes categorías según sus características biológicas y evolutivas. A continuación, se presenta la clasificación del ganado ovino, específicamente de la especie *Ovis aries*, que es la oveja doméstica:

La clasificación taxonómica es la siguiente:

- Reino	Animal
- Phylum	Cordados
- SubPhylum	Vertebrados
- Clase	Mamíferos
- Subclase	Ungulados
- Orden	Artiodáctilos
- Suborden	Rumiantes
- Familia	Bovidae
- Subfamilia	Ovinae
- Genero	Ovis
- Especie	Aries
- Nombre científico	<i>Ovis Aries</i>

Esta clasificación no solo ayuda a entender la biología y la evolución del ganado ovino, sino que también es fundamental para la investigación y la cría de estas especies en la agricultura.

2.3.1.1. Características de los ovinos

De acuerdo con Hernandez & Hernandez (2023), la ganadería ovina representa una alternativa valiosa para recuperar y aprovechar zonas del territorio nacional e internacional, gracias a diversas cualidades que la hacen difícilmente

reemplazable. Entre sus ventajas se encuentra la capacidad de alimentarse de pastos naturales y residuos agrícolas, lo que permite reducir la dependencia de alimentos balanceados comerciales. Además, debido a su menor tamaño corporal en comparación con el ganado vacuno, los ovinos se adaptan mejor a terrenos de baja productividad, como regiones semiáridas, de escasa lluvia o geografía accidentada. Son animales de amplia distribución geográfica y fáciles de manejar, adaptándose a diversas condiciones climáticas. Por su comportamiento gregario y hábitos de pastoreo, también contribuyen al control de malezas, y su dieta puede incluir subproductos agrícolas, lo que los convierte en una excelente opción para integrarse con cultivos como frutales, cereales y palma africana. Finalmente, la crianza ovina promueve el asentamiento rural en zonas con opciones productivas limitadas, al ser una actividad viable para ocupar áreas marginadas.

Según la clasificación de los sistemas de producción, el rebaño y los ovinos se dividen en categorías basadas en la edad, el sexo y el estado fisiológico, tal como lo describen Avendaño & Navarro (2020). Estas categorías son:

- Corderos: Hembras y machos menores de 12 meses, que aún conservan sus dientes de leche.
- Borregos: Hembras y machos entre 12 y 20 meses, con la muda de los primeros incisivos.

- Oveja: Hembra mayor de 20 meses, que ha mudado los incisivos y los primeros medios incisivos.
- Capón: Macho castrado de más de 20 meses, con muda de los primeros incisivos y los primeros medios incisivos.
- Carnero: Macho entero mayor de 20 meses, con la muda de los primeros incisivos, los primeros medios incisivos, y en algunos casos, los segundos medios.

2.3.1.2. Tipos de tejidos del ovino

El ovino, como mamífero de gran importancia en la agricultura y la ganadería, presenta una serie de tejidos que desempeñan funciones vitales para su supervivencia y producción.

Entre estos, destacan el tejido muscular, renal y hepático, cada uno con características y funciones específicas.

2.3.1.2.1. Tejido Muscular

El tejido muscular en los ovinos está compuesto principalmente por tres tipos de músculos:

- **Músculo Esquelético:** Este tipo de músculo es voluntario y se encuentra unido a los huesos. Es responsable del movimiento y la locomoción del animal. En los ovinos, el músculo esquelético es importante tanto para la movilidad como para la producción de carne.
- **Músculo cardíaco:** De naturaleza involuntaria, conforma el corazón y se encarga de impulsar la sangre a través del sistema circulatorio.
- **Músculo liso:** También involuntario, se localiza en las paredes de órganos internos como el sistema digestivo y los vasos sanguíneos, interviniendo en procesos como la digestión y el control del flujo sanguíneo.

2.3.1.2.2. Tejido renal

En ovinos, el tejido renal corresponde a la estructura anatómica del riñón, órgano esencial para la depuración sanguínea y la formación de orina. Sus componentes principales son:

- **Corteza renal:** Es la zona externa del riñón donde se localizan los glomérulos y túbulos. Su función principal es realizar la filtración inicial de la sangre.

- **Médula renal:** Parte interna del riñón, contiene las pirámides renales, y participa activamente en el proceso de concentración de la orina.
- **Nefrones:** Son las unidades funcionales encargadas de filtrar la sangre y producir orina. Cada riñón ovino alberga miles de estas estructuras.

2.3.1.2.3. Tejido Hepático

En los ovinos, el tejido hepático corresponde al hígado, un órgano esencial que cumple funciones clave como el metabolismo de nutrientes, la eliminación de toxinas y la producción de bilis. Su estructura incluye:

- **Hepatocitos:** Son las células predominantes del hígado, encargadas de funciones como la síntesis de proteínas y el control de la glucosa en sangre.
- **Sinusoides hepáticas:** Vasos que facilitan el intercambio de sustancias entre la sangre y los hepatocitos.
- **Conductos biliares:** Canales que conducen la bilis generada por los hepatocitos hacia la vesícula biliar y el intestino delgado, favoreciendo la digestión de lípidos.

2.3.1.3. Composición química del ovino

La composición química de la carne ovina puede variar dependiendo del tipo de corte, contenido graso, edad y alimentación del animal. En general, la carne magra de ovino presenta un mayor contenido de agua y proteínas, mientras que la carne grasa muestra concentraciones significativamente más elevadas de lípidos. Las sales minerales y carbohidratos están presentes en proporciones menores, pero también contribuyen al valor nutricional del producto cárnico. Estas diferencias son relevantes al evaluar la acumulación de metales pesados en tejidos, ya que ciertos metales tienden a concentrarse más en componentes grasos o proteicos (Romero, 2016), como se observa en la siguiente Tabla 1.

Tabla 1

Composición química de 100 g de carne de ovino

CARACTERISTICAS QUIMICAS	TIPO DE CARNE	
	GRASA (g)	MAGRA (g)
AGUA	51	72
GRASA	30	7
SALES MINERALES	0,7	0,8
PROTEINA	15,2	20
CARBOHIDRATOS	0,1	0,2

Nota. En la presente tabla se da a conocer la composición química de la carne ovina (Romero, 2016).

2.3.1.4. Nutrición y Requerimientos Nutricionales

La nutrición es un factor determinante para garantizar el bienestar y la productividad de los ovinos, y no debe limitarse únicamente a cubrir sus necesidades inmediatas, sino también a asegurar el crecimiento, la reproducción y la eficiencia productiva. (Ponnampalam et al., 2024).

El agua constituye el componente más esencial de la dieta, representando entre el 60 % y el 70 % del peso corporal total, y es indispensable para el desarrollo de procesos fisiológicos y metabólicos básicos (Candyrine et al., 2018). En lo referente a la energía, esta se obtiene principalmente a partir de la fermentación ruminal de carbohidratos, la cual genera ácidos grasos volátiles (AGV) que pueden cubrir hasta el 70 % de las necesidades calóricas de los ovinos (Bergman, 1990).

Las proteínas cumplen un papel central en la formación y reparación de tejidos, además de contribuir al metabolismo energético en situaciones de deficiencia proteica o energética. Asimismo, los lípidos, aunque se consumen en bajas proporciones de manera natural, pueden ser suplementados con grasas protegidas o aceites vegetales. Estudios recientes muestran que esta práctica no solo mejora la digestibilidad de la dieta, sino también el perfil de ácidos grasos en la carne de ovinos, incrementando los insaturados y reduciendo los saturados (Behan et al., 2021; Candyrine et al., 2018).

Finalmente, las vitaminas y minerales resultan esenciales para el correcto desempeño metabólico y reproductivo. Si bien los microorganismos del rumen sintetizan vitaminas del complejo B y la vitamina K, es necesario suplementar vitaminas liposolubles como la A, D y E para mantener la salud y la productividad de los animales (Ponnampalam et al., 2024 Servicio Nacional de Sanidad Agraria, 2022).

2.3.2. Los metales pesados

Los denominado metales pesados son elementos naturales una de sus características es su elevado peso atómico y su gravedad específica superior a cinco (Fatema et al., 2021). Las personas están expuestos a estos metales pesados a través de actividades antropogénicas como la minería y la fundición. operaciones junto con el uso industrial, agrícola y doméstico de metales y compuestos que contienen metales.

Estos pueden ingresar a nuestro cuerpo a través de la piel, por inhalación y por la ingesta de alimentos (Fatema et al., 2021). La toxicidad mediada por metales pesados ocurre cuando la exposición crónica o aguda a un metal pesado excede ciertos niveles de umbral en el cuerpo. La toxicidad puede resultar de las interacciones de los metales pesados con biomoléculas como el ADN y las proteínas y, por lo tanto, modula importantes vías celulares. Las especies reactivas de oxígeno (ROS) generadas debido a la exposición a metales pesados pueden

causar daño celular en diferentes órganos, incluidos el hígado, el cerebro y el riñón.

Los metales pesados como compuestos no esenciales para el cuerpo humano podrían causar varios efectos adversos para la salud, incluso en pequeñas cantidades (Pereira et al., 2021). Debido a su naturaleza no degradable, podrían concentrarse biológicamente en diferentes tejidos (riñón, hígado, hueso y cerebro) después de su ingesta a través de la dieta y por vías de inhalación (Atouani, 2017).

En este contexto, la Agencia Internacional para la Investigación del Cáncer (IARC) clasificó al Pb como (grupo 2B) y al Cd como (grupo 1) un compuesto cancerígeno humano (Karimi et al., 2021), por ende, puede causar cáncer en los seres humanos de forma interna atacando los órganos, dentro de ellos se incluyen los pulmones, la piel y el esqueleto (Sarker et al., 2022).

Además, estos metales pesados son elementos que, debido a sus propiedades químicas y físicas, pueden acumularse en los organismos vivos y causar efectos nocivos, se encuentran en el medio ambiente tanto por procesos naturales como por actividades humanas, como la minería, la industria y el uso de productos químicos (Abad-Valle et al., 2018).

2.3.3. Codex Alimentarius

En Perú, los límites máximos permisibles para metales pesados en tejidos de consumo humano están alineados con el Decreto Supremo N° 004-2011-AG, *Reglamento sobre vigilancia y control sanitario de alimentos y bebidas*, el cual establece estándares para productos de origen animal, en concordancia con el Codex Alimentarius. No obstante, Perú usualmente toma referencia directa del Codex en ausencia de un límite específico como se observa en la Tabla 2.

Tabla 2

Decreto Supremo N° 004-2011-AG, Reglamento sobre vigilancia y control sanitario de alimentos y bebidas

Metal Pesado	Hígado (ppm)	Riñón (ppm)	Músculo (ppm)
Arsénico (As)	No definido	No definido	0,1
Cadmio (Cd)	0,5	1	0,05
Plomo (Pb)	0,5	0,5	0,1

Nota. Límites máximos permisibles según Reglamento (Caro & Edson, 2021)..

2.3.4. Contaminación por metales pesados

La presencia de metales pesados en el ambiente representa un problema significativo para la salud pública (Caro & Edson, 2021). El arsénico, en su forma orgánica, presenta menor toxicidad comparado con su forma inorgánica. En su estado elemental (As^0), es menos dañino que en sus formas trivalente (As^{3+}) y pentavalente (As^{5+}). Esta última puede transformarse en As^{3+} metilado tras la

ingesta de alimentos contaminados, lo cual resulta preocupante por sus efectos adversos en el desarrollo neurológico, la función renal y la regulación de la presión arterial. Se han identificado dos mecanismos principales que explican su toxicidad:

As III (o As^{3+}): Se une de forma reversible a los grupos tiol presentes en proteínas y enzimas de los tejidos, inhibiendo rutas metabólicas clave como la oxidación del piruvato, el ciclo de Krebs y la gluconeogénesis, además de interferir en la fosforilación oxidativa.

As V (As^{5+}): Sustituye al fósforo en diversas reacciones bioquímicas mediante un mecanismo de mimetismo, provocando la hidrólisis rápida de enlaces de alta energía, como los del ATP, lo que interfiere en la fosforilación oxidativa mitocondrial (Abd-Elghany et al., 2020)

Hernández et al., (2012) menciona que los alimentos son la principal fuente de exposición de Cd, cabe destacar que su acumulación se da a nivel hepático y renal acumulándose hasta un tiempo de vida media entre los 10 y 30 años. El plomo implica el riesgo de salud asociado por el consumo de carnes contaminados, los cuales se distribuyen en el organismo a nivel hepático y renal. (Marín, 2019) menciona que el Pb afecta el desarrollo neurológico provocando trastornos cerebrales graves.

La tabla 3, menciona el LMP según la OMS de cada metal pesado en hígado, riñón y músculo de ganado ovino en mg/kg.

Tabla 3

Límites máximos permisibles de presencia de metales pesados, arsénico, cadmio y plomo en ppm según la Organización Mundial la Salud OMS para las muestras de hígado, riñón y músculo de los ovinos

METAL PESADO	TIPO DE TEJIDO	LMP (mg/kg)
As	MUSCULO	ND- 0,01 agua
	HIGADO	ND- 0,01 agua
	RIÑON	ND- 0,01 agua
Cd	MUSCULO	0,1
	HIGADO	0,1
	RIÑON	0,5
Pb	MUSCULO	0,1
	HIGADO	0,1
	RIÑON	0,1

Nota. la tabla menciona los límites máximos permisibles establecidos por la OMS

2.3.5. Toxicología de alimentos y metales pesados

La toxicología alimentaria se centra específicamente en el estudio de sustancias nocivas, incluidos metales pesados como arsénico, cadmio, plomo y mercurio, en los alimentos y sus efectos en la salud humana. La toxicología alimentaria examina la presencia, absorción, distribución, metabolismo y excreción de estos elementos tóxicos. Los metales pesados, cuando están presentes en los alimentos en niveles elevados, pueden plantear graves riesgos para la salud y provocar diversos efectos adversos, como daño a órganos, problemas de desarrollo e incluso cáncer (Scutarașu & Trincă, 2023).

Los metales tóxicos, al no ser esenciales para el organismo humano, pueden generar efectos perjudiciales incluso en dosis mínimas (Pereira et al., 2021). Por su carácter no degradable, tienden a acumularse en diversos órganos como el riñón, hígado, huesos y cerebro, ya sea por consumo alimentario o por inhalación (Atouani, 2017). En este marco, la Agencia Internacional para la Investigación del Cáncer (IARC) ha clasificado al plomo (Pb) como posible carcinógeno para humanos (grupo 2B), y al cadmio (Cd) como carcinógeno confirmado (grupo 1), ya que pueden inducir cáncer en órganos como pulmones, piel y sistema óseo (Karimi et al., 2021; Sarker et al., 2022).

Para mitigar los riesgos asociados con la exposición a metales pesados a través del consumo de alimentos, resulta crucial realizar un monitoreo constante de los niveles de contaminación de los alimentos es esencial para detectar y controlar la presencia de metales pesados. Además, la implementación de procesos de tratamiento, como la eliminación o reducción de metales pesados en los alimentos, contribuye a minimizar los riesgos para la salud. Asimismo, es necesario establecer regulaciones y estándares sólidos para las prácticas de fabricación en la industria alimentaria, con el fin de prevenir la contaminación por metales pesados y garantizar la seguridad de los productos alimenticios (Snodgrass, 2015).

2.3.5.1. Plomo (Pb)

El plomo es un contaminante ambiental peligroso que tiene efectos extremadamente perjudiciales en varios órganos. Aunque el Pb puede absorberse a través de la piel, se absorbe principalmente a través de los sistemas respiratorio y digestivo (Kovacheva et al., 2020). La exposición al Pb puede inducir trastornos neurológicos, respiratorios, urinarios y cardiovasculares debido a mecanismos inmunomoduladores, oxidativos e inflamatorios. Además, el Pb podría alterar el equilibrio del sistema oxidante-antioxidante e inducir respuestas inflamatorias en varios órganos. La exposición al Pb puede producir alteración en las funciones fisiológicas del organismo y está asociada a muchas enfermedades (Hartwig & Jahnke, 2017). El plomo implica el riesgo de salud asociado por el consumo de carnes contaminados, los cuales se distribuyen en el organismo a nivel hepático y renal (Marín, 2019).

2.3.5.2. Cadmio (Cd)

El cadmio es un metal pesado que se encuentra principalmente como subproducto de la actividad industrial, como la producción de baterías y plásticos. Es altamente tóxico, especialmente para los riñones, y también puede afectar los huesos y los pulmones. El cadmio se acumula en el suelo y los cultivos, lo que puede resultar en una exposición humana a través del consumo de alimentos contaminados. Su persistencia en el medio ambiente y en la cadena alimentaria

hacen que sea un contaminante preocupante. La reducción de la exposición a cadmio requiere medidas de control en la industria y el monitoreo de los niveles en alimentos y el medio ambiente (Pardos, 2022). Hernández (2012) menciona que los alimentos son la principal fuente de exposición de Cd, cabe destacar que su acumulación se da a nivel hepático y renal acumulándose hasta un tiempo de vida media entre los 10 y 30 años.

2.3.5.3. Arsénico (As)

El arsénico como metal pesado nocivo es uno de los principales factores de riesgo para la salud pública. Las fuentes de exposición al As son ocupacionales o a través de alimentos y agua contaminados. el arsénico, una clase de metales venenosos con cualidades metálicas y no metálicas, es ampliamente, el arsénico existe en forma de metaloide (As^0), inorgánicos (As^{3+} y As^{5+}), orgánicos y arsina (AsH_3). El arsénico es un metaloide presente en la naturaleza de forma natural y también liberado por actividades humanas, como la minería y la agricultura. Se presenta en diversas formas químicas, algunas de las cuales son altamente tóxicas para los seres vivos. Es conocido por ser un carcinógeno humano y puede afectar el sistema nervioso, la piel y otros órganos (Hejna et al., 2018).

CAPÍTULO III

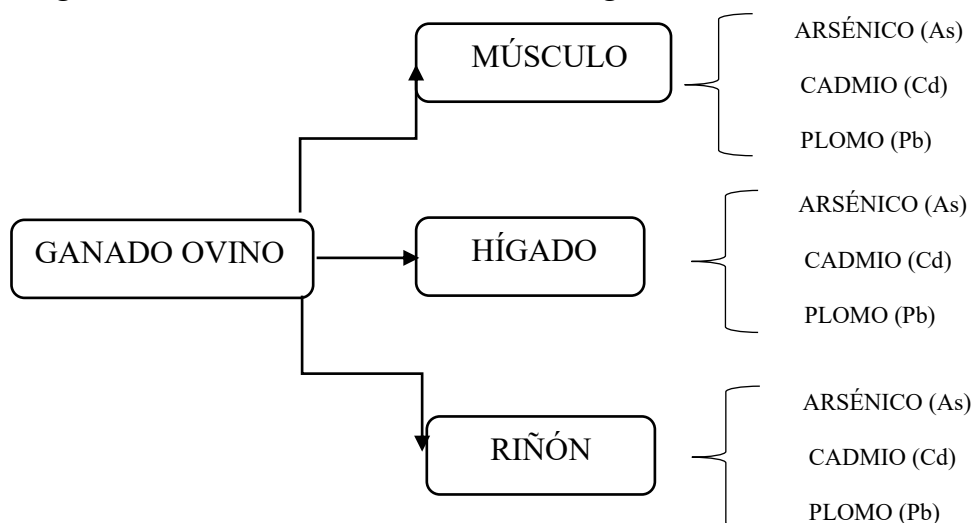
VARIABLES

3.1. Diagrama de variable

El presente diagrama, da a conocer la variable a estudiar de una manera más práctica y sencilla como se observa en la Figura 1.

Figura 1

Diagrama de variable del estudio de la investigación.



Nota. El diagrama detalla la variable y sus complementos.

3.2. Indicadores de las variables

VARIABLE: Presencia de metales pesados en vísceras y músculo de ganado

ovino = nivel de concentración.

3.3. Operacionalización de variables

La operacionalización de variables es crucial porque presenta los aspectos y elementos de manera precisa y clara, por ejemplo, facilita que las creaciones de instrumentos de medición sean confiables y válidos, permite definir lo que se va a medir, con el objetivo de obtener conclusiones fundamentadas, por ello en la siguiente Tabla 1 se establece las unidades con cuáles serán operacionalizadas las variables de estudio.

Tabla 1

Operacionalización de variable

Variable	Definición conceptual	Definición operacional	Dimensión	Indicador
Presencia de metales pesados en vísceras y músculo de ganado ovino	Se refiere a vísceras (hígado, riñón) y músculo de ganado ovino que tienden a acumular más metales pesados (Melo, 2017).	Cantidad de ovinos para la toma de muestras en hígado, riñón y músculo.	Concentración As, Cd y Pb	ppm (SI)

Nota. La tabla presenta la operacionalización de variables.

CAPÍTULO IV

METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

4.1. Tipo de investigación

El presente trabajo corresponde a una investigación de tipo básica, dado que busca generar conocimiento científico sobre la concentración de metales pesados en tejidos ovinos dentro de un contexto específico. Su propósito central no es la aplicación inmediata de resultados, sino el aporte de fundamentos que fortalezcan futuras investigaciones aplicadas. (Carrasco, 2019).

Diseño de la investigación: El diseño de investigación es no experimental y transversal, en la medida en que no se manipuló ninguna variable, sino que se observaron las condiciones tal como se presentaban en el entorno natural de los ovinos. El análisis se realizó en un único momento del tiempo, lo que permitió caracterizar los niveles de concentración de arsénico, cadmio y plomo en los tejidos seleccionados.

Nivel de investigación: El estudio se ubica en el nivel descriptivo univariante, puesto que se enfocó en medir y caracterizar una sola variable principal: la presencia de metales pesados (As, Cd y Pb) en músculo, hígado y riñón de ovinos provenientes de los Humedales de Ite, en la región Tacna.

4.2. Población y muestra

4.2.1. Población

La población de estudio estuvo conformada por un rebaño de aproximadamente 120 ovinos ubicados en la zona baja de los Humedales de Ite, distrito de Ite, provincia Jorge Basadre, región Tacna (Anexo 2), los cuales son criados bajo un sistema de pastoreo, considerando aquellos individuos aptos para muestreo de tejidos (músculo y vísceras), con el fin de evaluar la presencia de metales pesados (arsénico, cadmio y plomo).

4.2.2. Muestra

La muestra estuvo constituida por 10 ovinos seleccionados del rebaño poblacional, de los cuales se obtuvieron tres tipos de tejido: 500 gramos de hígado, 500 gramos de riñón y 500 gramos de músculo por animal. En total, se analizaron 30 muestras distribuidas en los tres tejidos mencionados, revisar (Anexo 1).

El muestreo empleado fue de tipo no probabilístico por conveniencia, debido a que la selección de animales respondió a criterios intencionales del investigador (Hernández-Sampieri et al., 2014). No obstante, dentro de estas condiciones, los 10 ovinos fueron elegidos aleatoriamente del rebaño para reducir posibles sesgos en la recolección de las muestras, ver (Anexo 3).

4.3. Materiales y métodos

4.3.1. Materiales y equipos para análisis

Materiales:

- Tabla de picar
- Bisturí
- Pinzas
- Bolsas ziplock
- Celdas de espectrofotometría

Equipos:

a) Balanza analítica:

- Marca: Ohaus
- Modelo: AR2140
- Rango de precisión: 0,0001 g.
- Capacidad: 210 gramos.
- Para determinar el peso de las muestras.

b) Estufa

- Marca: MMM
- Modelo: Ecocell

c) Mufla

- Marca: Nabertherm
- Modelo: B 180
- Rango T°: 30 a 1 100 °C

d) Espectrofotómetro de absorción atómica (EAA)

- Marca: Perkin Elmer
- Modelo: PinAAcle 900T.
- Tipo de Atomización: Horno de grafito (Graphite Furnace Atomic Absorption Spectroscopy, GFAAS)
- Fuente de Luz: Lámpara de cátodo hueco.
 - Para As (Arsénico): Emisión a 193,7 nm.
 - Para Cd (Cadmio): Emisión a 228,8 nm.
 - Para Pb (Plomo): Emisión a 217,0 nm.
- Sistema de Gases:
 - **Argón (Ar)** de alta pureza (99,999%)
 - **Cilindros de gas:** Argón y reguladores de presión para controlar el flujo de gas hacia el equipo.
- Precisión: La precisión del Perkin Elmer PINAAcle 900T depende de varios factores, como la calibración y la calidad de las muestras.

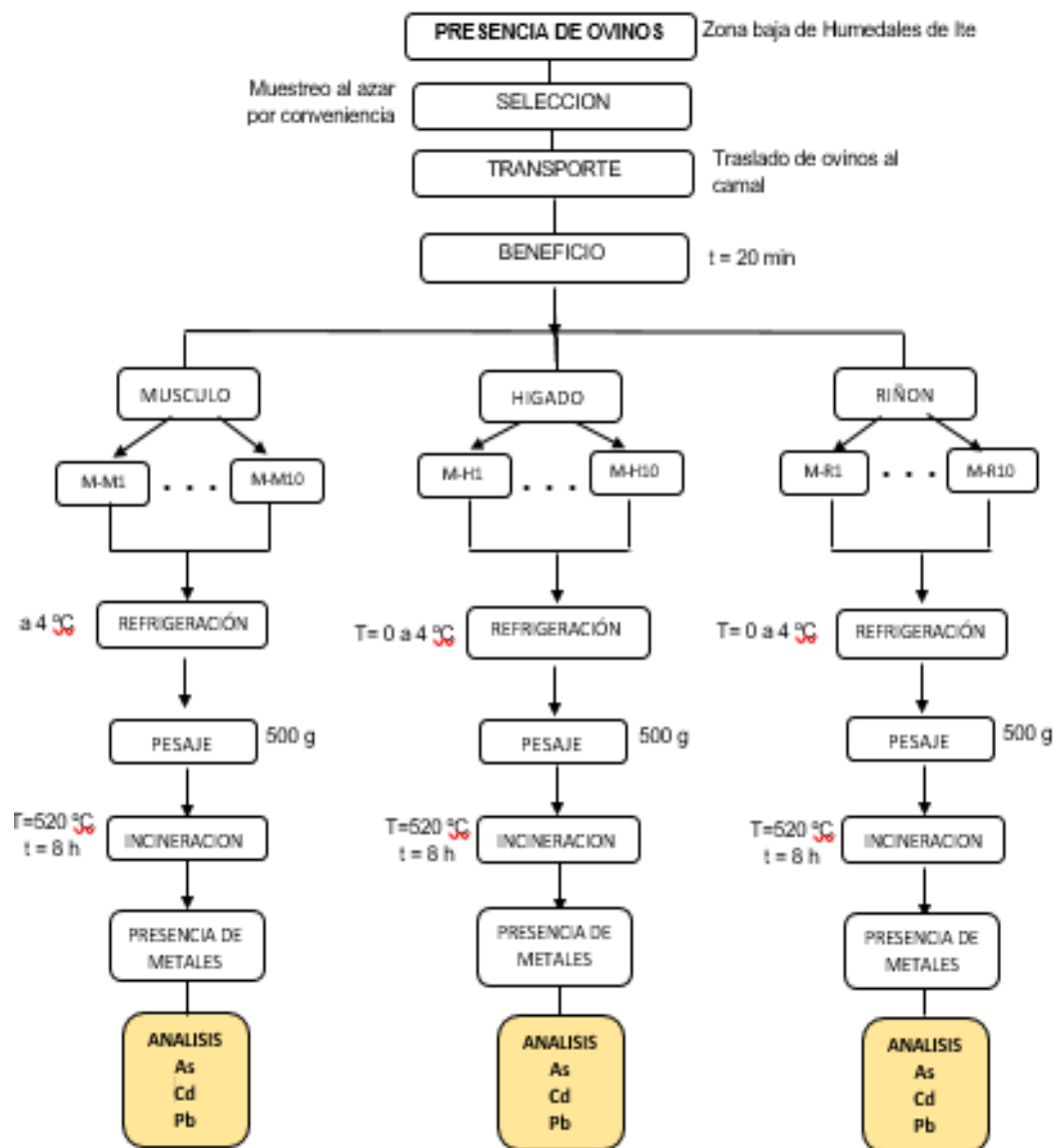
4.3.2. Método procedimental

El procedimiento para la determinación de la presencia de metales pesados (As, Cd y Pb) en músculo, hígado y riñón de ovinos se desarrolló en distintas etapas:

- a) Presencia de ovinos: se identificaron en zona baja de los Humedales de Ite los rebaños de ovejas.
- b) Selección: se realizó muestreo por conveniencia para la selección de ovinos.
- c) Transporte: los animales fueron trasladados al Camal de Ite.
- d) Beneficio: Se sacrificó al animal para la recolección de hígado, riñón y músculo, depositando las muestras en bolsas ziplock codificadas.
- e) Congelación: se colocó las muestras en coolers con hielo gel de 0 a 4 °C.
- f) Pesaje: se pesaron 500g. de músculo, hígado y riñón.
- g) Incineración: las muestras listas se colocaron en crisoles y se llevaron a la mufla a 520 °C x 8 h para lograr la incineración completa, todo ello se realizó en el laboratorio de Análisis y Composición de Alimentos de la Escuela Industrias Alimentarias y la Escuela de Metalurgia – UNJBG.
- h) Presencia de metales: las muestras incineradas se colocaron en el espectrofotómetro de absorción atómica del Laboratorio de Control de Calidad de la Universidad de Cuyo – Argentina, para determinar la presencia de arsénico (As), cadmio (Cd) y plomo (Pb). Todas estas etapas ya mencionadas y detalladas se muestran en la siguiente figura 2.

Figura 2

Esquema procedimental de la presencia de As, Cd y Pb en ganado ovino.



CAPÍTULO V

TRATAMIENTO DE RESULTADOS

5.1. Técnicas aplicadas en la recolección de información

La determinación de los metales (As, Cd y Pb) se realizó mediante el método de Absorción Atómica, según la norma NTP211.047:2015. La recolección de datos se efectuó utilizando un espectrofotómetro de absorción Figura 3.

Figura 3

Medición de la concentración de metales (arsénico, cadmio y plomo)



Nota. Espectrofotómetro de absorción atómica, para la determinación de metales pesados.

Los datos obtenidos fueron mediante el análisis del equipo de espectrofotometría, que evidenció resultados de los metales pesados en el panel correspondiente y los mismos que fueron anotados en un registro pre elaborado para cada metal pesado y muestra. Los resultados fueron procesados empleando el estadístico caja de bigotes para conocer los rangos respectivos de los LMP.

5.2. Resultados

5.2.1. Estadísticas descriptivas para arsénico, cadmio y plomo en músculo de ovinos

Los resultados de la presencia de arsénico (As), cadmio (Cd) y plomo (Pb) en el músculo del ovino se presentan en la siguiente tabla 4.

Tabla 4

Determinación de presencia de arsénico, cadmio y plomo en músculo de ovinos

Denominación	Plomo (ppm)	Cadmio (ppm)	Arsénico (ppm)
M-M1	ND	ND	0,01 (Min)
M-M2	ND	ND	0,01
M-M3	ND	ND	0,02
M-M4	ND	ND	ND
M-M5	ND	ND	ND
M-M6	ND	ND	ND
M-M7	ND	ND	ND
M-M8	ND	ND	0,03 (Max)

Nota. Información obtenida en análisis de laboratorio de las muestras.

Como se puede apreciar en esta tabla 4 solo se obtuvieron resultados del arsénico, por tanto, en caso del cadmio y plomo solo se dieron resultados ND – no detectados, en ese contexto los siguientes resultados y gráficos se basarán en el arsénico como se observa a continuación en la tabla 5.

Tabla 5

Determinación de valores de arsénico en músculo de ovinos

Métrica	Valor
Conteo	4
Media	0,01750 ppm
Desviación Estándar	0,009574 ppm
Mínimo	0,010 ppm
Primer Cuartil (Q1)	0,0100 ppm
Mediana	0,01500 ppm
Tercer Cuartil (Q3)	0,02750 ppm
Máximo	0,030 ppm

Nota. Valores obtenidos mediante estadístico SPSS.

Las concentraciones de arsénico (As) registradas en muestras de músculo de ovinos provenientes de los humedales de Ite mostraron valores bajos, comprendidos entre 0,010 ppm y 0,030 ppm, con una media de 0,0175 ppm y una mediana de 0,0150 ppm, lo que refleja una tendencia central baja y una distribución simétrica del contaminante.

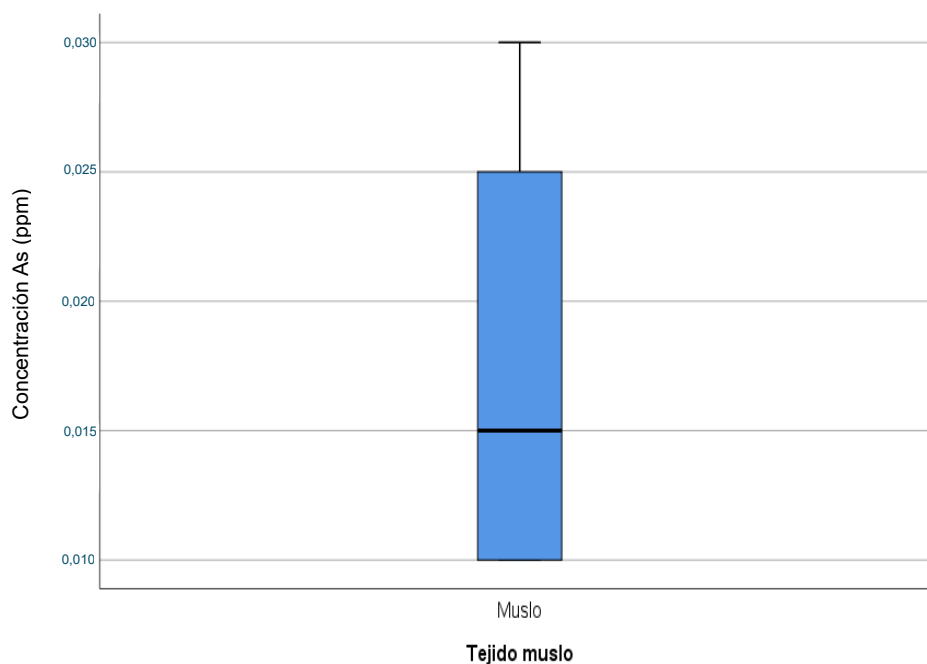
La desviación estándar de 0,0096 ppm y la varianza cercana a cero refuerzan la existencia de homogeneidad en los niveles de exposición entre los animales muestreados.

El análisis percentilar evidenció un primer cuartil (Q1) de 0,0100 ppm y un tercer cuartil (Q3) de 0,0275 ppm, estableciendo un rango intercuartílico (RIC) de 0,0175 ppm. A partir de este valor se calcularon los límites para detección de valores atípicos bajo el criterio de Tukey:

Límite inferior: $-0,0163$ ppm (no aplicable por ser negativo)

Límite superior: 0,0538 ppm

Dado que el valor máximo observado es 0,030 ppm, se descarta la presencia de valores atípicos, lo cual es corroborado gráficamente por un diagrama de caja sin puntos fuera de los extremos ("whiskers"), como se observa en la siguiente Figura 4.

Figura 4*Distribución del arsénico en el músculo de ovinos*

Dado que el valor máximo observado (0,0300 ppm) no excede dicho umbral, se concluye que no existen valores atípicos. Esta interpretación es respaldada por la Figura 4, donde el diagrama de caja muestra una distribución compacta, sin presencia de puntos atípicos ni anomalías de dispersión.

Según el Decreto Supremo N.º 002-2022-MINAM, que establece los límites máximos permisibles (LMP) de metales pesados en alimentos, el arsénico no debe exceder los 0,50 ppm. En este caso, todas las muestras se encuentran muy por debajo de dicho límite, lo que indica que el consumo de carne muscular ovina no representa un riesgo toxicológico inmediato bajo el marco legal nacional.

Asimismo, la Organización Mundial de la Salud (OMS) recomienda un valor de referencia de 0,01 ppm para arsénico en agua potable, utilizado como parámetro indicativo de exposición crónica. Algunas muestras (como M-M4 y M-M8) igualan o superan ligeramente este umbral, lo que sugiere una exposición ambiental baja pero persistente, que podría tener implicancias a largo plazo si no se establece un control preventivo. La presencia constante del contaminante en las muestras analizadas indica una exposición ambiental crónica, posiblemente derivada de la contaminación minera histórica en la Bahía de Ite, como lo señalan estudios previos realizados por Condori et al. (2021) en suelos y organismos de esta zona. Aunque el riesgo inmediato es bajo, la detección sistemática de arsénico, incluso en concentraciones reducidas, amerita un análisis más amplio de la cadena trófica. La seguridad alimentaria de la población podría verse comprometida si estos valores aumentan debido a la acumulación progresiva.

En músculo es esperable consignar Cd y Pb como ND = no detectable, por razones toxicológicas y metalo proteómicas. El tejido muscular posee baja afinidad por estos metales: el cadmio se une a metalotioneínas y muestra tropismo renal, mientras que el plomo se encuentra preferentemente en hueso y diente, dejando fracciones traza en músculo. Además, el músculo presenta menor capacidad de acumulación que vísceras con función detoxificadora, por lo que, bajo exposición ambiental baja o moderada, las concentraciones de Cd y Pb suelen quedar sub cuantificables con el método aplicado.

5.2.2. Estadísticas descriptivas para arsénico, cadmio y plomo en hígado de ovinos

Los resultados de la presencia de arsénico (As), cadmio (Cd) y plomo (Pb) en el hígado del ovino se presentan en la siguiente tabla 6.

Tabla 6

Determinación de presencia de arsénico en hígado de ovinos

Denominación	Plomo (ppm)	Cadmio (ppm)	Arsénico (ppm)
M-H2	ND	ND	ND
M-H3	ND	ND	0,21
M-H4	ND	ND	0,08
M-H5	ND	ND	0,01
M-H7	ND	ND	0,003 (Min)
M-H6	ND	ND	0,03
M-H8	ND	ND	0,25 (Max)
M-H1	ND	ND	0,1
M-H9	ND	ND	0,03
M-H10	ND	ND	0,01

Nota. Información obtenida en análisis de laboratorio de las muestras.

Como se puede apreciar en esta tabla 6 solo se obtuvieron resultados del arsénico, por tanto, en caso del cadmio y plomo solo se dieron resultados ND – no detectados, en ese contexto los siguientes resultados y gráficos se basarán en el arsénico como se observa a continuación en la tabla 7.

Tabla 7

Determinación de valores de arsénico en hígado de ovinos

Métrica	Valor
Conteo	9
Media	0,080033 ppm
Desviación Estándar	0,030489ppm
Mínimo	0,003 ppm
Primer Cuartil (Q1)	0,0100 ppm
Mediana	0,03000 ppm
Tercer Cuartil (Q3)	0,15500 ppm
Máximo	0,250 ppm

Nota. Valores obtenidos mediante estadístico SPSS

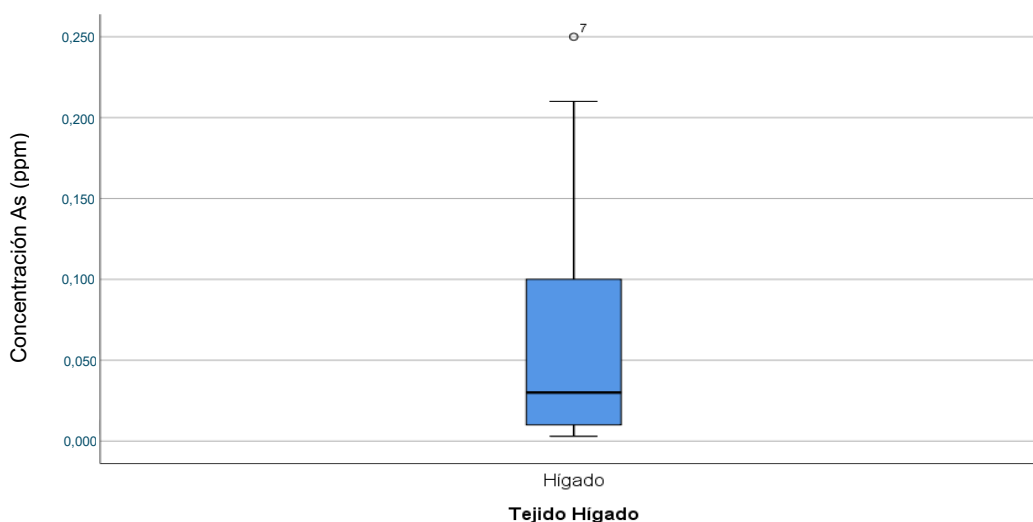
Los resultados obtenidos muestran que las concentraciones de arsénico (As) en hígado de ovinos de los humedales de Ite oscilan entre 0,003 ppm y 0,250 ppm, con una media de 0,0803 ppm y una mediana de 0,0300 ppm, lo que indica una tendencia central hacia valores bajos. La desviación estándar de 0,0915 ppm revela una moderada dispersión entre los datos.

El valor máximo observado (0,250 ppm) corresponde a la muestra M-H8, mientras que el valor más bajo (0,003 ppm) se registró en la muestra M-H7. De acuerdo con los percentiles obtenidos ($Q1 = 0,0100$ ppm y $Q3 = 0,1550$ ppm), el rango intercuartílico (RIC) fue de 0,1450 ppm.

A partir de ello, se calcularon los límites para identificar valores atípicos:

- Límite inferior: $-0,21$ ppm (no aplicable)
- Límite superior: 0,372 ppm.

Dado que el valor máximo observado es 0,250 ppm, se descarta la presencia de valores atípicos, lo cual es corroborado gráficamente por un diagrama de caja sin puntos fuera de los extremos ("whiskers"), como se observa en la siguiente Figura 5.

Figura 5*Distribución del arsénico en el hígado de ovinos*

El boxplot confirma esta distribución, mostrando una caja que abarca el 50% central de los datos (RIC) con una mediana desplazada hacia la base de la caja, lo cual evidencia una asimetría positiva leve en la concentración de arsénico. El gráfico resalta la dispersión de los valores sin presentar anomalías extremas.

Según La Organización Mundial de la Salud (OMS) no establece un límite específico para arsénico en tejidos animales, pero recomienda un límite de (0,01 ppm) para arsénico en agua potable, como referencia de exposición segura. Algunas muestras (M-H3, M-H8) superan este límite. La muestra (M-H8) supera ese umbral (0,250 ppm), lo que indica riesgo toxicológico potencial para el consumo humano. Esta evidencia coincide con lo reportado por Abd-Elghany et al. (2020), quienes encontraron mayor acumulación de metales pesados, incluido el arsénico, en tejidos hepáticos de ovinos.

Aunque la legislación peruana (DS N° 002-2022-MINAM) no establece LMP0 específicos por tejido para carne ovina, el hallazgo de concentraciones detectables y una muestra que supera el LMP internacional subraya la necesidad de vigilancia sanitaria continua, sobre todo en zonas con antecedentes de pasivos mineros. La presencia de arsénico en tejido hepático, incluso en niveles moderados, indica exposición crónica a fuentes contaminantes ambientales, plausiblemente asociadas a los relaves mineros depositados durante décadas en la Bahía de Ite. Como explican Condori et al. (2021) y Alviz (2021), esta zona presenta evidencias de acumulación de metales pesados en especies acuáticas y sedimentos, lo que refuerza la hipótesis de una cadena trófica contaminada, iniciada en suelos y pastos consumidos por los ovinos.

El arsénico fue cuantificado por su mayor movilidad y solubilidad ambientales. Ingresa con facilidad a forrajes como arsenito y arseniato, elevando su biodisponibilidad. En ovinos, el hígado lo biotransforma y acumula en fracciones medibles. En contraste, el cadmio y el plomo exhiben menor movilidad geoquímica. Se adsorben a arcillas, óxidos y materia orgánica. Su transferencia a pastos resulta limitada frente al arsénico. Además, el cadmio se une a metalotioneínas y se concentra en riñón. El plomo se secuestra preferentemente en tejido óseo y dentario. En hígado suelen aparecer en niveles traza, frecuentemente sub-cuantificables. La matriz hepática compleja atenúa la señal analítica de Cd y Pb. Por ello se consigna ND = no detectable en esta corrida.

5.2.3. Estadísticas descriptivas para arsénico, cadmio y plomo en riñón de ovinos

Los resultados de la presencia de arsénico (As), cadmio (Cd) y plomo (Pb) en el riñón del ovino se presentan en la siguiente tabla 8.

Tabla 8

Determinación de presencia de arsénico, cadmio y plomo en riñón de ovinos

Denominación	Plomo (ppm)	Cadmio (ppm)	Arsénico (ppm)
M-R1	ND	ND	0,01
M-R2	ND	ND	0,09
M-R3	ND	ND	0,13 (Max)
M-R4	ND	ND	0,005 (Min)
M-R5	ND	ND	0,04
M-R6	ND	ND	ND
M-R7	ND	ND	0,04
M-R8	ND	ND	0,02
M-R9	ND	ND	ND

Nota. Información obtenida en análisis de laboratorio de las muestras.

Como se puede apreciar en esta tabla 8, solo se obtuvieron resultados del arsénico, por tanto, en caso del cadmio y plomo solo se dieron resultados ND – no detectados, en ese contexto los siguientes resultados y gráficos se basarán en el arsénico como se observa a continuación en la tabla 9.

Tabla 9

Determinación de valores de arsénico en riñón de ovinos

Métrica	Valor
Conteo	7
Media	0,04786 ppm
Desviación Estándar	0,045994 ppm
Mínimo	0,005 ppm
Primer Cuartil (Q1)	0,0100 ppm
Mediana	0,04000 ppm
Tercer Cuartil (Q3)	0,09000 ppm
Máximo	0,130 ppm

Nota. Valores obtenidos mediante estadístico de SPSS

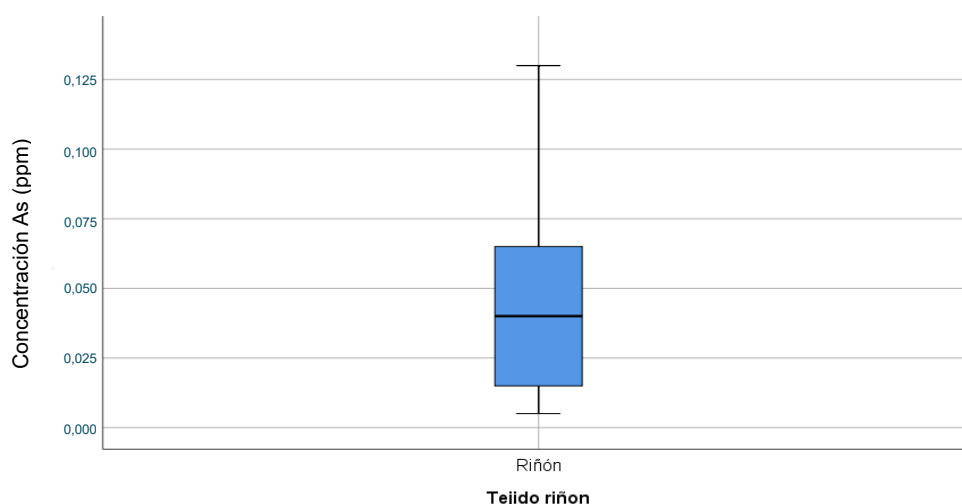
Los niveles de arsénico (As) detectados en los riñones de los ovinos provenientes de los humedales de Ite presentan una variabilidad moderada, con valores que fluctúan entre 0,005 ppm y 0,130 ppm, una media de 0,0479 ppm y una mediana de 0,0400 ppm. Esto indica una tendencia central hacia niveles bajos, aunque con ciertos individuos que registran concentraciones elevadas dentro del rango esperado.

El análisis percentilar revela que el primer cuartil (Q1) es 0,0100 ppm y el tercer cuartil (Q3) es 0,0900 ppm, lo que genera un rango intercuartílico (RIC) de 0,0800 ppm. A partir de ello, se calcularon los límites para identificar valores atípicos:

- Límite inferior: -0,1100 ppm (no aplicable)
- Límite superior: 0,2100 ppm

Dado que el valor máximo observado es 0,130 ppm, no se identificaron valores atípicos, lo cual es corroborado gráficamente en la Figura 4, donde se observa un diagrama de caja sin puntos fuera de los extremos ("whiskers").

Dado que el valor máximo observado es 0,250 ppm, se descarta la presencia de valores atípicos, lo cual es corroborado gráficamente por un diagrama de caja sin puntos fuera de los extremos ("whiskers"), como se observa en la siguiente Figura 6.

Figura 6*Distribución del arsénico en el riñón de ovinos*

El boxplot de arsénico en riñón muestra: Una mediana de 0,0400 ppm claramente centrada en el rango intercuartílico, ausencia de valores atípicos, una dispersión suave hacia el extremo superior, indicando que algunos ovinos presentan mayor carga tóxica sin que esto constituya una anomalía estadística. Esto se interpreta como una distribución uniforme del arsénico en las muestras.

Según el Reglamento de Límites Máximos Permisibles de Metales Pesados en Alimentos (Decreto Supremo N° 002-2022-MINAM), el límite máximo permisible para arsénico en alimentos es de 0,5 ppm. Todas las muestras de riñón de ovinos están por debajo de este límite, lo que indica que, en términos generales, no representan un riesgo inmediato para la salud humana según los estándares locales.

No obstante, al compararse con el valor de referencia de la OMS para agua potable (0,01 ppm), se observa que varias muestras (M-R2, M-R3, M-R5, M-R7) superan este umbral, lo cual puede interpretarse como una exposición crónica leve al arsénico en el entorno local, tal como advierte Fatema et al. (2021) sobre la acumulación gradual de metales en órganos excretores como el riñón.

La presencia de arsénico en tejido renal es consistente con estudios previos sobre áreas con influencia minera, como los de Condori et al. (2021), que reportan acumulación de metales pesados en especies de zonas costeras de Ite. Este resultado sugiere que la contaminación histórica por relaves mineros podría estar afectando indirectamente a la cadena trófica terrestre, a través del suelo, el agua de consumo animal y la vegetación forrajera. Aunque el nivel promedio de arsénico no es elevado, su presencia constante en muestras renales indica una absorción sistemática del contaminante, posiblemente a través de fuentes múltiples. En riñón, la consignación de cadmio y plomo como ND obedece a razones toxicológicas y metodológicas. El plomo se encuentra preferentemente en hueso y diente, reduciendo su fracción renal en tejidos blandos. El cadmio forma complejos con metalotioneínas y su retención renal depende de carga crónica y competencia iónica. En campañas con exposición baja o moderada, las concentraciones renales de Cd y Pb pueden situarse en traza. Tales niveles suelen quedar sub-LOQ para matrices hepatorreñales complejas.

DISCUSIONES

Determinar la presencia de metales As, Cd y Pb en músculo de ganado ovino:

En músculo, los niveles de As oscilaron entre 0,010 y 0,030 ppm, con una media de 0,0175 ppm. La ausencia de valores atípicos indica que la acumulación en este tejido fue uniforme y limitada, lo cual concuerda con Melo (2017), quien afirma que los músculos presentan menor capacidad de retención de metales pesados por su menor densidad metabólica y limitada irrigación para procesos de detoxificación. Sin embargo, algunas muestras superan ligeramente el límite de exposición segura para arsénico en agua potable (0,01 ppm, según la OMS), lo que, aunque no representa riesgo inmediato, justifica la necesidad de monitoreo constante, como también lo sugiere Yaguana (2021) en su estudio sobre carne de cerdo.. El arsénico en músculo no presentó valores atípicos según Tukey, estos valores se ubicaron por debajo del LMP seleccionado para carne/músculo. Esto sugiere bajo riesgo inmediato en este tejido y concuerda con la menor capacidad de acumulación muscular. Por otro lado, en caso del Cd y Pb fueron ND (no detectables), coherente con su baja afinidad por músculo y su distribución tisular preferente (Cd ligado a metalotioneínas con tropismo renal; Pb con secuestro óseo). La referencia 0,01 ppm debe entenderse solo como indicador de exposición ambiental y no como criterio regulatorio de tejido.

Determinar la presencia de As, Cd y Pb en muestras de hígado de ganado ovino.

El hígado presentó la mayor concentración de As, con un valor máximo de 0,250 ppm y una media de 0,0803 ppm. Estos niveles, aunque por debajo del LMP de 0,5 ppm según la legislación peruana (DS N.º 002-2022-MINAM), superan el umbral internacional de 0,01ppm establecido por la OMS para vísceras, lo cual es preocupante desde el punto de vista de la seguridad alimentaria. El hallazgo es congruente con lo reportado por Abd-Elghany et al. (2020) en Kuwait, donde el hígado ovino mostró las segundas concentraciones más altas de metales pesados, después del riñón. El papel del hígado como órgano metabolizador explica esta acumulación, como detallan Fatema et al. (2021) y Karimi et al. (2021), quienes advierten que As^{3+} y As^{5+} pueden alterar la gluconeogénesis, fosforilación oxidativa y el metabolismo proteico al sustituir al fósforo en procesos enzimáticos clave. Por otro lado, el hígado ovino es consumido habitualmente en poblaciones rurales y puede actuar como vector de metales hacia la salud humana. El arsénico en hígado registró 0,003 – 0,250 ppm (media 0,0803 ppm; n=9). Una muestra superó el LMP internacional para vísceras, lo que sugiere riesgo focalizado si ingresara al consumo sin control. En caso del Cd y Pb fueron ND (no detectables), sus concentraciones podrían encontrarse por debajo de la sensibilidad del equipo utilizado. Se recomienda vigilancia sanitaria y trazabilidad por rebaño y forraje.

Determinar la presencia de As, Cd y Pb en muestras de riñón del ganado ovino.

El riñón presentó una media de 0,0479 ppm de As, con un máximo de 0,130 ppm, situándose por debajo del LMP de 0,5 ppm según Reglamento de Límites Máximos Permisibles de Metales Pesados en Alimentos (Decreto Supremo N° 002-2022-MINAM), pero superando el valor de referencia de la OMS (0,01 ppm para agua). Estas concentraciones, aunque legales, reflejan una acumulación continua y potencialmente dañina, dada la función excretora del riñón y su capacidad de retención a largo plazo (hasta 30 años), como sostiene Hernández (2012). Los datos obtenidos confirman la acumulación diferenciada de arsénico en tejidos ovinos, con una clara tendencia: hígado, riñón y músculo, en concordancia con la literatura internacional. Aunque los niveles están dentro de los márgenes permisibles nacionales, una muestra de hígado supera el LMP internacional de 0,15 ppm, lo que demanda acciones urgentes de monitoreo y evaluación del riesgo.

La ausencia de Cd y Pb fueron ND ya que sus concentraciones podrían encontrarse por debajo de la sensibilidad del equipo utilizado, por tanto, no debe interpretarse como una condición permanente, sino como un resultado puntual condicionado por las características del lote, la temporada y el tipo de pastoreo. Como advierte Karimi et al. (2021).

CONCLUSIONES

1. Las concentraciones de As en músculo, fueron ligeramente superadas o iguales (media 0,0175 ppm), sin valores atípicos, según del LMP (0,1ppm), ello indica bajo riesgo inmediato para el consumidor de acuerdo el marco normativo adoptado. En contraste, el cadmio (Cd) y el plomo (Pb) no fueron detectados.
2. Las concentraciones de As en hígado, en la cual el As registró la mayor carga de As (máximo 0,250 ppm; media 0,0803 ppm), se cumple el estándar nacional vigente para vísceras, aunque una muestra hepática supera el umbral internacional de referencia para vísceras, lo que amerita medidas precautorias, en caso del cadmio (Cd) y el plomo (Pb) no fueron detectados.
3. Las concentraciones de As en riñón donde el As mostró una media de 0,0479 ppm de arsénico, sin valores atípicos, situándose por debajo del LMP 0,01 ppm según norma OMS, indica bajo riesgo inmediato para el consumidor. La concentración en este tejido se ubica entre la del hígado y el músculo, lo que reafirma su rol como órgano de excreción y almacenamiento de metales, aunque no se detectaron Cd ni Pb.

RECOMENDACIONES

1. Se sugiere realizar investigaciones similares con mayor número de unidades muestrales.
2. Se recomienda realizar investigaciones, empleando otras técnicas de determinación de metales pesados.
3. Se sugiere realizar investigaciones de concentración de metales en diferentes especies de animales de consumo doméstico.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abad-Valle, P., Álvarez-Ayuso, E., Murciego, A., Muñoz-Centeno, L. M., Alonso-Rojo, P., & Villar-Alonso, P. (2018). *Arsenic distribution in a pasture area impacted by past mining activities. Ecotoxicology and Environmental-Safety*, 147, 228–237.
<https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2017.08.031>
- Abd-Elghany, S. M., Mohammed, M. A., Abdelkhalek, A., Saud Saad, F. S., & Sallam, K. I. (2020). *Health risk assessment of exposure to heavy metals from sheep meat and offal in Kuwait. Journal of Food Protection*, 83(3), 503–510. <https://doi.org/10.4315/0362-028X.JFP-19-265>
- Alviz, C. A. L. (2021). *Analisis comparativo en los niveles de concentracion de metales pesados (As, B,Cd, Cr, Cu, Fe, Mn, Pb) en Sedimentos , entre la zona alta y la zona baja del Rio Locumba, Region Tacna, 2021.*
- Asociación Española de Normalización. (2010). *UNE-EN 15763:2010. Alimentos: determinación de arsénico, cadmio, mercurio y plomo mediante espectrometría de absorción atómica.* AENOR. <https://www.aenor.com>
- Atouani, A. (2017). *Efficiency of invertebrate animals for risk assessment and biomonitoring of hazardous contaminants in aquatic ecosystem, a review and status report.* <http://www.alliedacademies.org/environmental-risk-assessment-and-remediation/>

- Avendaño, V., & Navarro, C. (2020). *Alimentación de ovinos en regiones del trópico en Colombia*. <https://revistas.unillanos.edu.co/index.php/sistemasagroecologicos/article/view/471>
- Behan, A. A., Akhtar, M. T., Loh, T. C., Fakurazi, S., Kaka, U., Muhamad, A., & Samsudin, A. A. (2021). Meat quality, fatty acid content and NMR metabolic profile of Dorper sheep supplemented with bypass fats. *Foods*, 10(5), 1133. <https://doi.org/10.3390/foods10051133>
- Bergman, E. N. (1990). Energy contributions of volatile fatty acids from the gastrointestinal tract in various species. *Physiological Reviews*, 70(2), 567-590. <https://doi.org/10.1152/physrev.1990.70.2.567>
- Candyrine, S. C. L., Ida, S., Tajudin, N. M., Abdullah, W. N. W., & Mahomoodally, M. F. (2018). Oil supplementation improved growth and diet digestibility in sheep in fattening diets: Comparative study with goats. *Animal Bioscience*, 31(11), 1701-1710. <https://doi.org/10.5713/ajas.18.0243>
- Carrasco, S. (2019). *Metodología de la investigación*. San Marcos.
- Caro, Q., & Edson, E. (2021). *Bioacumulación y transferencia de plomo desde el suelo a los pastos y leche en la estación experimental El Mantaro*. <http://hdl.handle.net/20.500.12894/6935>
- Condori Díaz, L., Chaparro Aguilar, E., & Tirado Rebaza, LUM (2021). *Bioacumulación de metales pesados en Concholepas concholepas, Fissurella latimarginata y Thais chocolata en dos bancos naturales de Ite, Perú*. Ciencia y Desarrollo. <https://doi.org/10.33326/26176033.2021.2.1214>

- Fatema, K., Shoily, S. S., Ahsan, T., Haidar, Z., Sumit, A. F., & Sajib, A. A. (2021). *Effects of arsenic and heavy metals on metabolic pathways in cells of human origin: Similarities and differences*. *Toxicology Reports*, 8, 1109–1120. <https://doi.org/10.1016/j.toxrep.2021.05.015>
- Figueredo, L., & Iser, M. (2005). *Los ovinos. Una producción de bajos insumos*. <http://www.veterinaria.org/revistas/redvet/n090905.html>
- Galagarza, O. A., Cueva, S. F., Palomino, M. H., & Gonzales, R. (2021). Occurrence of chemical contaminants in Peruvian produce. *Foods*, 10(8), 1834. <https://doi.org/10.3390/foods10081834>
- Hartwig, A., & Jahnke, G. (2017). *Toxic Metals and Metalloids in Foods*. In *Chemical Contaminants and Residues in Food: Second Edition* (pp. 209–222). Elsevier Inc. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-100674-0.00010-2>
- Hejna, M., Gottardo, D., Baldi, A., Dell'Orto, V., Cheli, F., Zaninelli, M., & Rossi, L. (2018). *Nutritional ecology of heavy metals*. In *Animal* (Vol. 12, Issue 10, pp. 2156–2170). Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/S175173111700355X>
- Hernández, A. P., & Hernández, D. I. J. (2023). Alimentación de pequeños rumiantes en pastoreo del trópico. *Brazilian Journal of Development*, 9(12), 31017–31039. <https://doi.org/10.34117/bjdv9n12-030>
- Hernández, M. ; T. L. A. S. R. J. (2012). *Contenido de Cadmio y Plomo en carne de ovino*. *Universidad y Ciencia* . <https://www.scielo.org.mx/pdf/uc/v28n2/v28n2a8.pdf>

- Hernández-Sampieri, R. B. (2014). Metodología de la Investigación (M. G. Hill, Ed.; Sexta Edic, Issue ISBN: 978-1-4562-2396-0). *INTERAMERICANA EDITORES, S.A. DE C.V. Edificio*.
- Inquilla, C. (2020). *Calidad microbiológica y fisicoquímica de las aguas del río Coata, Puno 2018*. Universidad Nacional del Altiplano . Recuperado de <http://repositorio.unap.edu.pe/handle/UNAP/16266>
- Jomova, K., Valko, M., & Kehler, J. P. (2025). Heavy metals: Toxicity and human health effects. *Archives of Toxicology*, 99(2), 321–345. <https://doi.org/10.1007/s00204-024-03903-2>
- Karimi, F., Shariatifar, N., Rezaei, M., Alikord, M., & Arabameri, M. (2021). *Quantitative Measurement of Toxic Metals and Assessment of Health Risk in Plant-based Food from Markazi Province of Iran*. <https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-140336/v1>
- Kovacheva, A., Vladov, I., Gabrashanska, M., Rabadjieva, D., Tepavitcharova, S., Nanev, V., Dassenakis, M., & Karavoltsos, S. (2020). *Dynamics of trace metals in the system water – soil – plant – wild rats – tapeworms (Hymenolepis diminuta) in Maglizh area, Bulgaria*. *Journal of Trace Elements in Medicine and Biology*, 58 . <https://doi.org/10.1016/j.jtemb.2019.126440>
- Marín, L. A. (2019). *Comparación de la concentración de dos metales pesados cadmio y plomo en orégano (Oreganum) y aceituna (Olea europaea) cosechados en Pampa Sitana y La Yarada de la Región Tacna*, 2019.

- Melo, H. (2017). *Aprovechamiento de las vísceras de los animales que se despostan en el camal de la ciudad de Ambato*. <https://dspace.uniandes.edu.ec/bitstream/123456789/6427/1/PIUAESC021-2017.pdf>
- Nkosi, D. V., de Villiers, A., & Mokgalaka, N. S. (2021). Toxic metals in wild ungulates and domestic meat: A review. *Foods*, 10(11), 2853. <https://doi.org/10.3390/foods10112853>
- Perú, República. Ministerio de Agricultura. (2011, 27 de abril). *Decreto Supremo N° 004-2011-AG. Reglamento de Inocuidad Agroalimentaria*. Diario Oficial El Peruano. <https://www.gob.pe/institucion/senasa/normas-legales/1050278-004-2011-ag>
- Pardos, M. N. (2022). *Influencia de los metales pesados en el sistema nervioso*. https://digibuo.uniovi.es/dspace/bitstream/handle/10651/64114/TFG_MaitenNovellonPardos.pdf
- Pereira, V., Miranda, M., Sierra, J., Benedito, J. L., & López-Alonso, M. (2021). *Toxic and essential trace element concentrations in different tissues of extensively reared sheep in northern Spain*. *Journal of Food Composition and Analysis*, 96. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2020.103709>
- Piñeiro, X. F., Carranza, F., & Cárdenas, J. (2021). Heavy metal contamination in Peru: Implications on public health. *Scientific Reports*, 11(1), 22991. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-02163-9>

- Ponnampalam, E. N., Priyashantha, H., Vidanarachchi, J. K., Kiani, A., & Holman, B. W. B. (2024). Effects of nutritional factors on fat content, fatty acid composition, and sensorial properties of meat and milk from domesticated ruminants: An overview. *Animals*, 14(6), 840. <https://doi.org/10.3390/ani14060840>
- Prieto, J., González, C., Román, A., & Prieto, F. (2009). *Contaminación y fitotoxicidad en plantas por metales pesados provenientes de suelos y agua*. Tropical and Subtropical Agroecosystems, 10(1), 29–44. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=93911243003>
- Raviolo, A., & Farré, A. (2020). *Conceptual learning of the topic concentration of solutions: image analysis from university textbooks*. Educacion Quimica, 31(3), 119–133. <https://doi.org/10.22201/fq.18708404e.2020.3.75733>
- Romero, J. (2016). *Zootecnia de Ovinos*. https://fmvz.unam.mx/fmvz/p_estudios/apuntes_zoo/unidad_4_ovinos.pdf
- Scaramozzino, P., Battisti, S., Desiato, R., Tamba, M., Crescio, M. I., Porco, R., ... & Ubaldi, A. (2019). Application of a risk-based standardized animal biomonitoring approach to contaminated sites. *Environmental Monitoring and Assessment*, 191(8), 526. <https://doi.org/10.1007/s10661-019-7653-3>
- Sarker, A., Kim, J. E., Islam, A. R. M. T., Bilal, M., Rakib, M. R. J., Nandi, R., Rahman, M. M., & Islam, T. (2022). *Heavy metals contamination and associated health risks in food webs—a review focuses on food safety and environmental sustainability in Bangladesh*. In *Environmental Science and Pollution Research*. Springer Science and Business Media Deutschland GmbH. <https://doi.org/10.1007/s11356-021-17153-7>

- Servicio Nacional de Sanidad Agraria. (2022). *Resolución Directoral N.º 0019-2022-MIDAGRI-SENASA-DIAIA: Normas generales para contaminantes y toxinas en alimentos y piensos*. Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego del Perú. <https://www.gob.pe/senasa>
- Scutarașu, E. C., & Trincă, L. C. (2023). Heavy Metals in Foods and Beverages: Global Situation, Health Risks and Reduction Methods. *Foods*, 12(18), 1–22. <https://doi.org/10.3390/foods12183340>
- Snodgrass, W. R. (2015). Heavy Metal Toxicology. In *Encyclopedia of Food and Health* (1st ed., pp. 328–331). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-384947-2.00373-1>
- Tahir, I., Rauf, A., & Ullah, H. (2023). A review of important heavy metals toxicity with special focus on mechanisms and accumulation in livestock. *Frontiers in Veterinary Science*, 10, 1149720. <https://doi.org/10.3389/fvets.2023.1149720>
- Upadhyay, M. K., Shukla, A., Yadav, P., & Srivastava, S. (2019). *A review of arsenic in crops, vegetables, animals and food products*. In *Food Chemistry* (Vol. 276, pp. 608–618). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.10.069>
- Yaguana, E. (2021). *Determinación de Cadmio y Plomo en carne de ganado porcino comercializados en dos mercados municipales de la ciudad de Guayaquil*. <https://repositorio.ug.edu.ec/server/api/core/bitstreams/64c2e5f7-fdaf-4ae9-9d42-0265abcb0e41/content>

ANEXOS

Anexo 1: Ficha para la recolección de muestras al azar

OVINOS	MUESTRA			CONTRA-MUESTRA		
	HIGADO	RIÑON	MUSLO	HIGADO	RIÑON	MUSLO
Q1	M-H1	M-R1	M-M1	CM-H1	CM-R1	CM-M1
Q2	M-H2	M-R2	M-M2	CM-H2	CM-R2	CM-M2
Q3	M-H3	M-R3	M-M3	CM-H3	CM-R3	CM-M3
Q4	M-H4	M-R4	M-M4	CM-H4	CM-R4	CM-M4
Q5	M-H5	M-R5	M-M5	CM-H5	CM-R5	CM-M5
Q6	M-H6	M-R6	M-M6	CM-H6	CM-R6	CM-M6
Q7	M-H7	M-R7	M-M7	CM-H7	CM-R7	CM-M7
Q8	M-H8	M-R8	M-M8	CM-H8	CM-R8	CM-M8
Q9	M-H9	M-R9	M-M9	CM-H9	CM-R9	CM-M9
Q10	M-H10	M-R10 No hubo	M-M10	CM-H10	CM-R10 No hubo	CM-M10
Q11	T-H11	T-R11	T-M11	CM-H11	TM-R11	TM-M11

Esta ficha se utilizó como guía para marcar las muestras de acuerdo a sus siglas correspondientes.

Anexo 2: Imágenes de ovinos en los Humedales de Ite



Las ovejas se encuentran en la zona baja de los Humedales de Ite.

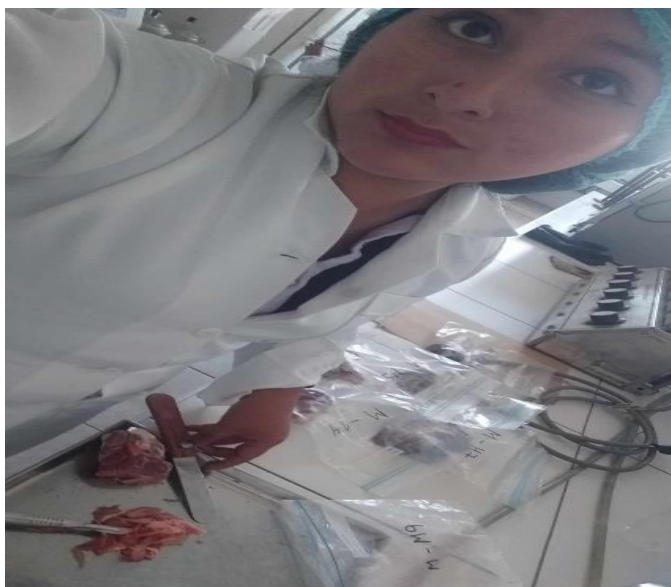


Ovinos alimentándose de pasto y agua proveniente de los Humedales de Ite.

Anexo 3. Imágenes de recolección de muestras de ganado ovino.



Se observa la recolección de muestras de músculo, hígado y riñón que fueron extraídos de los ovinos que se seleccionaron al azar, y se pasaron a las bolsas ziplock, para posteriormente refrigerarlas.



En el laboratorio de Análisis de alimentos de la Escuela de Ingeniería Industrias Alimentarias, como se muestra en la imagen se trozaron las muestras para realizar sus respectivos análisis de presencia de As, Cd y Pb.