

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO
FACULTAD DE AGRONOMIA Y ZOOTECNIA
ESCUELA PROFESIONAL DE ZOOTECNIA



TESIS

**NIVEL DE METALES PESADOS (PLOMO, MERCURIO) EN LECHE
DE VACAS EN PRODUCCIÓN DE LA COMUNIDAD CCOLLANA
DEL DISTRITO DE VELILLE PROVINCIA DE CHUMBIVILCAS –
CUSCO.**

PRESENTADO POR:

BACH. ROSELLY BEDREGAL PINEDA

**PARA OPTAR AL TITULO PROFESIONAL
DE INGENIERO ZOOTECNISTA**

ASESOR:

**M.V.Z. DR. EDGAR ALBERTO VALDEZ
GUTIÉRREZ**

CUSCO – PERÚ

2026



Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco

INFORME DE SIMILITUD

(Aprobado por Resolución Nro.CU-321-2025-UNSAAC)

El que suscribe, el Asesor Dr. Edgar Alberto Valdez Gutiérrez.....
..... quien aplica el software de detección de similitud al
trabajo de investigación/tesis titulada: Nivel de metales pesados (plomo,
mercurio) en leche de vacas en producción de la
comunidad Collana del Distrito de Velille provincia de
Chumbivilcas - Cusco.....

Presentado por: Roselly Bedregal Pineda..... DNI N° 71791581.....;
presentado por: DNI N°:
Para optar el título Profesional/Grado Académico de Ingeniero Zootecnista.....

Informo que el trabajo de investigación ha sido sometido a revisión por 02 veces, mediante el
Software de Similitud, conforme al Art. 6° del **Reglamento para Uso del Sistema Detección de
Similitud en la UNSAAC** y de la evaluación de originalidad se tiene un porcentaje de 5 %.

Evaluación y acciones del reporte de coincidencia para trabajos de investigación conducentes a grado académico o título profesional, tesis

Porcentaje	Evaluación y Acciones	Marque con una (X)
Del 1 al 10%	No sobrepasa el porcentaje aceptado de similitud.	X
Del 11 al 30 %	Devolver al usuario para las subsanaciones.	
Mayor a 31%	El responsable de la revisión del documento emite un informe al inmediato jerárquico, conforme al reglamento, quien a su vez eleva el informe al Vicerrectorado de Investigación para que tome las acciones correspondientes; Sin perjuicio de las sanciones administrativas que correspondan de acuerdo a Ley.	

Por tanto, en mi condición de Asesor, firmo el presente informe en señal de conformidad y adjunto las primeras páginas del reporte del Sistema de Detección de Similitud.

Cusco, 23 de Abril..... de 2026.....

Firma

Post firma Dr. Edgar Alberto Valdez Gutiérrez

Nro. de DNI 01285940

ORCID del Asesor 0000-0002-2966-7605

Se adjunta:

1. Reporte generado por el Sistema Antiplagio.
2. Enlace del Reporte Generado por el Sistema de Detección de Similitud: oid: 27259:579104422

TESIS - ROSELLY- final 2026.pdf

 Universidad Nacional San Antonio Abad del Cusco

Detalles del documento

Identificador de la entrega

trn:oid:::27259:579104422

Fecha de entrega

15 abr 2026, 7:56 p.m. GMT-5

Fecha de descarga

15 abr 2026, 8:11 p.m. GMT-5

Nombre del archivo

TESIS - ROSELLY- final 2026.pdf

Tamaño del archivo

1.6 MB

62 páginas

13.736 palabras

76.915 caracteres

5% Similitud general

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para ca...

Filtrado desde el informe

- Bibliografía
- Texto mencionado
- Coincidencias menores (menos de 15 palabras)

Exclusiones

- N.º de coincidencias excluidas

Fuentes principales

- 4%  Fuentes de Internet
- 1%  Publicaciones
- 3%  Trabajos entregados (trabajos del estudiante)

Marcas de integridad

N.º de alertas de integridad para revisión

No se han detectado manipulaciones de texto sospechosas.

Los algoritmos de nuestro sistema analizan un documento en profundidad para buscar inconsistencias que permitirían distinguirlo de una entrega normal. Si advertimos algo extraño, lo marcamos como una alerta para que pueda revisarlo.

Una marca de alerta no es necesariamente un indicador de problemas. Sin embargo, recomendamos que preste atención y la revise.

DEDICATORIA

Dedico:

A mis padres Cirilo Bedregal Trelles y Nelly Pineda Zevallos, por ser mis pilares, por su amor incondicional, por su gran apoyo y sacrificio a lo largo de estos años. Este logro también es de ustedes.

A mi hermano Frank Elwin, por su compañía, por sus palabras de motivación, por creer en mí y por recordarme el valor del compromiso y la perseverancia.

A mi amor Wilber Arias, por sus palabras de aliento cuando flaqueaba, por su apoyo incondicional, por su silencio que hablaban más que mil palabras y por ser mi refugio en los días más duros.

A mis abuelitos, en especial para mi abuelita por ese apoyo incondicional, su amor sencillo y sabio, por enseñarme, el valor del esfuerzo, la constancia y la humildad.

A mis compañeros y amigos que me acompañaron en mi etapa universitaria Lulu, Lia, Jhon y José.

AGRADECIMIENTOS

A la casa de estudios Universidad Nacional San Antonio Abad de Cusco, a la escuela profesional de Zootecnia por haberme formado y brindarme la oportunidad de estudiar e internalizar los conocimientos de la ciencia de zootecnia, en la enseñanza de esta hermosa profesión en donde obtuve una gran información y la base de los conocimientos para desarrollar nuestra profesión.

Al decano de la facultad Dr. Walter Vergara Abarca, por su motivación, por su generosidad para compartir las experiencias y conocimiento. Por su atención y acompañamiento académico.

A mi asesor Dr. MVZ. Edgar Alberto Valdez Gutierrez y asesor externo M.Sc. M.V.Z. Leoncio Mamani Machaca, quienes me motivaron a realizar el presente trabajo de investigación, impartieron su conocimiento científico y brindaron todo su apoyo para llevar adelante el presente trabajo.

Con profundo amor a mis padres, hermano, abuelos, quienes siempre me apoyaron y estuvieron conmigo presente en los momentos de felicidad, así como también en los momentos difíciles me brindaron su amor incondicional. Sin su apoyo y colaboración habría sido imposible llevar a cabo la ejecución de tesis.

INDICE

DEDICATORIA	i
AGRADECIMIENTOS.....	ii
INDICE	iii
INDICE DE TABLAS.....	v
INDICE DE IMÁGENES	v
INDICE DE ANEXOS	v
RESUMEN	vi
ABSTRACT	vii
INTRODUCCIÓN	1
I. PROBLEMA OBJETO DE ESTUDIO.....	3
1.1. DEFINICION DEL PROBLEMA DE INVESTIGACION.....	3
1.2. PROBLEMAS DE INVESTIGACION	4
1.2.1. PROBLEMA GENERAL.....	4
1.2.2. PROBLEMAS ESPECIFICAS	4
II. OBJETIVOS Y JUSTIFICACION	5
2.1. OBJETIVOS.....	5
2.1.1. OBJETIVO GENERAL	5
2.1.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	5
2.2. JUSTIFICACION.....	5
III. HIPÓTESIS	7
3.1. HIPOTESIS DE INVESTIGACION	7
3.1.1. HIPOTESIS GENERAL	7
3.1.2. HIPÓTESIS ESPECIFICAS.....	7
IV. MARCO TEÓRICO.....	8
4.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN	8
4.1.1. ANTECEDENTES A NIVEL INTERNACIONAL.....	8
4.1.2. ANTECEDENTES A NIVEL NACIONAL	9
4.1.3. ANTECEDENTES A NIVEL REGIONAL	11
4.1.4. ANTECEDENTES A NIVEL DE LA ZONA	12
4.2. BASES TEÓRICAS	12
4.2.1. LA LECHE.....	12

4.2.2.	LA LECHE COMO ALIMENTO HUMANO.....	13
4.2.3.	EL CALOSTRO COMO ALIMENTO DEL TERNERO.....	13
4.2.4.	PROPIEDADES QUÍMICAS DE LA LECHE DE VACA.....	13
4.2.5.	VACAS EN PRODUCCIÓN EN LA ZONA.....	14
4.2.6.	METALES PESADOS.....	14
4.2.7.	PRINCIPALES FUENTES DE CONTAMINACIÓN Y GENERACIÓN DE METALES PESADOS.....	15
4.3.	PRINCIPALES METALES PESADOS	16
4.3.1.	MERCURIO	16
4.3.2.	PLOMO	18
4.4.	CONTENIDO MÁXIMO DE METALES PESADOS	22
V.	MATERIALES Y METODOS	24
5.1.	METODOLOGIA DE LA INVESTIGACION	24
5.1.1.	ENFOQUE DE LA INVESTIGACION.....	24
5.1.2.	TIPO DE INVESTIGACION	24
5.1.3.	NIVEL O ALCANCE DE LA INVESTIGACION.....	24
5.1.4.	DISEÑO DE LA INVESTIGACION.....	24
5.1.5.	CORTE DE LA INVESTIGACION	24
5.2.	UBICACIÓN GEOGRAFICA.....	24
5.3.	POBLACIÓN DE VACUNOS.....	26
5.4.	TAMAÑO DE LA MUESTRA.....	26
5.5.	DESCRIPCIÓN DE MÉTODO SEGÚN PROTOCOLO DE LABORATORIO DE QUÍMICA DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL MAYOR DE SAN MARCOS LIMA... 26	
5.5.1.	DESCRIPCIÓN DE ACTIVIDADES	26
5.5.2.	DETERMINACIÓN DE METALES PESADOS POR ESPECTROFOTOMETRIA DE ABSORCIÓN ATÓMICA POR TÉCNICA DE HORNO DE GRAFITO.	28
5.6.	VARIABLES DEL ESTUDIO	31
VI.	RESULTADOS Y DISCUSIONES.....	32
VII.	CONCLUSIONES	39
VIII.	RECOMENDACIONES	40
IX.	BIBLIOGRÁFICA.....	41

INDICE DE TABLAS

TABLA 1. Composición nutricional de la leche entera	14
TABLA 2. Contenido máximo de metales pesados según la Unión Europea.....	22
TABLA 3. Contenido máximo de metales pesados (Plomo y Mercurio) en leche según la Unión Europea	23
TABLA 4. Distribución de las muestras de leche para análisis	26
TABLA 5. Identificación de variables	31
TABLA 6. Niveles de plomo y mercurio en la leche de vacas en producción	32

INDICE DE IMÁGENES

FIGURA 1. Ubicación geográfica del ámbito de estudio.....	25
FIGURA 2. Niveles de plomo y mercurio en leche.....	32
FIGURA 3. Niveles de plomo (mínimos y máximos en leche)	33
FIGURA 4. Niveles de mercurio (mínimos y máximos en leche).....	36

INDICE DE ANEXOS

ANEXOS 1. Resultados de niveles de plomo y mercurio en la leche de vacas en producción.....	47
ANEXO 2. Prueba de t student	51
ANEXO 3. Imágenes de fotografías de análisis de concentración de plomo y mercurio en el laboratorio de Química de la Universidad Mayor de Nacional de San Marcos.	52
ANEXO 4. Preparación de materiales para la toma de muestras.	53
ANEXO 5. Toma de muestra de leche en vacas de la comunidad de Ccollana.....	53
ANEXO 6. Rotulado de muestras tomadas en vacas de la comunidad de Ccollana. ..	54
ANEXO 7. Empaquetado de muestras para su envío al laboratorio de la Universidad Nacional Mayor de San Marcos.	54

RESUMEN

El objetivo de la investigación fue determinar los niveles de concentración de plomo y mercurio en leche de vacunos en producción de la comunidad de Ccollana, ubicada en la cuenca del río Velille, distrito de Velille, provincia de Chumbivilcas, región Cusco, a 3 738 m s. n. m., durante agosto de 2025. Para ello, se analizaron 25 muestras de leche para plomo y 25 para mercurio, provenientes de vacunos debidamente identificados. Las muestras fueron procesadas en el laboratorio de Bioquímica de la Universidad Nacional Mayor de San Marcos mediante la técnica de absorción atómica con horno de grafito. Los datos obtenidos fueron evaluados con la prueba t de Student para muestras independientes, considerando un nivel de significancia de $\alpha = 0.05$. Los resultados mostraron una concentración media de plomo de 0.0071 ± 0.0042 mg/L y de mercurio de 0.0003 ± 0.00013 mg/L, evidenciándose diferencias significativas entre ambos metales ($p < 0.05$). En conclusión, los niveles detectados no superan los límites máximos permisibles establecidos por normas internacionales, por lo que la leche es apta para el consumo humano y el procesamiento de derivados lácteos. Asimismo, los resultados constituyen un aporte para la vigilancia de contaminación por metales pesados y la prevención de riesgos para la salud humana.

Palabras clave: Mercurio, Plomo, Leche, Vacas.

ABSTRACT

The objective of this research was to determine the concentration levels of lead and mercury in milk from productive dairy cattle in the community of Ccollana, located in the Velille River basin, Velille district, Chumbivilcas province, Cusco region, at 3,738 meters above sea level, during August 2025. For this purpose, 25 milk samples were analyzed for lead and 25 for mercury, all collected from properly identified cattle. The samples were processed at the Biochemistry Laboratory of the National University of San Marcos using the graphite furnace atomic absorption technique. The obtained data were analyzed using Student's t-test for independent samples, considering a significance level of $\alpha = 0.05$.

The results showed an average lead concentration of 0.0071 ± 0.0042 mg/L and an average mercury concentration of 0.0003 ± 0.00013 mg/L, showing statistically significant differences between both metals ($p < 0.05$). In conclusion, the detected levels did not exceed the maximum permissible limits established by international standards; therefore, the milk is suitable for human consumption and for the processing of dairy products. Furthermore, the results contribute to the monitoring of heavy metal contamination in milk and to the prevention of risks to human health.

Keywords: Mercury, Lead, Milk, Cows

INTRODUCCIÓN

En las Comunidades de la cuenca de Velille específicamente en la Comunidad de Ccollana, se concentra productores de vacunos y por consiguiente la producción de leche y sus derivados que son destinados para los mercados de los departamentos de Lima, Arequipa, ciudad de Cusco y otros mercados locales de la provincia de Chumbivilcas que son comercializados a través de intermediarios y otros de manera directa hacia los consumidores. Por consiguiente, el objetivo del presente proyecto de investigación es determinar los niveles de concentración de los metales pesados principalmente el Mercurio y Plomo en la leche de vacas en producción la comunidad de Ccollana del distrito de Velille de la provincia de Chumbivilcas – Cusco

Los metales pesados son contaminantes ambientales por su toxicidad, permanencia por largos periodos en la atmósfera y su capacidad de acumularse en el cuerpo humano, en los animales y en los ecosistemas; por lo que constituye una preocupación ambiental por generar consecuencias para la salud pública, la mayoría de los metales pesados se encuentran de forma natural, pero algunos se derivan de fuentes antropogénicas y se caracterizan por su elevada masa atómica y su toxicidad para los organismos vivos y que pueden ser letales para los humanos, de la misma manera los metales pesados pueden volverse fuertemente tóxico al mezclarse con diferentes elementos ambientales, como agua, suelo y aire, y su concentración en los humanos través de la cadena trófica, otros organismos vivos pueden estar expuestos a ellos a través de la ingestión de agua y alimentos (Mitra *et al.*, 2022).

El contenido residual de algunos elementos en la leche es indicador directo del grado de contaminación; Igualmente es un indicador indirecto de las condiciones ambientales del suelo, agua, aire y vegetación de zonas de pastoreo de los animales (Gonzales, 2009).

El plomo es un metal no biodegradable que está disponible en la naturaleza, y se encuentra en cantidades relativamente bajas, los niveles de plomo atmosférico son aumentados continuamente debido a las actividades humanas, incluyendo manufactura, minería y quema de combustibles fósiles, el plomo es tóxico para el cuerpo humano

cuando se expone a cantidades superiores a las óptimas; los niños corren un mayor riesgo de envenenamiento por plomo; cuando entran contacto con polvo cargado de plomo ambiental, la gravedad del envenenamiento aumenta (Loh *et al.*, 2016).

El plomo produce toxicidad de las neuronas motrices de asta anterior de la medula espinal o degeneración de las terminaciones axónicas y el recubrimiento de la mielina, es neurotóxico periférico y central interfiere en la liberación y síntesis de la acetilcolina, la adenil-ciclasa del SNC e inhibe a la enzima del glóbulo rojo delta aminolevulinico dehidratasa, la vida media del plomo en sangre es aproximadamente 30 días, se distribuye en todos los tejidos teniendo afinidad por el sistema nervioso central, en especial, se acumula en los huesos donde puede permanecer hasta 20 años y ser removido por la lactancia en la leche materna (Moreno, 2003).

Los metales pesados y metaloides como son: Plomo (Pb), Arsénico (As), Mercurio (Hg), Zinc (Zn), Cobre (Cu), Níquel (Ni), Cromo (Cr) y Cadmio (Cd), pueden ingresar al cuerpo humano desde el suelo contaminado a través de vías de exposición como la ingestión directa o indirecta, por inhalación y el contacto dérmico que pueden causar efectos nocivos en la salud humana (Hou *et al.*, 2017).

I. PROBLEMA OBJETO DE ESTUDIO

1.1. DEFINICION DEL PROBLEMA DE INVESTIGACION

La contaminación por metales pesados es un problema a nivel mundial por su toxicidad y persistencia en la naturaleza por su bioacumulación en los organismos vivos, las fuentes de metales pesados provienen principalmente del decaimiento de las series radiactivas, también incluyen las actividades antropogénicas, la eliminación por uso de aguas residuales y por las actividades de minería (Sun et al. 2018).

El problema por contaminación por metales pesados presenta evidencia científica suficiente de que la contaminación del suelo puede repercutir fácilmente en toda la cadena trófica (suelo, agua, aire, plantas), desde ahí pasara a los animales y su bioacumulación en sus tejidos, órganos, y posteriormente pasara sus producciones (suero sanguíneo, carne, y leche), y que evidentemente llegarán al humano como productos y elementos finales por su ubicación en la cadena trófica y posibilitando graves problemas de salud (Gutiérrez, 2009).

Los metales pesados afectan directamente al sistema nervioso central principalmente el plomo que llega a dañar a las neuronas especialmente las del cerebro, el plomo afecta también a la medula ósea y riñón, específicamente en sistema tubular de las nefronas, otro metal pesado es el arsénico que tienen efecto directo en las mitocondrias; donde los daños son muy diversos de cada metal, pero en general por intoxicación por plomo puede simular otras enfermedades, como esclerosis, que es una enfermedad incurable muy complicada en cuanto a sus síntomas, lo cual constituye un problema en la salud de los seres vivos (Eróstegui, 2009).

La presencia de los metales pesados en productos como la leche o carnes, indican la presencia de fuentes contaminantes locales o aledañas que fueron transportados por el agua, aire o suelo hacía sitios de pastizales de ganado, de la misma manera las actividades antropogénicas que contaminan los suelos agrícolas y de pastoreo, se encuentran el uso de agroquímicos (pesticidas, herbicidas, fertilizantes, el estiércol de ganado, porcino, vacuno, animales pequeños, o a través de la irrigación con aguas contaminadas (Bernal, 2019).

La presencia de los metales pesados trae como consecuencia alteraciones en el ecosistema, de la misma manera es absorbido por los animales a través de consumo de pastos naturales y generar diversos trastornos clínicos, tales como anemia, crecimiento lento, pérdida del apetito, reducción en la productividad y reproducción, disminución del sistema inmune, desencadenamiento de enfermedades carcinógenas, teratogénicas y mutagénicas, incremento de abortos, o afección interna sin síntomas notables (Aazami et al., 2017), por otro lado, los metales pesados también pueden causar toxicidad en ciertos órganos del cuerpo humano, como nefrotoxicidad, neurotoxicidad, hepatotoxicidad, toxicidad cutánea y toxicidad cardiovascular, para evitar efectos tóxicos es necesario que las personas se alejen de zonas industriales donde las emisiones de metales pesados son considerables altas (Aazami et al., 2017).

La Contaminación de praderas nativas y/o pastos cultivados por metales pesados son mediante el uso de la irrigación con aguas de los ríos, provenientes de cabeceras, por filtraciones de los relaves mineros provenientes de la actividad minera y que pueden ingresar a la cadena trófica alimentaria; lo cual constituye riesgo para los organismos de los animales como para los humanos por consumo de carne y/o productos lácteos (Aazami et al., 2017).

1.2. PROBLEMAS DE INVESTIGACION

1.2.1. PROBLEMA GENERAL

¿Cuáles serán los niveles de concentración de plomo y mercurio en leche de vacas en producción de la Comunidad Ccollana de la cuenca del río Velille - Chumbivilcas?

1.2.2. PROBLEMAS ESPECIFICAS

- a. ¿Cuáles son los niveles de concentración de plomo en leche de vacas en producción en la comunidad de Ccollana?
- b. ¿Cuáles son los niveles de concentración de mercurio en leche de vacas en producción en la comunidad de Ccollana?

II. OBJETIVOS Y JUSTIFICACION

2.1. OBJETIVOS

2.1.1. OBJETIVO GENERAL

Determinar la concentración de plomo y mercurio en leche de vacas en producción en la comunidad de Ccollana de la cuenca de río Velille – Chumbivilcas

2.1.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- a. Determinar el nivel de concentración de plomo en leche de vacas en producción en la comunidad de Ccollana en la cuenca de río Velille - Chumbivilcas.
- b. Determinar el nivel de concentración de mercurio en leche de vacas en producción en la comunidad de Ccollana en la cuenca de río Velille - Chumbivilcas.

2.2. JUSTIFICACION

Los metales pesados se caracterizan por su toxicidad para los organismos vivos, causan contaminación ambiental y atmosférica y pueden ser letales para los humanos y volverse fuertemente tóxico al mezclarse con diferentes elementos ambientales, como el agua, el suelo y el aire y los seres humanos, otros organismos vivos están expuestos a través de la cadena alimentaria, por lo que es necesario conocer los niveles de concentración en los alimentos como la leche (Mitra, *et al.*, 2022).

La presencia de plomo y mercurio en la leche de vacunos representa un peligro en la salud pública, ya que puede causar diferentes enfermedades en animales y humanos si es que sobrepasa el límite máximo permitido según (Codex, 1995). Por lo que es necesario realizar estudios acerca de los niveles de concentración de metales pesados en la leche por su alta toxicidad, en estudios realizados en la leche pasteurizada se han encontrado niveles mayores a los límites permisibles según la legislación nacional e internacional (Nava, *et al.*, 2011).

El plomo y mercurio generan efectos tóxicos, pueden transferirse mediante la cadena trófica y ser un factor de riesgo en la salud pública causan daños a nivel del sistema nervioso central, en la función hepática y renal, en el sistema musculoesquelético, en la función reproductiva, alteraciones muta génicas, efectos carcinogénicos e inmunológicos, específicamente en los infantes y adultos mayores a 60 años que representan las poblaciones más sensibles a dichos efectos, sin embargo no se observa síntomas de intoxicación crónica por ser acumulativos (OMS, 2014).

Los resultados del presente estudio permitirán planificar la vigilancia de la presencia de los metales y evitar su efecto en la cadena alimentaria, por cuanto la zona está catalogada la crianza de vacunos y constituye principal fuente de ingreso económico para el productor, por consiguiente es necesario conocer y vigilar los niveles de concentración de metales pesados en la leche y derivados lácticos, además existe amenaza de contaminar los pastizales, agua e ingreso a la cadena trófica alimentaria (Parra et al., 2003).

III. HIPÓTESIS

3.1. HIPÓTESIS DE INVESTIGACIÓN

3.1.1. HIPÓTESIS GENERAL

La concentración de metales pesados en la leche de las vacas en la comunidad Ccollana de la cuenca del río Velille distrito Velille - Chumbivilcas sobrepasan los límites máximos permisibles establecidos según la Organización Mundial de la Salud.

3.1.2. HIPÓTESIS ESPECÍFICAS

- a. Los niveles de plomo en la leche de vacas en producción de la comunidad Ccollana distrito Velille Chumbivilcas sobrepasan los límites máximos permisibles establecidas por la Organización Mundial de la Salud.
- b. Los niveles de plomo en la leche de vacas en producción de la comunidad Ccollana distrito Velille Chumbivilcas no sobrepasan los límites máximos permisibles establecidas por la Organización Mundial de la Salud.
- c. Los niveles de mercurio en la leche de vacas en producción de la comunidad de Ccollana – distrito Velille – Chumbivilcas, sobrepasan los límites máximos permisibles establecidas por la Organización Mundial de la Salud.
- d. Los niveles de mercurio en la leche de vacas en producción de la comunidad de Ccollana – distrito Velille – Chumbivilcas, no sobrepasan los límites máximos permisibles establecidas por la Organización Mundial de la Salud

IV. MARCO TEÓRICO

4.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN

4.1.1. ANTECEDENTES A NIVEL INTERNACIONAL

Ayala y Romero (2013) realizaron el estudio Determinación de la presencia de arsénico y mercurio en la leche comercializada en el cantón Arenillas, cuyo objetivo fue determinar la concentración de dichos metales pesados en leche de vacas lecheras y de comercialización local. La metodología consistió en la recolección de muestras y su análisis mediante espectrofotometría de absorción atómica con generación de vapor de hidruros, previa digestión conforme a las normativas EPA y AWWA. Los resultados evidenciaron que la concentración media de mercurio superó en 2,2 veces el límite máximo permisible de 0,005 mg/kg establecido por la Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 0009:2008.

Medina et al. (2013) realizaron el estudio Niveles de plomo en leche de ganado bovino en el departamento de La Libertad, El Salvador, cuyo objetivo fue determinar la presencia de plomo en leche de ganado bovino y agua. La metodología consistió en el muestreo de leche y agua en seis ganaderías, tres ubicadas dentro del radio de contaminación por plomo (1 500 m) declarado por el Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales y tres fuera de dicho radio, analizándose las muestras mediante espectrofotometría de absorción atómica. Los resultados evidenciaron concentraciones elevadas de plomo en leche tanto dentro como fuera del radio de contaminación, alcanzando hasta 2,254 mg/L y 0,820 mg/L, respectivamente; asimismo, se detectaron altos niveles de plomo en agua, con valores de hasta 7,16 mg/L fuera del radio y 0,720 mg/L dentro del radio, demostrando una relación entre la presencia de plomo en agua y leche.

Moreno (2018) realizó el estudio Metales pesados en leche de vacas alimentadas con alfalfa producida en suelos irrigados con aguas residuales en Puebla y Tlaxcala, México, cuyo objetivo fue determinar la presencia de Cd, Pb, Ni y As en la cadena alimentaria de la leche bovina. La metodología incluyó el muestreo de suelo y alfalfa en 16 sitios distribuidos en cuatro zonas, así como la recolección de leche de 160 vacas pertenecientes a cuatro hatos por zona, en dos épocas del año y por triplicado; además,

se calcularon el factor de bioacumulación, el factor de translocación y el valor de transferencia de metales de la planta a la leche. Los resultados mostraron que la alfalfa presentó alta capacidad de bioacumulación y movilidad de metales, y que la leche registró concentraciones de Pb entre $0,039 \pm 0,02$ y $0,059 \pm 0,05$ mg/kg, valores superiores al límite internacional permitido, aunque los niveles de Pb y As se encontraron por debajo de los límites establecidos por la Norma Oficial Mexicana, concluyéndose que la alfalfa actúa como un medio relevante de transferencia de metales pesados hacia los animales y su eliminación a través de la leche.

4.1.2. ANTECEDENTES A NIVEL NACIONAL

Bárcena (2011) realizó la tesis Determinación de metales en leche de ganado bovino de la microcuenca de Umachiri, región Puno, cuyo objetivo fue determinar la presencia de metales esenciales y tóxicos en leche cruda bovina. La metodología consistió en el análisis de muestras de leche provenientes de 15 establos de la cuenca lechera de Umachiri mediante espectrofotometría de emisión atómica con plasma acoplado inductivamente (ICP-AES), aplicando el método USEPA 200.7. Los resultados evidenciaron concentraciones elevadas de metales tóxicos, destacando que el plomo superó hasta 638 veces el límite máximo permisible (0,020 mg/kg), el cobre hasta 300 veces y el hierro más de 40 veces; asimismo, se registraron niveles de arsénico, cadmio y cromo muy por encima de sus valores normales, representando un riesgo toxicológico para el consumo de leche.

Chata (2015) realizó el estudio Relación de metales pesados (Hg, As, Pb y Cd) en agua y leche de la cuenca del río Coata, con el objetivo de determinar la relación existente entre la presencia de metales pesados en agua y leche. La investigación fue de tipo transversal y la metodología consistió en el análisis de seis muestras de agua y seis muestras de leche, recolectadas mediante muestreo no probabilístico por conveniencia, aplicando el método EPA mediante espectrofotometría de absorción atómica con llama; para el análisis estadístico se empleó la correlación de rangos de Spearman. Los resultados evidenciaron que la concentración promedio de mercurio en leche fue de 0,0028 mg/L, valor que no superó el límite máximo permisible de 0,005 mg/kg establecido por la Norma Técnica Ecuatoriana, mientras que el plomo presentó una

concentración promedio de 0,21 mg/L, superando el límite máximo permisible de 0,020 mg/kg fijado por el Codex Alimentarius y la Unión Europea; en tanto, el cadmio registró un promedio de 0,0037 mg/L, valor inferior al límite máximo permisible de 0,010 mg/kg establecido por la normativa vigente.

Pacco (2018) realizó la tesis de pregrado titulada Determinación de metales pesados (Hg, Pb y Cd) en leche de vacas alimentadas con pastos irrigados con aguas del río Llallimayo, provincia de Melgar, Puno, con el objetivo de determinar la concentración de mercurio, plomo y cadmio en la leche bovina. La metodología consistió en el análisis de 12 muestras de leche mediante la técnica de espectrofotometría de absorción atómica con horno de grafito, realizadas en el Laboratorio de la Unidad de Servicios de Análisis Químicos de la Facultad de Ingeniería Química de la Universidad Nacional Mayor de San Marcos. Los resultados mostraron concentraciones de plomo de 0,0256 mg/kg, mercurio de 0,0022 mg/kg y cadmio de 0,0012 mg/kg, concluyéndose que la leche proveniente de vacas alimentadas con pastos irrigados con aguas del río Llallimayo presenta concentraciones de metales pesados que superan los límites máximos permisibles establecidos por la normativa vigente.

Bernal (2019) realizó el estudio Niveles de metales pesados en los hatos lecheros del valle de Oxapampa, Pasco, Perú, con el objetivo de determinar el contenido de mercurio y plomo en los hatos lecheros de dicha zona. La metodología consistió en la recolección y análisis de muestras de leche, agua, suelo y pastos provenientes de los distritos de Oxapampa, Chontabamba y Huancabamba, considerando una población de 150 vacas pertenecientes a 13 hatos lecheros. Los resultados evidenciaron concentraciones promedio de plomo de 0,0576 mg/kg y de mercurio de 0,00264 mg/kg; si bien algunos valores se encontraron dentro de los límites máximos permisibles establecidos por la normativa internacional y peruana, el nivel de plomo detectado en la leche y el agua del distrito de Oxapampa superó dichos límites, generando un impacto negativo en la salud pública de la región central del país.

López (2021) realizó el estudio Determinación de la concentración de mercurio y plomo en leche bovina, su absorción y bioacumulación, y los posibles efectos en la salud humana, con el objetivo de determinar los niveles de mercurio y plomo en leche bovina y suelo. La metodología incluyó el análisis de muestras de suelo y leche para evaluar los

procesos de absorción y bioacumulación de estos metales. Los resultados evidenciaron concentraciones en suelo de 0,206 ppm de plomo y 0,042 ppm de mercurio, mientras que en la leche bovina se registró una concentración de plomo de 0,210 ppm; asimismo, se constató bioacumulación de plomo y mercurio desde los recursos naturales hacia la leche. Se concluyó que el consumo de leche contaminada con estos metales puede ocasionar efectos adversos en la salud humana, tales como anemia, alteraciones del sistema nervioso central, enfermedades cardiovasculares y gastrointestinales, e incluso cáncer.

4.1.3. ANTECEDENTES A NIVEL REGIONAL

Chullo (2021) realizó el estudio Calidad fisicoquímica, bacteriológica y metales pesados del río Cañipia para riego de vegetales y bebida de animales en Espinar, con el objetivo de evaluar la calidad del agua del río Cañipia, ubicado en una zona próxima a la operación minera Antapaccay. La metodología consistió en el muestreo de agua en tres zonas (Z1 Huini, Z3 San José y Z6 Puente Cañipia) durante los meses de agosto a octubre, analizándose los parámetros fisicoquímicos, bacteriológicos y la concentración de metales pesados. Los resultados evidenciaron concentraciones de plomo de 0,0013 mg/L en Z1, 0,012 mg/L en Z3 y 0,009 mg/L en Z6, mientras que los niveles de mercurio fueron de 0,00041 mg/L en las tres zonas evaluadas, valores que reflejan la presencia de metales pesados en el agua del río Cañipia.

Kcana (2023) realizó el estudio Niveles de concentración de metales pesados en leche de vacas en producción de la comunidad de Huisa Ccollana, cuenca del río Cañipia, Espinar – Cusco, con el objetivo de determinar las concentraciones de plomo y mercurio en leche bovina. La metodología consistió en el análisis de muestras de leche recolectadas de vacas en producción, clasificadas según número de parto, las cuales fueron analizadas en el laboratorio de la Unidad de Servicios de Análisis Químicos de la Universidad Nacional Mayor de San Marcos, mediante la técnica de espectrofotometría de absorción atómica con horno de grafito. Los resultados evidenciaron concentraciones de plomo de 0,033 mg/L en vacas de primer parto, 0,034 mg/L en vacas de segundo parto y 0,035 mg/L en vacas de tercer parto; mientras que las concentraciones de mercurio fueron de 0,034 mg/L, 0,023 mg/L y 0,030 mg/L, respectivamente, según el número de parto.

Vera y Nuñonca (2023) realizaron el estudio Niveles de concentración de plomo y mercurio en suero sanguíneo de alpacas y en pastos de bofedales y secano de la comunidad de Patacollana, distrito de Condoroma, Espinar – Cusco, con el objetivo de determinar la concentración de plomo y mercurio en suero sanguíneo de alpacas y en los pastos de la zona. La metodología consistió en el análisis de muestras de suero sanguíneo mediante la técnica de espectrofotometría de absorción atómica con horno de grafito, considerando alpacas clasificadas por edad y condición reproductiva. Los resultados evidenciaron concentraciones promedio de plomo en suero sanguíneo de 0,05 mg/L en alpacas jóvenes, 0,06 mg/L en adultas, 0,05 mg/L en primíparas y 0,04 mg/L en multíparas; mientras que las concentraciones promedio de mercurio fueron de 0,098 mg/L, 0,148 mg/L, 0,073 mg/L y 0,101 mg/L, respectivamente. Se concluyó que las concentraciones de plomo en alpacas jóvenes, adultas y primíparas, así como las de mercurio en todos los grupos evaluados, superan los límites máximos permisibles establecidos por la Organización Mundial de la Salud.

4.1.4. ANTECEDENTES A NIVEL DE LA ZONA

No se encontró estudios sobre los niveles de metales pesados en la leche, en suero sanguíneo, ni en agua y pastizales, a pesar de que existen minería artesanal y como la minería industrial; a pesar que se conoce que la contaminación por metales pesados es un problema a nivel mundial por su toxicidad y persistencia en la naturaleza por su bioacumulación en los organismos vivos, las fuentes son del decaimiento de las series radiactivas, por actividades antropogénicas, por la eliminación por uso de aguas residuales y por las actividades de minería (Sun et al. 2018).

4.2. BASES TEÓRICAS

4.2.1. LA LECHE

(FAO, 2005) la leche de vaca es producto de la secreción mamaria, obtenido por uno o varios ordeños, sin adición o sustracción alguna. La leche se considera un alimento básico y equilibrado, que proporciona un elevado contenido de nutrientes en relación al contenido calórico; es decir, una excelente densidad nutricional, lo que es de especial

importancia en grupos vulnerables de la población, como el caso de la población mayor o en las etapas de crecimiento exponencial rápido y anabólico (Press, 2011),

4.2.2. LA LECHE COMO ALIMENTO HUMANO

La leche es alimento de valor nutricional, con un contenido de aminoácidos, grasas, carbohidratos, vitaminas y minerales, y bajo contenido de gérmenes patógenos, de células somáticas, con ausencia de cuerpos extraños y con sabor y olor normales; la leche es fuente excelente de la mayoría de los minerales requeridos para el crecimiento del lactante y para el mantenimiento de la integridad de los huesos en el adulto (Parra et al., 2003).

4.2.3. EL CALOSTRO COMO ALIMENTO DEL TERNERO

La calostro posee inmunoglobulinas que el ternero requiere para adquirir inmunidad frente a los organismos infecciosos (virus, bacterias, etc.); la concentración de inmunoglobulinas en el calostro es un factor muy importante para asegurar un nivel adecuado de inmunoglobulinas séricas, en el ternero recién nacido; el calostro debe ser suministrado al ternero lo más pronto posible después del nacimiento, su capacidad de absorción decrece casi a cero a las 36 horas de edad; las inmunoglobulinas son estables en el torrente circulatorio del ternero por 60 días, otorgando protección, hasta que el sistema inmune es funcional; el calostro puede almacenarse congelado para dársele a otros terneros (Wattiaux, 2003).

4.2.4. PROPIEDADES QUÍMICAS DE LA LECHE DE VACA

La leche es la secreción mamaria normal de animales lecheros obtenidos a partir de uno o más ordeños sin ningún tipo de adición o extracción, destinados al consumo en forma de leche líquida o a elaboración ulterior (FAO, 2008).

Existen varios factores que influyen la composición de la leche, tales como, la genética, la raza, la etapa de lactancia, el número de parto, la dieta (cantidades de granos o forrajes), el estado nutricional de la vaca y la época de parto (Jenkis, 2006).

TABLA 1. Composición nutricional de la leche entera

Componentes	Entera
Agua %	88.30
Proteína %	3.20
Grasa %	3.20
Cenizas %	0.70
Carbohidratos %	4.50
Energía, Kcal/100 g	60
Colesterol, mg/100 g	10.00
Ácidos grasos, % Total saturados	64.90
Monosacáridos	28.30
Polisacáridos	6.80

Fuente: (Jenkis, 2006)

4.2.5. VACAS EN PRODUCCIÓN EN LA ZONA

En distrito de Velille cuenta aproximadamente con 7,319 cabezas de los cuales en la comunidad de Collana existe 1604 cabezas en diferentes clases y sexo; la producción de leche en promedio es de 10 a 15 litros por vaca, con 1 solo ordeño por día, su alimentación de los vacunos es a base pastos naturales y cultivados, con manejo de sistema extensivo. La crianza de vacunos constituye factor principal por ser fuente de ingreso económico para el productor (observación directa en 2025).

4.2.6. METALES PESADOS

Los metales pesados son tóxicos ambientales muy peligrosos, y sus características más comunes son: persistencia, bioacumulación, biotransformación y elevada toxicidad, todo lo cual hace que se encuentren en los ecosistemas por largos periodos, ya que su degradación natural es difícil. Se define a los metales pesados como elementos de elevado peso atómico, potencialmente tóxicos, que se emplean en procesos industriales, tales como el cadmio (Cd), el cobre (Cu), el plomo (Pb), el mercurio (Hg) y el níquel (Ni) que, incluso en bajas concentraciones, pueden ser nocivos para las

plantas y los animales. Se denomina metales pesados a aquellos elementos químicos que poseen un peso atómico comprendido entre 63.55 (Cu) y 200.59 (Hg), y que presentan un peso específico superior a 4 (g cm^{-3}). Cabe destacar que en esta categoría entran prácticamente todos los elementos metálicos de interés económico, por tanto, de interés minero (Wittmann, 1981).

El plomo causa trastornos del sistema nervioso central, anemia, daño a los riñones, hígado, corazón y vasos sanguíneos, el sistema inmunológico sistema, el sistema genital, el tracto digestivo y el desarrollo del cáncer y diversos cánceres, el plomo también puede causar encefalitis. litis y hepatitis (Ziarati *et al.*, 2018).

4.2.7. PRINCIPALES FUENTES DE CONTAMINACIÓN Y GENERACIÓN DE METALES PESADOS

Hay que seguir el proceso natural, es decir donde están distribuidos y donde están concentrados. El más importante por su abundancia es el plomo que está presente en las cañerías de plomo, que actualmente ya no se usan y han sido reemplazadas por el plástico, sin embargo, muchas de las instalaciones de la ciudad tienen todavía cañerías de plomo, entonces el agua al pasar por la cañería de plomo va desprendiendo partículas y poco a poco va contaminando, esa es una fuente. Otra fuente es la pintura de plomo que se usa en las artesanías, especialmente en utensilios de cocina, entonces, al momento de comer, se desprende el plomo de la pintura y se introduce al organismo. Una tercera fuente es la gasolina que antes se la usaba con plomo ahora ya está eliminado (Erostequi, 2009).

a. Origen antropogénico

Se entiende por contaminación de origen antropogénico a la intervención humana en el ciclo biogeoquímico de los metales pesados Actualmente es difícil encontrar una actividad industrial o un producto manufacturado en los que no intervenga algún metal pesado los principales orígenes antropogénicos de metales pesados pueden ser agrupados de acuerdo a las principales actividades económicas que se realizan en las poblaciones locales que dependen e inciden directamente en la salud del río:

agropecuario (agrícola, ganadero y acuícola), industriales (extracción forestal, bancos de materiales) y doméstico (Wittmann, 1981).

b. Origen agropecuario

Los metales pesados en las aguas continentales son los causados por la lixiviación de los terrenos de cultivo en los que se ha producido una acumulación previa de dichos elementos debido al uso o abuso de pesticidas, fertilizantes y desechos orgánicos susceptibles de ser utilizados como abono; el empleo sistemático de fertilizantes, biocidas, y abonos orgánicos son el principal foco de contaminación difusa de los suelos, así como la eliminación incontrolada de los envases de dichos productos, los metales presentes en los terrenos alcanzan los cursos de agua no sólo directamente al ser lixiviados por la escorrentía superficial (aguas de riego y tormentas), sino también indirectamente al infiltrarse desde acuíferos previamente contaminados (Eróstegui, 2009)

c. Los efectos de la contaminación por metales pesados en la salud

Cada metal y cada elemento químico contaminante tienen el mecanismo de acción y lugar de acumulación preferido, el plomo que afecta el sistema nervioso llega a dañar a las neuronas especialmente las del cerebro, la médula ósea y riñón específicamente en sistema tubular de las nefronas, la intoxicación por plomo puede simular otras enfermedades, como por ejemplo la esclerosis, que es una enfermedad incurable muy complicada en cuanto a sus síntomas, y la intoxicación por plomo puede simular y afectar al sistema nervioso con la misma sintomatología, como parestesias, paresias, fatiga y generación de conductas antisociales y también hay una relación con retardo mental y pérdida de habilidades cognitivas, en cuanto al riñón, los metales pesados a la larga van a producir daño renal, que puede llegar hasta una insuficiencia renal (Eróstegui, 2009).

4.3. PRINCIPALES METALES PESADOS

4.3.1. MERCURIO

El mercurio es uno de los metales pesados que se conoce y utiliza desde la antigüedad;

la muestra de mercurio líquido más antigua de que se tiene noticias se encontró en una tumba egipcia en Kurna y data de 1 600 a.c. En China e India también se conocía el mercurio en la misma época (Moreno, 2003).

El mercurio de la forma química en que se encuentre presenta tres estados de oxidación: mercurio elemental, compuestos mercuriosos y compuestos mercúricos; por otra parte, las tres sales de mercurio se encuentran frecuentemente en las aguas de los ríos. Además de estas formas inorgánicas el mercurio también se encuentra en compuestos orgánicos entre los que destaca por sus efectos toxicológicos y ambientales el metilmercurio, y este último, puede provocar alteraciones elementales es el único metal líquido al que se le conocen múltiples efectos tóxicos dependiendo del desarrollo normal del cerebro de los lactantes e incluso en altas concentraciones puede causar modificaciones neurológicas en los adultos (Méndez, 2002).

Toxicidad de Mercurio

El mercurio puede ingresar al organismo por las siguientes vías: inhalatoria, oral y dérmica. La vía oral es la principal vía de ingreso ya que se absorben del 90 al 95% en el tracto gastrointestinal. La toxicidad del mercurio se encuentra directamente relacionada a su unión covalente con los grupos sulfhidrilos (SH) también tiene afinidad a los grupos carboxilos, amidas, aminas, lo que contribuye a su toxicidad a nivel de la membrana citoplasmática esta posee grupos sulfhidrilos que son esenciales para las propiedades normales de permeabilidad y transporte. Inhibe enzimas esenciales como las catalasas plasmáticas, asimismo afecta la homeostasis del ion calcio, incluso en exposiciones a corto plazo (menores a 24 horas) produciendo muerte neuronal (Moreno, 2003).

Toxico dinámica del Mercurio

Los efectos tóxicos del mercurio, inorgánico y orgánico, se deben a que en su forma se unen a los constituyentes orgánicos celulares ricos en grupos sulfhidrilos y afectan así a diversos sistemas metabólicos y enzimáticos de la célula y de su pared; la acción tóxica del mercurio sobre los sistemas enzimáticos ocurre porque precipita las proteínas sintetizadas por la célula, principalmente las neuronas, y porque inhibe los

grupos de varias enzimas esenciales. En estado iónico, se fija a los grupos celulares ricos en radicales sulfhídrico, altera varios sistemas metabólicos y enzimáticos de la célula y su pared, e inhibe la síntesis de proteínas en la mitocondria y afecta su función energética. En el riñón disminuye la actividad de las fosfatasas alcalinas de los túbulos (Valdivia, 2005).

Proximal y altera el transporte de potasio y la ATPasa en la membrana. En el sistema enzimático inhibe enzimas esenciales. Por todo esto, el mercurio puede causar lesión celular en cualquier tejido donde se acumule en concentración suficiente. En varios órganos, incluido el riñón, y al igual que el cadmio, cobre y zinc, el mercurio induce la formación de metalotioneína, un receptor proteico de peso molecular bajo, y se une a ella saturando sus propios receptores. Cuando por la gran cantidad de tóxico presente la metalotioneína se forma en exceso, causa alteraciones orgánicas en el mismo sitio de su producción. El metilmercurio provoca una disminución de los anticuerpos humorales. Se ha observado que puede producirse un estímulo de la respuesta inmunitaria inicialmente tras cortas exposiciones. También puede fijarse sobre los ácidos desoxirribonucleicos con desnaturalización o asociaciones reversibles a la adenina y timina, lo cual podría explicar las aberraciones cromosómicas y anomalías congénitas observadas durante las intoxicaciones alimentarias con metilmercurio (Valdivia, 2005).

4.3.2. PLOMO

El plomo es un metal que se encuentra bastante distribuido en la naturaleza, el hombre ha hecho uso de él desde hace 6 000 años, así los antiguos egipcios utilizaban compuestos de plomo como pigmentos, cosméticos y para la fabricación de estatuillas. La primera civilización que utilizó el plomo a gran escala fue Roma para fabricar tuberías del acueducto, en aleaciones con estaño para fabricar vajillas y como Pigmento blanco (Moreno, 2003).

La absorción de plomo puede constituir un grave riesgo para la salud pública. Puede provocar un retraso del desarrollo mental e intelectual de los niños y causar hipertensión y enfermedades cardiovasculares en los adultos. En los diez últimos años los contenidos de plomo de los productos alimenticios se redujeron sensiblemente

porque aumentó la sensibilización ante el problema sanitario que puede representar el plomo y por los esfuerzos realizados para reducir la emisión de plomo en su origen. En el dictamen de 19 de junio de 1992 el SCF establecía que el contenido medio de plomo en los productos alimenticios no debe ser causa de alarma, pero que debe de proseguirse la monitorización a largo plazo con el objetivo de continuar reduciendo los contenidos medios de plomo en los productos alimenticios (CE, 2006).

Toxicidad del plomo

El plomo se absorbe por vía digestiva, respiratoria e incluso por la piel. Sólo un porcentaje del total del Pb ingerido por vía gastrointestinal es absorbido entre el 10 y 15% en adultos, el 50% en niños, la absorción de plomo aumenta cuando el aporte de minerales y proteínas en la dieta es inadecuado, así aquellos con deficiencia de hierro, calcio o zinc están en mayor riesgo de toxicidad. El calcio de la dieta inhibe completamente el transporte activo del plomo intestinal. La neuropatía por plomo se produce por toxicidad de las neuronas motrices hasta anterior de la medula espinal o degeneración de las terminaciones axónicas y el recubrimiento de la mielina. El plomo es un neurotóxico periférico y central interfiere la liberación de la acetilcolina, la síntesis consecuente de acetilcolina, la adenil-ciclasa del SNC e inhibe a la enzima del glóbulo rojo delta aminolevulinico dehidratasa. La vida media del plomo en sangre es aproximadamente 30 días. se distribuye en todos los tejidos teniendo afinidad por el sistema nervioso central, en especial por el que se encuentra en desarrollo, se acumula principalmente en los huesos donde puede permanecer hasta 20 años donde puede ser removido como sucede en la lactancia, originando niveles de plomo en la leche materna (Moreno, 2003).

El plomo es un neurotóxico periférico y central interfiere la liberación de la acetilcolina, la síntesis consecuente de acetilcolina, la adenil-ciclasa del SNC e inhibe a la enzima del glóbulo rojo delta aminolevulinico dehidratasa, la vida media del plomo en sangre es aproximadamente 30 días. se distribuye en todos los tejidos teniendo afinidad por el sistema nervioso central, en especial por el que se encuentra en desarrollo, se acumula principalmente en los huesos donde puede permanecer hasta 20 años donde puede ser

removido como sucede en la lactancia, originando niveles de plomo en la leche materna (Moreno, 2003).

La energía radiante o flujo que es transmitido absorbido o reflejado por una superficie, como una función de la longitud de onda, este método permite llevar a cabo un análisis cualitativo y cuantitativo de entre 70 y 80 elementos, los límites de detección para muchos de estos elementos son de una parte por mil millones, en la espectroscopia de absorción atómica es necesario llevar a la muestra a un estado de vapor atómico, este proceso conocido como atomización, consiste en volatilizar la muestra y descomponerla en sus átomos y quizás en algunos iones gaseosos. Para la atomización de las muestras que se van a analizar por espectroscopia de absorción atómica se utiliza principalmente la atomización a la flama y la atomización en horno (Guillen y Matus, 2012).

Absorción

La absorción de plomo depende del tipo de sal, como óxidos, sales o compuestos orgánicos como el tetraetil y tetrametilo de Pb (Córdoba, 2006). Sus principales vías de ingreso son por vía la aérea y oral; teniendo en cuenta que los compuestos orgánicos de este metal pueden absorberse en niveles realmente peligrosos como es el caso del tetraetil de plomo con una dosis mortal de 700 mg/kg en conejos (Córdoba, 2006; Ramírez, 2005).

Por Inhalación

El Plomo puede ser inhalado en forma de aerosol, las partículas con un diámetro $> 5 \mu\text{m}$ se depositan principalmente en la parte superior y medias de las vías respiratorias, estas partículas son absorbidas desde el tracto gastrointestinal cuando son inhaladas por la boca con un tamaño en el intervalo $0,01\text{-}5 \mu\text{m}$, 10 a 60% se depositan en la vía alveolar y en el caso de partículas inhaladas a través de la nariz la fracción absorbida es mucho más baja; la absorción depende de la solubilidad de las especies químicas (Valdivia 2005).

Por ingestión:

El Pb se absorbe en el tracto gastrointestinal, aproximadamente hasta un 60%, en las comidas, por las sales de Pb solubles aproximadamente un 8% son absorbidas, después de la ingestión de Pb, éste se absorbe activamente, dependiendo del tamaño, tránsito gastrointestinal, estado nutricional y la edad; hay mayor absorción de plomo si la partícula es pequeña, si hay deficiencia de hierro y/o calcio, si hay gran ingesta de grasa ó inadecuada ingesta de calorías, si el estómago está vacío y si se es niño, ya que en ellos la absorción de plomo es de 30 a 50 % mientras que en el adulto es de 10%, una ingesta baja en Fe se ha asociado con un aumento de absorción de Pb (Valdivia, 2005).

Distribución

Posterior a su absorción el plomo se distribuye en compartimentos (hueso, sangre y tejidos blandos), inicialmente circula en sangre unido a los glóbulos rojos (un 95% unido a eritrocitos; posteriormente se distribuye en tejidos blandos (hígado, riñón, medula ósea y sistema nervioso central); pasado entre uno y dos meses se difunde a los huesos donde permanece inerte y no toxico (Valdivia, 2005).

En sangre el plomo es absorbido y transportado por la sangre y distribuido en un 90% a hueso y el restante a tejidos blandos, hígado y riñón, atraviesa fácilmente la barrera placentaria y trae también efectos deletéreos en el feto, la vida media del Pb en el organismo es variable, según el lugar en donde se encuentra; de 3 a 4 semanas si el metal se encuentra en sangre; de 4 semanas si se depositó en tejidos blandos y de 20 a 27 años si está en tejido óseo (Arroyave, 2008).

Dentro de la sangre está presente en los eritrocitos, dejando sólo una fracción de menos de 1 al 5 % libre en el plasma; las altas concentraciones de Pb en sangre de la fracción de Pb en plasma aumentan. La razón de la unión de Pb en los eritrocitos parece ser la alta afinidad del Pb por la deshidratasa ácido δ -aminolevulínico, una enzima presente en todas las células, incluyendo los eritrocitos, es la segunda enzima en la vía hemo; es una enzima de 250-kDa, que contiene cuatro sitios activos, cisteínas reactivas, y dos tipos diferentes de sitios de unión a Zn, el Pb puede reemplazar algo de Zn (Ramírez, 2005).

Eliminación

El Pb se excreta del cuerpo, principalmente a través de la orina y las heces; también hay otras rutas de menor de eliminación, por orina en un 76% y en heces 16%, siendo claramente la vía urinaria la más relevante, se menciona que existe filtración glomerular y un relativo grado de reabsorción tubular; igualmente que en los niños la vía de eliminación gastrointestinal es tan relevante como la vía urinaria (Córdoba, 2006; Nordberg, 2007). En exposiciones bajas, la excreción en las heces es aproximadamente la mitad que en la orina, a niveles más altos probablemente menos (Nordberg, 2007).

En los riñones la excreción en la orina se produce a través filtración glomerular, aunque la filtración es, probablemente, seguida por la reabsorción tubular parcial. Hay un ritmo circadiano en la tasa de excreción urinaria del Pb, con una disminución durante la noche, por otra parte, la tasa de excreción se ve afectada por el flujo urinario, el Pb también se excreta a través de la bilis y jugo pancreático., el Pb en cierta medida es excretado en la saliva y el sudor, se excreta en cantidades muy mínimas como en las en las uñas y el pelo, el Pb también se incorpora en el semen, la placenta, el feto y la leche (Ramírez, 2005).

4.4. CONTENIDO MÁXIMO DE METALES PESADOS

TABLA 2. Contenido máximo de metales pesados según la Unión Europea.

Metales	Carne de vacunos, Ovinos, cerdos y aves (mg/dL)	Riñón de vacunos, Ovinos y cerdos (mg/dL)	Hígado de vacunos, Ovinos y cerdos (mg/dL)
Mercurio	1.0		
Plomo	0.10	0.5	0.5

Fuente: (Unión Europea, 2006).

TABLA 3. Contenido máximo de metales pesados (Plomo y Mercurio) en leche según la Unión Europea

Indicador	Nombre de metal	Contenido máximo (mg/Kg)
Metales pesados (Pb y Hg) en la leche	PLOMO	0,02
	MERCURIO	0.005

Fuente: Unión Europea.2006

V. MATERIALES Y METODOS

5.1. METODOLOGIA DE LA INVESTIGACION

5.1.1. ENFOQUE DE LA INVESTIGACION

La investigación se desarrolló bajo un enfoque cuantitativo, debido a que se realizó la medición numérica de las concentraciones de plomo (Pb) y mercurio (Hg) en la leche de vacas en producción, y los datos obtenidos fueron sometidos a análisis estadístico.

5.1.2. TIPO DE INVESTIGACION

El estudio es de tipo aplicada, ya que los resultados obtenidos permiten generar información útil para la evaluación de la inocuidad alimentaria y la toma de decisiones en salud pública y control sanitario.

5.1.3. NIVEL O ALCANCE DE LA INVESTIGACION

El nivel de la investigación es descriptivo-comparativo, puesto que se describen los niveles de concentración de plomo y mercurio en la leche y se comparan entre sí, así como con los límites máximos permisibles establecidos por normas internacionales.

5.1.4. DISEÑO DE LA INVESTIGACION

El diseño de la investigación es no experimental, debido a que las variables no fueron manipuladas, sino observadas y analizadas tal como se presentan en su contexto natural.

5.1.5. CORTE DE LA INVESTIGACION

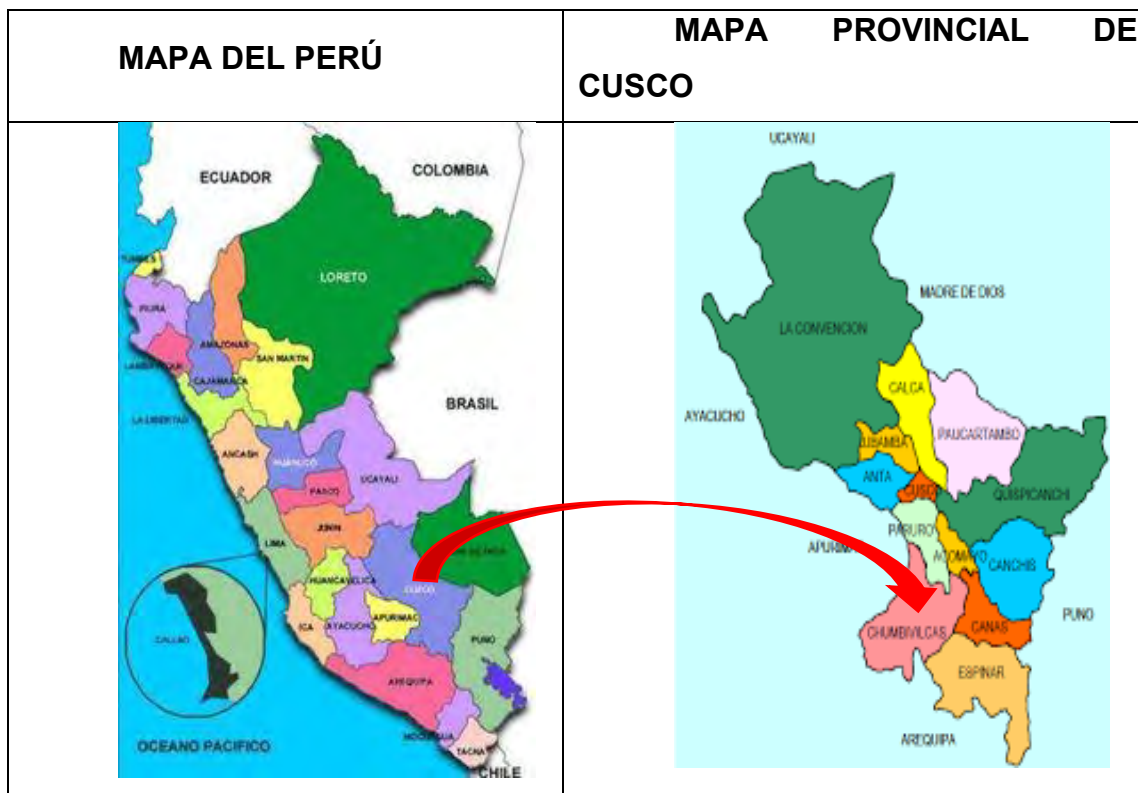
El estudio es de corte transversal, ya que la recolección de las muestras y el análisis de los datos se realizaron en un solo momento en el tiempo.

5.2. UBICACIÓN GEOGRAFICA

El distrito de Velille está ubicado a 3738 msnm con densidad poblacional de 12,08 hab/km², coordenadas 14°30'32" S, 71°53'7" W, UTM 8394029 188999 19. El distrito de

Velille cuenta 73126 vacunos que representa la mayor población de la ganadería en relación a los demás de la provincia de Chumbivilcas (Cenagro, 2012).

FIGURA 1. Ubicación geográfica del ámbito de estudio



Fuente: Elaboración Propia - 2025

La provincia de Chumbivilcas tiene 5,371.10 km² de superficie, conformado por los distritos de Velille, Santo Tomas, Colquemarca, Livitaca, Llusco, Quiñota, Ccapacmarca y Chamaca con altitudes que varían desde 2,550 hasta 5,438 msnm, con una población de 75,5851 habitantes, mientras Velille cuenta con 9143 habitantes que representa 13.77% de la población de la provincia de Chumbivilcas (INEI, 2017).

En el ámbito de estudio que la comunidad de Collana del Distrito de Velille realizan la actividad minera de manera artesanal y además se encuentra la parte cabecera de río C'haychapampa, es donde se encuentra la mayor población de ganado vacuno dedicados a la producción de leche destinado para consumo humano (PDLC, 2023).

5.3. POBLACIÓN DE VACUNOS

En la provincia de Chumbivilcas la población de vacunos en promedio es de 13578 unidades, de los cuales con mayor población se encuentra criollos con 7679 cabezas seguida de la raza Brown Swiss con 5247 cabezas (INEI, 2012). La población de vacunos en el distrito de Velille es de 7319 cabezas de los cuales en la comunidad Collana cuenta con 1604 cabezas que representa 21.7% del distrito (Encuesta comunal al 2024).

5.4. TAMAÑO DE LA MUESTRA

Para la determinación de animales para el estudio se utilizará la técnica de muestreo no probabilístico por conveniencia, conformado 25 vacas en producción de las razas Brown Swiss, Holstein e Híbridas (tabla 4).

TABLA 4. Distribución de las muestras de leche para análisis

Metales pesados	Numero de vacas en producción	Total, de muestras de leche
Mercurio	25	25
Plomo		25
Total, de muestras de vacas	25	50

5.5. DESCRIPCIÓN DE MÉTODO SEGÚN PROTOCOLO DE LABORATORIO DE QUÍMICA DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL MAYOR DE SAN MARCOS LIMA.

5.5.1. DESCRIPCIÓN DE ACTIVIDADES

PROCEDIMIENTO DEL MUESTREO

Las muestras de leche se recogieron en falcón de polipropileno (50 ml) de los pezones de las vacas durante el primer ordeño a primeras horas del día los cuales se almacenaron aproximadamente a una temperatura aproximada de 4 °C mediante el uso de hielo en gel y baterías de hielo, colocadas en un cooler hermético, para luego ser enviado al

laboratorio de la Unidad de Servicios de Análisis Químicos de la Universidad Nacional Mayor de San Marcos de la Ciudad de Lima para su respectivo análisis de laboratorio.

MATERIALES PARA TOMA DE MUESTRA

- Falcon de polipropileno de 50 ml limpios y estériles.
- Bolsas de plástico herméticos
- Caja de tecno por
- Hielo
- Gel
- Guantes

MATERIALES, REACTIVOS, EQUIPOS DE LABORATORIO (EQUIPOS E INSTRUMENTOS)

Materiales

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

Reactivos

- Standard certificado de Pb, Hg y Cd.
- Ácido nítrico (HNO_3) grado Suprapur al 65 –70 %.
- Agua desionizada.
- Solución de ácido nítrico (HNO_3) grado Suprapur al 1 % (v/v).

Equipos

- Equipo de absorción atómica SHIMADZU AA-6800.
- Horno de grafito SHIMADZU, modelo GFA-EX7.
- Inyector automático (autosampler) modelo ASC-6100.
- Computadora.
- Plancha térmica, Marca CAT, Modelo H30/45.
- Balón de Argón, 99.999% de pureza.

- Balanza analítica SHIMADZU AUW120 d: 0.1mg.

5.5.2. DETERMINACIÓN DE METALES PESADOS POR ESPECTROFOTOMETRIA DE ABSORCIÓN ATÓMICA POR TÉCNICA DE HORNO DE GRAFITO.

Reactivos:

- Estándar certificado de plomo de 1000 mg/L
- Estándar certificado de mercurio de 1000 mg/L
- Ácido nítrico, HNO_3 concentrado ultrapuro, para preparación de estándares.
- Ácido nítrico, HNO_3 concentrado para análisis de trazas, para la digestión de las muestras.
- Diluyente, Ácido nítrico, 0.2 %: Medir 2 ml de ácido nítrico concentrado ultrapuro y llevar a una fiola de 1 litro, enrasar a la marca con agua ultrapura.
- Agua desionizada

Materiales

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

Equipos

- Equipo de absorción atómica SHIMADZU AA-6800
- Horno de grafito GFA-EX7
- Inyector automático, Autosampler ASC-6100
- Computadora
- Plancha térmica, Marca CAT Modelo H30/45
- Balón de Argón, 99.999% de pureza
- Balanza analítica SHIMADZU AUW120 d: 0.1mg

Preparación de las muestras de leche:

Homogeneización y pesado de la muestra

- La muestra de leche fue previamente homogeneizada mediante agitación manual, con la finalidad de asegurar una distribución uniforme de los componentes y evitar sesgos en la determinación de metales.
- Posteriormente, se empleó un crisol previamente lavado, secado y tarado, en el cual se procedió al pesado de la muestra.
- Utilizando una pipeta Pasteur de plástico de 10 mL, se tomó una alícuota equivalente a 25 g de leche, cantidad seleccionada por ser representativa y adecuada para el proceso de digestión.

Secado de la muestra

- La muestra fue llevada a una estufa de secado a 40 °C, temperatura controlada para evitar la volatilización de compuestos metálicos, hasta alcanzar peso constante, lo que garantizó la deshidratación completa.

Digestión ácida

- Una vez seca, la muestra fue sometida a digestión ácida, adicionando 10 mL de ácido nítrico (HNO_3) 2 N, reactivo utilizado por su capacidad de oxidar la materia orgánica y liberar los metales presentes.
- La digestión se realizó en una plancha de calentamiento, manteniendo la temperatura hasta alcanzar la sequedad del residuo, asegurando la descomposición completa de la matriz orgánica.

Calcinación en mufla

- El residuo obtenido fue colocado en una mufla a 400 °C durante 8 horas, con el objetivo de eliminar completamente la materia orgánica remanente y obtener cenizas minerales.

- Tras el enfriamiento a temperatura ambiente, la muestra fue sometida a un segundo ciclo de calcinación bajo las mismas condiciones, con la finalidad de asegurar la estabilidad y pureza de las cenizas obtenidas.

Disolución y aforo

- Las cenizas resultantes fueron disueltas cuidadosamente en agua desionizada, garantizando la solubilización de los metales.
- La solución fue filtrada utilizando papel filtro Whatman N.º 40, evitando la presencia de partículas sólidas que pudieran interferir en el análisis instrumental.
- El filtrado se colectó en una fiola volumétrica de 25 mL, completando el volumen con agua desionizada para obtener una solución final homogénea.

Control de calidad: blanco de digestión

- De manera paralela, se preparó un blanco de digestión, sustituyendo la muestra de leche por agua ultrapura, y siguiendo exactamente el mismo procedimiento.
- El blanco permitió controlar posibles contaminaciones provenientes de reactivos, materiales o del ambiente durante el proceso analítico.

5.6. VARIABLES DEL ESTUDIO

TABLA 5. Identificación de variables

VARIABLE	DIMENSIONES	INDICADORES	
VARIABLE INDEPENDIENTE	Producción lechera	Vacas en producción de leche de la comunidad de Ccollana.	
VARIABLE DEPENDIENTE: Metales pesados en la leche (Pb y Hg)	Nivel de Plomo en la leche	Nivel permisible en leche ≤ 0.02 mg/kg	Nivel no permisible en leche ≥ 0.021 mg/kg
	Nivel de Mercurio en la leche	Nivel permisible en leche ≤ 0.005 mg/kg	Nivel no permisible en leche ≥ 0.0051 mg/kg

VI. RESULTADOS Y DISCUSIONES

6.1 Niveles de plomo y mercurio en leche de vacas en producción

Los niveles de plomo (Pb) y mercurio (Hg) en la leche de vacas en producción en la comunidad de Ccollana en la cuenca de río Velille Chumbivilcas Cusco, fueron para plomo de 0.0071 mg/L y para mercurio de 0.0003 mg/L. Existe diferencia estadística significativa ($P < 0.05$) entre los dos metales.

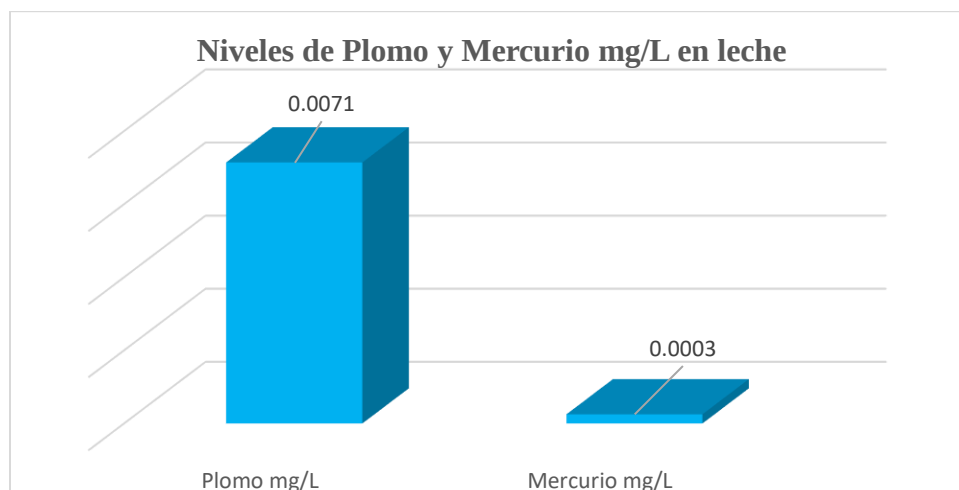
TABLA 6. Niveles de plomo y mercurio en la leche de vacas en producción

Metales	Promedio (mg/L)	DE	CV	Mínimo	Máximo
Plomo	0.0071 ^a	± 0.0042	0.59	0.0017	0.017
Mercurio	0.0003 ^b	± 0.00013	0.59	0.00001	0.00049

a y b Letras diferentes indican que existe diferencias significativas.

($p = 1.35765505713825E-10$. ($P < 0.05$)).

FIGURA 2. Niveles de plomo y mercurio en leche



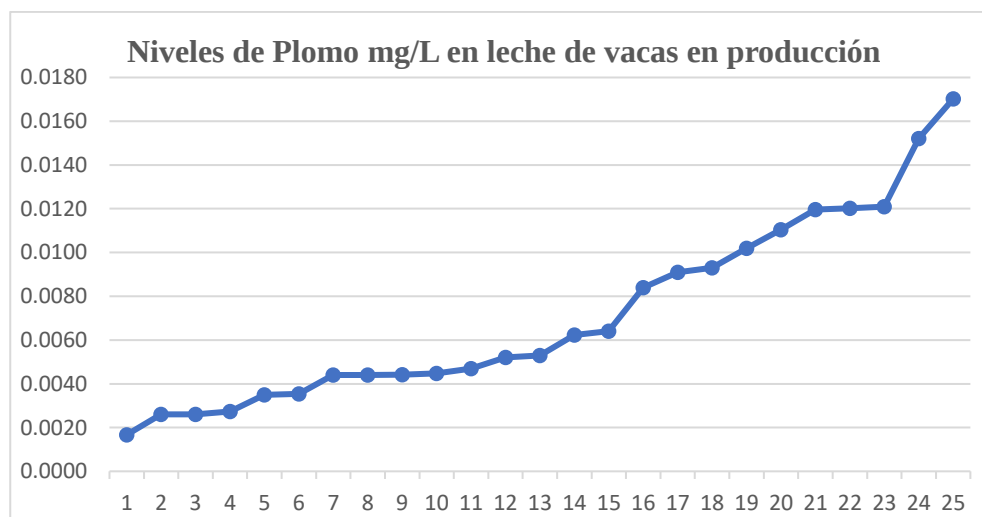
Los niveles de plomo y mercurio en las vacas en producción no sobrepasan a los límites máximos establecidos por (Unión Europea, 2006), donde determinan para plomo de 0,02 mg/L y para mercurio de 0.005 mg/L; lo que significa que la leche procedente de la zona está en condiciones aptas para consumo humano, por lo tanto no representa un riesgo inmediato para la salud del consumidor; a pesar de que existe la actividad de minería

artesanal e informal en la zona, sin embargo no implica que está libre de contaminación por metales pesados, es posible que exista otros metales que podría estar elevados por la actividad antropogénica y en los mamíferos como procedencia natural.

6.1.1. Niveles de plomo en la leche en vacas en producción

Los niveles de plomo (Pb) en la leche de vacas en producción en la comunidad de Ccollana en la cuenca de río Velille Chumbivilcas Cusco fueron en promedio de 0.0071 ± 0.0042 mg/L, con valores mínimos de 0.0017 y máximo de 0.017 mg/L; los niveles de concentración de plomo varían ampliamente entre vacas por cuanto el coeficiente de variabilidad fue de 59% (Figura 2).

FIGURA 3. Niveles de plomo (mínimos y máximos en leche)



Los resultados del presente estudio son inferiores en relación con los reportes de (Kcana, 2023), en su estudio realizado en la comunidad de cuenca de Huisa Ccollana de la Cuenca de Río Ccañipia Espinar – Cusco; donde las muestras fueron analizadas en el laboratorio de la Unidad de Servicios de Análisis Químicos de la Universidad Nacional Mayor de San Marcos Lima, mediante la técnica de absorción atómica con horno de grafito; en su resultado reporto niveles de plomo en leche 0.033 mg/L en vacas de primer parto; 0.034 mg/L en vacas de segundo parto; 0.035 mg/L en vacas de tercer parto; las

diferencias se atribuyen por la ubicación de estudio que están en zona de influencia de la actividad minera.

En el estudio realizado en niveles concentración de plomo y mercurio en suero sanguíneo de alpacas y en los pastos de los bofedales y secano de la comunidad de Patacollana Condoroma Espinar Cusco; las muestras fueron analizadas mediante la técnica de espectrofotometría de absorción atómica con horno de grafito; en su resultados reportaron niveles promedios de concentración de plomo en suero sanguíneo de 0.05, 0.06, 0.05 y 0.04 mg/L para las alpacas jóvenes, adultas, primíparas y multíparas respectivamente Vera y Nuñonca, 2023), las diferencias se atribuyen a la ubicación de área de influencia de la actividad minera y el consumo de pastizales regados con agua afluentes de la actividad minera a pesar que son resultados en diferentes especies.

Por otro lado, en el estudio realizado por (Chullo, 2021) sobre la calidad fisicoquímica, bacteriológica y metales pesados del río Cañipia para riego de vegetales y bebida de animales en Espinar ubicada próxima a las limitaciones de la minera Antapacay, de tres zonas de muestras entre los meses de agosto a octubre, reportó niveles de plomo de 0.0013, 0.012 y 0.009 mg/L en los tres zonas, dichos resultados son superiores en relación al presente estudio, las diferencias se atribuyen por la ubicación de estudio en área de influencia de la actividad minera.

Los valores del presente estudio son inferiores en relación al estudio realizado por (López, 2021), donde reportó 0.210 mg/L en leche de vacunos en Cajamarca Perú; las diferencias se deben posiblemente por el consumo de pastos y agua que están ubicadas en áreas de influencia de la actividad industrial y/o actividad minera en dicha zona, además se atribuye al sistema de alimentación a que están expuestos los animales; mientras (Mendoza & Medina, 2013) en su estudio de niveles de plomo y cadmio en vacas de la provincia de Chancay Huaral, reportó 0.0186 mg/Kg, dicho valor es superior en relación al presente estudio, las diferencias se atribuyen por la ubicación del estudio y área de influencia de la actividad minera, por cuanto el presente estudio fue realizado en comunidad de crianza en pastos naturales y algunos en pastos cultivados que no tienen muy cerca de la actividad minera artesanal.

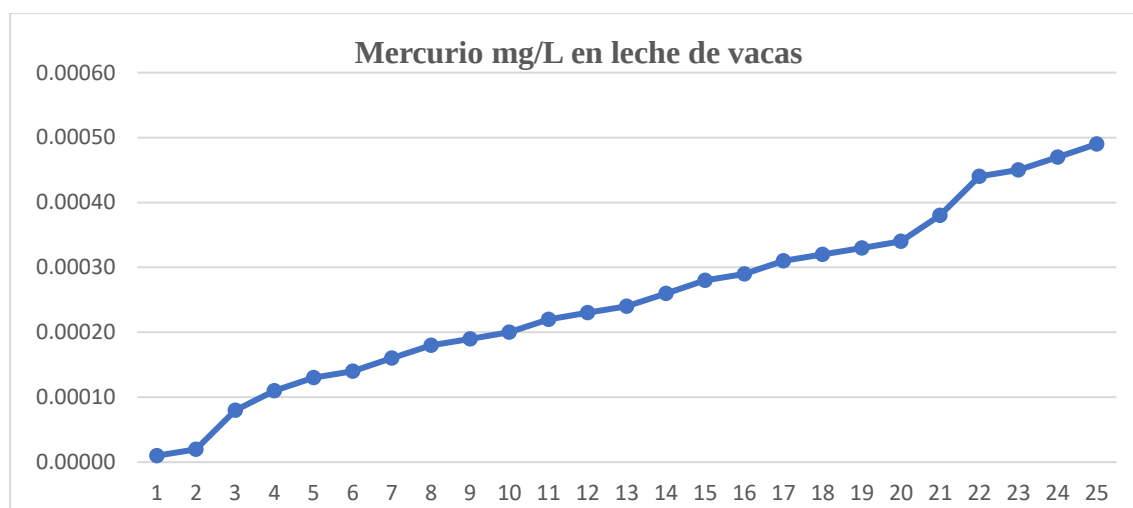
En el estudio realizado por Según (Moreno, 2018) sobre los niveles de metales pesados en leche de vacas alimentadas con alfalfa en Puebla México reportó 0.039 a 0.059 mg/kg, dichos valores son superiores en relación con el presente estudio posiblemente a que la vacas consumen pastos cultivados, mientras las vacas del presente estudio se encuentran en sistema de producción extensivo con consumo de pasto naturales y cultivados. Mientras según (Bernal, 2019) en su estudio de metales pesados en los hatos lecheros de valle de Oxapampa Pasco reportó promedio de niveles de plomo de 0.0576 mg/L, dicho valor es superior e incluso pasa a los límites máximos permisibles establecidas por (OMS y UE, 2006) que establece de 0,02 mg/kg en la leche.

En el estudio de niveles de plomo en la leche en tres ganaderías de San Salvador la Libertad reportó 2.254 mg/L y de 0.820 mg/l (Medina et al., 2013), dichos valores son muy superiores en relación al presente estudio, dichas diferencias se atribuyen por la ubicación de del estudio que se encuentran en radio de área de influencia de la actividad minera, mientras los valores del presente estudio se encuentran en espacio de una cuenca que no está muy cerca de la actividad de minería artesanal. Por otro lado, en el estudio realizado por (Pacco, 2018) sobre los niveles de mercurio, plomo y cadmio en leche de vacunos en la cuenca de rio Llallimayo Melgar Puno reportó 0.0256 mg/kg, dichos valores son superiores en relación con el presente estudio, el estudio fue realizado en la zona de afluente de aguas procedentes de la actividad minera Aracy Melgar Puno. Según Chata, (2015), en el estudio realizado de la relación de metales pesados en agua y leche en la cuenca de rio Coata Puno reportó niveles de plomo de 0.21 mg/L en leche; dicho valor es superior con relación al presente estudio, las diferencias se atribuyen a la ubicación y ámbitos de estudio que tienen relación con la actividad industrial o área de influencia de la actividad minera. Mientras según (Bárcena, 2011) en su estudio de presencia de metales pesados en la leche de ganado bovino en la microcuenca de Umachiri Melgar Puno reportó valores que excede en 638 veces el límite máximo permisible que es de 0.020 mg/kg establecidas por Codex y Unión Europea; dicho valor es muy superior en relación al presente estudio, las diferencias se atribuye a la zona de estudio y área de influencia de la actividad minera y acceso al consumo y riego con agua proveniente de la zona minera.

6.1.2. Niveles de mercurio en la leche en vacas en producción

Los niveles de mercurio (Hg) en la leche de vacas en producción en la comunidad de Ccollana en la cuenca de río Velille Chumbivilcas Cusco fueron en promedio de 0.0003 ± 0.00013 mg/L, con valores mínimos de 0.00001 y máximo de 0.00049 mg/L; los niveles de concentración entre las vacas varían ampliamente que es de 59%, lo que significa el grado de acumulación de mercurio en la vacas son diferentes que puede ser por diferentes factores como la actividad minera es extractiva y no procesan en la zona, al mismo tiempo están en proceso de ampliación, además el consumo de pastos y efluentes de agua en algunos sitios provienen de bofedales (Figura 3).

FIGURA 4. Niveles de mercurio (mínimos y máximos en leche)



Los resultados del presente estudio de los niveles de concentración de mercurio en leche de vacas son inferiores en relación con el estudio por (Kcana, 2023), en la comunidad de Huisacollana Espinar Cusco reportó niveles de 0.034 mg/L en vacas de primer parto, 0.023 mg/L en vacas de segundo parto y 0.030 mg/L en leche de vacas de tercer parto; las diferencias se atribuyen a la zona de estudio que tienen influencia de la actividad minera y los alimentos de los animales son regados con aguas afluentes de la actividad minera.

Los valores del presente estudio son inferiores en relación con los resultados de (López, 2021), donde reportó 0.042 mg/L; las diferencias se atribuyen al área de ubicación del estudio influenciado por su cercanía y acceso al agua efluentes de la actividad minera, mientras los resultados del presente estudio fueron realizados en una cuenca que tienen actividad minera de manera artesanal. Mientras según (Ayala & Romero, 2013) en su estudio de la determinación de arsénico y mercurio en la leche de la zona del Canton Arenillas Ecuador reportó 2.2 mayor a la norma ecuatoriano que es de 0.005 mg/Kg de leche; dicho valor es superior en relación con el presente estudio que se atribuye por la localización de zona de estudio donde se encuentra la actividad industrial o minera.

En el estudio realizado de los niveles de concentración de Hg y Pb en hatos lecheros de valle de Oxapampa Pasco Perú reportó 0.00264 mg/kg de leche de vacunos (Bernal, 2019), dicho valor es superior en relación al presente estudio, lo diferencia se atribuye a la zona de estudio y área de influencia de la actividad industrial y/o minera, por cuanto los valores encontrados en el presente estudio son de una zona donde la actividad minera es de manera artesanal y solo extractiva y no lo procesan todavía. Por otro lado, según (Pacco, 2018) en su estudio de niveles de metales pesados en la leche de vaca alimentadas con pastos regados con agua del río Llallimayo Melgar Puno reportó 0.0022 mg/kg de leche; dicho valor es superior en comparación al presente estudio, lo que se atribuye por la zona de estudio y acceso de la alimentación de los animales a agua contaminada por la actividad minera.

En el estudio realizado por Chata, (2015) en la determinación de relación de metales pesados en agua y leche de vacunos en la cuenca del río Coata Puno reportó mercurio de 0.0028 mg/ L en leche; dicho valor es superior en relación al presente estudio, las diferencias se atribuyen a la zona de estudio y acceso de los animales al agua contaminada; por cuanto los vacunos del presente estudio se encuentran en pastoreo extensivo alternados con consumo de pastos cultivados, a pesar de que los pastos cultivados son regados con aguas efluentes de la actividad minera de manera extractiva.

RESPUESTA A LA HIPOTESIS

Los datos obtenidos de las concentraciones de plomo (Pb) y mercurio (Hg) en la leche de vacas en producción de la comunidad de Ccollana fueron procesados utilizando el programa Microsoft Excel. Se realizó un análisis estadístico descriptivo, determinándose la media, desviación estándar, valores mínimo y máximo y medidas de dispersión para cada metal evaluado.

Con relación a la hipótesis general, que plantea que las concentraciones de metales pesados en la leche sobrepasan los límites máximos permisibles establecidos por la Organización Mundial de la Salud (OMS), se efectuó una comparación directa de los valores promedio obtenidos con los valores normativos de referencia. Los resultados mostraron que las concentraciones promedio de plomo (0.0071 mg/L) y mercurio (0.0003 mg/L) se encuentran por debajo de los límites máximos permisibles establecidos por la OMS; por lo tanto, se rechaza la hipótesis general de investigación, aceptándose que las concentraciones de metales pesados no sobrepasan los valores permitidos.

Respecto a la hipótesis específica relacionada con el plomo, los resultados del análisis estadístico descriptivo evidenciaron que la concentración promedio de este metal es inferior al límite máximo permisible establecido por la OMS. En consecuencia, se rechaza la hipótesis específica que plantea que los niveles de plomo sobrepasan los límites permisibles y se acepta la hipótesis que indica que dichos niveles no los superan.

En cuanto a la hipótesis específica correspondiente al mercurio, la concentración promedio obtenida fue menor al límite máximo permisible establecido por la OMS. En función de estos resultados, se rechaza la hipótesis que sostiene que los niveles de mercurio sobrepasan los límites máximos permisibles y se acepta la hipótesis que establece que dichos niveles no los superan.

Adicionalmente, con la finalidad de evaluar la existencia de diferencias estadísticamente significativas entre las concentraciones de plomo y mercurio en la leche, se aplicó la prueba t de Student para dos muestras independientes con varianzas iguales, considerando un nivel de significancia de $\alpha = 0.05$. Los resultados indicaron diferencias estadísticamente significativas entre ambos metales ($p < 0.05$), siendo el plomo el metal con mayor concentración relativa. No obstante, esta diferencia no implica el

incumplimiento de los límites máximos permisibles establecidos por la OMS, constituyendo un análisis estadístico complementario.

VII. CONCLUSIONES

1. Los niveles de concentración de plomo (Pb) en la leche de vacas en producción de la comunidad de Ccollana, ubicada en la cuenca del río Velille, provincia de Chumbivilcas, región Cusco, presentaron un valor promedio de 0.0071 mg/L, con un rango de variación entre 0.0017 y 0.017 mg/L, valores que no superan los límites máximos permisibles establecidos por la Organización Mundial de la Salud y normas internacionales vigentes.
2. Los niveles de concentración de mercurio (Hg) en la leche de vacas en producción de la comunidad de Ccollana mostraron un valor promedio de 0.0003 mg/L, con valores mínimos y máximos de 0.00001 y 0.00049 mg/L, respectivamente, encontrándose por debajo de los límites máximos permisibles establecidos por la Organización Mundial de la Salud.

VIII. RECOMENDACIONES

- A partir de que los niveles de plomo (Pb) no superan los límites máximos permisibles, se recomienda mantener las actuales condiciones de manejo ganadero y de producción lechera en la comunidad de Ccollana, incorporando evaluaciones periódicas que permitan verificar la estabilidad de estos niveles en el tiempo y asegurar la inocuidad del producto.
- Considerando que las concentraciones de mercurio (Hg) se encuentran por debajo de los límites máximos permisibles, se recomienda continuar con el control de calidad de la leche producida en la zona, priorizando análisis preventivos que permitan detectar variaciones tempranas asociadas a posibles cambios en las condiciones ambientales.
- Dado que se evidenció la presencia de plomo y mercurio en bajas concentraciones, se recomienda establecer un sistema de monitoreo ambiental focalizado en la cuenca del río Velille, orientado a la identificación temprana de fuentes potenciales de contaminación, con énfasis en la prevención debido al carácter bioacumulativo de estos metales.
- En relación con las diferencias significativas encontradas entre las concentraciones de plomo y mercurio, se recomienda que futuras evaluaciones prioricen el seguimiento del plomo como metal de mayor concentración relativa, sin descuidar el control del mercurio, a fin de fortalecer la vigilancia sanitaria de la leche.

IX. BIBLIOGRÁFICA

Ayala, J., & Romero, H. (2013). Presence of heavy metals (arsenic and mercury) in cow's milk at southern Ecuador. *La Granja*, 17(1), 36–43.

Aazami, J., et al. (2017). A review of biotic indices for heavy metals in polluted environments. *Human and Environment*, 1(15), 13–24.

Arroyave, J. (2008). Guías para el manejo de urgencias toxicológicas. Ministerio de la Protección Social.

Bárcena, L. R. (2011). Determinación de metales tóxicos en la leche de ganado (Tesis de licenciatura). Universidad Nacional del Altiplano.

Bernal, A. (2019). Niveles de metales pesados en los hatos lecheros del valle de Oxapampa–Pasco (Tesis de posgrado). Universidad Nacional del Centro del Perú.

Chata, A. (2015). Presencia de metales pesados (Hg, As, Pb y Cd) en agua y leche en la cuenca del río Ccoata (Tesis de licenciatura). Universidad Nacional del Altiplano.

Codex Alimentarius Commission. (1995). Codex standard for contaminants and toxins in food and feed (Codex Stan 193-1995).

Comisión de las Comunidades Europeas. (2006). Reglamento (CE) n.º 1881/2006 de la Comisión. Diario Oficial de la Unión Europea.

Córdoba, D. (2006). Plomo. En D. Córdoba & S. Henao (Eds.), *Toxicología* (pp. 340–344). Manual Moderno.

Chullo, G. (2021). Calidad fisicoquímica, bacteriológica y metales pesados del río Cañipia para riego de vegetales y bebida de animales en Espinar–Cusco [Tesis de licenciatura, Universidad Nacional del Altiplano]. Repositorio institucional de la Universidad Nacional del Altiplano.

Erosteigui, C. P. (2009). Contaminación por metales pesados. *Ciencia Médica*, 45–46.

FAO. (2008). Código de principios referentes a la leche y los productos lácteos. <http://www.fao.org>

Gonzales, R. (2009). Metales pesados en carne y leche de vacunos y certificación para la Unión Europea. *Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias*, 22(3).

Guillén Paredes, R., & Medina Matus, S. A. (2012). Determinación de plomo en leche de ganado bovino en el cantón Sitio del Niño (Tesis de ingeniería). Universidad de El Salvador.

Gutiérrez, C. H. (2009). Concentración de metales pesados en leche cruda de vaca en la provincia de León (Tesis doctoral).

Hou, D., O'Connor, D., Nathanail, P., Tian, L., & Ma, Y. (2017). Integrated GIS and multivariate statistical analysis for regional scale assessment of heavy metals. *Environmental Pollution*.

Institute of Medicine. (2011). Dietary reference intakes for calcium and vitamin D. National Academies Press.

Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI). (2012). IV Censo Nacional Agropecuario 2012. https://www.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/publicaciones_digitales/Est/Lib1057/libro.pdf

Jenkins, T. A. (2006). Major advances in nutrition: Impact on milk composition. *Journal of Dairy Science*, 89, 1302–1310.

Kcana, O. (2023). Niveles de concentración de metales pesados (mercurio y plomo) en leche de vacas de producción de la comunidad de Huisa Ccollana de la cuenca del río Ccañipia, Espinar–Cusco [Tesis de licenciatura, Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco]. Repositorio Institucional UNSAAC. <https://repositorio.unsaac.edu.pe/handle/20.500.12918/9154>

Loh, N., Loh, H. P., Wang, L. K., & Wang, M. H. S. (2016). Health effects and control of toxic lead in the environment. Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-319-26800-2_5

López, A., & Vásquez, G. (2021). Determinación de la concentración de arsénico, cadmio, cobre, mercurio y plomo en leche de bovino en Cajamarca (Tesis de licenciatura, Universidad Privada del Norte). Repositorio institucional de la Universidad Privada del Norte.

Medina, M., et al. (2013). Determinación de plomo en leche de ganado bovino en el cantón Sitio del Niño, municipio de San Juan Opico.

Méndez Batán, J. (2002). Metales pesados en alimentación animal. Anaporc, 22(223), 88–95.

Mendoza, Y. G., & Medina, C. (2013). Determinación de plomo y cadmio por espectrofotometría de absorción atómica en la leche cruda de bovino en establos lecheros del distrito de Chancay–Huaral (Tesis de licenciatura, Universidad Wiener). Lima, Perú.

Mitra, S., et al. (2022). Impact of heavy metals on the environment and human health. Journal of King Saud University – Science, 34(3), 101865.

Moreno, M. (2003). Toxicología ambiental: Evaluación del riesgo para la salud humana. McGraw-Hill.

Moreno, R. (2018). Metales pesados en leche de vacas alimentadas con alfalfa producida en suelos irrigados con aguas residuales en Puebla y Tlaxcala, México. Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias, 9(4), 661–676. <https://www.scielo.org.mx/pdf/rmcp/v9n4/2448-6698-rmcp-9-04-661.pdf>

Municipalidad Provincial de Chumbivilcas. (2023). Plan de desarrollo local concertado de la provincia de Chumbivilcas al 2032. <https://es.scribd.com/document/652763782/Documento-de-Trabajo-Pdlc-de-La-Mp-Chumbivilcas>

Nava Ruiz, C., & Méndez-Armeta, M. (2011). Efectos neurotóxicos de metales pesados (cadmio, plomo, arsénico y talio). *Revista de Educación en Ciencias de la Salud*, 16, 140–147.

OMS. (2014). Inorganic mercury. <https://www.who.int>

Nordberg, G. F., Fowler, B. A., & Nordberg, M. (2007). *Handbook on the toxicology of metals* (3rd ed.). Academic Press.

OMS. (2022). Intoxicación por plomo y salud. <https://www.who.int>

Pacco, D. (2018). Determinación de metales pesados en la leche y pelo de vaca en la cuenca del río Llallimayo, Melgar–Puno [Tesis de pregrado, Universidad Nacional del Altiplano]. Repositorio institucional de la Universidad Nacional del Altiplano.

Parra, M. H., et al. (2003). Los residuos de medicamentos en la leche: Problemática y estrategia para su control. CORPOICA.

Ramírez, A. (2005). El cuadro clínico de la intoxicación ocupacional por plomo. *Anales de la Facultad de Medicina*, 66(3), 243–250.

SUN, J., Yu, R., Hu, G., Su, G., & Zhang, Y. (2018). Tracing heavy metal sources. *Catena*, 171, 440–449.

Unión Europea. (2006). Reglamento (CE) n.º 1881/2006. <https://eur-lex.europa.eu>

Valdivia Melinda, M. (2005). Intoxicación por plomo. *Revista de la Sociedad Peruana de Medicina Interna*, 18(2), 85–90.

Vera, R., & Nuñonca, E. (2023). Determinación de metales pesados en pasto y suero sanguíneo de alpacas de la comunidad de Patacollana del distrito de Condoroma, Espinar–Cusco [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco]. Repositorio institucional de la UNSAAC.

Wittmann, G. (1981). *Toxic metals*. Springer-Verlag.

Wattiaux, M. (2003). Composición de la leche y valor nutricional (Cap. 19). En Lactancia y ordeño. Universidad de Wisconsin–Madison.
https://www.babcock.cals.wisc.edu/spanish/de/html/ch19/lactation_spn_ch19.html

Ziarati, P., et al. (2018). An overview of heavy metal contamination in milk and dairy products. Acta Scientific Pharmaceutical Sciences, 2(7).

ANEXOS

ANEXOS 1. Resultados de niveles de plomo y mercurio en la leche de vacas en producción

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

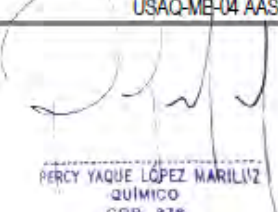
INFORME DE ENSAYO

Nº 076-2025

Cliente	ROSELLY BEDREGAL PINEDO
Dirección del cliente	CUSCO
Referencia USAQ	076
Denominación de la muestra	LECHE
Fecha de recepción	4/08/2025
Fecha de análisis	5/08/2025
Fecha de emisión de informe	15/08/2025
Características de muestra.	Muestra líquida

Referencia USAQ	Determinación o Parámetro	Especificación	Resultado	Unidades
076-01	Plomo	V1 BS BLL	1.67	ppb
076-02	Plomo	V2 BS 2D	17.02	ppb
076-03	Plomo	V3 BS 4D	4.48	ppb
076-04	Plomo	V4 HD 4D	5.30	ppb
076-05	Plomo	V5 2D HIBRIDA	12.02	ppb
076-06	Plomo	V6 HT 2D	2.61	ppb
076-07	Plomo	V7 BLL HD	4.40	ppb
076-08	Plomo	V8 BS BLL	10.20	ppb
076-09	Plomo	V9 HT BLL	3.54	ppb
076-10	Plomo	V10 HT BLL	11.04	ppb
076-11	Plomo	V11 BS 4D	2.74	ppb
076-12	Plomo	V12 HD 2D	15.21	ppb
076-13	Plomo	V13 HT BLL	2.60	ppb
076-14	Plomo	V14 BS 4D	4.42	ppb
076-15	Plomo	V15 BS BLL	11.96	ppb

Límites de detección y Métodos		
Determinación o parámetro	Límite de detección	Método
Plomo	0.5 ppb	USAQ-MB-04 AAS


 PERCY YAQUE LÓPEZ MARILUZ
 QUÍMICO
 COP. 878
RESPONSABLE DE LABORATORIO

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

INFORME DE ENSAYO**N° 076-2025**

Cliente	ROSELLY BEDREGAL PINEDO
Dirección del cliente	CUSCO
Referencia USAQ	076
Denominación de la muestra	LECHE
Fecha de recepción	4/08/2025
Fecha de análisis	5/08/2025
Fecha de emisión de informe	15/08/2025
Características de muestra.	Muestra líquida

Referencia USAQ	Determinación o Parámetro	Especificación	Resultado	Unidades
076-16	Plomo	V16 BS BLL	12.09	ppb
076-17	Plomo	V17 HT BLL	3.50	ppb
076-18	Plomo	V18 HT BLL	6.40	ppb
076-19	Plomo	V19 HT BLL	9.30	ppb
076-20	Plomo	V20 HT BLL	8.39	ppb
076-21	Plomo	V21 BS 4D	5.20	ppb
076-22	Plomo	V22 BS 4D	6.23	ppb
076-23	Plomo	V23 BS BLL	9.10	ppb
076-24	Plomo	V24 HT 4D	4.70	ppb
076-25	Plomo	V25 2D HD	4.40	ppb

Límites de detección y Métodos		
Determinación o parámetro	Límite de detección	Método
Plomo	0.5 ppb	USAQ-ME/04 AAS


 PERCY YAQUE LOPEZ MARILUZ
 QUÍMICO
 CQP. 876

RESPONSABLE DE LABORATORIO

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

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

INFORME DE ENSAYO
Nº 077-2025

Cliente	ROSELLY BEDREGAL PINEDO
Dirección del cliente	CUSCO
Referencia USAQ	077
Denominación de la muestra	LECHE
Fecha de recepción	4/08/2025
Fecha de análisis	5/08/2025
Fecha de emisión de informe	15/08/2025
Características de muestra.	Muestra líquida

Referencia USAQ	Determinación o Parámetro	Especificación	Resultado	Unidades
077-01	Mercurio	V1 BS BLL	0.38	ppb
077-02	Mercurio	V2 BS 2D	0.02	ppb
077-03	Mercurio	V3 BS 4D	0.01	ppb
077-04	Mercurio	V4 HD 4D	0.23	ppb
077-05	Mercurio	V5 2D HIBRIDA	0.44	ppb
077-06	Mercurio	V6 HT 2D	0.16	ppb
077-07	Mercurio	V7 BLL HD	0.26	ppb
077-08	Mercurio	V8 BS BLL	0.14	ppb
077-09	Mercurio	V9 HT BLL	0.33	ppb
077-10	Mercurio	V10 HT BLL	0.32	ppb
077-11	Mercurio	V11 BS 4D	0.22	ppb
077-12	Mercurio	V12 HD 2D	0.49	ppb
077-13	Mercurio	V13 HT BLL	0.18	ppb
077-14	Mercurio	V14 BS 4D	0.29	ppb
077-15	Mercurio	V15 BS BLL	0.13	ppb

Límites de detección y Métodos		
Determinación o parámetro	Límite de detección	Método
Plomo	0.005 ppb	USAQ-ME-04 AAS

PERCY YAQUE LÓPEZ MARILUZ
 QUÍMICO
 CQP, 876

RESPONSABLE DE LABORATORIO

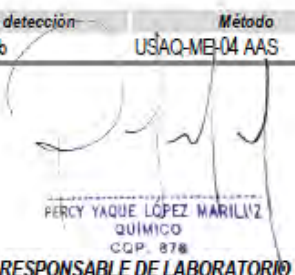
	UNIVERSIDAD NACIONAL MAYOR DE SAN MARCOS FACULTAD DE QUÍMICA E INGENIERÍA QUÍMICA UNIDAD DE SERVICIOS DE ANÁLISIS QUÍMICOS	
---	---	---

INFORME DE ENSAYO**Nº 077-2025**

Cliente	ROSELLY BEDREGAL PINEDO
Dirección del cliente	CUSCO
Referencia USAQ	077
Denominación de la muestra	LECHE
Fecha de recepción	4/08/2025
Fecha de análisis	5/08/2025
Fecha de emisión de informe	15/08/2025
Características de muestra.	Muestra líquida

Referencia USAQ	Determinación o Parámetro	Especificación	Resultado	Unidades
077-16	Mercurio	V16 BS BLL	0.31	ppb
077-17	Mercurio	V17 HT BLL	0.19	ppb
077-18	Mercurio	V18 HT BLL	0.24	ppb
077-19	Mercurio	V19 HT BLL	0.20	ppb
077-20	Mercurio	V20 HT BLL	0.34	ppb
077-21	Mercurio	V21 BS 4D	0.28	ppb
077-22	Mercurio	V22 BS 4D	0.47	ppb
077-23	Mercurio	V23 BS BLL	0.08	ppb
077-24	Mercurio	V24 HT 4D	0.45	ppb
077-25	Mercurio	V25 2D HD	0.11	ppb

Límites de detección y Métodos		
Determinación o parámetro	Límite de detección	Método
Plomo	0.005 ppb	USAQ-MB-04 AAS


 PERCY YAQUE LÓPEZ MARILUZ
 QUÍMICO
 CQP. 878

RESPONSABLE DE LABORATORIO

ANEXO 2. Prueba de t student**Prueba t para dos muestras suponiendo varianzas iguales**

	<i>Plomo ppm</i>	<i>Mercurio ppm</i>
Media	0.0071408000	0.0002508000
Varianza	0.0000178968	0.0000000179
Observaciones	25.0000000000	25.0000000000
Varianza agrupada	0.0000089574	
Diferencia hipotética de las medias	0.0000000000	
Grados de libertad	48.0000000000	
Estadístico t	8.1392477934	
P(T<=t) una cola	0.0000000001	
Valor crítico de t (una cola)	1.6772241961	
P(T<=t) dos colas	0.0000000001	
Valor crítico de t (dos colas)	2.0106347576	

ANEXO 3. Imágenes de fotografías de análisis de concentración de plomo y mercurio en el laboratorio de Química de la Universidad Mayor de Nacional de San Marcos.



ANEXO 4. Preparación de materiales para la toma de muestras.



ANEXO 5. Toma de muestra de leche en vacas de la comunidad de Ccollana.



ANEXO 6. Rotulado de muestras tomadas en vacas de la comunidad de Ccollana.



ANEXO 7. Empaquetado de muestras para su envío al laboratorio de la Universidad Nacional Mayor de San Marcos.

