

UNIVERSIDAD NACIONAL AMAZÓNICA DE MADRE DE DIOS

FACULTAD DE INGENIERÍA ESCUELA PROFESIONAL DE MEDICINA VETERINARIA - ZOOTECNIA



TESIS

“Niveles de metales pesados mercurio (Hg), cadmio (Cd), plomo (Pb) en el
hígado de bovinos beneficiados en un camal de Puerto Maldonado”

PARA OPTAR EL TITULO PROFESIONAL DE MEDICO VETERINARIO-
ZOOTECNISTA

AUTOR:

Bach. CCAHUANTICO MAMANI,
Rubén Roberto

ASESOR:

MSc. ARAPA SALAS, Luis Alberto

**UNIVERSIDAD NACIONAL AMAZÓNICA DE MADRE
DE DIOS**

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



TESIS

“Niveles de metales pesados mercurio (Hg), cadmio (Cd), plomo (Pb) en el
hígado de bovinos beneficiados en un camal de Puerto Maldonado”

PARA OPTAR EL TITULO PROFESIONAL DE MEDICO VETERINARIO-
ZOOTECNISTA

AUTOR:

Bach. CCAHUANTICO MAMANI,
Rubén Roberto

ASESOR:

MSc. ARAPA SALAS, Luis Alberto

Puerto Maldonado, Julio del 2025

DEDICATORIA

A mis padres queridos que, aunque no están físicamente presentes, viven eternamente en mi corazón y en mis recuerdos. Su legado de amor, sabiduría y fortaleza me ha guiado en cada paso de mi camino.

A mi esposa Ruth Maribel Castro Curi, quien ha estado a mi lado en cada momento de este proceso, le debo un agradecimiento especial. Su apoyo incondicional, paciencia y comprensión me han brindado la fortaleza necesaria para culminar esta etapa. Gracias por tu amor y por creer siempre en mí.

Espero que este trabajo sea un orgullo para nuestra familia y un aporte significativo en la protección de la salud pública y el medio ambiente. Finalmente, gracias a todos aquellos que, de una u otra manera, contribuyeron a hacer realidad este proyecto, contribuyendo con sus conocimientos, apoyo y motivación en cada etapa de estudio.

AGRADECIMIENTO

Quiero expresar mi más sincero agradecimiento a mis queridos padres, que, aunque no están físicamente presentes, su legado de amor y sabiduría me ha guiado en cada paso de mi camino; a mi esposa e hijos, por su apoyo incondicional, amor y comprensión durante este trayecto académico; a mi asesor, MSc. Arapa Salas Luis Alberto, por su orientación, guía y apoyo constante en el desarrollo de esta investigación; a los miembros del jurado, Dr. Ricardo García Núñez(presidente), Mg. Sc. Freddy Lot Yujra(secretario), Mg. Sc. Homero Josué Gómez Matos(vocal), y Dra. Roxana Madueño Portilla (accesitario), por su valiosa retroalimentación y evaluación crítica; al personal del Camal El Dorado de Puerto Maldonado, por su colaboración y apoyo en la recolección de muestras; y a la Universidad Nacional Amazónica de Madre de Dios, por proporcionarme los recursos y oportunidades necesarias para completar esta investigación.

TURNITIN_RUBEN CCAHUANTICO MAMANI

INFORME DE ORIGINALIDAD

10%

INDICE DE SIMILITUD

13%

FUENTES DE INTERNET

7%

PUBLICACIONES

4%

TRABAJOS DEL
ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1

hdl.handle.net

Fuente de Internet

2%

2

repositorio.uncp.edu.pe

Fuente de Internet

1%

3

repositorio.unp.edu.pe

Fuente de Internet

1%

4

www.freepatentsonline.com

Fuente de Internet

1%

5

cybertesis.unmsm.edu.pe

Fuente de Internet

1%

6

fsvps.gov.ru

Fuente de Internet

1%

7

repositorio.udh.edu.pe

Fuente de Internet

1%

8

www.zootecnia.ucr.ac.cr

Fuente de Internet

1%

9

1library.co

Fuente de Internet

1%

10

repositoriodspace.unipamplona.edu.co

Fuente de Internet

1%

11

repositorio.unamad.edu.pe

Fuente de Internet

1%

Excluir citas

Apagado

Excluir coincidencias < 1%

Excluir bibliografía

Activo

PRESENTACIÓN

Tanto las personas como los animales enfrentan un enemigo invisible en su entorno: la exposición a metales. Estos elementos, se encuentran tanto en los alimentos como también en el medio ambiente como en el agua y aire e incluso en algunos lugares de trabajo y ambientes naturales, pueden representar un riesgo significativo para la salud. El peligro radica no solo en la presencia de estos metales, sino también en la interacción que pueden tener entre sí. Al combinarse, estos elementos pueden desencadenar efectos tóxicos aún más severos, potenciando su impacto negativo en el organismo. Por ello, detectar concentraciones altas de metales pesados en el hígado del ganado beneficiados en un camal de Puerto Maldonado podría generar preocupaciones sobre la salud pública y la seguridad de los alimentos.

En este estudio se determinó las concentraciones de metales pesados en el hígado del ganado bovino beneficiados en un camal del distrito de Tambopata. Para esta evaluación, utilizaremos la técnica de espectrofotometría de absorción atómica. Es importante entender la concentración de estos metales, ya que su acumulación puede tener un impacto significativo tanto en la salud de los animales como en la de las personas. Dado que hay poca información disponible sobre este tema en la región, con este trabajo se busca recabar esta información como punto de inicio para otros futuros trabajos.

RESUMEN

El objetivo de la presente investigación fue determinar los niveles de metales pesados, específicamente mercurio (Hg), cadmio (Cd) y plomo (Pb), en hígados de bovinos sacrificados en el camal “El Dorado” de Puerto Maldonado. Se recolectaron 32 muestras de 30 gramos de tejido hepático, las cuales fueron envasadas en frascos herméticos y etiquetadas con datos de identificación. Las muestras fueron trasladadas al laboratorio de la Facultad de Ingeniería Química de la Universidad Nacional Mayor de San Marcos, donde se analizaron mediante espectrofotometría de absorción atómica. Los resultados obtenidos arrojaron concentraciones promedio de 0.007562 mg/kg para Hg, 0.06656 mg/kg para Cd y 0.05875 mg/kg para Pb. Estos valores se encontraron dentro de los límites establecidos por la UE y el Codex Alimentarius. Los hallazgos indican que el consumo de hígado de bovino proveniente del mencionado camal no representa un riesgo inmediato para la salud pública. Asimismo, se resalta el potencial de la industria cárnica local para acceder a mercados más amplios, siempre que se mantengan adecuados estándares de control y vigilancia sanitaria. Esta investigación aporta información relevante sobre la inocuidad alimentaria en la región y puede servir de base para futuros estudios relacionados con la contaminación por metales pesados en productos de origen animal.

Palabras Claves: Metales pesados; hígado de bovino; mercurio; cadmio; plomo; espectrofotometría de absorción atómica.

ABSTRACT

The objective of this study was to determine the levels of heavy metals, specifically mercury (Hg), cadmium (Cd), and lead (Pb), in the livers of cattle slaughtered at the “El Dorado” abattoir in Puerto Maldonado. A total of 32 liver samples, each weighing 30 grams, were collected, sealed in hermetic containers, and labeled with identification data. The samples were transported to the laboratory of the Faculty of Chemical Engineering at the Universidad Nacional Mayor de San Marcos, where they were analyzed using atomic absorption spectrophotometry. The results showed average concentrations of 0.007562 mg/kg for Hg, 0.06656 mg/kg for Cd, and 0.05875 mg/kg for Pb. These values fall within the safety limits established by the UE and the Codex Alimentarius. The findings indicate that the consumption of bovine liver from this abattoir does not pose an immediate public health risk. Additionally, the results highlight the potential of the local meat industry to access broader markets, provided that proper sanitary control and monitoring standards are maintained. This study contributes relevant information regarding food safety in the region and may serve as a scientific basis for future research on heavy metal contamination in animal-derived food products.

Keywords: Heavy metals; bovine liver; mercury; cadmium; lead; atomic absorption spectrophotometry.

INTRODUCCIÓN

Elementos como los metales pesados son compuestos químicos que pueden tener efectos perjudiciales en los seres vivos, como por ejemplo el ganado bovino. En el caso de Puerto Maldonado, la actividad minera en la región puede contribuir con el aumento significativo en la acumulación de estos en el ambiente, los cuales pueden ser absorbidos por los animales a través de la alimentación o el agua.

Los metales pesados son elementos químicos que tienen una densidad mayor a 5 g/cm^3 o un número atómico superior a 20. Estos están presentes naturalmente en el ambiente debido a procesos geológicos y biológicos. Estos son transportados hacia ríos y océanos, donde se incorporan en los alimentos como en plantas y animales (1). En el hígado, metales como Hg, Cd, Pb, son metabolizados y se unen a proteínas llamadas metalotioneínas (MT). Las MT almacenan metales como Hg, Cd, Pb en el medio intracelular y los transfieren a metaloproteínas que ayudan a eliminar radicales libres(1). Ciertos elementos como el zinc y el cobre son vitales para el crecimiento de los organismos, pero en exceso pueden ser tóxicos. En contraste, otros elementos que no son tan necesarios no tienen funciones biológicas y son altamente tóxicos en grandes cantidades. Los metales cuando están en niveles altos pueden tener impactos negativos(2).

Los metales pesados pueden causar daños en diferentes órganos y tejidos como el nervioso, muscular y órganos del sistema excretor como los riñones, así como inducir mutaciones genéticas, efectos cancerígenos e inmunológicos. Por lo tanto, en este estudio se determinó los niveles de metales pesados (mercurio, cadmio, plomo) en el hígado vacunos procesado en el camal El Dorado de Puerto Maldonado, utilizando espectrofotometría de absorción atómica (AAS). Esto permitió evaluar si estos niveles están en el rango de alimentos aptos para consumo humano.

ÍNDICE

DEDICATORIA.....	
AGRADECIMIENTO.....	
PRESENTACIÓN.....	
RESUMEN.....	
ABSTRAC.....	
INTRODUCCIÓN.....	
CAPITULO I: PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN	1
1.1. Descripción del problema	1
1.2. Formulación del problema	3
1.3. Objetivos.....	3
1.4. Variables.....	4
1.5. Hipótesis.....	4
1.6. Justificación	4
1.7. Consideraciones éticas.....	5
CAPITULO II: MARCO TEÓRICO	6
2.1. Antecedentes de estudio	6
2.2. Marco teórico	9
2.2.1 Ganadería bovina en el Perú.....	9
2.2.2 Hígado	11
2.2.3 Mercurio (Hg)	14
2.2.4 Cadmio (Cd).....	17
2.2.5 Plomo (Pb)	21
2.3. Definición de términos	24
CAPITULO III: METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN	26
3.1. Tipo de estudio	26
3.2. Diseño del estudio	26
3.3. Población y muestra	26
3.4. Métodos y técnicas	27
3.5. Tratamiento de los datos	28
CAPITULO IV: RESULTADOS DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN.....	29
DISCUSIONES.....	34
CONCLUSIONES.....	37
SUGERENCIAS.	38

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	39
ANEXOS.....	49
Anexo 1: Operacionalización de variable.....	
Anexo 2: Matriz de consistencia.....	
Anexo 3: Concentración de mercurio (Hg).....	
Anexo 4: Concentración de Cadmio (Cd).....	
Anexo 5: Concentración de Plomo (Pb).....	
Anexo 6: Resultados de la prueba de espectrofotometría de absorción atómica.....	
Anexo 7. Solicitud permiso de recolectar muestra de hígado de vacuno.....	
Anexo 8: Otorgo autorización para recolectar muestras de hígado de vacuno.	
Anexo 9: Registro de origen, sexo, edad, color de los 32 vacunos.....	
Anexo 10: Fotos de recojo de muestras.....	

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Niveles tóxicos y consumos permisivos/seguro de metales pesados.....	11
Tabla 2. Estadísticos descriptivos de acumulación de mercurio, cadmio y plomo en el hígado de bovino.	29
Tabla 3. Comparación de concentración de mercurio si indica una relación significativa con cadmio y plomo.....	30
Tabla 4. Comparación de concentración de cadmio si indica una relación significativa con mercurio y plomo.	31
Tabla 5. Comparación de concentración de plomo si indica una relación significativa con mercurio y cadmio	33

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Acumulación de mercurio, cadmio y plomo en el hígado de bovino.....	29
Figura 2. Distribución de mercurio.....	31
Figura 3. Distribución de cadmio.....	32
Figura 4. Distribución de plomo.....	33

CAPITULO I: PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1. Descripción del problema

La ganadería en Madre de Dios se concentra principalmente a lo largo de la carretera Iñapari - Puerto Maldonado - Puente Inambari. La mayor parte del ganado se encuentra cerca de las ciudades de Puerto Maldonado e Iberia. Se calcula que hay entre 40 y 53 mil vacunos, predominando las razas de carne, como el cebú (*Bos indicus*). Sin embargo, estos animales podrían estar expuestos a la contaminación por metales pesados debido a las actividades realizadas en la región(3).

Los metales como el mercurio, cadmio y plomo, entre otros, son considerados peligrosos tanto para los organismos vivos como para el medio ambiente. El exceso de estos metales puede generar daños en los ecosistemas al acumularse en los organismos y desencadenar efectos tóxicos que pueden resultar en la muerte de muchas formas de vida. Estos metales tóxicos tienen la capacidad de acumularse en los cuerpos a través la alimentación, lo que a menudo produce efectos crónicos de toxicidad. Además, la absorción de mercurio, cadmio y plomo puede aumentar en situaciones de deficiencia de calcio, hierro, proteínas y zinc. En el hígado, los metales pesados como cadmio (Cd), mercurio (Hg), plomo (Pb) son metabolizados y se unen a proteínas conocidas como metalotioneínas (MT), que contienen cisteína y muestran una fuerte afinidad para interactuar y almacenar metales(1).

En muchos casos profesionales de la salud, recomiendan el consumo de hígado de res para aquellas personas con problemas de anemia, estos hígados si estuvieran con un porcentaje elevado de estos metales como mercurio (Hg), Cadmio (Cd) y Plomo (Pb) podrían causar problemas de salud.

Por otro lado, el mercurio es absorbido y luego diseminado por todo el cuerpo a través de la sangre, concentrándose principalmente a nivel renal y nervioso. Además, se acumula en los testículos, hígado, cabello, intestino, glándulas salivales y piel, aunque en proporciones menores. También pueden cruzar la barrera placentaria y la hematoencefálica(4). El metilmercurio formado a través de procesos microbiológicos puede impactar el desarrollo del cerebro en bebés y ocasionar alteraciones neurológicas en personas adultas(5). El cadmio es más tóxico para los riñones, afectando principalmente a las células que conforman los túbulos proximales, acumulándose a través del tiempo y puede provocar problemas en su funcionamiento. Además, el cadmio puede ocasionar la pérdida de minerales en los huesos, ya sea directamente afectando al hueso o de manera indirecta a través de la disfunción renal(6).

Efectos adversos en humanos van desde problemas de presión arterial alta y afecciones cardíacas hasta trastornos del sistema nervioso, posibles efectos cancerígenos, y debilidad y deformidades en los huesos. Los humanos suelen estar mayormente expuestos al plomo a través de la ingesta de alimentos, lo cual provoca su acumulación en el cuerpo y afecta negativamente el desarrollo del tejido nervioso, especialmente en menores de edad(7). En adultos, se ha observado que el plomo, al estar vinculado con la neurotoxicidad, influye en la capacidad de procesar información central, especialmente en términos de habilidades como la percepción espacial y la retención de información verbal a corto plazo, además de poder generar síntomas psiquiátricos y afectar la habilidad manual(8).

Para evitar la acumulación de metales, el Codex Alimentarius, una organización conjunta de la FAO y la OMS, ha establecido la norma CODEX STAN 193-1995, revisada en 2009 y modificada en 2015. Su propósito es asegurar alimentos seguros y de calidad para la población, definiendo niveles máximos permitidos de mercurio, cadmio y plomo para el ganado bovino y sus productos comestibles: 0.5 mg/kg para mercurio, 0.1 mg/kg para cadmio y 0.5 mg/kg para plomo, conforme a lo establecido por el Codex Alimentario y EU(9). Por otro lado, en el Perú, la Ley N° 30224, en su artículo 10, señala que las competencias del INACAL deben alinearse con lo establecido en el Acuerdo sobre Obstáculos Técnicos al Comercio de la Organización Mundial

del Comercio (OMC) y otros acuerdos internacionales relacionados. Los organismos internacionales de normalización reconocidos por la OMC incluyen a la Comisión del Codex Alimentarius, la Organización Internacional de Normalización (ISO) y la Comisión Electrotécnica Internacional (IEC)(10). Por esta razón, la investigación de este proyecto se basó en los estándares de organismos internacionales para determinar los niveles de mercurio, cadmio y plomo en el hígado de bovinos sacrificados en un camal de Puerto Maldonado.

1.2. Formulación del problema

¿Cuáles fueron los niveles de metales pesados mercurio (Hg), cadmio (Cd), plomo (Pb) en el hígado de bovinos beneficiados en un camal de puerto Maldonado?

1.3. Objetivos

General:

Determinar los niveles de metales pesados mercurio (Hg), cadmio (Cd), plomo (Pb) en el hígado de bovinos beneficiados en un camal de puerto Maldonado.

Específicos:

Determinar los niveles de mercurio (Hg) en el hígado de bovinos beneficiados en un camal de puerto Maldonado.

Determinar los niveles de cadmio (Cd), en el hígado de bovinos beneficiados en un camal de puerto Maldonado.

Determinar los niveles de plomo (Pb), en el hígado de bovinos beneficiados en un camal de puerto Maldonado.

1.4. Variables

Variable independiente:

Muestras de hígado de bovino.

Variable dependiente:

Metales pesados: mercurio (Hg), cadmio (Cd), plomo (Pb).

1.5. Hipótesis

Ha:

Los niveles de metales pesados mercurio (Hg), cadmio (Cd), plomo (Pb) en el hígado de bovinos beneficiados en un camal de puerto Maldonado están dentro de los límites permisibles.

Ho:

Los niveles de metales pesados mercurio (Hg), cadmio (Cd), plomo (Pb) en el hígado de bovinos beneficiados en un camal de puerto Maldonado no superan los límites permitidos.

1.6. Justificación

Los metales pesados en concentraciones elevadas poseen una alta toxicidad y pueden provocar serias complicaciones de salud en las personas. Por consiguiente, este estudio se determinó la proporción de estos en el hígado de ganado bovino.

Hay regulaciones internacionales que fijan los límites que son aceptables en la comida, incluyendo hígado de vacuno. Por ello, se requiere llevar a cabo investigaciones de este tipo para verificar el cumplimiento de dichas regulaciones para de esta manera asegurar la inocuidad alimentaria.

La aparición de metales pesados en los hígados de bovinos beneficiados podría ser un indicador de contaminación del entorno, lo cual conlleva riesgos para los ecosistemas y la diversidad biológica. Por consiguiente, resulta

crucial identificar las fuentes de contaminación para sugerir medidas de control en caso necesario.

La existencia de metales pesados en el ganado vacuno podría influir negativamente en la calidad de hígado, Por ello, resulta esencial llevar a cabo investigaciones y aplicar medidas preventivas que eviten la contaminación, fomentando además prácticas ganaderas sostenibles que aseguren la calidad de productos destinados para el consumo humano.

La presente investigación se fundamenta en la necesidad de cumplir con estándares internacionales reconocidos en materia de inocuidad alimentaria y control de metales pesados, en concordancia con la normativa vigente en el Perú. La Ley N° 30224, en su artículo 10, establece que las competencias del INACAL deben alinearse con lo dispuesto en el Acuerdo sobre Obstáculos Técnicos al Comercio de la Organización Mundial del Comercio (OMC) y otros acuerdos internacionales relacionados. En este sentido, los organismos de normalización reconocidos por la OMC, como la Comisión del Codex Alimentarius proporcionan lineamientos técnicos confiables y ampliamente aceptados. Por lo tanto, esta investigación se desarrolló bajo dichos lineamientos internacionales, con el objetivo de determinar los niveles de mercurio, cadmio y plomo en el hígado de bovinos sacrificados en un camal de Puerto Maldonado. Esto contribuye a generar información científica válida que puede ser utilizada como referencia para garantizar la calidad y seguridad alimentaria en la región y, además, cumplir con las exigencias del comercio global.

1.7. Consideraciones éticas

Para asegurar la honestidad y credibilidad de la investigación, se obtuvo muestras de hígado de bovinos con el consentimiento informado de todas las partes implicadas. Se aseguró la confidencialidad de los datos y la comunicación de los resultados de manera transparente y objetiva en este estudio.

CAPITULO II: MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes de estudio

Antecedentes internacionales:

En una investigación realizada en Colombia en 2011, específicamente en las áreas de Sinú y San Jorge, se analizaron las concentraciones de plomo, cadmio y mercurio en el hígado y músculo pectoral derecho de ganado bovino. Se recolectaron muestras de machos adultos de la raza cebú mestizo, con edades comprendidas entre 2 y 7 años, destinados al consumo humano. Para llevar a cabo este análisis, se empleó un espectrofotómetro de absorción atómica. Los resultados 0.028 mg/kg para Hg, 0.011 mg/kg para Cd y 0.059 mg/kg para Pb. Evidenciaron que la concentración de estos metales no excedió rangos mínimos permitidos establecidos por la Comisión Europea. En resumen, se concluyó que la industria cárnica local tiene potencial para ingresar a mercados internacionales(11).

Por otro lado, en 1991 Chile se llevó a cabo un estudio preliminar para evaluar los niveles de concentración de cobre, plomo y cadmio en el hígado de bovinos sanos procedentes de diversas regiones del país. El propósito era establecer valores de referencia a nivel nacional. Los resultados del análisis revelaron que el Hg, Cd y Pb en el hígado estaban dentro de los rangos normales mencionados en la literatura internacional, exceptuando el del promedio de Cu hallado en los vacunos de la VII Región, que se encontraba por debajo del valor crítico. Las diferencias estadísticas en los niveles de Cu fueron atribuidas principalmente a las variaciones de este mineral en suelos y pastos de diversos lugares examinados(12).

Así también en un estudio realizado en el matadero de Beni-Suef, Egipto en 2011, se recolectaron al azar 300 muestras de ganado menor de tres años (18-30 meses) de la línea de sacrificio. Estas muestras, que incluían músculo, hígado y riñón, se empaquetaron individualmente, se etiquetaron y se almacenaron a -18°C . Posteriormente, fueron enviadas al Instituto Max Rubner en Kulmbach, Alemania, para analizar residuos de metales como plomo, cadmio, mercurio, arsénico, cromo y níquel. Los resultados mostraron que los niveles medios de plomo eran 0.0427 mg/kg en el hígado, Para el cadmio, los niveles fueron 0.0142 mg/kg en el hígado y Los niveles de mercurio fueron 0.0058 mg/kg en el hígado. En conclusión, todos los valores medios de metales tóxicos detectados estaban por debajo de los límites permitidos por diversas organizaciones(13).

En otro trabajo de investigación se determinó niveles de metales tóxicos cadmio y plomo en el músculo y el hígado de 180 novillos (*Bos taurus*) menores de 2 años, tanto de origen extranjero como local, sacrificados en la isla de La Palma, Canarias, España en 2019. Para este análisis, se empleó la técnica de espectrometría de emisión óptica con plasma acoplado inductivamente (ICP-OES). Entre los metales tóxicos, cadmio mostro 0.085 mg/kg y plomo mostro 0.053 mg/kg en el hígado de los novillos extranjeros, 0.063 mg/kg y 0.048 mg/kg en el hígado de los novillos locales. En conclusión, este estudio verificó que la carne de vacuno es una fuente de oligoelementos, el consumo de esta carne no resultó en una ingesta significativa de metales (Cd y Pb), lo que implica que consumir músculo e hígado de novillo no representa un riesgo toxicológico para los consumidores en España(14).

Antecedentes nacionales

Se realizó una investigación en comunidades de alta montaña en el distrito de Ananea, Puno en 2018, para examinar la presencia de mercurio, cadmio y plomo en alpacas criadas en áreas mineras. Se tomaron muestras de tejido hepático de alpacas, que luego se analizaron en un laboratorio especializado mediante el método de espectrofotometría de absorción atómica. Los datos

obtenidos se procesaron utilizando un software estadístico para comparar los niveles de metales encontrados. Los resultados revelaron mercurio 0.0021 mg/kg, cadmio 0.0012 mg/kg y plomo 0.0088 mg/kg, los cuales estaban dentro de los límites aceptables, cumpliendo con las regulaciones internacionales de seguridad alimentaria(15).

Por otro lado, en esta investigación se realizó una revisión y síntesis de 28 tesis entre 2008 y 2018 en la UNMSM, relacionadas con el tema de metales tóxicos como cadmio, mercurio y plomo en alimentos. Se encontraron solamente 6 estudios con información relevante y de calidad, pero se observó una notable variabilidad entre ellos con un resultado cadmio 0.396 mg/kg y plomo 0.445 mg/kg en el mercado Ciudad de Dios – san Juan de Miraflores y 9.59 mg/kg de cadmio, 1. 707 mg/kg de plomo en el mercado Central y camal de Yerbateros. En resumen, los estudios seleccionados no cumplen con los estándares necesarios para fundamentar decisiones en base a sus resultados. Los pobladores en el Perú están en riesgo de consumir alimentos que contengan altas concentraciones de metales pesados, lo que incrementa la posibilidad de sufrir los efectos de su toxicidad. Es esencial realizar más investigaciones imparciales sobre este tema(16).

En una investigación, donde se analizaron las concentraciones de plomo, cadmio y arsénico en el hígado de ganado bovino comercializado en el Mercado Ciudad de Dios, San Juan de Miraflores, entre mayo y agosto de 2015. Para cuantificar estos elementos, se utilizó el método de Espectrofotometría de Absorción Atómica. Los resultados obtenidos fueron que los niveles de plomo en las muestras de hígado tenían un promedio de 0,4452 mg/kg. En cuanto al cadmio, se registró un promedio de 0,3965 mg/kg. Por último, los niveles de arsénico mostraron un promedio de 1,2521 mg/kg. Estos datos demuestran que excede los límites permitidos para plomo, cadmio y arsénico según las normativas del Mercosur y la Unión Europea. En conclusión, las muestras contienen metales pesados que representan un riesgo para el consumo humano(17).

Por otro lado, se llevó a cabo una revisión bibliográfica para investigar la causa por la que estos metales se encuentran presentes en la leche de vaca,

utilizando documentos científicos, como artículos de revistas académicas reconocidas. Varios estudios en áreas como la toxicología, epidemiología, bioquímica y fisiología han demostrado que estos contaminantes pueden causar una gran variedad de males en el organismo, hasta el cáncer. En resumen, no existe un rango seguro de metales pesados en los organismos vivos, destacando la importancia de realizar análisis periódicos en personas expuestas a este tipo de elementos. Los órganos más afectados por lo general suelen ser riñón, órganos del sistema nervioso y el sistema hematológico(18).

2.2. Marco teórico

2.2.1 Ganadería bovina en el Perú

El Perú cuenta con un total de 5,2 millones de bovinos, lo que representa un incremento de 14,7% en comparación con el año 1994 y del 35,3% en relación con 1972. Del total de ganado, aproximadamente el 63,9% corresponde a la raza Criolla. Las razas más comunes incluyen la Brown Swiss (17,6%), Holstein (10,3%) y Cebú (3,4%). En cuanto a la distribución geográfica, cerca del 73% del ganado se encuentra en la región de la sierra, el 12% en la costa y el 15% en la selva(19).

El 80% de la población bovina está mayormente en manos de productores individuales y asociaciones comunales, donde prevalece el ganado criollo y sus cruza. En el Perú, el total de ganado bovino asciende a 5,101,895 cabezas. Este ganado produce anualmente 1,115,045 toneladas de leche y 135,854 toneladas de carne. De igual forma se observa un incremento constante de la producción lechera desde 1993 hasta 2001, con un crecimiento anual promedio del 4.2%; mientras que la producción de carne permaneció estancada durante ese mismo período(20).

Las zonas con mayor producción de carne han registrado incrementos anuales positivos, como Cajamarca con un aumento del 1,58%, Lima con un 0,06%, y Puno con un 1,45% (según MINAGRI 2017). También, el peso medio de la carcasa ha experimentado un incremento anual del 0,21 por ciento, alcanzando los 140,8 kg por animal (según MINAGRI 2017). En la última

década, el precio ha mostrado un aumento anual del 4,29%. Por otro lado, las importaciones de carne en 2016 totalizaron 3,327 toneladas, Además, las exportaciones fueron de 27 toneladas en 2016, con una tasa media anual de -1,51%(20).

La población de ganado vacuno según MINAGRI en 2017, Madre de Dios cuenta con 56420 unidades(21).

Característica de ganado Bos indicus

Los cebúes se distinguen por tener cuernos generalmente cortos, orejas largas y caídas, una joroba notable sobre los hombros y una papada amplia. Su pelaje es corto y de color claro, usualmente blanco y uniforme, aunque algunos pueden tener pequeñas manchas oscuras. También son conocidos por su capacidad de adaptarse a climas cálidos y húmedos, su resistencia a enfermedades y parásitos, y su habilidad para aprovechar forrajes con alto contenido de fibra(22).

Contaminantes ambientales y salud del ganado

Los contaminantes ambientales afectan negativamente a los organismos vivos, incluyendo al ganado vacuno y, en consecuencia, a la salud humana. Entre estos contaminantes se encuentran metales pesados, pesticidas y micotoxinas. Sustancias como el plomo, cadmio y mercurio pueden bioacumularse en distintos órganos a través de la alimentación, alcanzando niveles tóxicos. Altas concentraciones de cadmio pueden provocar enfermedades graves como osteomalacia e insuficiencia renal, tal como ocurrió en el caso de (itai-itai), mientras que la intoxicación por mercurio puede causar daños neurológicos severos y permanentes, como se observó en (Minamata). Estos metales pesados son sustancias tóxicas que se acumulan progresivamente a lo largo de la cadena alimentaria, comenzando desde los organismos productores primarios(23).

Tanto los vacunos y las personas, están expuestos a diversos metales mediante una gran variedad de fuentes, como el aire, los alimentos o el agua potable, en diversos contextos laborales y medioambientales. Esta exposición

plantea posibles amenazas para la salud debido a la interacción de estos metales, ya sea de manera contraproducente o complementaria, lo cual podría ser un factor clave para desencadenar efectos adversos(24).

Tabla 1. Niveles tóxicos y consumos permisivos/seguro de metales pesados.

Metal pesado	Limite toxico	Ingesta recomendada/ingesta segura
Mercurio	> 0.08 mg/día	0.043 mg/día
Cadmio	0.2 mg/día	0.015– 0.05 mg/días adultos
Plomo	>0.5 mg/día	0.002– 0.025 mg/día niños

Fuente: Oliver MA, (1997). Soil and human health: a review. Eur J Soil Sci(24).

2.2.2 Hígado

El hígado, como órgano del sistema digestivo, cumple funciones esenciales en la digestión y el metabolismo. Entre sus principales funciones se encuentran la purificación de la sangre, el almacenamiento de glucógeno, el metabolismo de proteínas, carbohidratos y grasas, la eliminación de toxinas, así como la producción de bilis. Además, durante la etapa fetal, participa en la formación de sangre(25).

Es un órgano situado entre el tórax y el abdomen, en conexión superior con el diafragma y en conexión inferior con el estómago y el intestino grueso. Su masa varía según la especie, generalmente representando alrededor del 1,5% del peso corporal medio. Durante el desarrollo fetal, su tamaño es considerable, ocupando casi toda la cavidad abdominal y desempeñando un papel crucial en la producción de sangre del feto. En animales jóvenes, su proporción de peso respecto al cuerpo es mayor que en adultos, ya que su tamaño relativo tiende a disminuir con la edad(25).

Su tonalidad oscila entre el marrón y el rojizo, aunque estos atributos pueden alterarse dependiendo de la edad, el género, la raza, el volumen sanguíneo y la condición alimentaria del individuo. Su consistencia es flexible, y su forma y localización son distintivas para cada especie, aunque en los mamíferos domésticos su ubicación primordial se encuentra en la parte derecha media del abdomen. Anatómicamente, presenta dos superficies: la superficie parietal, también llamada diafragmática o convexa, que se ajusta al diafragma; y la superficie visceral, que es cóncava y delimita con los órganos internos abdominales como el páncreas, el estómago, el duodeno, el colon, el ciego, y además es el punto inicial de los conductos biliares(25).

No obstante, un examen detallado de los componentes de los alimentos peruanos, realizado por el MINSA en 2009, indica que estructuras corporales como el hígado, el bazo y el riñón, así como la sangre de los animales domésticos, contienen niveles elevados de hierro que pueden ser beneficiosos para el consumo humano(26).

Según el MINSA, 100 gramos de hígado de res contienen: 140 kcal de energía (584 kJ), 70.8 g de agua, 20.0 g de proteínas, 4.6 g de grasa total, 3.3 g de carbohidratos totales y disponibles, 1.3 g de cenizas, 13 mg de calcio, 166 mg de fósforo, 4.0 mg de zinc, 5.4 mg de hierro, 4968 µg de vitamina A, 0.24 mg de tiamina, 1.89 mg de riboflavina, 12.3 mg de niacina y 19.5 mg de vitamina C(26).

La cantidad de fósforo y calcio en el hígado y los riñones es muy similar al de la carne. Además, estas vísceras aportan cantidades significativas de selenio. Las vísceras, y especialmente el hígado, son más ricas en vitamina A que la carne, siendo su principal fuente. También contienen mayores niveles de tiamina, riboflavina y niacina. El hígado destaca como una fuente significativa de vitaminas D y K. Además, las vísceras, en particular el hígado y los riñones, presentan un mayor contenido de purinas en comparación con la carne, dado su mayor número de células(27).

Toxicología: Analiza los elementos dañinos y su influencia en los seres vivos, explora de qué manera ciertos compuestos químicos perjudican a los

organismos vivos y establece las cantidades de estos elementos que generan efectos adversos(28).

La peligrosidad de los elementos puede cambiar según aspectos como la cantidad, la forma en que se exponga y su estructura química, siendo esta última fundamental para evaluar su capacidad de causar daño. En el ambiente, estos elementos pueden presentarse en diversos estados de oxidación y en distintas estructuras químicas(29).

La naturaleza está constantemente expuesta a una amplia gama de sustancias químicas, algunas de origen natural y otras generadas por la actividad humana. La liberación de estos compuestos debido a las actividades humanas está en aumento, especialmente debido al proceso acelerado de industrialización y urbanización que se viene desarrollando a nivel mundial(30).

Toxicología de alimentos: Examina la existencia de sustancias químicas dañinas y perjudiciales en los alimentos para prevenir que los consumidores se expongan a posibles riesgos para su salud al ingerir dichos productos(31). Estas sustancias pueden aparecer durante la ingesta, la producción o el resguardo de los alimentos, y su procedencia puede ser la inclusión de aditivos y preservativos, contaminaciones, descomposiciones o métodos inapropiados durante la preparación de los mismos(31).

Metales tóxicos: Los seres vivos, incluyendo a los humanos, están expuestos a sustancias perjudiciales que pueden tener origen tanto natural como humano en el entorno. Estas sustancias suelen ser altamente reactivas y a menudo son tóxicas incluso en cantidades mínimas. Pueden ingresar al suelo y al agua subterránea, acumularse en las cadenas alimenticias y causar daños a los organismos. Persisten en el ambiente en periodos de tiempo muy prolongados, lo que representa un riesgo para la vida incluso una vez ya retirados las fuentes de contagio(32).

Existen metales que no representan riesgos ni son tóxicos para los seres humanos, ya que conforman un conjunto más extenso de elementos de los cuales algunos son indispensables para preservar el buen estado de salud. Hay elementos fundamentales para el funcionamiento de nuestro organismo,

tales como el hierro, cobre, zinc y selenio, los cuales desempeñan un rol crucial en nuestro sistema metabólico(33). Otros elementos, aunque no son esenciales para nuestro cuerpo, tampoco son nocivos en cantidades normales. Por otro lado, existen elementos perjudiciales como el cromo, níquel, cadmio, mercurio y plomo, los cuales pueden representar riesgos para los seres vivos cuando están presentes en concentraciones elevadas debido a la contaminación(34).

Los metales pesados como el plomo, mercurio, cadmio, cromo, cobre, zinc, manganeso, níquel, plata, entre otros, son considerados nocivos para los seres humanos, animales, peces y el entorno natural. Un exceso de estos metales pesados puede generar daños al ecosistema al acumularse el organismo de los seres vivos provocando perjuicios que podrían llevar a la muerte de los seres vivos. Estos metales tóxicos pueden bioacumularse en el organismo a través de la alimentación, lo que habitualmente desencadena efectos crónicos de toxicidad(35).

2.2.3 Mercurio (Hg)

El mercurio, un metal presente en la naturaleza y liberado por las actividades humanas, emprende un viaje fascinante pero preocupante a través del medio ambiente. Una vez liberado, se involucra en una serie de procesos complejos que lo llevan a transitar entre el aire libre, las aguas oceánicas y la tierra. El mercurio lo podemos encontrar de tres maneras principales. El mercurio elemental o metálico (Hg_0), que es la forma más común en el aire y se vincula con la minería y la combustión de carbón. El mercurio inorgánico se encuentra en el agua y el suelo, y puede tener origen natural o provenir de la descomposición de compuestos orgánicos de mercurio. Los derivados orgánicos de mercurio, como el metilmercurio, poseen alta toxicidad y se concentran en la cadena alimentaria, especialmente en el pescado contaminado, representando un riesgo para la salud humana(36).

El metilmercurio, especialmente, plantea preocupaciones en términos de salud pública. Por ejemplo, puede influir en el desarrollo cerebral en bebés y desencadenar alteraciones neurológicas en adultos. Aunque no se ha

establecido con certeza en qué medida los consumidores de alimentos con mercurio podrían estar en riesgo para su salud(5).

El mercurio tiene la capacidad de volatilizarse fácilmente y generalmente se inhala a través de la respiración, con una absorción mínima a través del tracto gastrointestinal en comparación. En cuanto al mercurio inorgánico, su absorción intestinal puede variar entre el 10% y el 30%. Una vez que es absorbido, distribuyéndose principalmente en el hígado y en menor proporción depositada en el hígado. El principal efecto adverso del mercurio inorgánico está asociado con el daño renal. Las semillas de cereales tratadas con fungicidas que contienen mercurio orgánico y la harina de pescado que se usa en la nutrición de animales son las principales fuentes de mercurio en animales de cría(37).

En animales, al igual que en humanos, el metilmercurio y sus compuestos se absorben de manera eficiente en el tracto digestivo (> 80%). Recientemente, se ha examinado una cantidad significativa de materias primas en los países miembros de la Unión Europea (UE), y la mayoría de ellas presentaban concentraciones de mercurio total dentro de los límites permitidos para los alimentos concentrados(38).

De acuerdo con unas investigaciones llevadas a cabo en Canadá, una regulación más estricta sobre la utilización de fungicidas que contengan mercurio para los productos agrícolas, se evalúa la posibilidad de que los animales destinados al consumo humano estén expuestos al mercurio. Actualmente, se ha establecido un límite máximo de 0,2 mg/kg para el contenido total de mercurio en fuentes minerales, teniendo en cuenta un contenido de humedad del 12%. Además, para el carbonato de calcio, que es uno de los minerales utilizados en la elaboración de premezclas, se ha fijado un límite de 0,3 mg/kg según la regulación vigente(38).

Las concentraciones de metilmercurio y mercurio total en animales y plantas que viven en tierra firme suelen ser mínimas. No obstante, la adición de harina de pescado en la dieta equilibrada puede provocar aumentos en los niveles de metilmercurio en productos provenientes de animales(9).

Toxico cinética: En los seres humanos, no hay ninguna función biológica que necesite mercurio. Las diferentes formas de mercurio, como el orgánico, inorgánico y metálico, se absorben de manera distinta y tienen diferentes efectos dañinos(39).

El mercurio líquido se absorbe aproximadamente en un 6% a través del contacto con la piel. No obstante, la principal vía de absorción es por inhalación de sus vapores. Una vez en el organismo, se distribuye a través de la sangre y se acumula principalmente en los riñones y el cerebro. También se encuentra en otros órganos como los testículos, el hígado, el cabello, el intestino, las glándulas salivales y la piel, aunque en cantidades pequeñas. Además, el mercurio tiene la capacidad de atravesar tanto la barrera placentaria como la barrera hematoencefálica(4).

El mercurio se exhala en pequeñas cantidades como vapor, además de eliminarse a través del sudor, la saliva, las lágrimas y el cabello. La mayor parte se excreta por las heces y la orina. El tiempo que el mercurio permanece en el cuerpo varía de días a meses, siendo la mayoría eliminada en los primeros 60 días. Sin embargo, una pequeña cantidad que se deposita en el cerebro puede tardar hasta un año en ser completamente eliminada (40)

El mercurio orgánico se encuentra en productos como fungicidas, derivados del metilmercurio y algunos medicamentos. Después de la fumigación, estos compuestos se absorben a través de la respiración, la ingestión y la piel. Una vez en el cuerpo, se combinan con otros compuestos orgánicos mediante grupos sulfhídricos y se acumulan principalmente en el cerebro y el hígado, aunque también se encuentran en otros órganos en menor medida. Estos compuestos tienen la capacidad de atravesar tanto la barrera hematoencefálica como la placentaria. Una porción del mercurio absorbido sufre de metilación, lo que incrementa la concentración de su forma inorgánica en los riñones y el hígado. La eliminación de este mercurio ocurre principalmente mediante la orina y las heces. La vida media de este tipo de mercurio varía entre 100 y 190 días(39).

Toxico dinámica: El mercurio, tanto en su forma inorgánica como orgánica, es perjudicial porque puede unirse a componentes celulares que contienen

grupos sulfhídricos, afectando varios sistemas metabólicos. Estos compuestos interfieren con los sistemas enzimáticos al interactuar iónicamente con las proteínas, formando proteinato de mercurio, lo que inhibe varias enzimas esenciales. Esto también afecta la síntesis de proteínas en las mitocondrias, impactando la función energética del organismo(41).

El mercurio (Hg) presente en los riñones ingresa a las células de los túbulos proximales desde la circulación a través de transportadores de aniones orgánicos. Una vez dentro de la célula, el mercurio se separa del carbono, transformando el mercurio orgánico en su forma inorgánica mediante un proceso que puede ser enzimático o no enzimático. El ion de mercurio (Hg^{+2}) tiene una alta afinidad por las enzimas que contienen grupos tiol, desactivándolas mediante una oxidación irreversible. Esta desactivación de proteínas sulfhidrilo, como la Na^{+}/K^{+} -ATPasa, afecta la estructura celular y altera factores como el potencial de la membrana, el tamaño celular y el funcionamiento de las orgánulas. Estos cambios generan radicales libres y liberan la proteína urea(42).

Cuando hay una falta de la proteína encargada de la desintoxicación o una disminución en la selenotiol con actividad antioxidante, como la tiorredoxinareductasa (TrxR), puede contribuir al deterioro de los túbulos proximales. Además, el NF- κ B juega un papel crucial en el daño renal relacionado con la apoptosis, aumentando la susceptibilidad a este proceso, como se ha confirmado en estudios de laboratorio y en animales. El mercurio también puede afectar significativamente la permeabilidad de la membrana celular al reducir la resistencia eléctrica transepitelial (TER)(42).

2.2.4 Cadmio (Cd)

El cadmio (Cd) es un elemento metálico tóxico que se encuentra de forma natural en la Tierra, especialmente en áreas con actividad volcánica y procesos de descomposición de rocas, así como debido a la actividad humana. La combustión de hidrocarburos fósiles., el aumento de residuos y el uso de determinados fertilizantes. Mayormente, el cadmio se presenta en forma de compuestos inorgánicos con un estado de oxidación de +2(43).

El cadmio es extremadamente nocivo y cuenta con un período de tiempo en el cuerpo que impide la disminución de la cantidad acumulada (44). Las consecuencias para la salud humana incluyen desde condiciones como la presión arterial alta y trastornos del sistema cardiovascular hasta problemas neurológicos, riesgos de cáncer, y debilidad o deformaciones en los huesos (45). La principal vía por la cual las personas están expuestas al cadmio es mediante la ingestión de alimentos, particularmente productos como pescado, carne y frutas, los cuales pueden tener concentraciones que van desde 1 hasta 50 microgramos por kilogramo de cadmio(45).

Cadmio en el medio ambiente: El cadmio es una sustancia natural presente en el entorno, pero la actividad humana ha incrementado su presencia. Este aumento se da principalmente por la liberación de cadmio en aguas residuales y la incineración de desechos. El exceso de cadmio en suelos agrícolas, en gran parte, resulta de la aplicación excesiva de fertilizantes, lo que incremento en la absorción de cadmio por parte de las plantas tiene un impacto en los animales que se alimentan de estas plantas, y la cantidad absorbida varía según varios factores como la variedad de planta, la acidez del suelo y otras características(46).

Toxicidad del cadmio. Ese elemento generalmente se absorbe al ser ingerido y representa entre el 2% y el 6%. No obstante, en individuos con niveles bajos de hierro en su organismo, esta absorción puede aumentar, alcanzando hasta un 20% de la cantidad ingerida. Una vez que el cadmio es absorbido, ya sea a través de la alimentación o la inhalación, tiende a acumularse en el hígado(46).

El cadmio tiene un proceso de eliminación muy lento, lo que conlleva a una acumulación en el organismo del animal y esta bioacumulación tiende a incrementar. El tiempo que el cadmio permanece en el organismo varía de 7 a 30 años, dependiendo de diferentes factores(47).

La enfermedad Itai-Itai se caracteriza como grave caso de intoxicación a largo plazo por cadmio, originada por la ingestión prolongada de este metal. Los síntomas clínicos asociados a esta enfermedad engloban daño renal, que se manifiesta a través de problemas en los túbulos y glomérulos renales, y

deterioro en la salud ósea, presentando una combinación de osteomalacia y osteoporosis(48).

Bioacumulación del cadmio: Las personas obtienen la mayor parte de su ingesta de cadmio a través de los alimentos, y su acumulación en el cuerpo puede ocasionar problemas en los riñones, cambios en el sistema óseo y reproductivo, y también se considera que tiene el potencial de causar cáncer(49).

La forma en que el cadmio se absorbe en los animales y las personas sigue un proceso similar al del hierro y zinc. La carencia de calcio y hierro, junto con dietas con baja cantidad de proteínas, aumenta esta absorción. El cadmio afecta a diversos órganos, incluyendo el riñón, el corazón, los huesos, los testículos, la placenta cerebro, cerebelo, medula espinal y nervios. La exposición al cadmio también puede dañar los tejidos del sistema respiratorio, provocando lesiones en los alvéolos que pueden progresar hacia una fibrosis secundaria y enfisema en los pulmones(50).

Toxico cinética: La captación, dispersión y eliminación del cadmio en los seres humanos en circunstancias donde este expuesto de forma normal en el medio ambiente pueden resumir de la siguiente manera. La cantidad de cadmio en el cuerpo aumenta según pasen los años pudiendo ser hasta los 50 años de edad. En individuos adultos, la cantidad de cadmio acumulado en el cuerpo puede variar hasta 40 mg, principalmente debido a la localización geográfica, y al hábito de fumar. De hecho, en los fumadores, la concentración en el cuerpo puede duplicarse(51). El cadmio puede ingresar al organismo mediante la respiración e ingesta. Una vez la circulación, se distribuye en 3 compartimentos:

- Compartimento 1 de "recambio rápido", en este caso no se bioacumula.
- Compartimento 2 de "recambio medio", conformado por glóbulos rojos, donde es concentrado en mínimas cantidades.
- Compartimento 3 de "recambio lento", donde parte importante del cadmio es adherida a la metalotioneína para luego ser acumulado en los diferentes órganos(51).

Los compartimentos 1 y 3 muestran una alta interacción con otros tejidos, con una tasa de transferencia del compartimento 1 de un 16 por ciento en el hígado y un 50 por ciento de otros órganos. Aunque los tres compartimentos están en un equilibrio, el riñón aporta adicionalmente al compartimento 1. En el riñón, que representa el compartimento 3, aunque el intercambio es lento, es el que tiene una mayor interacción, lo que evita la acumulación, pero permite la filtración a través del glomérulo. Parte de este cadmio es reabsorbido en el túbulo, propiciando de esta forma a su acumulación. El exceso es eliminado a través de la orina(52).

La excreción del cadmio se da mediante la orina y las heces. De forma diaria se excreta aproximadamente un 0,007% del contenido corporal por la orina y un 0,03% por las heces. El tiempo medio de duración de eliminación a través de la orina puede extenderse hasta 40 años. Solo una pequeña porción del cadmio presente en la sangre y otra parte en el hígado se excretan a través de las heces utilizando la vía biliar(53).

Toxico dinámica: El cadmio afecta de manera más pronunciada al riñón en comparación con otros órganos, siendo el túbulo proximal el más vulnerable. Este deterioro se evidencia por un aumento en las proteínas de pequeño peso molecular. Así mismo, se produce alteraciones de filtrado glomerular por los ajustes en la restricción electrostática del filtrado de proteína, polianiónicas, lo que reduce su absorción y provoca un incremento en la eliminación mediante la orina proteínas de alto peso molecular.

Aunque no está demostrado, se cree que la toxicidad del cadmio es debida a su afinidad por los radicales -SH, -OH, carboxilo, fosfatil, cisteinil e histidil, y a su capacidad de competencia con algunos otros elementos como Zn, Cu, Fe y Ca. Existe acción conjunta de este elemento del Cd con los grupos -SH de proteínas intracelulares, que posiblemente inhibe a las enzimas que llevan estos grupos, así como el desplazamiento del Zn de los enlaces -S-, por consiguiente, se tendrá una alteración enzimática y una deficiencia de Zn(51).

Ahora sabemos que las metalotioneínas existen en dos tipos distintos, y su comportamiento en términos de acumulación de xenobióticos y su eliminación

a través de orina es variable. unida a la metalotioneína 1 es transportada de forma rápida al riñón. En este órgano el Cd se acumula de forma estable a la metalotioneína 2, la vida media de este elemento puede ser hasta de 68 años. En el hígado, mayormente el cadmio es acumulado unido a la metalotioneína 2, pudiendo permanecer hasta 19 años. En el tejido sanguíneo puede permanecer hasta por dos meses y medio. Pese a no tener información sobre su permanencia en otros tejidos del organismo se estima que casi el cincuenta por ciento de del cadmio se encuentra en el hígado, riñones y tejido sanguíneo, por este motivo se conoce a estos como órganos de depósito(54).

2.2.5 Plomo (Pb)

El plomo se caracteriza por su densidad significativamente alta de 11.3 gramos por centímetro cúbico, en contraste con otros metales como el hierro, el cobre y el aluminio. Esta particularidad se debe a su alto número atómico y su masa atómica relativa, que es de 207. Además, los átomos o iones de plomo tienden a adoptar una estructura compacta, cerrada y densa(55).

El plomo, un elemento presente de forma natural en el entorno, pero su prevalencia aumentó debido a su uso previo en tuberías de agua, pinturas y gasolina. Se sabe que la principal forma de exposición al plomo en humanos es mediante la ingesta de alimentos, y este metal se acumula en el cuerpo, generando efectos adversos en el desarrollo del cerebro, especialmente en menores de edad. No se ha definido un nivel de exposición seguro al plomo, ya que no hay límites establecidos que aseguren la ausencia de impactos en la salud(44).

Plomo en el medio ambiente: Este elemento se encuentra naturalmente en diversos entornos ambientales, incluyendo el aire, plantas y animales comestibles, agua potable, cuerpos de agua como ríos, lagos y océanos en forma de partículas suspendidas, así como en suelos y sedimentos(43).

La principal vía de exposición al plomo, un metal con reconocida toxicidad, es mediante la ingestión de ciertos alimentos que han acumulado este metal, con fuentes adicionales de exposición y sus efectos negativos relacionados principalmente con el entorno, lo que podría ser objeto de regulación. Estas

fuentes abarcan la existencia de pintura con plomo en edificaciones de época, la presencia de polvo que contiene plomo en el entorno, la ingestión de agua contaminada por plomo y la contaminación del aire derivada de la quema de compuestos industriales que contienen plomo(45).

Bioacumulación del plomo: La exposición principal al plomo en las personas suele ocurrir mediante la ingesta de alimentos, pero también en menores de edad, mediante el juego en ambientes con polvo y tierra, también podrían representar fuente importante de contaminación. El organismo tiende a retener el plomo, principalmente depositándolo en los huesos. Mientras que el plomo inorgánico en la sangre es transitorio, durando alrededor de un mes, este puede permanecer almacenado en los huesos durante un período que oscila entre 10 y 30 años(44). El plomo llega al cuerpo a través de la alimentación, inhalación y contacto directo con la piel, y se distribuye ampliamente por todo el organismo mediante el sistema circulatorio, llegando a todos los órganos y tejidos(50).

Los adultos retienen menos del 5% del plomo que consumen, mientras que los niños absorben más de este metal, cantidad que difiere según su edad y el estado de desarrollo de su tracto gastrointestinal. Los adultos absorben entre el 5% y el 15% del plomo que ingieren. Una alimentación con poco hierro y calcio puede incrementar la absorción de plomo en nuestro cuerpo(56).

Toxico cinética: El plomo puede ingresar al organismo de diversas formas: a través de la inhalación y la absorción a través del sistema respiratorio, o mediante la ingestión y absorción a lo largo del tracto gastrointestinal. La absorción de plomo inorgánico a través de la piel es mínima, aunque el plomo orgánico tiene más probabilidades de ser absorbido por esta vía. La cantidad de plomo que se absorbe después de la ingestión depende de varios factores, como la forma en que está presente, el tamaño de las partículas, el tiempo de tránsito en el sistema digestivo, el estado nutricional y la edad de la persona. Por ejemplo, la cantidad de plomo absorbido es mayor cuando las partículas son diminutas, y en el caso de los niños, absorben entre el 30% y el 50% del plomo ingerido, en contraste con los adultos, quienes absorben aproximadamente el 10%(57).

Después de ser absorbido, el plomo se reparte por distintas partes del cuerpo. Inicialmente, se transporta por vía sanguínea unido a los eritrocitos, donde aproximadamente el 95% del plomo se une a estos glóbulos. Posteriormente, se dispersa hacia diferentes tejidos entre ellos el hígado, los riñones, la médula ósea y órganos del sistema nervioso central, que son los órganos más susceptibles a posibles problemas de toxicidad por plomo. Después de transcurrir un período de 1 a 2 meses, este metal se acumula en el tejido óseo, donde permanece inactivo y no genera toxicidad. No obstante, puede liberarse de los huesos en circunstancias como la inmovilidad, el embarazo, condiciones de hipertiroidismo, el uso de ciertos medicamentos y el envejecimiento avanzado(58).

El plomo tiene el potencial de cruzar la barrera hematoencefálica como también la placenta. Mayormente, se elimina a través de la orina, lo cual representa aproximadamente el 90% de la excreción total, en mínimas cantidades por la bilis, la piel, el cabello, las uñas, el sudor y la leche. Es relevante destacar que alrededor del 90% del plomo es almacenado en los huesos, y cuando se reduce en la sangre sin el uso de agentes quelantes, indica una redistribución hacia los tejidos blandos y los huesos(59).

Toxico dinámica: Inicialmente, parece perturbar a nivel del metabolismo de calcio, en concentraciones mínimas, generando cambios en el calcio de diversas formas(57).

- a) Actúa como un segundo mensajero intracelular al reemplazar al calcio, alterando así la diseminación de calcio en compartimentos celulares.
- b) Estimula la proteína quinasa C, una enzima vinculada al calcio que desencadena múltiples procesos celulares.
- c) Tiene una mayor afinidad por la calmodulina en comparación con el calcio; esta proteína actúa como un regulador esencial en los procesos celulares.
- d) Su acción inhibe la bomba de Na-K-ATPasa, lo que genera un incremento en las concentraciones de calcio intracelular.

Por último, este cambio en la concentración de calcio podría tener repercusiones en la transmisión de señales nerviosas y la regulación del tono de los vasos sanguíneos, lo que posiblemente contribuye a la hipertensión y a la toxicidad neuronal (59).

En el ámbito renal, la presencia de plomo afecta la transformación de la vitamina D a su forma biológicamente activa. también pueden identificarse agregados intranucleares dentro de los túbulos renales, lo que ocasiona una disfunción tubular. En etapas más avanzadas, esta situación puede desencadenar atrofia y fibrosis tubular sin perjudicar a los glomérulos, lo que se manifiesta a través de una filtración selectiva de proteínas. En niños, especialmente aquellos con elevadas concentraciones de este elemento a nivel sanguíneo, se puede observar un síndrome similar al de Fanconi, que se caracteriza por la excreción anormal de aminoácidos, glucosa y fosfato a nivel renal(59).

El plomo puede provocar alteraciones negativas en diversas funciones cerebrales, principalmente al interferir con el procesamiento y la actividad del calcio, como se mencionó anteriormente. El plomo se acumula en la región que rodea los nervios periféricos, lo que resulta en inflamación, un incremento de presión en este espacio y, en última instancia, daño en las fibras nerviosas(58).

2.3. Definición de términos

Toxicología: La toxicología es un área de estudio encargado de examinar y explicar las consecuencias adversas que las sustancias químicas nocivas tienen en los organismos animales, con la meta de prevenir, identificar y abordar estas consecuencias perjudiciales(60).

Toxicidad: El riesgo vinculado a una sustancia está determinado por su habilidad para generar efectos nocivos, y esto depende de aspectos como su propiedad fisicoquímica, el tiempo de exposición, la cantidad presente y cómo interactúa con el organismo(60).

Metales pesados: Se refieren a elementos metálicos que poseen una densidad considerablemente alta. en comparación con otros elementos. Estos metales son conocidos por ser tóxicos en concentraciones elevadas y pueden causar daños ambientales y de salud debido a su bioacumulación (1).

Mercurio: Se trata de un elemento que se encuentra naturalmente en la Tierra, por ejemplo, en depósitos de carbón, está representado por el símbolo "Hg" con un número atómico es 80(61).

Cadmio: El cadmio es una sustancia tóxica que contribuye a la contaminación tanto ambiental como industrial. En el cuerpo humano, ocasiona cambios a nivel de enzimas, pulmones, riñones y sistema digestivo(62).

Plomo: Es representado por el símbolo "Pb" y es de color gris, suave y flexible presente de forma natural en la superficie terrestre(63).

Espectroscopia de absorción atómica: En esta metodología, los átomos en forma gaseosa absorben radiación electromagnética en longitudes de onda particulares, lo que produce una señal cuantificable proporcional a la cantidad de cada metal presente(64).

CAPITULO III: METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

3.1. Tipo de estudio

La investigación adopta un enfoque descriptivo en lugar de uno experimental-transaccional, ya que se concentra en describir detallada de los niveles de estos metales, sin realizar análisis experimental.

3.2. Diseño del estudio

Este estudio se clasifica como no experimental debido a que no implica la manipulación de variables. Además, los datos serán recolectados en un único momento.

3.3. Población y muestra

En el camal El Dorado se vienen beneficiando un total de 35 vacunos por día lo que representa nuestra población universal y nuestra muestra representativa se estimó mediante la fórmula de poblaciones finitas con un 95% de confianza.

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

- n es el tamaño de la muestra necesario.

- Z es el valor crítico de la distribución normal estándar para el nivel de confianza deseado. Para un nivel de confianza del 95%, $Z \approx 1.96$ La p $\propto 1.96$ $Z \approx 1.96$.
- p y q son las proporciones estimadas de éxito y fracaso en la población. Si no tenemos información previa, usamos $p=q=0.5$ para maximizar el tamaño muestral.
- N es el tamaño de la población total.
- E es la precisión deseada, expresada como una fracción.

Para este caso:

$$n = (1.96)^2 * 0.5 * 0.5 * 35 / ((1.96)^2 * 0.5 * 0.5 + (35-1) * (0.05)^2)$$

$$n = \frac{(1.96)^2 * 0,5 * 0.5 * 35}{((1.96)^2 * 0,5 * 0,5) + (35-1) * (0.05)^2} = 32$$

la muestra será de 32 vacunos adultos.

3.4. Métodos y técnicas

El presente trabajo se realizó en el camal “EL Dorado” de Puerto Maldonado, ubicado en (Latitud 12°34'08.9", Longitud 69°10'07.3"), en la región de Madre de Dios, Perú. Este camal se encuentra a 18 kilómetros del centro de la ciudad y sirve como el principal sitio de beneficios de bovinos en la zona.

Se realizó una visita al camal “El Dorado” de Puerto Maldonado para obtener 32 muestras de hígado de bovinos sacrificados. Cada muestra consistía en aproximadamente 30 gramos de tejido hepático.

Las muestras se envasaron en francos herméticas individualmente y etiquetadas con información detallada de cada muestra, incluyendo el tipo de metal que se analizara.

Las muestras se refrigeraron para su preservación y luego se envió al laboratorio de la Facultad de Ingeniería Química de la Universidad Nacional Mayor de San Marcos. Para asegurar su conservación durante el transporte, se incluyó un paquete de silicagel en la caja de Tecnopor que las contenía.

Para la determinación de metales pesados como mercurio (Hg), cadmio (Cd) y plomo (Pb) en hígado bovino, se utilizó el método estandarizado USAQ-ME-004AAs, implementado en los laboratorios de la Universidad Nacional Mayor de San Marcos (UNMSM). Este método emplea la técnica de espectrofotometría de absorción atómica (EAA), que permite una cuantificación precisa de estos elementos mediante la medición de la absorbancia a longitudes de onda específicas. La muestra es previamente sometida a un proceso de digestión ácida para liberar los metales presentes, seguido de la lectura instrumental(65).

El análisis se realizó utilizando un espectrofotómetro de absorción atómica Perkin Elmer Analyst 200/400(66), equipo que permite realizar calibraciones con estándares certificados y aplicar diferentes algoritmos de corrección de fondo. La calibración del equipo se efectuó utilizando soluciones patrón de concentración conocida, lo que permitió construir curvas de calibración para cada metal. Este procedimiento garantiza la confiabilidad de los resultados obtenidos, permitiendo evaluar con exactitud los niveles de Hg, Cd y Pb presentes en los tejidos analizados.

3.5. Tratamiento de los datos

Los datos se trataron mediante análisis estadístico descriptivo con la utilización de distribuciones de frecuencia. La información se organizó en una hoja de cálculo electrónica en Microsoft Excel y posteriormente se sometió a la prueba de t o de ANOVA ($P < 0.05$). Se elaboraron tablas de contingencia y se utilizó el programa estadístico R para este proceso.

CAPITULO IV: RESULTADOS DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

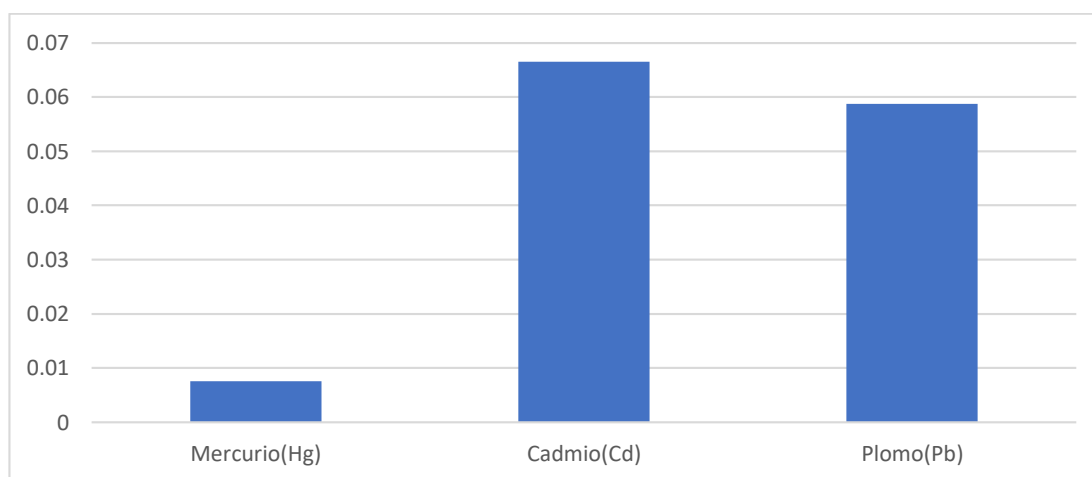
En la Tabla 2, se presentan los estadísticos descriptivos de la acumulación de mercurio, cadmio y plomo en el hígado de bovino. La media de mercurio es de 0.007562 mg/kg, la de cadmio es de 0.06656 mg/kg, y la de plomo es de 0.05875 mg/kg. Estos valores promedio se encuentran dentro de los límites establecidos por la Codex Alimentarius y UE.

Tabla 2. Estadísticos descriptivos de acumulación de mercurio, cadmio y plomo en el hígado de bovino.

Metales	Media	Mediana	Ist Qu.	3rd Qu	Mínimo	Máximo
Mercurio	0'007562	0'008000	0.007000	0.009000	0.004000	0.010000
Cadmio	0.06656	0.07000	0.05750	0.08000	0.04000	0.09000
Plomo	0.05875	0.06000	0.05000	0.08000	0.01000	0.09000

Fuente: Elaboración propia, 2025.

Figura 1. Acumulación de mercurio, cadmio y plomo en el hígado de bovino.



Fuente: Elaboración propia, 2025.

Concentración de Mercurio(Hg)

En la Tabla 6, los resultados muestran que las concentraciones de mercurio (Hg) total en las muestras de hígado de bovino oscilan entre 0.004000 mg/kg y 0.010000 mg/kg. Estos valores están por debajo del límite permitido por Codex Alimentarius y (UE), que es de 0.05 mg/kg, lo que indica que no representan un riesgo para la salud pública. En base a estos resultados, se puede inferir que el hígado de bovino es apto para el consumo humano. Además, en la Tabla 2 se observa un valor específico de 0.01 mg/kg, que destaca respecto a las otras muestras de hígado. Esta muestra proviene de un ejemplar macho de pelaje negro, originario de la localidad de Bello Horizonte, ubicada a 35 km de Puerto Maldonado.

Tabla 3. Comparación de concentración de mercurio si indica una relación significativa con cadmio y plomo.

ANOVA 2: mercurio ~ cadmio + plomo

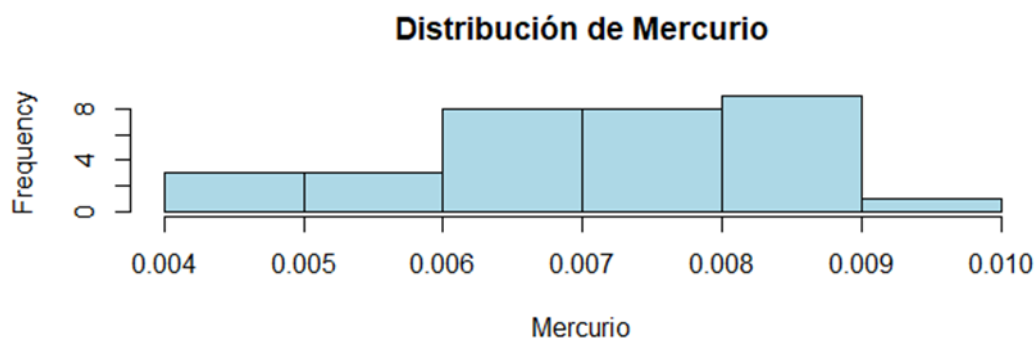
R	Df	Sum Sq	Media Sq	F valor	Pr (<F)
Cadmio	1	1.104 e-05	1.104 e-05	5.843	0.0222
Plomo	1	2.060 e-06	2.060 e-06	1.090	0.3050
Residuales	29	5.478 e-05	1.889 e-06		

Fuente: Elaboración propia, 2025.

Interpretación:

- cadmio tiene un valor $p = 0.0222$, lo que indica una relación significativa con mercurio (significativo al nivel del 5%).
- plomo tiene un valor $p = 0.3050$, lo que indica que no es significativo.
- Conclusión: El cadmio influye significativamente en el mercurio, pero el plomo no.

Figura 2. Distribución de mercurio.



Fuente: Elaboración propia, 2025.

Concentración de Cadmio (Cd)

La Tabla 7 presenta los resultados del análisis de cadmio en hígado de 32 bovinos en el camal El Dorado de Puerto Maldonado, que registraron concentraciones entre 0.04 mg/kg y 0.09 mg/kg, con un promedio cercano a 0.06 mg/kg. Estos valores se encuentran por debajo del límite de 0.5 mg/kg establecido por Codex Alimentarius y Unión Europea. Los hallazgos proporcionan una referencia útil y un punto de comparación con estudios previos realizados tanto en la misma región como en contextos similares.

Tabla 4. Comparación de concentración de cadmio si indica una relación significativa con mercurio y plomo.

ANOVA 2: cadmio ~ mercurio + plomo

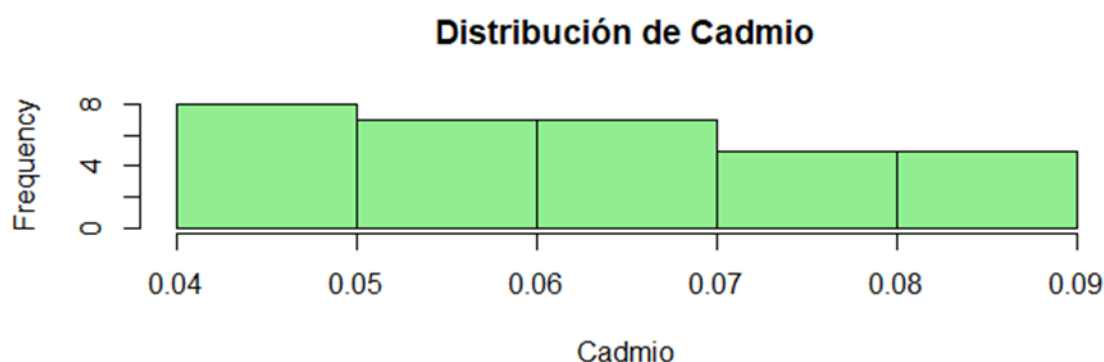
R	Df	Sum Sq	Media Sq	F valor	Pr (<F)
Mercurio	1	0.001223	0.0012231	5.667	0.0241
Plomo	1	0.000040	0.0000400	1.185	0.6702
Residuales	29	0.006259	0.0002158		

Fuente: Elaboración propia, 2025.

Interpretación:

- mercurio tiene un valor $p = 0.0241$, lo que indica una relación significativa con cadmio.
- plomo tiene un valor $p = 0.6702$, lo que indica que no es significativo.
- Conclusión: El mercurio influye significativamente en el cadmio, pero el plomo no.

Figura 3. Distribución de cadmio.



Fuente: Elaboración propia, 2025.

Concentración de Plomo (Pb)

Los resultados de la variable plomo, presentados en la Tabla 8, indican un valor mínimo de 0.01 mg/kg y un valor máximo de 0.09 mg/kg, niveles que están por debajo de los límites establecidos por la normativa de Codex Alimentarius y Unión Europea. En consecuencia, se considera que los hígados de bovino que se comercializan en los mercados de Puerto Maldonado son seguros para el consumo.

Tabla 5. Comparación de concentración de plomo si indica una relación significativa con mercurio y cadmio.

ANOVA 3: plomo ~ mercurio + cadmio

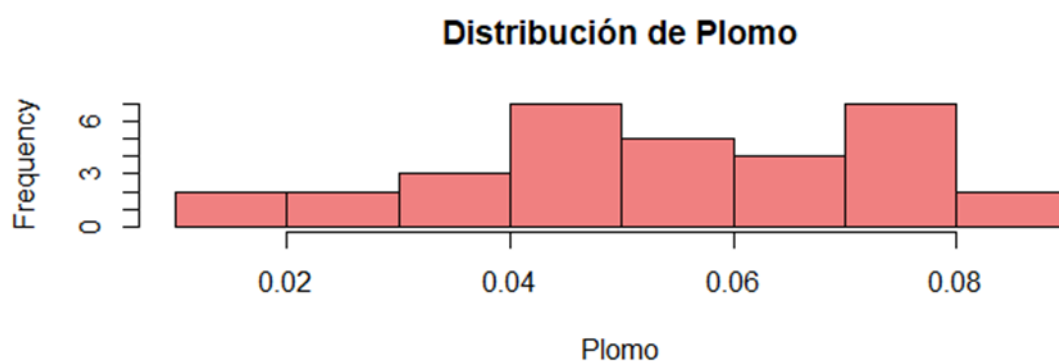
R	Df	Sum Sq	Media Sq	F valor	Pr (<F)
mercurio	1	0.000729	0.0007294	1.771	0.194
cadmio	1	0.000076	0.0000762	0.185	0.670
Residuales	29	0.011944	0.0004119		

Fuente: Elaboración propia, 2025.

Interpretación:

- Tanto mercurio ($p = 0.194$) como cadmio ($p = 0.670$) no son significativos para explicar plomo.
- Conclusión: Ni el mercurio ni el cadmio influyen significativamente en el plomo.

Figura 4. Distribución de plomo.



Fuente: Elaboración propia, 2025.

DISCUSIONES

El análisis de 32 muestras de hígado de bovino realizado en este estudio reveló niveles de mercurio que varían entre 0.004 mg/kg y 0.010 mg/kg, con un promedio de 0.007294 mg/kg. Estos valores están significativamente por debajo del límite máximo permitido por la normativa de Codex Alimentarius y Unión Europea, que es de 0.05 mg/kg. En contraste, un estudio realizado en Colombia, específicamente en las regiones de Sinú y San Jorge, reportó una concentración promedio de mercurio de 0.08 mg/kg, utilizando el método de espectrofotometría de absorción atómica (12). De manera similar, en una investigación desarrollada en el matadero de Beni-Suef, Egipto, donde se analizaron al azar 300 muestras de ganado, se encontró un nivel promedio de mercurio en el hígado de 0.00581 mg/kg (14). Estas diferencias en los resultados pueden atribuirse a factores como las características geográficas y sistema de alimentación específicas de cada región en la que se llevaron a cabo los estudios.

Las concentraciones de cadmio en el hígado de bovinos han sido objeto de estudio por parte de otros investigadores. Por ejemplo, se reportaron promedios de 0.3965 mg/kg (18) y 0.01416 mg/kg (14) de cadmio en diferentes investigaciones. En este estudio, se registró una concentración promedio de 0.06656 mg/kg. Estas diferencias pueden deberse a factores como las condiciones geográficas y formas de alimentación específicas de cada región donde se llevaron a cabo los análisis. El cadmio es un metal pesado con potencial tóxico tanto para la salud humana como animal. Aunque los niveles detectados en este estudio son bajos, no deben subestimarse sus efectos acumulativos a lo largo del tiempo, particularmente en poblaciones que consumen hígado de manera frecuente. Por ello, resulta crucial mantener programas de monitoreo y controles de calidad para detectar cualquier incremento en los niveles de cadmio y prevenir riesgos a futuro.

Los resultados de este estudio sobre los niveles de plomo en hígado de bovino revelaron una variabilidad en las concentraciones, que fluctuaron entre 0.01 y 0.09 mg/kg, con una media aproximada de 0.058 mg/kg. Por otro lado, en

investigaciones realizadas en otras regiones, como en los valles de los ríos Sinú y San Jorge, en el departamento de Córdoba, Colombia, se registraron concentraciones promedio de plomo de 0.059 mg/kg (12). De manera similar, en el Mercado Ciudad de Dios, en San Juan de Miraflores, se reportó un promedio de 0.4452 mg/kg. Estos últimos datos superan los límites establecidos para plomo según las normativas del Mercosur y la Unión Europea. Las discrepancias observadas entre los diferentes estudios podrían estar relacionadas con factores como las particularidades geográficas y las prácticas de alimentación características de cada región donde se desarrollaron las investigaciones.

En las investigaciones realizadas en antecedentes nacionales, como en comunidades de alta montaña en el distrito de Ananea, Puno, los resultados revelaron mercurio en una concentración de 0.0021 mg/kg, cadmio en 0.0012 mg/kg y plomo en 0.0088 mg/kg (15). En el Mercado Ciudad de Dios, San Juan de Miraflores, los niveles de plomo en las muestras de hígado tenían un promedio de 0.4452 mg/kg, y en cuanto al cadmio, un promedio de 0.3965 mg/kg. Estos datos demuestran que se exceden los límites permitidos para plomo y cadmio según las normativas del Mercosur y la Unión Europea (17). Además, los análisis de 32 muestras de hígado de bovino realizado en este estudio revelan un promedio. Mercurio es de 0.007562 mg/kg, la de cadmio es de 0.06656 mg/Kg, y de plomo es de 0.05875 mg/Kg. Estos resultados podrían diferir debido a factores como las particularidades geográficas y las prácticas de alimentación características de cada región donde se desarrollaron las investigaciones.

La detección de metales pesados como mercurio (Hg), cadmio (Cd) y plomo (Pb) en alimentos de origen animal representa un tema prioritario en salud pública debido a los efectos tóxicos que estos elementos pueden generar en el organismo humano. Estos metales no tienen ninguna función biológica en el cuerpo humano y su exposición, incluso a bajas concentraciones, puede derivar en enfermedades crónicas y daños a diversos sistemas, principalmente el sistema nervioso, renal y cardiovascular. El mercurio, por ejemplo, es un neurotóxico potente que puede afectar el desarrollo

neurológico en fetos y niños, además de provocar trastornos cognitivos en adultos. El cadmio se ha asociado con enfermedades renales, alteraciones óseas y es considerado un agente carcinógeno para los humanos. Por su parte, el plomo ha sido históricamente vinculado con el deterioro del desarrollo intelectual infantil, hipertensión arterial y trastornos hematológicos(67).

El riesgo se incrementa en contextos donde existe una exposición crónica y continua, como sucede en comunidades que consumen regularmente vísceras de animales criados en zonas cercanas a actividades mineras, industriales o con suelos contaminados. Por esta razón, el monitoreo de estos metales pesados en alimentos de origen animal es crucial para prevenir enfermedades relacionadas con la exposición ambiental(51).

A nivel global, organismos como la Organización Mundial de la Salud (OMS), el Codex Alimentarius y la Autoridad Europea de Seguridad Alimentaria (EFSA) han establecido límites máximos permisibles en productos alimenticios. En el caso de Perú, instituciones como el Ministerio de Salud (MINSA) e INACAL han adoptado estos estándares para proteger a la población y asegurar la inocuidad de los alimentos.

Los resultados obtenidos en este estudio aportan evidencia relevante para la evaluación del riesgo alimentario en zonas específicas de la Amazonía peruana. Aunque los niveles detectados en hígado bovino no superan los límites permitidos, la presencia de estos metales subraya la necesidad de establecer sistemas de vigilancia continua, especialmente en regiones vulnerables a la contaminación ambiental.

CONCLUSIONES

Las concentraciones de mercurio, cadmio y plomo en las 32 muestras de hígado de bovino recolectadas del camal El Dorado de Puerto Maldonado fueron de 0.007562 mg/kg, 0.06656 mg/kg y 0.05875 mg/kg, respectivamente. Estos niveles se encuentran por debajo de los límites permitidos por Codex Alimentarius y Unión Europea, lo que indica que el consumo de este hígado no supone un riesgo inmediato para la salud pública en cuanto a la exposición a estos metales pesados.

Finalmente, se puede concluir que el consumo de hígado de los bovinos que pastorean en las zonas de Mavila, Sudadero, Bello Horizonte y San Bernardo, en Puerto Maldonado, Perú, no representa un riesgo grave para la salud humana, debido a su bajo nivel de contaminación por metales pesados.

SUGERENCIAS

Aunque los resultados son favorables, se recomienda continuar monitoreando los niveles de mercurio en el hígado de bovino, especialmente ante cambios en las prácticas de producción o el entorno. Además, investigar las posibles fuentes de contaminación ayudará a prevenir riesgos futuros.

Es recomendable mantener un monitoreo regular de los niveles de cadmio en el hígado de bovinos, ya que, aunque los valores actuales están dentro del límite permitido, pueden surgir variaciones por cambios en la alimentación o el entorno. Asimismo, se sugiere investigar las fuentes de cadmio en la zona y capacitar a los ganaderos sobre buenas prácticas de alimentación y manejo del ganado para minimizar la exposición a metales pesados.

Es importante establecer un programa continuo de monitoreo y análisis de metales pesados en el hígado de bovinos para detectar tendencias y obtener datos más precisos a lo largo del tiempo. Asimismo, resulta fundamental identificar las posibles fuentes de contaminación, evaluando la cadena alimentaria y las condiciones ambientales en las que se desarrolla la ganadería, a fin de mitigar la presencia de plomo en el ganado.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Liu Y, Liu J, Klaassen CD. Metallothionein-Null and Wild-Type Mice Show Similar Cadmium Absorption and Tissue Distribution Following Oral Cadmium Administration. *Toxicol Appl Pharmacol*. 2016 Sep 15;175(3):253–9.
2. Das K, De Groof A, Jauniaux T, Bouqueneau JM. Zn, Cu, Cd and Hg binding to metallothioneins in harbour porpoises *Phocoena phocoena* from the southern North Sea. 2015 [cited 2024 Apr 2]; Available from: <http://www.biomedcentral.com/1472-6785/6/2>
3. Figueroa J, Stucchi M, De E, Maldonado P. Biodiversidad de los Alrededores Biodiversidad de los Alrededores Línea Base Ambiental del EIA del Lote 111 Madre de Dios [Internet]. 2010. Available from: <http://www.ipydingenieros.com>
4. Javier Tarazona BM, Rodrigo Romero MA. Determinación de mercurio y cadmio en producto cosmético, polvo compacto de cinco marcas diferentes comercializadas en el Cercado de Lima. Universidad Nacional Mayor de San Marcos [Internet]. 2019 [cited 2024 Apr 18]; Available from: <https://cybertesis.unmsm.edu.pe/handle/20.500.12672/11228>
5. EFSA (2004 c). Opinion of the Scientific Panel on Contaminants in the Food Chain on a request from the Commission related to Deoxynivalenol (DON) as undesirable substance in animal feed. 2004 [cited 2024 Apr 9]; Available from: <http://www.efsa.europa.eu>
6. EFSA 2009 a. European food safety authority, 2009 a. Scientific Opinion of the Panel on Contaminants in the Food Chain, Cadmium in food. *EFSA Journal* 980, 1-139. The EFSA Journal. 2009; 980:1–139.
7. Goyer RACTW. Toxic effects of metals [Internet]. 2001 [cited 2024 Dec 16]. Available from: https://www.biologicaldiversity.org/campaigns/get_the_lead_out/pdfs/health/Goyer_1996.pdf

8. Ferreira Sánchez M. Implicaciones clínicas y funcionales de la capacidad de creación de imágenes motoras en pacientes con enfermedad de Parkinson. 2021 [cited 2025 May 2]; Available from: <https://docta.ucm.es/rest/api/core/bitstreams/572db3a8-e329-4be2-bf46-0b8856fefede/content>

9. Codex Alimentarius. Norma general para los contaminantes y las toxinas presentes en los alimentos. 2023 [cited 2025 Apr 24]; Available from: https://www.fao.org/fao-who-codexalimentarius/sh-proxy/en/?lnk=1&url=https%253A%252F%252Fworkspace.fao.org%252Fsites%252Fcodex%252FStandards%252FCXS%2B193-1995%252FCXS_193s.pdf

10. INACAL. Normalización internacional. 2022 [cited 2024 Dec 16]; Available from: https://www.mincetur.gob.pe/reglamentostecnicos/informacion_general/documentos/2_Normalizacion_Internacional.pdf

11. Aura Madero G.; Marrugo J. Detection_of_heavy_metals_in_cattle_in_the_valleys. revista MVZ cordova [Internet]. 2011 [cited 2025 May 2];16. Available from: http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S0122-02682011000100015&lng=es&nrm=iso&tIng=en

12. Palavicino I; MP; BE, GX. Determinación de metales pesados (Cu, Mo, Zn, Cd, Pb) en hígados de bovinos procedentes de la Región Metropolitana y VI, VII, VIII, IX, X y XI Regiones de Chile. Avances en Ciencias Veterinarias [Internet]. 1991 Jan 1 [cited 2024 Apr 3];6(1). Available from: <https://avancesveterinaria.uchile.cl/index.php/ACV/article/view/4627>

13. Khalafalla FA, Ali FH, Schwagele F, Abd-El-Wahab MA. Heavy metal residues in beef carcasses in Beni-Suef abattoir, Egypt. Vet Ital [Internet]. 2011 [cited 2024 May 16];47(3):351–61. Available from: www.izs.it/vet_italiana

14. Rodríguez-Marín N, Hardisson A, Gutiérrez ÁJ, Luis-González G, González-Weller D, Rubio C, et al. Toxic (Al, Cd, and Pb) and trace metal (B, Ba, Cu, Fe, Mn, Sr, and Zn) levels in tissues of slaughtered steers: risk assessment for the consumers. *Environmental Science and Pollution Research* [Internet]. 2019 Oct 1 [cited 2024 May 17];26(28):28787–95. Available from: <https://link.springer.com/article/10.1007/s11356-019-06090-1>
15. Huanqui Pérez R. Determinación de metales pesados en pastos, fibra, carne y vísceras de alpacas en comunidades del distrito de Ananea - Puno. Universidad Nacional del Altiplano [Internet]. 2018 [cited 2024 Apr 3]; Available from: <https://repositorioslatinoamericanos.uchile.cl/handle/2250/3277973>
16. Proleon Valladares JN, Siccha Mendez CA. Riesgos por contaminación con metales pesados en alimentos en Perú: metaanálisis. Repositorio institucional-WIENER [Internet]. 2022 Jan 26 [cited 2024 Apr 3]; Available from: <https://repositorio.uwiener.edu.pe/handle/20.500.13053/6679>
17. Ñaccha CJL; ASWM. Determinación cuantitativa de plomo, cadmio y arsénico en hígado de ganado bovino expendido en el mercado ciudad de dios – san juan de Miraflores, durante el periodo mayo – agosto 2015. 2015;
18. Jamileth Lopez A, Gualdín S, Vasquez M, Asesor H. Estudio de causas de la presencia de metales pesados en la leche bovina [Internet]. 2020 [cited 2025 Apr 27]. Available from: https://alicia.concytec.gob.pe/vufind/Record/UUPN_b9a176523d6d999320bf399041ad3a66
19. CENAGRO. IV Censo Nacional Agropecuario 2012 [Internet]. 2012. Available from: www.inei.gob.pe
20. MINAGRI. Anuario Estadístico “Producción Pecuaria y Avícola 2017” “Producción Pecuaria y avícola 2017” [Internet]. 2017 Sep [cited 2025 Apr 27]. Available from:

https://siea.midagri.gob.pe/portal/phocadownload/datos_estadisticas/anuarios/pecuaria/pecuaria_2017.pdf

21. AGRARIA 2011-2017. Compendio Estadístico Perú 2018 [Internet]. 2018 [cited 2024 Apr 13]. Available from: <file:///C:/Users/Lenovo/Downloads/Cap%C3%ADtulo%2063.%20Metales%20propiedades%20qu%C3%ADmicas%20y%20toxicidad.pdf>
22. Portillo Martínez GE. Fisiología reproductiva y diferencias reproductivas entre el ganado europeo y cebú. 2015 [cited 2024 Jun 30]; Available from: http://www.avpa.ula.ve/docuPDFs/libros_online/manual-ganaderia/seccion6/articulo2-s6.pdf
23. Rajendra Damu Patil RS and RKA. Mycotoxicosis and its control in poultry. 2013 [cited 2024 Apr 7]; Available from: file:///C:/Users/Lenovo/Downloads/Mycotoxicosis_and_its_control_in_poultry.pdf
24. Jadhav SH, Sarkar SN, Patil RD, Tripathi HC. Effects of subchronic exposure via drinking water to a mixture of eight water-contaminating metals: A biochemical and histopathological study in male rats. Arch Environ Contam Toxicol [Internet]. 2007 Nov 19 [cited 2024 Apr 7];53(4):667–77. Available from: <https://link.springer.com/article/10.1007/s00244-007-0031-0>
25. Morales P. Libro Anatomía Comparada y Aplicada de Bovinos y Equinos [Internet]. 2021 [cited 2025 Apr 24]. Available from: https://www.buscalibre.pe/libro-anatomia-comparada-y-aplicada-de-bovinos-y-equinos/9789560108692/p/53782566?srsId=AfmBOoqY5tLNFn8Lz_gH-DS8fmyHHw1b5n4DEyDoZeXdGJIB3FRHjBUE
26. MINSA. Tablas peruanas de composición de alimentos ministerio de salud republica del Peru [Internet]. 2017 [cited 2025 Apr 24]. Available from: https://lamejorreceta.ins.gob.pe/sites/default/files/2020-12/tablas-peruanas-QR_0.pdf

27. Luis J, Ortega D. Propiedades nutricionales y funciones de los alimentos. Universidad Católica Los Ángeles de Chimbote [Internet]. 2020 Jul 19 [cited 2025 May 2]; Available from: <https://repositorio.uladech.edu.pe/handle/20.500.13032/17067>
28. Reyes ER. Introducción a la toxicología. 2016 [cited 2025 May 1]; Available from: <https://www.zaragoza.unam.mx/wp-content/Portal2015/publicaciones/libros/cbiologicas/libros/Toxicologia18.pdf>
29. Amador LRT, Martínez FDG, Hernández LJM, Vergara LAW, Suárez JNC. Niveles de metales pesados en muestras biológicas y su importancia en salud. Revista Nacional de Odontología [Internet]. 2015 Dec 30 [cited 2024 Apr 3];11(21). Available from: <https://revistas.ucc.edu.co/index.php/od/article/view/895>
30. Wu X, Cobbina SJ, Xu HO, Zhang Z, Yang L. A review of toxicity and mechanisms of individual and mixtures of heavy metals in the environment. 2016 [cited 2024 Apr 3]; Available from: <http://cas.org>
31. Gutiérrez B; LJ. Fundamentos de ciencia toxicológica - Bello Gutiérrez, José, López de Cerain Salsamendi, Adela - Google Libros [Internet]. 2021 [cited 2025 May 1]. Available from: https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=uHcZEAAAQBAJ&oi=fnd&pg=PR15&dq=related:4dTUdliYOlkJ:scholar.google.com/&ots=W0RWc8xacW&sig=Wxor1_z6f4AC6yeqLQzJ9UsElb8#v=onepage&q&f=false
32. Gall JE, Boyd RS, Rajakaruna N, Gall JE, Rajakaruna N, Boyd RS. Transfer of heavy metals through terrestrial food webs: a review [Internet]. Vol. 187, Monitoring and Assessment. 2015 [cited 2025 May 1]. Available from: https://digitalcommons.calpoly.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1497&context=bio_fac
33. Céspedes DG, Cazorla LAL, Gaibor JS, López YTB, Medina LMV, Perlaza LCC. El enfoque ecosistémico en salud humana como estrategia para el abordaje metodológico del estudio de las relaciones

- entre el ambiente agrícola, los metales pesados y la salud humana. Revista UTCiencia: i-ISSN: 1390-6909 e-ISSN: 2602-8263 [Internet]. 2022 Apr 29 [cited 2025 May 1];9(1):27–46. Available from: <https://investigacion.utc.edu.ec/index.php/utciencia/article/view/387>
34. Bosch AC, O'Neill B, Sigge GO, Kerwath SE, Hoffman LC. Heavy metals in marine fish meat and consumer health: a review. J Sci Food Agric [Internet]. 2016 Jan 15 [cited 2024 Apr 4];96(1):32–48. Available from: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1002/jsfa.7360>
 35. Pandey G y MS. Heavy metals causing toxicity in animals and fishes [Internet]. 2016 [cited 2025 Apr 27]. Available from: [file:///C:/Users/Lenovo/Downloads/GP-Heavymetalstoxicityinanimals-RJAVFS%20\(2\).pdf](file:///C:/Users/Lenovo/Downloads/GP-Heavymetalstoxicityinanimals-RJAVFS%20(2).pdf)
 36. EFSA (2012b). Scientific Opinion on the risk for public health related to the presence of mercury and methylmercury in food. EFSA Journal [Internet]. 2012 Dec 1 [cited 2024 Apr 9];10(12):2985. Available from: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.2903/j.efsa.2012.2985>
 37. Wagner JJ, Edwards-Callaway LN, Engle TE. Vitamins and Trace Minerals in Ruminants: Confinement Feedlot. Veterinary Clinics: Food Animal Practice [Internet]. 2023 Nov 1 [cited 2025 Apr 24];39(3):505–16. Available from: <https://www.vetfood.theclinics.com/action/showFullText?pii=S0749072023000488>
 38. EFSA (2008). European food safety authority, 2008. Mercury as undesirable substance in animal feed Scientific opinion of the Panel on Contaminants in the Food Chain. EFSA Journal 654, 176. The EFSA Journal. 2008; 654:1–76.
 39. Gutiérrez de Salazar M. Implicaciones de la intoxicación. por mercurio. 2004 [cited 2024 Dec 16];26. Available from: <https://revistamedicina.net/index.php/Medicina/article/view/65-2>

40. Mencias E. Mayero F. Manual. Manual de toxicología básica. 2000 [cited 2024 Dec 16]; Available from: <https://www.editdiazdesantos.com/libros/mencias-rodriguez-emilio-manual-de-toxicologia-basica-L03004360601.html?articulo=03004360601>
41. Ramírez A V. Intoxicación ocupacional por mercurio. Anales de la Facultad de Medicina [Internet]. 2008 [cited 2024 Apr 18];69(1):46–51. Available from: http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1025-55832008000100010&lng=es&nrm=iso&tlng=es
42. Rana MN, Tangpong J, Rahman MM. Toxicodynamics of Lead, Cadmium, Mercury and Arsenic- induced kidney toxicity and treatment strategy: A mini review. Toxicol Rep. 2018 Jan 1;5: 704–13.
43. ATSDR. Agencia para Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades | ATSDR [Internet]. 2024 [cited 2025 Apr 24]. Available from: <https://www.atsdr.cdc.gov/es/index.html>
44. EFSA. Lead dietary exposure in the European population. EFSA Journal [Internet]. 2012 Jul 1 [cited 2024 Apr 4];10(7). Available from: <https://www.efsa.europa.eu/en/efsajournal/pub/2831>
45. Goyer R; CT. Toxic effects of metals. 2019 [cited 2025 Apr 27]; Available from: https://www.biologicaldiversity.org/campaigns/get_the_lead_out/pdfs/health/Goyer_1996.pdf
46. Scruton K. Exposure Investigations Conducted by the Agency for Toxic Substances and Disease Registry. J Environ Health [Internet]. 2023 Apr [cited 2025 Apr 24];85(8):32. Available from: <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC11310925/>
47. Gunnar Nordberg. Metales propiedades químicas y toxicidad. [Internet]. 2001 [cited 2024 Apr 7]. Available from:

file:///C:/Users/Lenovo/Downloads/Cap%C3%ADtulo%2063.%20Metales%20propiedades%20qu%C3%ADmicas%20y%20toxicidad.pdf

48. Inaba T, Kobayashi E, Suwazono Y, Uetani M, Oishi M, Nakagawa H, et al. Estimation of cumulative cadmium intake causing Itai-itai disease. *Toxicol Lett* [Internet]. 2005 [cited 2024 Apr 7];159: 192–201. Available from:
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0378427405001>
49. Gary Laurel Berman CD, Leann Perlman K, Bing LR. Agency for Toxic Substances and Disease Registry Brownfields/Land-Reuse Site Tool. 2024 [cited 2025 May 2]; Available from: https://www.atsdr.cdc.gov/land-reuse-health-program/media/pdfs/2024/09/JEH12-12_Column_ATSDR_Brownfields_LandReuse_Site_Tool_1.pdf
50. Nava-Ruíz CMAM. Archivos de Neurociencias, 2011, Vol 16, Issue 3, p140. 2011 [cited 2024 Apr 4]. Efectos neurotóxicos de metales pesados (cadmio, plomo, arsénico y talio). | Archivos de Neurociencias | EBSCOhost. Available from:
<https://openurl.ebsco.com/EPDB%3Agcd%3A14%3A3867758/detailv2?sid=ebsco%3Aplink%3Ascholar&id=ebsco%3Agcd%3A88923981&crl>
51. Ramirez A. Toxicología del cadmio. Conceptos actuales para evaluar exposición ambiental u ocupacional con indicadores biológicos. 2002; Available from: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=37963107>
52. Rosano TG. Ellenhorn's Medical Toxicology: Diagnosis and Treatment of Human Poisoning, 2nd ed. Matthew J. Ellenhorn, Seth Schonwald, Gary Ordog, and Jonathan Wasserberger. Baltimore, MD: Williams and Wilkins, 1997, 2047 pp., \$199, ISBN 0–683-30031–8. *Clin Chem*. 2019 Feb 1;44(2):366–366.
53. Dan-Adam Maza D, Friday Olukotun S, Olubunmi Akinlade G. A Human Physiologically-based Bio-kinetic Model for Cadmium. *American Journal of Mathematical and Computer Modelling* [Internet]. 2021 [cited 2025 May 2];6(1):9. Available from:
[file:///C:/Users/Lenovo/Downloads/ajmcm.20210601.12%20\(3\).pdf](file:///C:/Users/Lenovo/Downloads/ajmcm.20210601.12%20(3).pdf)

54. Nordberg M, Nordberg GF. Metallothionein and Cadmium Toxicology—Historical Review and Commentary [Internet]. Vol. 12, Biomolecules. MDPI; 2022 [cited 2025 Apr 27]. Available from: [file:///C:/Users/Lenovo/Downloads/biomolecules-12-00360-v2%20\(3\).pdf](file:///C:/Users/Lenovo/Downloads/biomolecules-12-00360-v2%20(3).pdf)
55. Moore JH, Spencer ND. Encyclopedia of Chemical Physics and Physical Chemistry Volume II: Methods. Encyclopedia of Chemical Physics and Physical Chemistry: Volume 2: Methods [Internet]. 2023 Jan 1 [cited 2025 Apr 24];1–1161. Available from: <https://www.taylorfrancis.com/books/mono/10.1201/9781003457824/encyclopedia-chemical-physics-physical-chemistry-john-moore-nicholas-spencer>
56. Grant LD. Lead and compounds. Environmental Toxicants: Human Exposures and Their Health Effects [Internet]. 2020 Jan 1 [cited 2025 Apr 24];627–75. Available from: [/doi/pdf/10.1002/9781119438922.ch17](https://doi.org/10.1002/9781119438922.ch17)
57. Dunia M, Heredia R. Intoxicación ocupacional por metales pesados. MEDISAN [Internet]. 2017 [cited 2025 May 2];21(12):3372–85. Available from: http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1029-30192017001200012&lng=es&nrm=iso&tlng=es
58. Krantz A, Dorevitch S. Metal exposure and common chronic diseases: a guide for the clinician. Disease-a-Month [Internet]. 2004 May 1 [cited 2024 Apr 30];50(5):220–62. Available from: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0011502904000>
59. Valdivia Infantas MM. Intoxicación por plomo Lead poisoning. Valdivia Infantas 22 | Rev Soc Per Med Inter [Internet]. 2005 [cited 2024 Apr 30];18(1):2005. Available from: <https://sisbib.unmsm.edu.pe/bvrevistas/spmi/v18n1/pdf/a05v18n1.pdf>
60. Bello J, Adela G, De L, Salsamendi C, De Santos D. Fundamentos de ciencia toxicológica. 2001 [cited 2024 Apr 16]; Available from: <http://www.diazdesantos.es>.

61. Elguero Bertolini J, Goya Laza Pilar, Román Polo Pascual. La tabla periódica de los elementos químicos. 2019 [cited 2025 May 2];1–141. Available from: <https://www.torrossa.com/it/resources/an/4480793>
62. Ramírez A. Toxicología del cadmio. Conceptos actuales para evaluar exposición ambiental u ocupacional con indicadores biológicos. 2002; Available from: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=37963107>
63. Isabel Azcona-Cruz M, Ramírez Ayala R, Vicente-Flores G, Gabriela Vicente Flores D. Toxic effects of lead [Internet]. 2015. Available from: <http://www.who.int/ipcs/features/lead..pdf>
64. Fernández B, Lobo L, Pereiro R. Atomic absorpton spectrometry | fundamentals, instrumentation and capabilities. Encyclopedia of Analytical Science [Internet]. 2019 Jan 1 [cited 2024 Apr 23];137–43. Available from: https://www.researchgate.net/publication/323333023_Atomic_Absorpti on_Spectrometry_Fundamentals_Instrumentation_and_Capabilities
65. Santisteban O. Comparación de los niveles de arsénico, cadmio, mercurio y plomo en piensos y huevos de codorniz (*Coturnix coturnix* rosal japonés) [Internet]. Lima: UNMSM; 2021 [cited 2025 May 2]. Available from: <https://www.academia.edu/105245311/c>.
66. PerkinElmer, Inc. AAnalyst 200/400 Atomic Absorption Spectrometers. 2014 [cited 2025 May 2]; Available from: www.perkinelmer.com/atomicabsorption
67. Antonio G, Rivas C. Evaluación de Mercurio, Arsénico, Plomo y Cadmio en alimentos de mayor consumo de la cuenca media del río Atrato, Chocó-Colombia. 2022 [cited 2025 May 2]; Available from: <https://repositorio.unicordoba.edu.co/server/api/core/bitstreams/327b6a>

ANEXOS

Anexo 1: Operacionalización de variable.

Definición conceptual	Definición operacional	Dimensiones	Indicadores	items
Hígado: El hígado es un órgano glandular fundamental, grande y de color rojo vino	La muestra será obtenida de animales beneficiados en el camal, y estará constituida por 32 muestras de hígado de bovino de 30 g cada una	Maduros	g	1
Metales pesados son elementos que tienen una densidad alta en comparación con otros elementos de la tabla periódica. Estos metales son conocidos por ser tóxicos en concentraciones elevadas y pueden causar daños ambientales y de salud debido a su capacidad de acumularse en los organismos vivos	Para realizar el análisis, se utilizará la técnica de espectrofotometría de absorción atómica.	Hg	ppm	2
		Cd	ppm	
		Pb	ppm	

Anexo 2: Matriz de consistencia.

Titulo: “ NIVELES DE METALES PESADOS (HG, CD, PB) EN EL HÍGADO DE BOVINOS SACRIFICADOS EN EL CAMAL DE PUERTO MALDONADO ” Nombre del tesista: Rubén Roberto Ccahuantico Mamani				
PROBLEMAS	OBJETIVOS	HIPÓTESIS	VARIABLES/ INDICADOS	METODOLOGÍA
General. ¿Cuáles serán los niveles de metales pesados mercurio (Hg), cadmio (Cd), plomo (Pb) en el hígado de bovinos beneficiados en un camal de puerto Maldonado? Específicos. ¿Cuáles serán los niveles de mercurio (Hg) en hígado de bovinos beneficiados en un camal de puerto Maldonado ¿Cuáles serán los niveles de cadmio (Cd) en hígado de bovinos beneficiados en un camal de puerto Maldonado ¿Cuáles serán los niveles de plomo (Pb) en hígado de bovinos beneficiados en un camal de puerto Maldonado	Determinar los niveles de metales pesados mercurio (Hg), cadmio (Cd), plomo (Pb) en el hígado de bovinos beneficiados en un camal de puerto Maldonado. Específicos. Determinar los niveles de mercurio (Hg) en el hígado de bovinos beneficiados en un camal de puerto Maldonado. Determinar los niveles de cadmio (Cd), en el hígado de bovinos beneficiados en un camal de puerto Maldonado. Determinar los niveles de plomo (Pb), en el hígado de bovinos beneficiados en un camal de puerto Maldonado.	General: Ha: Los niveles de metales pesados mercurio (Hg), cadmio (Cd), plomo (Pb) en el hígado de bovinos beneficiados en un camal de puerto Maldonado están dentro de los límites permisibles. Ho: Los niveles de metales pesados mercurio (Hg), cadmio (Cd), plomo (Pb) en el hígado de bovinos beneficiados en un camal de puerto Maldonado superan los límites permitidos. Justificación Los metales pesados, como el mercurio (Hg), el cadmio (Cd) y el plomo (Pb), poseen una alta toxicidad y pueden provocar serias complicaciones de salud en las personas. Por consiguiente, este estudio busca identificar las concentraciones de estos metales presentes en el hígado de ganado bovino.	Variable independiente: Hígado de res Dimensiones: Indicadores: gr Variable dependiente: Mercurio (Hg), cadmio (Cd), plomo (Pb) Dimensiones µg	Enfoque: Cuantitativo Diseño: No experimental Nivel: Descriptivo Tipo: De campo Métodos: Espectrofotometría de absorción atómica Técnicas instrumentales de muestreo: 20 g de tejido hepático De recolección de datos: La información se organizará en una hoja de cálculo electrónica en MICROSOFT Excel De procesamiento de datos: Los datos serán tratados mediante análisis estadístico descriptivo con la utilización de distribuciones de frecuencia. De análisis: Prueba de Chi cuadrado ($P < 0.05$). Se elaborarán tablas de contingencia y se utilizara el programa estadístico R Población: vacunos beneficiados en el camal Manu. Muestra: 30g de hígado procedentes de 32 vacunos Procedimiento: las muestras recolectadas serán recolectadas debidamente almacenados y enviados al laboratorio de la facultad de Química, unidad de servicios de análisis químico, de la Universidad Nacional Mayor de San Marcos. para su respectivo análisis.

Anexo 3: Tabla 6: Concentración de mercurio (Hg).

Niveles de concentración de mercurio (mg/kg) en el hígado de bovino en Puerto Maldonado.

Item	Referencia USAQ	Tipo de muestra	Hg (mg/kg)	UE Nivel máximo	Codex Alimentarius Nivel máximo
1	Esp. 151	30 gr/hígado	0.007	0.05 mg/kg	0.05 mg/kg
2	Esp. 152	30 gr/hígado	0.009	0.05 mg/kg	0.05 mg/kg
3	Esp. 153	30 gr/hígado	0.004	0.05 mg/kg	0.05 mg/kg
4	Esp. 154	30 gr/hígado	0.008	0.05 mg/kg	0.05 mg/kg
5	Esp. 155	30 gr/hígado	0.009	0.05 mg/kg	0.05 mg/kg
6	Esp. 156	30 gr/hígado	0.01	0.05 mg/kg	0.05 mg/kg
7	Esp. 157	30 gr/hígado	0.008	0.05 mg/kg	0.05 mg/kg
8	Esp. 158	30 gr/hígado	0.005	0.05 mg/kg	0.05 mg/kg
9	Esp. 159	30 gr/hígado	0.008	0.05 mg/kg	0.05 mg/kg
10	Esp. 160	30 gr/hígado	0.006	0.05 mg/kg	0.05 mg/kg
11	Esp. 161	30 gr/hígado	0.009	0.05 mg/kg	0.05 mg/kg
12	Esp. 162	30 gr/hígado	0.009	0.05 mg/kg	0.05 mg/kg
13	Esp. 163	30 gr/hígado	0.006	0.05 mg/kg	0.05 mg/kg
14	Esp. 164	30 gr/hígado	0.008	0.05 mg/kg	0.05 mg/kg
15	Esp. 165	30 gr/hígado	0.008	0.05 mg/kg	0.05 mg/kg
16	Esp. 166	30 gr/hígado	0.009	0.05 mg/kg	0.05 mg/kg
17	Esp. 167	30 gr/hígado	0.007	0.05 mg/kg	0.05 mg/kg
18	Esp. 168	30 gr/hígado	0.007	0.05 mg/kg	0.05 mg/kg
19	Esp. 169	30 gr/hígado	0.009	0.05 mg/kg	0.05 mg/kg
20	Esp. 170	30 gr/hígado	0.008	0.05 mg/kg	0.05 mg/kg
21	Esp. 171	30 gr/hígado	0.009	0.05 mg/kg	0.05 mg/kg
22	Esp. 172	30 gr/hígado	0.007	0.05 mg/kg	0.05 mg/kg
23	Esp. 173	30 gr/hígado	0.007	0.05 mg/kg	0.05 mg/kg
24	Esp. 174	30 gr/hígado	0.007	0.05 mg/kg	0.05 mg/kg
25	Esp. 175	30 gr/hígado	0.009	0.05 mg/kg	0.05 mg/kg
26	Esp. 176	30 gr/hígado	0.004	0.05 mg/kg	0.05 mg/kg
27	Esp. 177	30 gr/hígado	0.007	0.05 mg/kg	0.05 mg/kg
28	Esp. 178	30 gr/hígado	0.008	0.05 mg/kg	0.05 mg/kg
29	Esp. 179	30 gr/hígado	0.009	0.05 mg/kg	0.05 mg/kg
30	Esp. 180	30 gr/hígado	0.008	0.05 mg/kg	0.05 mg/kg
31	Esp. 181	30 gr/hígado	0.007	0.05 mg/kg	0.05 mg/kg
32	Esp. 182	30 gr/hígado	0.006	0.05 mg/kg	0.05 mg/kg

Fuente: Elaboración propia 2025.

Anexo 4: Tabla 7: Concentración de Cadmio (Cd).

Niveles de concentración de cadmio (mg/kg) en el hígado de bovino en puerto Maldonado.

Item	Referencia USAQ	Tipo de muestra	Cd (mg/kg)	UE Nivel máximo	Codex Alimentarius Nivel máximo
1	Esp. 151	30 gr/hígado	0.09	0.5 mg/kg	0.5 mg/kg
2	Esp. 152	30 gr/hígado	0.05	0.5 mg/kg	0.5 mg/kg
3	Esp. 153	30 gr/hígado	0.08	0.5 mg/kg	0.5 mg/kg
4	Esp. 154	30 gr/hígado	0.07	0.5 mg/kg	0.5 mg/kg
5	Esp. 155	30 gr/hígado	0.04	0.5 mg/kg	0.5 mg/kg
6	Esp. 156	30 gr/hígado	0.05	0.5 mg/kg	0.5 mg/kg
7	Esp. 157	30 gr/hígado	0.08	0.5 mg/kg	0.5 mg/kg
8	Esp. 158	30 gr/hígado	0.07	0.5 mg/kg	0.5 mg/kg
9	Esp. 159	30 gr/hígado	0.06	0.5 mg/kg	0.5 mg/kg
10	Esp. 160	30 gr/hígado	0.07	0.5 mg/kg	0.5 mg/kg
11	Esp. 161	30 gr/hígado	0.06	0.5 mg/kg	0.5 mg/kg
12	Esp. 162	30 gr/hígado	0.05	0.5 mg/kg	0.5 mg/kg
13	Esp. 163	30 gr/hígado	0.04	0.5 mg/kg	0.5 mg/kg
14	Esp. 164	30 gr/hígado	0.07	0.5 mg/kg	0.5 mg/kg
15	Esp. 165	30 gr/hígado	0.06	0.5 mg/kg	0.5 mg/kg
16	Esp. 166	30 gr/hígado	0.05	0.5 mg/kg	0.5 mg/kg
17	Esp. 167	30 gr/hígado	0.08	0.5 mg/kg	0.5 mg/kg
18	Esp. 168	30 gr/hígado	0.09	0.5 mg/kg	0.5 mg/kg
19	Esp. 169	30 gr/hígado	0.07	0.5 mg/kg	0.5 mg/kg
20	Esp. 170	30 gr/hígado	0.06	0.5 mg/kg	0.5 mg/kg
21	Esp. 171	30 gr/hígado	0.04	0.5 mg/kg	0.5 mg/kg
22	Esp. 172	30 gr/hígado	0.06	0.5 mg/kg	0.5 mg/kg
23	Esp. 173	30 gr/hígado	0.09	0.5 mg/kg	0.5 mg/kg
24	Esp. 174	30 gr/hígado	0.06	0.5 mg/kg	0.5 mg/kg
25	Esp. 175	30 gr/hígado	0.08	0.5 mg/kg	0.5 mg/kg
26	Esp. 176	30 gr/hígado	0.07	0.5 mg/kg	0.5 mg/kg
27	Esp. 177	30 gr/hígado	0.09	0.5 mg/kg	0.5 mg/kg
28	Esp. 178	30 gr/hígado	0.08	0.5 mg/kg	0.5 mg/kg
29	Esp. 179	30 gr/hígado	0.07	0.5 mg/kg	0.5 mg/kg
30	Esp. 180	30 gr/hígado	0.05	0.5 mg/kg	0.5 mg/kg
31	Esp. 181	30 gr/hígado	0.06	0.5 mg/kg	0.5 mg/kg
32	Esp. 182	30 gr/hígado	0.09	0.5 mg/kg	0.5 mg/kg

Fuente: Elaboración propia 2025.

Anexo 5: Tabla 8: Concentración de Plomo (Pb).

Niveles de concentración de plomo (mg/Kg) en el hígado de bovino en puerto Maldonado.

Item	Referencia USAQ	Tipo de muestra	Pb (mg/kg)	UE Nivel máximo	Codex Alimentarius Nivel máximo
1	Esp. 151	30 gr/hígado	0.03	0.1 mg/kg	0.1 mg/kg
2	Esp. 152	30 gr/hígado	0.06	0.1 mg/kg	0.1 mg/kg
3	Esp. 153	30 gr/hígado	0.05	0.1 mg/kg	0.1 mg/kg
4	Esp. 154	30 gr/hígado	0.03	0.1 mg/kg	0.1 mg/kg
5	Esp. 155	30 gr/hígado	0.04	0.1 mg/kg	0.1 mg/kg
6	Esp. 156	30 gr/hígado	0.08	0.1 mg/kg	0.1 mg/kg
7	Esp. 157	30 gr/hígado	0.04	0.1 mg/kg	0.1 mg/kg
8	Esp. 158	30 gr/hígado	0.01	0.1 mg/kg	0.1 mg/kg
9	Esp. 159	30 gr/hígado	0.04	0.1 mg/kg	0.1 mg/kg
10	Esp. 160	30 gr/hígado	0.02	0.1 mg/kg	0.1 mg/kg
11	Esp. 161	30 gr/hígado	0.07	0.1 mg/kg	0.1 mg/kg
12	Esp. 162	30 gr/hígado	0.06	0.1 mg/kg	0.1 mg/kg
13	Esp. 163	30 gr/hígado	0.09	0.1 mg/kg	0.1 mg/kg
14	Esp. 164	30 gr/hígado	0.08	0.1 mg/kg	0.1 mg/kg
15	Esp. 165	30 gr/hígado	0.09	0.1 mg/kg	0.1 mg/kg
16	Esp. 166	30 gr/hígado	0.07	0.1 mg/kg	0.1 mg/kg
17	Esp. 167	30 gr/hígado	0.08	0.1 mg/kg	0.1 mg/kg
18	Esp. 168	30 gr/hígado	0.08	0.1 mg/kg	0.1 mg/kg
19	Esp. 169	30 gr/hígado	0.05	0.1 mg/kg	0.1 mg/kg
20	Esp. 170	30 gr/hígado	0.05	0.1 mg/kg	0.1 mg/kg
21	Esp. 171	30 gr/hígado	0.06	0.1 mg/kg	0.1 mg/kg
22	Esp. 172	30 gr/hígado	0.05	0.1 mg/kg	0.1 mg/kg
23	Esp. 173	30 gr/hígado	0.06	0.1 mg/kg	0.1 mg/kg
24	Esp. 174	30 gr/hígado	0.08	0.1 mg/kg	0.1 mg/kg
25	Esp. 175	30 gr/hígado	0.07	0.1 mg/kg	0.1 mg/kg
26	Esp. 176	30 gr/hígado	0.05	0.1 mg/kg	0.1 mg/kg
27	Esp. 177	30 gr/hígado	0.08	0.1 mg/kg	0.1 mg/kg
28	Esp. 178	30 gr/hígado	0.06	0.1 mg/kg	0.1 mg/kg
29	Esp. 179	30 gr/hígado	0.05	0.1 mg/kg	0.1 mg/kg
30	Esp. 180	30 gr/hígado	0.07	0.1 mg/kg	0.1 mg/kg
31	Esp. 181	30 gr/hígado	0.08	0.1 mg/kg	0.1 mg/kg
32	Esp. 182	30 gr/hígado	0.05	0.1 mg/kg	0.1 mg/kg

Fuente: Elaboración propio 2025.

Anexo 6: Resultados de la prueba de espectrofotometría de absorción atómica.

	UNIVERSIDAD NACIONAL MAYOR DE SAN MARCOS FACULTAD DE QUÍMICA E INGENIERÍA QUÍMICA UNIDAD DE SERVICIOS DE ANÁLISIS QUÍMICOS	
---	--	---

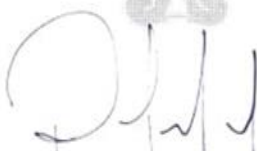
INFORME DE ENSAYO

Nº 151-2024

Cliente	LUIS ALBERTO ARAPA SALAS
Dirección del cliente	JORGE CHAVEZ 237
Referencia USAQ	151
Denominación de la muestra	HIGADO VACUNO
Fecha de recepción	10/10/2024
Fecha de análisis	11/10/2024
Fecha de emisión de informe	25/10/2024
Características de muestra.	Tejido celular de hígado vacuno

Referencia USAQ	Determinación o Parámetro	Especificación	Resultado	Unidades
151	PLOMO	1	0.03	mg/Kg
151	MERCURIO	1	0.007	mg/Kg
151	CADMIO	1	0.09	mg/Kg

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



PERCY YAQUE LÓPEZ MARILLUZ
QUÍMICO
CQP. 876

RESPONSABLE DE LABORATORIO

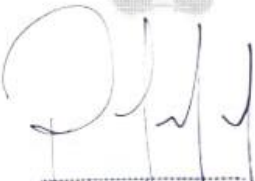
Av. Venezuela Cdra. 34 - Ciudad Universitaria - Pabellón B Química, Central Telefónica: 619-7000 anexos 1203, 1218
E-mail: usaq@unmsm.edu.pe

INFORME DE ENSAYO	Nº 152-2024
--------------------------	--------------------

Cliente	LUIS ALBERTO ARAPA SALAS
Dirección del cliente	JORGE CHAVEZ 237
Referencia USAQ	152
Denominación de la muestra	HIGADO VACUNO
Fecha de recepción	10/10/2024
Fecha de análisis	11/10/2024
Fecha de emisión de informe	25/10/2024
Características de muestra.	Tejido celular de hígado vacuno

Referencia USAQ	Determinación o Parámetro	Especificación	Resultado	Unidades
152	PLOMO	2	0.06	mg/Kg
152	MERCURIO	2	0.009	mg/Kg
152	CADMIO	2	0.05	mg/Kg

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


 PERCY YAQUE LÓPEZ MARILUZ
 QUÍMICO
 CQP. 876
RESPONSABLE DE LABORATORIO

INFORME DE ENSAYO
N° 153-2024

Cliente	LUIS ALBERTO ARAPA SALAS
Dirección del cliente	JORGE CHAVEZ 237
Referencia USAQ	153
Denominación de la muestra	HIGADO VACUNO
Fecha de recepción	10/10/2024
Fecha de análisis	11/10/2024
Fecha de emisión de informe	25/10/2024
Características de muestra.	Tejido celular de hígado vacuno

Referencia USAQ	Determinación o Parámetro	Especificación	Resultado	Unidades
153	PLOMO	3	0.05	mg/Kg
153	MERCURIO	3	0.004	mg/Kg
153	CADMIO	3	0.08	mg/Kg

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


 PERCY YAQUE LÓPEZ MARILLIZ
 QUÍMICO
 CQP. 876
RESPONSABLE DE LABORATORIO

INFORME DE ENSAYO

N° 154-2024

Cliente	LUIS ALBERTO ARAPA SALAS
Dirección del cliente	JORGE CHAVEZ 237
Referencia USAQ	154
Denominación de la muestra	HIGADO VACUNO
Fecha de recepción	10/10/2024
Fecha de análisis	11/10/2024
Fecha de emisión de informe	25/10/2024
Características de muestra.	Tejido celular de hígado vacuno

Referencia USAQ	Determinación o Parámetro	Especificación	Resultado	Unidades
154	PLOMO	4	0.03	mg/Kg
154	MERCURIO	4	0.008	mg/Kg
154	CADMIO	4	0.07	mg/Kg

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

PERCY YAQUE LÓPEZ MARILUZ
 QUÍMICO
 CQP. 876
RESPONSABLE DE LABORATORIO

INFORME DE ENSAYO

N° 155-2024

Cliente	LUIS ALBERTO ARAPA SALAS
Dirección del cliente	JORGE CHAVEZ 237
Referencia USAQ	155
Denominación de la muestra	HIGADO VACUNO
Fecha de recepción	10/10/2024
Fecha de análisis	11/10/2024
Fecha de emisión de informe	25/10/2024
Características de muestra.	Tejido celular de hígado vacuno

Referencia USAQ	Determinación o Parámetro	Especificación	Resultado	Unidades
155	PLOMO	5	0.04	mg/Kg
155	MERCURIO	5	0.009	mg/Kg
155	CADMIO	5	0.04	mg/Kg

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


 PERCY YAQUE LÓPEZ MARILLUZ
 QUÍMICO
 CQP. 876

RESPONSABLE DE LABORATORIO

INFORME DE ENSAYO
N° 156-2024

Cliente	LUIS ALBERTO ARAPA SALAS
Dirección del cliente	JORGE CHAVEZ 237
Referencia USAQ	156
Denominación de la muestra	HIGADO VACUNO
Fecha de recepción	10/10/2024
Fecha de análisis	11/10/2024
Fecha de emisión de informe	25/10/2024
Características de muestra.	Tejido celular de hígado vacuno

Referencia USAQ	Determinación o Parámetro	Especificación	Resultado	Unidades
156	PLOMO	6	0.08	mg/Kg
156	MERCURIO	6	0.01	mg/Kg
156	CADMIO	6	0.05	mg/Kg

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

PERCY YAQUE LÓPEZ MARILUZ
 QUÍMICO
 CQP. 876
RESPONSABLE DE LABORATORIO

Anexo 7. Solicitud permiso de recolectar muestra de hígado de vacuno.

 UNIVERSIDAD NACIONAL AMAZÓNICA DE MADRE DE DIOS VICERECTORADO ACADÉMICO DEPARTAMENTO ACADÉMICO DE MEDICINA VETERINARIA - ZOOTECNIA "AÑO DE LA UNIDAD, LA PAZ Y EL DESARROLLO" "Madre de Dios Capital de la Biodiversidad del Perú" 
Puerto Maldonado, 03 de octubre del 2024
CARTA N°-UNAMAD-EPMVZ- 001-2024- LAAS Fecha: 03 OCT 2024 Hora: 11:00 Folia: 1 Rég: Fima: [Signature]
Señor: FLAVIO JIMENEZ DORADO Gerente general del camal frigorífico El Dorado presente. -
Asunto: Solicito permiso para recolectar muestras de hígado de vacuno
..... De mi especial consideración: Previo cordial saludo me dirijo a usted para solicitar su autorización para recolectar muestras de hígado de vacuno, con el fin de realizar un estudio para el trabajo de tesis de la carrera profesional de Medicina Veterinaria y Zootecnia de la Universidad Nacional Amazónica de Madre de Dios. Detalles de la solicitud: - Cantidad de bovinos 32 cabezas - Cantidad de muestra requerida: 30 gramos - Tipo de muestra: Hígado de vaca - Propósito: Estudio de tesis sobre: NIVELES DE METALES PESADOS MERCURIO (Hg), PLOMO (Pb), CADMIO (Cd) EN EL HÍGADO DE BOVINO EN UN CAMAL DE PUERTO MALDONADO. - Fecha y hora de recolección: cuatro y cinco de octubre de 2024 Sin otro en particular hago propicio la ocasión para expresarle las muestras de mi especial consideración y estima personal. Atentamente,  Msc. Luis Alberto Arapa Salas Asesor del Proyecto de tesis

Fuente: elaboracion propia 2025.

Anexo 8: Otorgo autorizacion para recolectar muestras de higado de vacuno.

Puerto Maldonado, 04 de octubre del 2024

CARTA N°-01 CFED – PUERTO MALDONADO/FJD

Señor: M.S.c Luis Alberto Arapa Salas Asesor del Trabajo de investigación presente. -

Asunto: Otorgo autorización para recolectar muestras de hígado de vacuno

De mi especial consideración:

Previo cordial saludo me dirijo a usted para otorgarle la autorización para recolectar muestras de hígado de vacuno, con el fin de realizar un estudio para el trabajo de tesis de la carrera profesional de Medicina Veterinaria y Zootecnia de la Universidad Nacional Amazónica de Madre de Dios ya que dicha información será relevante para verificar el buen estado de salubridad de los ganados que se benefician en nuestro camal.

Detalles de la solicitud:

Sin otro en particular hago propicio la ocasión para expresarle las muestras de mi especial consideración y estima personal.

Atentamente,

CAMAL FRIGORIFICO EL DORADO S.R.L.
RUC: 20604527029

.....FLAVIO JIMENEZ DORADO.....
GERENTE
FLAVIO JIMENEZ DORADO

Fuente: elaboracion propia 2025.

Anexo 9: Registro de origen, sexo, edad, color de los 32 vacunos.

	Característica									
Especie	Origen	Sexo	Edad aprox	color	Reseñas Particul	Mercurio(Hg)	Cadmio(Cd)	Plomo(Pb)	Unidad	Metodo
Especimen 1	San Bernardo	M	5	Gris	K	0.007	0.09	0.03	mg/kg	USAQ-ME-004 AAS
Especimen 2	San Bernardo	M	5	Negro	K	0.009	0.05	0.06	mg/kg	USAQ-ME-004 AAS
Especimen 3	San Bernardo	M	4	Negro	K	0.004	0.08	0.05	mg/kg	USAQ-ME-004 AAS
Especimen 4	San Bernardo	M	4	Blanco	K	0.008	0.07	0.03	mg/kg	USAQ-ME-004 AAS
Especimen 5	Sudadero	H	4	Colorado	RS	0.009	0.04	0.04	mg/kg	USAQ-ME-004 AAS
Especimen 6	Bello Horizonte	M	3	Negro	ESP	0.01	0.05	0.08	mg/kg	USAQ-ME-004 AAS
Especimen 7	Bello Horizonte	M	5	Gris	ESP	0.008	0.08	0.04	mg/kg	USAQ-ME-004 AAS
Especimen 8	Bello Horizonte	M	3	Blanco	ESP	0.005	0.07	0.01	mg/kg	USAQ-ME-004 AAS
Especimen 9	Bello Horizonte	M	3	Blanco	CR	0.008	0.06	0.04	mg/kg	USAQ-ME-004 AAS
Especimen 10	Bello Horizonte	M	3	Blanco	CR	0.006	0.07	0.02	mg/kg	USAQ-ME-004 AAS
Especimen 11	Bello Horizonte	M	2	Blanco	MI	0.009	0.06	0.07	mg/kg	USAQ-ME-004 AAS
Especimen 12	Bello Horizonte	M	4	Blanco	MI	0.009	0.05	0.06	mg/kg	USAQ-ME-004 AAS
Especimen 13	Bello Horizonte	M	4	Blanco	MI	0.006	0.04	0.09	mg/kg	USAQ-ME-004 AAS
Especimen 14	Bello Horizonte	M	4	Colorado	MI	0.008	0.07	0.08	mg/kg	USAQ-ME-004 AAS
Especimen 15	Bello Horizonte	M	3	Colorado	O	0.008	0.06	0.09	mg/kg	USAQ-ME-004 AAS
Especimen 16	Bello Horizonte	M	3	Colorado	O	0.009	0.05	0.07	mg/kg	USAQ-ME-004 AAS
Especimen 17	Bello Horizonte	M	5	Blanco	SJB	0.007	0.08	0.08	mg/kg	USAQ-ME-004 AAS
Especimen 18	Bello Horizonte	M	5	Blanco	SJB	0.007	0.09	0.08	mg/kg	USAQ-ME-004 AAS
Especimen 19	belo Horizonte	M	3	Colorado	SJB	0.009	0.07	0.05	mg/kg	USAQ-ME-004 AAS
Especimen 20	Bello Horizonte	M	5	Blanco	P	0.008	0.06	0.05	mg/kg	USAQ-ME-004 AAS
Especimen 21	Bello Horizonte	M	3	Blanco	P	0.009	0.04	0.06	mg/kg	USAQ-ME-004 AAS
Especimen 22	Bello Horizonte	H	3	Blanco	P	0.007	0.06	0.05	mg/kg	USAQ-ME-004 AAS
Especimen 23	Bello Horizonte	H	3	Blanco	P	0.007	0.09	0.06	mg/kg	USAQ-ME-004 AAS
Especimen 24	Mavila	H	4	Negro	AN	0.007	0.06	0.08	mg/kg	USAQ-ME-004 AAS
Especimen 25	Mavila	H	4	Negro	AN	0.009	0.08	0.07	mg/kg	USAQ-ME-004 AAS
Especimen 26	Mavila	H	5	Negro	AN	0.004	0.07	0.05	mg/kg	USAQ-ME-004 AAS
Especimen 27	San Bernardo	M	5	Colorado	L	0.007	0.09	0.08	mg/kg	USAQ-ME-004 AAS
Especimen 28	San Bernardo	M	5	Colorado	L	0.008	0.08	0.06	mg/kg	USAQ-ME-004 AAS
Especimen 29	San Bernardo	H	2	Colorado	L	0.009	0.07	0.05	mg/kg	USAQ-ME-004 AAS
Especimen 30	San Bernardo	H	2	Colorado	L	0.008	0.05	0.07	mg/kg	USAQ-ME-004 AAS
Especimen 31	San Bernardo	H	2	Blanco	L	0.007	0.06	0.08	mg/kg	USAQ-ME-004 AAS
Especimen 32	San Bernardo	H	2	Blanco	L	0.006	0.09	0.05	mg/kg	USAQ-ME-004 AAS
promedio						0.0075625	0.0665625	0.05875		

Fuente: elaboracion propia 2025.

Anexo 10: Fotos de recojo de muestras.



Fuente: elaboracion propia 2025.