

**UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE GROHMANN**

Facultad de Ciencias de la Salud

Escuela Profesional de Farmacia y Bioquímica

**DETERMINACIÓN DE LOS NIVELES DE ARSÉNICO EN  
FORRAJE Y LECHE CRUDA DE VACA EN EL  
DISTRITO DE CAIRANI, PROVINCIA DE  
CANDARAVE, REGIÓN TACNA**

**TESIS**

Presentada por:

**Bach. Delia Arminia Ccama Calderon**

Para optar el Título Profesional de:

**QUÍMICO FARMACÉUTICO**

TACNA -PERÚ

2025

**UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE GROHMANN**

**Facultad de Ciencias de la Salud**

**Escuela Profesional de Farmacia y Bioquímica**

**DETERMINACIÓN DE LOS NIVELES DE ARSÉNICO EN FORRAJE  
Y LECHE CRUDA DE VACA EN EL DISTRITO DE CAIRANI,  
PROVINCIA DE CANDARAVE,  
REGIÓN TACNA**

**TESIS**

Presentada por:

**Bach. DELIA ARMINIA CCAMA CALDERON**


Para optar el Título Profesional de:

**QUÍMICO FARMACÉUTICO**

Aprobada por UNANIMIDAD, ante el siguiente jurado

  
\_\_\_\_\_  
**Dr. Juan José Evaristo Changllo Roas**

  
\_\_\_\_\_  
**Dra. Yemile del Carmen Berrios Espejo**  
Miembro

  
\_\_\_\_\_  
**Mgr. Juan Carlos Efraín Cervantes Zegarra**  
Miembro

  
\_\_\_\_\_  
**Dra. Yemile del Carmen Berrios Espejo**  
Asesora

## CERTIFICADO DE SIMILITUD

Yo, **YEMILE DEL CARMEN BERRIOS ESPEJO**, en mi condición de asesor acreditado por la Resolución de Facultad N° 13112-2024-FACS-UNJBG, de la tesis de investigación titulada: **DETERMINACIÓN DE LOS NIVELES DE ARSÉNICO EN FORRAJE Y LECHE CRUDA DE VACA EN EL DISTRITO DE CAIRANI, PROVINCIA DE CANDARAVE, REGIÓN TACNA**. Presentado por la bachiller **Delia Arminia Ccama Calderon** para optar el título profesional de **QUÍMICO FARMACÉUTICO**.

Habiendo cumplido con lo establecido en el reglamento de originalidad y de similitud de trabajos de investigación y producción intelectual, considerando que según la revisión, evaluación y análisis realizado a través del software de similitud textual **TURNITIN**, cuenta con el nivel de similitud permitido cuyo porcentaje es de **3 %**.

Por lo que **CERTIFICO LA SIMILARIDAD** de la tesis enunciada líneas arriba, la cual está expedita para continuar con los trámites para la obtención de Título Profesional de Químico Farmacéutico, según corresponda consiguientemente la publicación en el repositorio institucional.



Dra. Yemile Del Carmen Berrios Espejo

DNI: 00411194

ASESORA



Bach. Delia Arminia Ccama Calderon

DNI: 73225865

TESISTA



## **DEDICATORIA**

A mi familia, en especial a mis padres Graciela y Néstor porque siempre han estado conmigo en todo momento de mi vida, por su amor y apoyo incondicional he logrado alcanzar mis sueños y metas.

## **AGRADECIMIENTO**

A Dios, por regalarme cada maravilloso día y permitirme cumplir mis metas.

A mis padres y hermano Eloy quienes han forjado mi camino y en todo momento están conmigo ayudándome a ser mejor cada día.

A mi asesora la Dra. Yemile Del Carmen Berrios Espejo, por brindarme su apoyo incondicional y extraordinario soporte en el desarrollo de esta investigación.

A todos los que han formado parte de este proceso de aprendizaje y enriquecimiento, su aporte ha sido formidable.

## ÍNDICE

<b>DEDICATORIA</b> .....	iv
<b>AGRADECIMIENTO</b> .....	v
<b>ÍNDICE DE TABLAS</b> .....	ix
<b>ÍNDICE DE GRÁFICOS</b> .....	xi
<b>ÍNDICE DE ANEXOS</b> .....	xii
<b>RESUMEN</b> .....	xiii
<b>ABSTRACT</b> .....	xiv
<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	1
<b>CAPITULO I</b> .....	4
<b>PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA</b> .....	4
<b>1.1. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA</b> .....	4
<b>1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA</b> .....	9
1.2.1. Problema principal .....	9
1.2.2. Problemas específicos .....	9
<b>1.3. JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA DE LA INVESTIGACIÓN</b> .....	11
<b>1.4. OBJETIVOS</b> .....	14
1.4.1. Objetivo general .....	14
1.4.2. Objetivos específicos .....	14
<b>1.5. HIPÓTESIS</b> .....	15
<b>1.6. VARIABLES</b> .....	15
1.6.1. Variable 1 .....	15

1.6.2. Variable 2 .....	15
<b>1.7. OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES .....</b>	<b>16</b>
<b>CAPITULO II.....</b>	<b>18</b>
<b>MARCO TEORICO .....</b>	<b>18</b>
<b>2.1. ANTECEDENTES DEL ESTUDIO .....</b>	<b>18</b>
2.1.1. Antecedentes Internacionales .....	18
2.1.2. Antecedentes nacionales .....	26
2.1.3. Antecedentes locales .....	31
<b>2.2. Bases teóricas .....</b>	<b>33</b>
2.2.1. Metales pesados .....	33
2.2.2. Arsénico .....	34
2.2.2.1. Propiedades químicas y físicas .....	34
2.2.2.2. Uso de arsénico.....	36
2.2.2.3. Toxicocinética .....	38
2.2.2.4. Toxicodinámica .....	40
2.2.2.5. Intoxicación por arsénico .....	41
2.2.2.6. Carcinogénesis.....	43
2.2.3. Leche .....	44
2.2.4. Técnica de espectroscopia que utiliza plasma ICP para análisis de emisión óptica (ICP-OES). .....	45
<b>2.3. Definición de términos .....</b>	<b>48</b>
<b>CAPÍTULO III.....</b>	<b>51</b>
<b>MARCO METODOLÓGICO.....</b>	<b>51</b>

<b>3.1. TIPO Y DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN .....</b>	<b>51</b>
3.1.1. Tipo de investigación.....	51
3.1.2. Diseño de investigación .....	51
3.1.3. Nivel de investigación.....	52
<b>3.2. POBLACIÓN, MUESTRA Y MUESTREO .....</b>	<b>52</b>
3.2.1. Población .....	53
3.2.2. Muestra .....	53
<b>3.3. PROCEDIMIENTO Y TÉCNICAS PARA RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN .....</b>	<b>55</b>
3.3.1. Ficha de recolección de datos.....	55
3.3.2. Instrumentos de medición .....	55
3.3.2.1. Materiales y/o instrumento.....	56
3.3.2.2. Procedimiento.....	59
<b>3.4. ASPECTOS ÉTICOS.....</b>	<b>63</b>
<b>3.5. TÉCNICA DE ANÁLISIS DE DATOS .....</b>	<b>64</b>
<b>CAPÍTULO IV .....</b>	<b>66</b>
<b>RESULTADOS .....</b>	<b>66</b>
<b>DISCUSIÓN .....</b>	<b>95</b>
<b>CONCLUSIONES .....</b>	<b>113</b>
<b>RECOMENDACIONES.....</b>	<b>115</b>
<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>116</b>
<b>ANEXOS.....</b>	<b>122</b>

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1.</b> Operacionalización de variables. ....	16
<b>Tabla 3.</b> Niveles de arsénico en leche cruda de vaca del distrito de Cairani, ubicado en la provincia de Candarave, región Tacna.....	66
<b>Tabla 4.</b> Niveles de arsénico en pasto en el distrito de Cairani, ubicado en la provincia de Candarave, región Tacna. ....	68
<b>Tabla 5.</b> Niveles de arsénico en alfalfa en el distrito de Cairani, ubicado en la provincia de Candarave, región Tacna. ....	69
<b>Tabla 6.</b> Estadísticos descriptivos de los niveles de arsénico en forraje (n=36) en el distrito de Cairani, ubicado en la provincia de Candarave, región Tacna. ....	70
<b>Tabla 7.</b> Estadísticos descriptivos de los niveles de arsénico en leche (n=36) en el distrito de Cairani, ubicado en la provincia de Candarave, región Tacna. ....	72
<b>Tabla 8.</b> Prueba de Shapiro-Wilk (n=36) para la evaluación de los niveles de arsénico en las muestras de forraje en el distrito de Cairani, ubicado en la provincia de Candarave, región Tacna.....	74
<b>Tabla 9.</b> Prueba de Shapiro-Wilk (n=36) para la evaluación de los niveles de arsénico en las muestras de leche cruda de vaca en el distrito de Cairani, ubicado en la provincia de Candarave, región Tacna. ....	76
<b>Tabla 10.</b> Características de exposición a arsénico en la leche cruda de vaca del distrito de Cairani, ubicado en la provincia de Candarave, región Tacna.....	78
<b>Tabla 11.</b> Prueba de Signos de Wilcoxon (n=18) para comparar los niveles de arsénico en forraje tipo alfalfa en el distrito de Cairani, ubicado	

en la provincia de Candarave, región Tacna con el LMP establecidos por el Consejo del Parlamento Europeo.....	83
<b>Tabla 12.</b> Prueba de Signos de Wilcoxon (n=18) para comparar los niveles de arsénico en forraje tipo pasto en el distrito de Cairani, ubicado en la provincia de Candarave, región Tacna con el LMP establecidos por el Consejo del Parlamento Europeo.....	85
<b>Tabla 13.</b> Prueba de Signos de Wilcoxon (n=36) para comparar los niveles arsénicos en leche cruda de vaca en el distrito de Cairani, ubicado en la provincia de Candarave, región Tacna con el LMP establecidos por el Codex Alimentarius. ....	88
<b>Tabla 14.</b> Prueba de H de Kruskal-Wallis (n=36) para comparar los niveles arsénicos en leche cruda de vaca en el distrito de Cairani, ubicado en la provincia de Candarave, región Tacna entre el tiempo de hábitat. ....	90
<b>Tabla 15.</b> Prueba de U de Mann-Whitney (n=36) para comparar los niveles arsénicos en leche cruda de vaca en el distrito de Cairani, ubicado en la provincia de Candarave, región Tacna entre el tipo de forraje y la raza de la vaca. ....	91
<b>Tabla 16.</b> Prueba estadística de U de Mann-Whitney para comparar los niveles de arsénico en forraje del distrito de Cairani, ubicado en la provincia de Candarave, región Tacna según el tipo de forraje.	93

## ÍNDICE DE GRÁFICOS

<b>Gráfico 1.</b> La curva de calibración de un metal entre la concentración (eje X) y la intensidad de la luz emitida (eje Y). .....	46
<b>Gráfico 2.</b> Ubicación de las zonas de muestreo.....	52
<b>Gráfico 3.</b> Cuantil-Cuantil o Q-Q plots de los niveles de arsénico en forraje en el distrito de Cairani, ubicado en la provincia de Candarave, región Tacna.....	75
<b>Gráfico 4.</b> Cuantil-Cuantil o Q-Q plots de los niveles de arsénico en la leche cruda de vaca en el distrito de Cairani, ubicado en la provincia de Candarave, región Tacna. ....	77
<b>Gráfico 5.</b> Porcentaje del tiempo de hábitat de las vacas del estudio en el distrito de Cairani, ubicado en la provincia de Candarave, región Tacna. ....	80
<b>Gráfico 6.</b> Porcentaje del tipo de forraje que consumen las vacas del estudio en el distrito de Cairani, ubicado en la provincia de Candarave, región Tacna. ....	80
<b>Gráfico 7.</b> Porcentaje de raza de las vacas del estudio en el distrito de Cairani, ubicado en la provincia de Candarave, región Tacna.	81
<b>Gráfico 8.</b> Diagrama de Cajas y Bigotes de niveles de arsénico en forraje del distrito de Cairani, ubicado en la provincia de Candarave, región Tacna según el tipo de forraje. ....	94

## ÍNDICE DE ANEXOS

<b>Anexo 1.</b> Matriz de consistencia.....	123
<b>Anexo 2.</b> Ficha de recolección de datos. ....	125
<b>Anexo 3.</b> Validación del instrumento por juicio de expertos. ....	126
<b>Anexo 4.</b> Mapas de hidrología y topografía del distrito de Cairani, provincia de Candarave, región Tacna. ....	130
<b>Anexo 5.</b> Fotografías de evidencia en la toma y análisis de las muestras. ....	132
<b>Anexo 6.</b> Contenidos máximos permitidos de arsénico según el Consejo del Parlamento Europeo en la alimentación animal publicado en el Diario Oficial de la Unión Europea . ....	138
<b>Anexo 7.</b> Contenidos máximos permitidos de arsénico según el Codex Alimentarius en en leche.....	138
<b>Anexo 8.</b> Informe de ensayo N° ANA21K24.005493 de análisis de muestras realizadas en el laboratorio de Ensayo y Control de Calidad de la Universidad Católica de Santa María – Arequipa.....	139
<b>Anexo 9.</b> Curva de calibración de arsénico de muestras de leche-forraje. ....	142
<b>Anexo 10.</b> Constancia del Comité de Ética Institucional de proyecto de investigación. ....	143
<b>Anexo 11.</b> Resolución de facultad para ejecución de la tesis.....	145

## RESUMEN

El presente estudio se llevó a cabo en el distrito de Cairani, ubicado en la provincia de Candarave, región Tacna en el año 2024, con el objetivo de determinar los niveles de arsénico en leche cruda de vaca y forraje producidos en suelos que son irrigados con aguas del río Callazas que tiene niveles elevados de arsénico. Para ello, se recolectaron 36 muestras de forraje y 36 muestras de leche cruda de 12 vacas y se cuantificaron los niveles de arsénico mediante la técnica de Espectrofotómetro de emisión óptica con plasma acoplado inductivamente. Se obtuvo el promedio de arsénico en leche de  $0,01 \pm 0,02$  mg/L que está dentro de los Límites Máximos Permisibles (LMP) establecidos por el Codex Alimentarius, solo el 13,89 % de muestras presentaron arsénico y superaron los LMP; y en el 86,11 % no fue detectable arsénico. En cuanto a las muestras de forrajes se obtuvo un promedio de arsénico de  $0,76 \pm 0,54$  mg/kg para alfalfa que no excedió el LMP y de  $5,33 \pm 4,19$  mg/kg para pasto que excedió el LMP establecido por el Consejo del Parlamento Europeo de 2mg/kg. Se llega a la conclusión de que la leche en el distrito de Cairani se encuentra dentro de los LMP. Por su parte, en forraje el pasto supero los LMP establecidos por la normativa internacional.

**Palabras claves:** Arsénico, leche, forraje, cadena alimenticia, LMP.

## ABSTRACT

This study was carried out in the Cairani district, located in the province of Candarave, Tacna region in 2024, with the aim of determining the levels of arsenic in raw cow's milk and forage produced in soils that are irrigated with water from the Callazas River, which has high levels of arsenic. For this purpose, 36 forage samples and 36 raw milk samples from 12 cows were collected and arsenic levels were quantified using the Inductively Coupled Plasma Optical Emission Spectrophotometer technique. The average arsenic in milk was  $0,01 \pm 0,02$  mg/L, which is within the Maximum Permissible Limits (MPL) established by the Codex Alimentarius, only 13,89 % of samples presented arsenic and exceeded the MPL; and arsenic was not detectable in 86,11 %. Regarding the forage samples, an average arsenic level of  $0,76 \pm 0,54$  mg/kg was obtained for alfalfa, which did not exceed the LMP, and  $5,33 \pm 4,19$  mg/kg for grass, which exceeded the LMP established by the Council of the European Parliament of 2 mg/kg. It is concluded that milk in the Cairani district is within the LMP. Meanwhile, in forage, grass exceeded the LMP established by international regulations.

**Keywords:** Arsenic, milk, forage, food chain, LMP.

## INTRODUCCIÓN

La leche de vaca y los derivados lácteos destacan por su alto valor nutricional, en contenido de proteínas con una excelente fuente de aminoácidos esenciales, lípidos, vitaminas y minerales que contribuyen a una dieta equilibrada para promover el crecimiento y el desarrollo del sistema inmune en la infancia. Se sugiere incluir en la dieta de 2 a 4 porciones al día de lácteos y derivados (1).

En el 2024 en la región de Tacna la cantidad de vacas ordeñadas fue de 5 396 unidades, lo que resultó una producción de 1 999 toneladas de leche fresca y un rendimiento óptimo de producción de 370 kg de leche fresca / vaca / mes (2).

Los pobladores de la provincia de Candarave se caracterizan por realizar actividades como la ganadería y agricultura, resaltando la producción de leche cruda (o bronca) que es utilizada especialmente en la producción de quesos frescos, la cual se realiza en forma artesanal para el consumo y comercialización local o regional.

El arsénico es un metaloide con gran toxicidad, presente naturalmente en la corteza terrestre con una distribución extensa en el medio ambiente abarcando el agua, el suelo y las rocas a través de

actividades naturales y antropogénicas. El arsénico puede ingresar a la cadena alimentaria a través de cultivos contaminados por el uso de pesticida, por regar con agua contaminada o suelos ricos en arsénico (3).

El arsénico también puede contaminar alimentos de origen animal como leche debido a la exposición de los vacunos al arsénico a través del alimento y el agua contaminado con este metaloide pesado, identificado como una ruta importante para su transferencia a la cadena alimentaria y a consecuencia puede acarrear efectos negativos para la salud, porque la leche se consume considerablemente no sólo en la población infantil sino también en adultos (4).

Por lo tanto, la exposición prolongada al arsénico inorgánico de alrededor de cinco años puede desencadenar hiperpigmentación, hiperqueratosis en áreas palmo - plantares, también puede provocar el desarrollo de cáncer de piel, pulmón, vejiga urinaria, así como también enfermedades multisistémicas, neurotoxicidad, hepatotoxicidad y nefrotoxicidad mediante la disfunción mitocondrial y producción de radicales libres (5).

En el distrito de Cairani, ubicado en la provincia de Candarave en la región de Tacna aún no se ha realizado una evaluación actualizada del nivel de contaminación por arsénico en forraje y leche cruda de vaca. Por

tal motivo, este estudio pretende determinar el nivel de arsénico forraje y leche cruda de vaca.

Para alcanzar este fin, la estructura de esta investigación se presenta y analiza en cuatro capítulos de manera consecutiva que se define a continuación: En el Capítulo I se describe el Planteamiento del problema: aborda la formulación del problema, la importancia o justificación, objetivos generales y específicos, hipótesis, variables y operacionalización de variables. Seguidamente en el Capítulo II se desarrolla el Marco Teórico: se presenta la recopilación bibliográfica que aborda los antecedentes internacionales, nacionales y locales del estudio, que sustentan el trabajo de investigación, también incluyen los fundamentos teóricos y la definición de términos. A continuación, en el Capítulo III se describe el Marco Metodológico: que incluye el tipo, nivel, diseño de investigación, población, muestra y muestreo, así mismo, compone materiales e instrumentos, también de los métodos y técnicas para la recolección y análisis de información. Seguidamente en el Capítulo IV se describe los resultados y a continuación la discusión que consiste en los resultados obtenidos en contraste con los antecedentes y bases teóricas, y finalmente las conclusiones en relación a los objetivos y también incluye recomendaciones, referencias bibliográficas consultadas y anexos que integran el estudio.

## **CAPÍTULO I**

### **PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

#### **1.1. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA**

La leche de vaca es el lácteo más importante en la dieta de varios países a nivel global. El Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego (MIDAGRI) según los datos en el 2022 se registró el consumo promedio de leche por persona anualmente de 84 kilogramos (6), lo que aún es bajo con los 130 kg de acuerdo a las directrices Organización de las Naciones Unidas responsable de la Alimentación y la Agricultura (FAO) (7).

La composición nutricional de la leche de vaca es una fuente de macronutrientes que incluye el agua con 85 – 87 %, lípidos con 3,8 - 5,5 %, proteínas con 2,9 - 3,5 % y glúcidos con 5 %. En micronutrientes destaca por su composición en Ca, Zn, Mg, P, Se, ácido pantoténico, vitaminas A, B1 y B12 y péptidos bioactivos, aminoácidos esenciales, ácidos grasos, lactosa, riboflavina, inmunoglobulinas, entre otros (8). Asimismo, la leche es una fuente esencial para una dieta saludable y balanceada; también es beneficioso para la salud ósea para un buen sistema inmunológico y prevención de enfermedades como hipertensión, problemas respiratorios,

obesidad y osteoporosis. Se le atribuye a la leche también la disminución en los riesgos de algunos cánceres, como el colorrectal y el de vejiga (9).

Las bondades de la leche pueden verse anulados con una composición química alterada por químicos pesados. La exposición continuada de arsénico puede incrementar significativamente el desarrollo de cáncer de piel, los pulmones , vejiga y riñones (10).

El arsénico inorgánico es un agente cancerígeno humano reconocido, según la Agencia de EE. UU sobre Sustancias Tóxicas y Registro de Enfermedades ha clasificado al arsénico como el número uno en su Lista de prioridades de sustancias peligrosas (11). Además, los compuestos de arsénico según la Agencia Internacional para la Investigación del Cáncer (IARC) son agente cancerígenos para los seres humanos y los clasifica en el Grupo 1 (12).

Se ha informado en varios países, la presencia de arsénico en niveles preocupantes en el agua potable y las aguas subterráneas en países del área sudeste de Asia, Bangladesh, India y otros. Y en áreas geográficas que comprende países como Argentina, Bolivia, Chile, Colombia, Brasil y Perú, en América Latina. En el Perú, las altas concentraciones de arsénico están relacionados a las actividades mineras y a la presencia de numerosos sistemas volcánicos y geotérmicos (10).

Particularmente en Tacna, ubicada al sur del Perú, se han reportado 19 distritos de los 27, es decir el 70% superaron los niveles máximos permitidos de arsénico en el agua potable de acuerdo a la OMS y las normas establecidas por la normativa peruana (13).

Se reporto en Tacna, provincia de Candarave la presencia de altas concentraciones urinarias de arsénico en los residentes de Cairani y en Camilaca lo cuales excedieron en 30 veces y en 1,5 veces, respectivamente, los límites de referencia definidos por la Organización Mundial de la Salud (14). Otro estudio realizado en pobladores del distrito de Candarave en los análisis detectaron en comunidades como Talaca, San Pedro y Candarave concentraciones de arsénico total urinario 15, 10 y 9 veces más elevadas al valor del Límite de tolerancia biológica de 20 µg/L a 25 µg/g creatinina, respectivamente, de acuerdo a las disposiciones de la Dirección General de Salud del Ministerio de la Salud (15).

La DIRESA Tacna, a través del Programa de vigilancia de calidad de agua constato el riesgo químico del agua para consumo humano con altos niveles de arsénico en la provincia de Candarave. Se identificaron niveles de arsénico en forma descendente en distritos como Curibaya, Cairani, Huanuara, Candarave, Quilahuani y con 0,60 mg/L; 0,58 mg/L; 0,40 mg/L; 0,3 mg/L y 0,27 mg/L, respectivamente, valores por encima de 0,01 mg/L o

10 µg/L establecidas por las directrices de la OMS (16) y el Reglamento de Agua destinado para la ingesta humana. La exposición por arsénico a través del agua es la ruta más resaltante de contaminación en la provincia de Candarave, lo que se ha atribuido a una contaminación natural por la lixiviación de arsénico de rocas volcánicas en el curso de las cuencas hidrográficas (12). Por tanto, se contaminan los forrajes, que posteriormente sirve para la alimentación de las vacas de la zona, las cuales nos proveen una gran diversidad de productos lácteos como la leche; los niveles superiores a los máximos permitidos de arsénico es un peligro para la salud particularmente en niños, ya que esta población tiene una mayor ingesta de leche.

Más del 75% de los pobladores rurales se abastecen de fuentes de agua subterráneas, conocen la contaminación de arsénico en el agua debido a la composición geológica natural por la interacción agua - roca y las mineralizaciones de origen ígneo que afloran en las cuencas hidrográficas alta de la región de Tacna (15).

La presencia de estos contaminantes trae como consecuencia alteraciones en el ecosistema y la cadena alimentaria, ya que la absorción de estos contaminantes por los diferentes productos agrícolas y forraje,

consumidos por animales que posteriormente pueden llegar a la dieta humana.

Teniendo en cuenta según las normas del Codex Alimentarius, el límite máximo permisible de arsénico en la leche cruda de vaca es de 0,014 mg/L para garantizar la seguridad alimentaria. Y en forraje del ganado los límites máximos permisibles de arsénico es 2 mg/kg según el Consejo del Parlamento Europeo (17).

A pesar de que se cuenta con evidencia de la contaminación por este metal pesado en el agua, no se han llevado a cabo un estudio exhaustivo que haya evaluado los niveles de arsénico en forraje y la leche cruda de vaca en la zona del distrito de Cairani ubicado en la provincia Candarave de la región de Tacna. Por lo que la presente investigación busca proporcionar información en relación a la contaminación química por arsénico, determinando los niveles presentes en forraje y la leche cruda de vaca con el fin de compararlos con los límites máximos establecidos por normas internacionales, así evaluando si exceden o no la normativa.

## **1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA**

### **1.2.1. Problema principal**

¿Cuál será los niveles de arsénico en forraje y la leche cruda de vaca en el distrito de Cairani, provincia de Candarave, región Tacna?

### **1.2.2. Problemas específicos**

¿Cuáles serán las características de exposición a arsénico en leche cruda de vaca en el distrito de Cairani, provincia de Candarave, región Tacna?

¿Existirá diferencias significativas en los niveles promedios de arsénico en forraje del distrito de Cairani, provincia de Candarave, región Tacna en comparación a los límites máximos permisibles por el Consejo del Parlamento Europeo?

¿Existirá diferencias significativas en los niveles promedios de arsénico en leche cruda de vaca del distrito de Cairani, provincia de Candarave, región Tacna en comparación a los límites máximos permisibles por el Codex Alimentarius?

¿Existirá diferencias significativas en los niveles promedios de arsénico en leche cruda de vaca del distrito de Cairani, provincia de

Candarave, región Tacna según las diferentes características de exposición?

¿Existirá diferencias significativas en los niveles promedios de arsénico en forraje del distrito de Cairani, provincia de Candarave, región Tacna según el tipo de forraje?

### **1.3. JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA DE LA INVESTIGACIÓN**

Esta investigación tiene como propósito principal evaluar el nivel de arsénico, metaloide que constituye una amenaza grave para la salud humana y el ecosistema, debido a que el arsénico puede llegar a transferirse en la leche producida por bovinos que se alimentan de forraje y agua contaminada con altas concentraciones de arsénico.

#### **1.3.1. Justificación teórica**

Este estudio proporcionara una contribución teórica, ya que se conocerá el impacto negativo de la presencia de arsénico en el agua de consumo humano con 1,910 mg/L en la provincia de Candarave como menciona el Ministerio de Salud; causado por fuentes termales ubicadas cerca a volcanes activos (18). En el área encontramos importantes recursos como agua, suelo, fauna y flora; son precisamente en estos recursos donde se van bioacumulando cantidades de elementos químicos y tóxicos como el arsénico.

En el distrito de Cairani, la población se abastece de agua de origen subterráneo principalmente del río Callazas con concentraciones de arsénico de 0,58 mg/L como menciona la Dirección Ejecutiva de Salud (14). Martin A.P. et al mencionan que la disolución de metales como el arsénico de los suelos al agua, seguido de la absorción en los forrajes exacerba su

entrada en los vacunos de consumo, de los cuales se obtienen productos lácteos y finalmente entrando a la cadena alimentaria humana. En consecuencia, los alimentos con niveles altos de arsénico ocasiona efectos desfavorables para salud de los seres vivos (19).

### **1.3.2. Justificación practica**

Asimismo, se brinda información mediante el método científico la presencia de arsénico en el forraje y la leche cruda de vaca, que es una preocupación creciente en el sur del Perú como Candarave. Por tanto, monitorear el contenido de arsénico en la leche es un indicador crítico que nos señala la calidad directa de la leche e indirectamente nos indica los niveles de contaminación de la zona donde es producida la leche.

### **1.3.3. Justificación social**

También el presente estudio, la justificación social se sustenta en la detección y análisis de arsénico son cruciales para generar conciencia de las Municipalidades Distritales debido a la falta de políticas y programas de protección al medio ambiente, así promover acciones que protejan la salud pública. Por otro lado, efectuar el control sanitario para garantizar la calidad e inocuidad de leche de vaca destinado al consumo humano,

especialmente en las primeras etapas de la vida como fuente considerable de macro y micronutrientes de alta calidad.

A nivel regional y nacional existe escasas investigaciones sobre la presencia de metales pesados, sin embargo, es un tema de creciente preocupación debido a sus implicancias para la salud animal y humana. Por tal motivo, se realiza la presente investigación sobre la presencia de arsénico en forraje y leche cruda de vaca en el distrito de Cairani, ubicado en la provincia de Candarave, región de Tacna.

Este estudio beneficiara a la población de Cairani y Tacna brindando información sobre los niveles de contaminación del forraje y la leche cruda de vaca.

## **1.4. OBJETIVOS**

### **1.4.1. Objetivo general**

Determinar los niveles de arsénico en forraje y la leche cruda de vaca en el distrito de Cairani, provincia de Candarave, región Tacna.

### **1.4.2. Objetivos específicos**

Describir las características de exposición a arsénico en la leche cruda de vaca del distrito de Cairani, provincia de Candarave, región Tacna.

Comparar los niveles de arsénico en el forraje del distrito de Cairani, provincia de Candarave, región Tacna con el límite máximo permisible establecido por el Consejo del Parlamento Europeo.

Comparar los niveles de arsénico en la leche cruda de vaca del distrito de Cairani, provincia de Candarave, región Tacna con el límite máximo permisible establecidos por Codex Alimentarius.

Comparar los niveles de arsénico en la leche cruda de vaca del distrito de Cairani, provincia de Candarave, región Tacna, entre las características de exposición.

Comparar los niveles de arsénico en forraje del distrito de Cairani, provincia de Candarave, región Tacna según el tipo de forraje.

## **1.5. HIPÓTESIS**

El trabajo de investigación se enfoca un estudio descriptivo, el objetivo principal es describir y caracterizar las variables de interés en una población. A consecuencia no es necesario establecer hipótesis.

## **1.6. VARIABLES**

### **1.6.1. Variable 1**

Niveles de arsénico en forraje y leche cruda de vaca.

### **1.6.2. Variable 2**

Características de exposición.

## 1.7. OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES

Tabla 1. Operacionalización de variables.

Variables	Definición conceptual	Definición operacional	Dimensión	Indicadores	Tipo y escala de medición de variable	Instrumento
<b>Variable 1:</b> Niveles de arsénico en forraje y leche cruda de vaca.	Cantidad de arsénico en forraje y leche cruda de vaca mediante ICP-OES.	Límite permitido de arsénico en muestras de forraje y leche cruda de vaca.	Límite permisible en forraje según el Consejo del Parlamento Europeo	< 2 mg/kg = 2 mg/kg > 2 mg/kg	<b>Tipo:</b> Cuantitativo  <b>Escala:</b> De razón	Espectrómetro de emisión óptica con plasma acoplado inductivamente (ICP-OES).
			Límite permisible en leche según la Codex Alimentarius.	< 0,014 mg/L = 0,014 mg/L > 0,014 mg/L		
<b>Variable 2:</b> Características de exposición.	Factores vinculados a la cantidad de arsénico mediante ficha de recolección de datos.	Factores que aumentan los niveles de arsénico en muestras de forraje y leche cruda de vaca.	<b>Forraje</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Pasto</li> <li>• Alfalfa</li> </ul>	<b>Tipo:</b> Dicotómico <b>Escala:</b> Nominal	
			Utilización de fertilizantes, agroquímicos, insecticidas			
			<b>Leche</b>			

Tiempo de residencia de la vaca en Cairani.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 2 años</li> <li>• 3 años</li> <li>• 4 años</li> <li>• 5 años</li> <li>• 6 años</li> </ul>	<b>Tipo:</b> Discreta <b>Escala:</b> Intervalo	Ficha de recolección de datos.
Edad de la vaca	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 2 años</li> <li>• 3 años</li> <li>• 4 años</li> <li>• 5 años</li> <li>• 6 años</li> </ul>	<b>Tipo:</b> Discreta <b>Escala:</b> Intervalo	
Raza de la vaca	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Holstein</li> <li>• Brown Swiss</li> <li>• Jersey</li> <li>• Simmenthal</li> </ul>	<b>Tipo:</b> Politómico <b>Escala:</b> Nominal	
Tipo de agua que consume la vaca	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Agua del Rio Callazas</li> <li>• Agua de pozo</li> <li>• Otro</li> </ul>	<b>Tipo:</b> Politómico <b>Escala:</b> Nominal	
El animal recibe medicación	<ul style="list-style-type: none"> <li>• SI</li> <li>• NO</li> </ul>	<b>Tipo:</b> Dicotómico <b>Escala:</b> Nominal	
Ventilación de la finca lechera	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Muy ventilado</li> <li>• Regularmente ventilado</li> <li>• Poco ventilado</li> </ul>	<b>Tipo:</b> Politómico <b>Escala:</b> Nominal	
Frecuencia de la limpieza de la finca lechera	<ul style="list-style-type: none"> <li>• SI</li> <li>• NO</li> </ul>	<b>Tipo:</b> Dicotómico <b>Escala:</b> Nominal	

## CAPÍTULO II

### MARCO TEORICO

#### 2.1. ANTECEDENTES DEL ESTUDIO

##### 2.1.1. Antecedentes Internacionales

Özbay S. et al. "***Evaluación de factores biológicos (pienso y agua), estacionales y geológicos que afectan el contenido de metales pesados de la leche cruda***". [Artículo de investigación]. Turquía. 2023. Universidad Kirşehir Ahí Evran. Para el análisis se recogieron muestras de 300 g de pienso, 250 ml de leche de 7 productores de leche en la provincia de Aksaray en 3 temporadas diferentes en un plazo de seis meses obteniendo un total de 126 muestras, se utilizó la técnica ICP-MS para el análisis de las muestras. Se obtuvo en el análisis de las muestras de leche un nivel promedio de arsénico de 0,00098 mg/L y el nivel de arsénico mayor fue en verano con 0,00282 mg/L. En las muestras de piensos la concentración de As promedio fue 0,06016 mg/kg; el nivel de arsénico mayor fue en verano con 0,12834 mg/kg. Se observó en los resultados, que las concentraciones de As varían relativa según la distancia a la región volcánica. Concluyendo, la presencia de arsénico en las muestras analizadas de leche y pienso cumplen con los límites

establecidos y las estaciones afectan las concentraciones de metales pesados (20).

Chicaiza E. & Chuquimarca T. “***Evaluación agronómica de alfalfa (Medicago sativa), achira (Canna indica), y sigse (Cortaderia nitida) para mejoramiento de suelos de la junta de riego Tiliche San José del Cantón Latacunga provincia de Cotopaxi 2024***”. [Trabajo de tesis]. Ecuador. 2024. Universidad Técnica De Cotopaxi. El estudio tuvo como objetivo evaluar agronómicamente la alfalfa para mejoramiento de suelos, medir la cantidad de arsénico presente en los suelos y evaluar la capacidad fitorremediadora de suelos de la alfalfa. El trabajo de investigación se realizó en la provincia de Cotopaxi una superficie de 64m<sup>2</sup>; se muestreo raíces, tallos y hojas de la planta, para su análisis se realizó la digestión con ácido nítrico y posteriormente se midió los niveles de arsénico mediante espectrometría de fluorescencia atómica. Para determinar la efectividad en la fitorremediación de As se determinaron los factores de translocación (TF). Concluyendo que la alfalfa tuvo mayor capacidad fitorremediadora en relación a achira o sigse del estudio en suelos contaminados de arsénico, la alfalfa contenía 12,39 mg/kg en la parte aérea y el 3,12 mg/kg de arsénico en la raíz (21).

Forcada S. et al. "***Impacto de los compuestos potencialmente tóxicos en la leche de vaca: cómo las actividades industriales afectan las producciones primarias de animales***". [Artículo de investigación]. España. 2023. Universidad de Oviedo. El estudio analizó la concentración de arsénico en forraje y leche de 16 explotaciones ganaderas españolas. Las muestras de forraje fueron recolectadas en tres puntos del comedero y las muestras de leche (1 L) directamente del tanque. Se digirieron por microondas las muestras de forraje (0,5 g) y leche (0,5 g). La determinación de As por ICP-MS se basó en métodos oficiales: EN 17053:2018 y ISO 15151:2018 en forraje y leche, respectivamente. Obteniendo como resultado en el forraje, una concentración máxima de arsénico que alcanzó los 7,87 mg/kg, mientras que la mínima fue de 0,06 mg/kg; la mediana total de las fincas analizadas fue de 0,42 mg/kg. En contraste, los niveles de arsénico en la leche fueron considerablemente inferiores a los encontrados en el forraje con 0,016 mg/L y la concentración mínima de As fue 0,00123 mg/L; del total de las fincas se obtuvo una mediana total de concentración de As de 0,00165 mg/L. Concluyendo, que la concentración de As está enriquecida en suelos, y que este enriquecimiento condujo a niveles algo elevados en el forraje, pero no a niveles peligrosamente altos en la leche (22).

Van N. et al. "**Evaluación de la contaminación por arsénico de la leche y los productos lácteos**". [Artículo de investigación]. Vietnam. 2022. Universidad Médica Militar de Vietnam. Este estudio se centró en evaluar la contaminación por arsénico en leche y productos lácteos en diversas ciudades de Vietnam. Para ello, se analizaron un total de 367 muestras de leche recolectadas, pasaron por el proceso de digestión y a través de la espectrofotometría de absorción atómica, se determinó la cantidad de arsénico en las muestras. Se obtuvo como resultado la concentración promedio de arsénico de forma descendente de la siguiente manera: torta de leche, queso, yogur y la leche líquida y leche en polvo con 0,2328; 0,22138; 0,16981; 0,13932 y 0,03443 mg/L; respectivamente. Se determinó que la cantidad media de arsénico total en la leche líquida era de 0,13932 mg/L, la concentración mayor fue 0,672 mg/L y menor fue 0,114 mg/L; entonces el porcentaje que excede los niveles máximos permitidos la regulación nacional de Vietnam (QCVN 8-2:2011/BYT) de 0,5 mg/L fue de 3,50 %. Concluyendo que algunas muestras de leche son superiores a la normativa de la regulación de Vietnam (23).

Davidova I. et al. "**Efecto del arsénico en el parénquima de la ubre de la vaca**". [Artículo de investigación]. República de Serbia. 2021. Universidad de Novi Sad. El estudio tuvo como objetivo determinar el impacto del arsénico en el agua potable en los niveles de arsénico

detectados en la leche de vaca y el tejido mamario. El trabajo de investigación se realizó en seis granjas de la región de Banat, al azar se seleccionaron veinte vacas de cada granja. Utilizando la técnica de espectrometría de absorción atómica, se cuantificó el arsénico en muestras de sangre, leche y agua, y se realizó el examen ecográfico de la ubre para determinar cambios en el parénquima. Obtuvo como resultado una concentración media de arsénico en el agua analizada fue de  $0,0736 \pm 0,0594$  mg/L; en la sangre de las vacas el valor medio fue  $0,0566 \pm 0,0283$  mg/L y en leche de vaca osciló entre  $0,001 - 0,28$  mg/L con un valor promedio de  $0,0665 \pm 0,053$  mg/L; por otro lado, en el examen ecográfico de la ubre resultó el parénquima patológicamente alterado en 77 de 120 vacas con una estructura no homogénea, de las 77 vacas presentaron 54 vacas (70,13 %) altas concentraciones de arsénico en leche. Concluyendo una correlación positiva estadísticamente significativa encontrada entre la concentración de arsénico en el agua con sangre y la leche sugiere que un incremento en la concentración de arsénico en el agua resulta en un aumento de arsénico en la sangre y la leche, a consecuencia puede ocasionar un efecto negativo en el parénquima de la ubre de las vacas (24).

Davidova I et al. "**Contaminación de la leche de vaca por metales pesados en Serbia**". [Artículo de investigación]. Serbia. 2019.

Universidad de Novi Sad. El objetivo de este estudio fue cuantificar los niveles de diez metales pesados, entre ellos arsénico en la leche de vaca que fueron recolectadas de tres granjas lecheras. Para el análisis, se recolectaron 50 muestras de leche de cada una de las granjas, y se procedió a su evaluación utilizando ICP-OES. Los resultados mostraron una media de arsénico de 0,058 mg/L. Por lo tanto, se concluye que los niveles de arsénico son ligeramente superiores a los recomendados por la Federación Internacional de Lácteos (25).

Castro N. et al. ***“Metales pesados en la leche de vaca alimentadas con alfalfa producida en suelos irrigados con aguas residuales en Puebla y Tlaxcala, México”***. [Artículo de investigación]. México. 2018. Benemérita Universidad Autónoma de Puebla. Este estudio se centró en investigar la presencia de arsénico y otros metales en la leche de vacas que consumían alfalfa cultivada en terrenos irrigados con aguas residuales en cuatro áreas, y proceder al cálculo del factor de translocación (TF) y el valor de transferencia de los metales de la planta a la leche. Las muestras de leche fueron recolectadas de 160 vacas y 16 muestras de alfalfa fue muestreada por triplicado, luego las muestras fueron digeridas, se empleó la ICP-OES para la determinación del contenido de arsénico. Se obtuvo en las zonas muestreadas como resultado  $1,25 \pm 0,6$ ;  $0,88 \pm 0,6$ ;  $1,12 \pm 0,8$  y  $0,80 \pm 1,5$  mg/kg de arsénico

en alfalfa y  $0,038 \pm 0,01$ ;  $0,029 \pm 0,01$ ;  $0,033 \pm 0,02$  y  $0,039 \pm 0,02$  mg/L de arsénico en leche, por otro lado, la alfalfa tuvo un FT  $>1$  lo cual indica que los metales tienen una alta capacidad de movimiento dentro de la alfalfa. Se concluyó que la alfalfa funciona como un mecanismo para la transferencia de arsénico a los animales, por ser la alfalfa acumuladora de metales pesados. A pesar de que se encontraron niveles de arsénico por debajo de los límites permitidos por la Norma Oficial Mexicana, la leche constituye una vía significativa para la eliminación de metales pesados (26).

Castro N. et al. "***Evaluación del riesgo a la salud infantil por consumo de leche de vaca en zonas contaminadas de Puebla y Tlaxcala, México***". [Artículo de investigación]. México. 2019. Benemérita Universidad Autónoma de Puebla. Este estudio tuvo como objetivo determinar la concentración de metales pesados en la leche de 160 vacas en dos periodos estacionales en cuatro áreas contaminadas, y se evaluó el riesgo para la salud de niños y niñas de 3 meses a 18 años. Se procedió a analizar las muestras de leche para determinar su contenido de arsénico, utilizando ICP-OES. Se obtuvo como resultado promedio en muestras de leche  $0,035$  mg/L de arsénico y mostraron que el cociente de riesgo (HQ) para el arsénico superaba el valor de 1, y el índice de riesgo (HI) para la mezcla de metales pesados indicaba un riesgo significativo de

11,10 ( $\pm$  1,40) a 1,11 ( $\pm$  0,18) correspondientes los primeros tres meses de vida a 18 años respectivamente. Se concluye que los niveles de arsénico en la leche cumplían con la Norma Oficial Mexicana, pero el riesgo individual de cáncer seguía el orden descendente: arsénico, cadmio, cromo y plomo. Asimismo, el riesgo del efecto conjunto de los metales pondrían a la población infantil en grave riesgo (27).

Kocasari F. et al. **“Pocos niveles de metales pesados en ciertos tejidos del ganado vacuno en Burdur, Turquía”**. [Artículo de investigación]. Turquía. 2017. Universidad Mehmet Akif Ersoy. El objetivo del estudio se centró en la determinación de la concentración de metales pesados en 50 muestras, las cuales incluían tejidos musculares, hepáticos y renales. Mediante ICP-OES, se cuantificó el arsénico en 50 muestras aleatorias de animales sano. Se obtuvo como resultado la detección de arsénico en las tres muestras, 1 en cada tejido bovino en las siguientes concentraciones de 0,044; 0,003 y 0,08 mg/kg en músculo, hígado y riñón respectivamente. Se concluye que en los niveles de As en tejidos bovinos fueron inferiores a los valores permisibles por el Código alimentario turco de 1 mg/kg (28).

Roggema S. et al. **“Acumulación y desintoxicación de metales y arsénico en los tejidos de Ganado bovino (*Bos taurus*) y los riesgos**

***para el consumo humano***". [Artículo de investigación]. Bélgica. 2014. Universidad de Amberes, Groenenborgerlaan. El estudio tuvo como objetivo analizar los procesos de acumulación y desintoxicación de metales en el ganado de áreas contaminadas y no contaminadas, Se determinaron las concentraciones de arsénico y otros metales pesados en muestras de tejido muscular, renal, hepático y pulmonar. Los bovinos muestreados fueron sacrificados obteniendo 5 g de músculo que fueron cortados del cuello de la vaca, el hígado se cortó el lóbulo izquierdo, también se analizó cada riñón derecho y cada pulmón derecho. Se prepararon las muestras mediante homogenización, pesaje y digestión para el análisis, y posteriormente se analizaron con un espectrómetro de masas de ICP de alta resolución. Se obtuvo como resultado en el caso de As que las concentraciones más altas fueron en el tejido renal 0,00007 mg/kg. Todos los niveles de As en los hígados y los riñones estaban dentro del rango normal de 0,4 mg/kg para fines de salud animal, respecto al análisis de muestras de músculo y pulmón no se detectó arsénico. Se concluye que las concentraciones de metales en diversos tejidos eran notablemente mayores en los Galloways en comparación con las vacas lecheras o Holstein (29).

### **2.1.2. Antecedentes nacionales**

Castro J. et al. **“Plomo (Pb), cadmio (Cd) y arsénico (As) en leche cruda de vaca en una zona central Andina y Riesgos para la Población Peruana”**. [Artículo de investigación]. Perú. 2023. Universidad Nacional del Centro del Perú. La investigación tuvo como objetivo medir las concentraciones de plomo, cadmio y arsénico en el suelo, el pasto y la leche cruda de vaca, además de evaluar el riesgo para la salud en personas de 2 a 85 años, teniendo en cuenta tres niveles de ingesta diaria por grupo de edad. Se recolectó 2 muestras de leche por vaca, en total 24 muestras de 250 ml de leche de 12 vacas y seis muestras de pasto del mismo lugar de muestreo, se determinó la concentración de estos tres elementos utilizando espectrometría de absorción atómica de llama, siguiendo el método AOAC 973.35. Se obtuvo como resultado la concentración media de arsénico en la leche cruda de vaca era de 0,030 mg/L, excediendo en 2,1 veces el LMP de 0,014 mg/L fijado por el Codex Alimentarius. Se encontró contenidos medios de As en pasto 0,063 mg/kg, inferior al LMP de 2 mg/kg sugeridos por el Consejo del Parlamento Europeo. Además, el índice de peligrosidad HI fue  $> 1$  en los escenarios de consumo bajo, medio y alto de leche para 7, 9 y 11 años respectivamente, estos resultados sugieren un riesgo potencial. También se identificó el orden del cociente de riesgo objetivo siendo el  $As > Pb > Cd$ , siendo el TQH  $> 1$  en As en todas las edades. Se concluyó que los

niveles promedio de metales pesados en la leche excedían los límites máximos establecidos por las normativas internacionales, lo que indica un riesgo potencial asociado al consumo de leche (30).

Ninaquispe E. & Vasquez I. “**Determinación de la presencia de metales pesados Hg, As, Pb y Cd en leche y agua de regadío de la cuenca de Santa Eulalia, agosto 2020**”. [Tesis de grado]. Perú. 2020. Universidad Roosevelt. Este estudio trabajó con 500ml de 5 muestra de leche almacenados a 4°C que posteriormente fueron trasladados al laboratorio de Calidad PACIFIC CONTROL CMA SAC. La metodología del estudio incluyó el uso de la técnica de espectrofotometría de absorción atómica llama. Los resultados obtenidos para el análisis de la leche de vaca revelaron que los niveles de arsénico oscilaron entre 0,055 mg/L como valor mínimo y 0,062 mg/L como valor máximo, con un promedio de 0,059 mg/L. Este promedio supera el límite de 0,015 mg/L establecido para el consumo humano en leche según Norma Técnica Ecuatoriana NTE009:2008 (31).

Coronel B. & Villanueva M. “**Concentración de arsénico y plomo en leche cruda de vaca y el efecto de la salud en los consumidores del distrito de Huay Huay región Junín**”. [Tesis de grado]. Perú. 2022. Universidad María Auxiliadora. En la investigación se trabajó 100L de

leche cruda producido por 20 vacas, obteniendo 20 muestras se recolectaron en 20 botellas de polietileno. Se almacenaron las muestras a una temperatura que osciló entre 2 y 8 °C, y luego se enviaron al laboratorio de CICOTOX de la facultad de Farmacia y Bioquímica de la UNMSM. La técnica de espectrometría de horno de grafito fue el método utilizado para el análisis. Los resultados medios obtenidos para leche cruda de vaca presentaron una concentración de arsénico de 0,08 mg/L. Se concluyó que en el 60% de las muestras, los niveles de arsénico superaron los límites máximos permitidos de 0,05 mg/L de acuerdo con las normas del MERCOSUR (32).

Sáenz L. "***Presencia de metales pesados en la leche de consumo humano en el valle de Cajamarca***". [Tesis de posgrado]. Perú. 2019. Universidad Nacional de Cajamarca escuela de posgrado. El objetivo de este estudio fue determinar la presencia de arsénico en leche cruda de vaca proveniente de dos establecimientos lecheros en Cajamarca, las muestras fueron tomadas de 4 vacas de la raza Holstein y Brown Swiss de cada vaca se obtuvo 10 muestras de leche cruda, con un total de 40 muestras. En el Laboratorio Regional del Agua de Cajamarca, se llevaron a cabo los análisis de la concentración de los elementos, de acuerdo con la metodología EPA 200.07 empleando la técnica de ICP-OES. Los resultados obtenidos mostraron que, en el fundo "Bella Unión",

la media de arsénico fue de 0,019 mg/L, con seis muestras que excedieron LMP establecidos por la Norma Técnica Ecuatoriana. Para el fundo "La Molina", la media de arsénico fue de 0,027 mg/L, con nueve muestras que excedieron los LMP-NTE. En conclusión, el fundo "La Molina" fue identificada como la granja con la mayor presencia de arsénico, de entre los dos fundos analizados (33).

Huanqui R. "***Determinación de metales pesados en pastos, fibra, carne y vísceras de alpacas en comunidades del distrito de Ananea – Puno***". [Tesis de pregrado]. Perú. 2018. Universidad Nacional Del Altiplano. La finalidad de esta investigación fue establecer las concentraciones de arsénico en una zona caracterizada por actividad minera. Para ello, en el laboratorio de la Unidad de Servicios de Análisis Químicos de la Universidad Nacional Mayor de San Marcos, se determinó la concentración de los elementos presentes en seis muestras de pasto de áreas de pastoreo, empleando la técnica de espectrofotometría de absorción atómica con horno de grafito. Obteniendo como resultado la concentración de As en un rango de 0,01306 – 0,091997 mg/kg en los pastos de las praderas y una media  $0,04933 \pm 0,03305$  mg/kg, por otro lado, la ausencia de arsénico detectable en las muestras de tejidos musculares y viscerales indica que la concentración de este elemento era menor a 0,005 mg/kg. Se concluyó que el pasto del distrito de Ananea no

superaba los límites máximos permisibles de arsénico, y que las muestras de músculos y vísceras no contenían arsénico detectable. Por tanto, el nivel de arsénico medido cumple con los límites máximos permitidos por la Unión Europea, que van de 0,05 a 1,25 mg/kg en alimentos (34).

### **2.1.3. Antecedentes locales**

Mamani M. ***“Determinación de arsénico en leche fresca de bovinos por espectrofotometría de absorción atómica en Ite, 2022”***. [Tesis de pregrado]. Perú. 2022. Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann. La finalidad de esta investigación fue establecer las concentraciones de arsénico, para lo cual se recolectó 30 muestras de 200 ml de leche fresca. El análisis se llevó a cabo en los laboratorios BHIOS, utilizando un espectrofotómetro de absorción atómica con generador de hidruros, siguiendo el método BHIOS-FQ-008. Los resultados mostraron que la leche contenía una concentración promedio de arsénico de 0,032 mg/L, con valores que se encontraban entre 0,002 y 0,075 mg/L y con la ficha de recolección se determinó la edad media de los vacunos entre 3 con 46,67 % a 4 años con 36,67 % y la raza más predominante fue la Holstein con 73,33 %. El estudio concluyó que un 27% de las muestras de leche presentaron niveles de arsénico por encima

del Límite Máximo Permisible de 0,05 mg/L, según lo estipulado por el MERCOSUR (35).

## **2.2. Bases teóricas**

### **2.2.1. Metales pesados**

Los metales pesados, contaminantes tóxicos presentes en los ecosistemas, representan un gran peligro debido a su persistencia, capacidad de bioacumulación y alta toxicidad.

Son elementos químicos que se caracterizan por su elevado peso atómico, que oscila entre 63,55 y 200,59; y su alta densidad, superior a 5 g/cm<sup>3</sup> que es al menos cinco veces mayor a la densidad del agua, se encuentran en la biosfera y se liberan al medio ambiente por actividades antropogénicas comerciales e industriales que incluye la industria metalúrgica no ferrosa, industrias químicas, la minería y el curtido del cuero. Dentro de los metales pesados que generan contaminación en el medio ambiente, destacan el arsénico (As), el cadmio (Cd), el plomo (Pb), el cromo (Cr), el mercurio (Hg), el cobre (Cu) y el níquel (Ni) (36). Los metales pesados tienen la capacidad de transferirse a través de la cadena alimentaria, por ejemplo el metal en el suelo es absorbido en las plantas, luego los seres vivos se exponen a estos metales pesados a través de la alimentación, lo que conduce a su acumulación en órganos y tejidos, con resultados perjudiciales ocasionando efectos negativos para la salud (37).

El grado de toxicidad de los metales pesados está determinado por factores como la concentración, la vía de entrada al organismo, las especies químicas presentes y la duración de la exposición (37).

## **2.2.2. Arsénico**

### **2.2.2.1. Propiedades químicas y físicas**

El arsénico se clasifica como un metaloide o semimetal debido a que presenta características químicas y físicas intermedias tanto de metales como de no metales (38).

El arsénico se introduce al medio ambiente por fuentes naturales o antropogénicas.

En las fuentes naturales ocurre por las emisiones volcánicas, la meteorización y actividad biológica. En cuanto a las fuentes antropogénicas se encuentran las provenientes de la industrialización como la minería, fundición de metales, pesticidas, herbicidas, etcétera.

El arsénico, ubicado en el grupo VA de la tabla periódica, se caracteriza por tener un número atómico de 33, una masa atómica relativa de 74,92 g/mol y una densidad de 5,72 g/mol. Los estados de oxidación que el arsénico puede presentarse en cuatro formas: -3, 0,

+3 y +5 (39). También se puede encontrar en tres estados alotrópicos de color negra, amarilla y gris del metal (40).

Las formas de oxidación que el arsénico puede adoptar son diversas, incluyendo arsina ( $\text{As}^{-3}$ ), arsénico ( $\text{As}^0$ ), arsenito ( $\text{As}^{+3}$ ) y arseniato ( $\text{As}^{+5}$ ).

### **Grupos de compuestos de arsénico**

#### **a) Compuestos inorgánicos de arsénico**

El arsénico inorgánico, se forma cuando el arsénico elemental se combina con otros elementos químicos, como el oxígeno, cloro, hierro o azufre (40).

La forma trivalente del arsénico, conocida como arsenito, presenta una mayor toxicidad en comparación con la forma pentavalente, llamada arseniato.

Entre los compuestos trivalentes más frecuentes se encuentran el trióxido de arsénico, el tricloruro de arsénico y el arsenito de sodio. Por otro lado, los compuestos pentavalentes más comunes son el pentóxido de arsénico, el ácido arsénico ( $\text{H}_3\text{AsO}_4$ ) y los arseniatos, tales como el arseniato de plomo y el arseniato de calcio (39).

### **b) Compuestos orgánicos de arsénico**

El arsénico orgánico, se forma a partir de la unión del arsénico elemental con otros elementos químicos como hidrógeno y carbono (40).

Se incluyen como compuestos orgánicos de arsénico el ácido dimetilarsínico (también conocido como ácido cacodílico), el ácido monometilarsónico, el ácido arsanílico y la arsenobetaina (39).

### **c) Gas arsina**

#### **2.2.2.2. Uso de arsénico**

Los usos del arsénico incluyen productos farmacéuticos hasta la década de 1970. El arsénico inorgánico se utilizó para tratar asma, corea, psoriasis, pénfigo, eczema, leucemia, anemia perniciosa y enfermedad de Hodgkin y empíricamente para la sífilis, la lepra y el pian (40). También se utilizó como antibióticos para el tratamiento de enfermedades causadas por espiroquetas y protozoarios (39).

Se utilizó el arseniato de cobre cromado como conservantes antifúngicos de madera, y se identificó que la quema de esta puede liberar niveles tóxicos de arsénico; a consecuencia de esto,

actualmente se encuentra prohibida en Europa, Asia y los Estados Unidos (40).

En la agricultura, se ha empleado en la formulación de pesticidas, herbicidas, insecticidas, desecantes, defoliantes de algodón. El metanoarsonato monosódico (MSMA), un herbicida para malezas en algodón (39).

Roxarsona, ácido arsánico y sus derivados se utilizan como aditivos alimentarios para aves y cerdos para aumentar peso, tratamiento y prevención de enfermedades (39).

En la industria, el arsénico elemental se utiliza para crear aleaciones, particularmente con plomo, en la fabricación de baterías de plomo-ácido y con cobre (39).

El arseniuro de galio y la arsina tienen aplicaciones en las industrias electrónica, específicamente en la fabricación de chips, debido a sus atributos que permiten una rápida conducción de electrones, conversión de energía lumínica, respuesta a campos electromagnéticos y generación de luz (39).

### **2.2.2.3. Toxicocinética**

#### **Absorción y distribución**

La mayoría de los compuestos inorgánicos de arsénico se absorben por vía gastrointestinal fácilmente después de la exposición oral (39), aunque se consideran las vías respiratorias y dérmicas, pero como vías de absorción es mínima. Aproximadamente el 99 % del As se absorbe a través de la mucosa intestinal y pasa al torrente sanguíneo. Interactúa con la fracción de globina de la hemoglobina. A las 24 horas de la exposición en tejido hepático, pulmonar, renal y el bazo son los órganos donde se encuentra el arsénico distribuido (30).

El arsenito  $\text{As}^{+3}$  ingresa a la célula mediante las acuaporinas 9 y 7, se une al glutatión intracelular (GSH) y el arseniato  $\text{As}^{+5}$  se mueve en la vía del fosfato, lo que causa una baja generación de adenosín trifosfato y un incremento de fosfato inorgánico (41).

Debido a que  $\text{As}^{+5}$  se reduce rápidamente a  $\text{As}^{+3}$  una vez que ingresa a la célula, puede explicar la mayor toxicidad de  $\text{As}^{+3}$ . Sin embargo, la reactividad química mucho mayor del  $\text{As}^{+3}$  en comparación con la del  $\text{As}^{+5}$  es la explicación principal (39).

## **Metabolismo**

El arsenito  $\text{As}^{+3}$  se metaboliza mediante metilación gradual, principalmente en el hígado (39). Se biometila oxidativamente para dar compuestos arsenicales orgánicos pentavalentes, como el ácido metilarsónico (MMA) y el ácido dimetilarsínico (DMA), son menos tóxicos y agresivos en una reacción catalizada por una metiltransferasa (38).

En la actualidad, se han propuesto dos posibles rutas metabólicas del As en mamíferos: (a) reducción del  $\text{As}^{+5}$  a  $\text{As}^{+3}$  (b) metilación por oxidación del  $\text{As}^{+3}$  (41).

La metilación que sufre el As es utilizada como desintoxicación en el organismo, sin embargo, a elevadas dosis de arsénico puede causar saturación de la enzima metiltransferasa, a consecuencia ocurre la toxicidad causada por la acumulación de este metal pesado en los tejidos.

## **Excreción de arsénico**

La principal vía de excreción del arsénico es a través de la orina, eliminándose aproximadamente el 70 % por esta vía. Excretándose en orina en un rango del 10 al 20 % como ácido monometilarsónico "MMA",

10 a 30 % de arsénico inorgánico y 55 a 76 % de ácido dimetilarsínico “DMA”. El arsénico inorgánico permanece en el organismo alrededor de 10 horas, y las formas orgánicas tienden a tener una vida media biológica más larga, alrededor de 30 horas (41).

#### **2.2.2.4. Toxicodinámica**

El orden de toxicidad decreciente del arsénico es:  $As^{+3}$ ,  $As^{+5}$ , compuestos arsenicales y arsénico elemental. La toxicidad del arsenito ( $As^{+3}$ ) supera en diez veces a la del arseniato ( $As^{+5}$ ) y 70 veces superior más que ácido dimetilarsínico (DMA) y el monometilarsonato (MMA) (42).

Se estima que una dosis letal de arsénico inorgánico para adultos se encuentra en el rango de 1 y 4 mg por cada kg de peso corporal.

La toxicidad de los compuestos  $As^{+3}$  está relacionado con la afinidad a los grupos sulfhidrilo en la proteína de tejidos y enzimas mediante enlace covalente, este mecanismo tóxico interfiere con la oxidación del piruvato y ciclo del ácido cítrico, bloqueando estas vías metabólicas. El arsénico tiene una fuerte afinidad por los grupos sulfhidrilo, que están presentes en la queratina resulta en su acumulación piel, pelo, uñas y membranas mucosas. Por su parte, el

arsénico pentavalente ( $\text{As}^{+5}$ ) puede reemplazar al fosfato en las reacciones enzimáticas, lo que altera la producción de adenosín trifosfato por la hidrólisis de enlaces de fosfato, este mecanismo de toxicidad interrumpe el proceso de fosforilación oxidativa que ocurren en la mitocondria (42).

#### **2.2.2.5. Intoxicación por arsénico**

Puede manifestarse de dos maneras:

**Intoxicación sobreaguda:** Ocurre por la rápida y elevada absorción de arsénico, se manifiesta una hora después de la exposición como un cuadro neurológico paralizante (43).

**Intoxicación aguda:** Ingesta de 70 - 180 mg puede ser una dosis letal. Ocasiona daño en la mucosa del tracto gastrointestinal y genera la formación de vesículas, una respuesta inflamatoria y separación de la mucosa desencadenando un trastorno gastrointestinal. La sintomatología que se presenta en menos de 24 horas es fiebre, anorexia, hepatomegalia, melanosis y arritmia cardíaca. A los días de exposición se produce anemia y leucopenia reversible. El efecto neurológico aparece de 1 a 2 semanas, se caracteriza pérdida de sensibilidad en los nervios periféricos. Una exposición repentina y

cantidad elevada puede causar daño cerebral, incluso coma y muerte (43).

La intoxicación aguda por arsina que ingresa vía inhalatoria, su absorción es inmediata tras de 2 a 24 horas provoca a niveles bajos hemólisis intravascular y a niveles altos citotoxicidad directa multisistémica (43).

**Intoxicación crónica:** En la piel ocurre cambios característicos entre 6 meses y 3 años después de la exposición, se pueden observar alteraciones cutáneas típicas, tales como hiperpigmentación, hipopigmentación e hiperqueratosis palmas de las manos y las plantas de los pies suele suceder después de años. El riesgo de cáncer de piel se incrementa con la exposición prolongada. También se produce lesión hepática que puede presentarse al principio con coloración amarilla de la piel y aumento del tamaño del hígado, y pudiendo derivar a cirrosis, ascitis y cáncer de hígado. La exposición reiterada de bajos niveles puede producir neuropatía periférica, provoca daños en las neuronas sensitivas y motoras debido a la pérdida de mielina en las fibras nerviosas de axones largos (43).

#### **2.2.2.6. Carcinogénesis**

La IARC o Agencia Internacional de Investigación sobre el Cáncer ha establecido que el arsénico es un carcinógeno humano del Grupo I, y su exposición se relaciona con la formación de tumores en la piel, los pulmones, el hígado, la próstata, la vejiga y los riñones.

La acción carcinogénica del arsénico se relaciona con alteraciones cromosómicas, a causa de las alteraciones que se producen en las enzimas responsables de la duplicación y reparación del material genético (44). También se considera causa de carcinogénesis al estrés oxidativo y la supresión del gen p53 (40).

#### **2.2.2.7. Arsenicosis crónico regional endémico o HACRE**

La exposición prolongada a arsénico por el consumo de agua y alimentos con altas concentraciones de arsénico produce el Hidroarsenicismo Crónico Regional Endémico (HACRE), caracterizado por engrosamiento de la piel, cambios en la coloración dérmica, y alteraciones sistémicas tanto cancerosas como no cancerosas. En alteraciones cancerosa se asocia a propiedades mutagénicas, teratogénicas y carcinogénicas, el arsénico se asocia con la aparición de cáncer de vejiga y pulmón. En alteraciones no cancerosa se asocia a afecciones vasculares en las extremidades inferiores, complicaciones

reproductivas y enfermedad metabólicas como presión arterial elevada y diabetes (42).

### **2.2.3. Leche**

La leche, una secreción blanca y dulce, se genera en las glándulas mamarias tras el parto, como respuesta a la estimulación de los alvéolos mamarios por la prolactina.

#### **2.2.3.1. Composición de la leche**

La composición de la leche varía a lo largo de su producción, y está sujeta a cambios por factores como el manejo del ganado, su alimentación y la raza que influyen considerablemente.

La leche contiene una alta proporción de agua (87,69 g por cada 100 g) y aporta 64 kcal de energía. Sus principales componentes nutritivos incluyen proteínas (3,28 g), grasas (3,66 g) y carbohidratos (4,65 g). Además, es fuente de minerales esenciales como calcio (119 mg), fósforo (93 mg) y potasio (151 mg), y vitaminas como la vitamina A (33 µg) y vitaminas del complejo B.

#### **2.2.4. Técnica de espectroscopia que utiliza plasma ICP para análisis de emisión óptica (ICP-OES).**

Esta técnica analítica, ampliamente utilizada, permite determinar con alta precisión las concentraciones a mayoría de los elementos de la tabla periódica, tras una digestión previa de la muestra, con la excepción de los gases nobles, carbono, nitrógeno, oxígeno e hidrógeno.

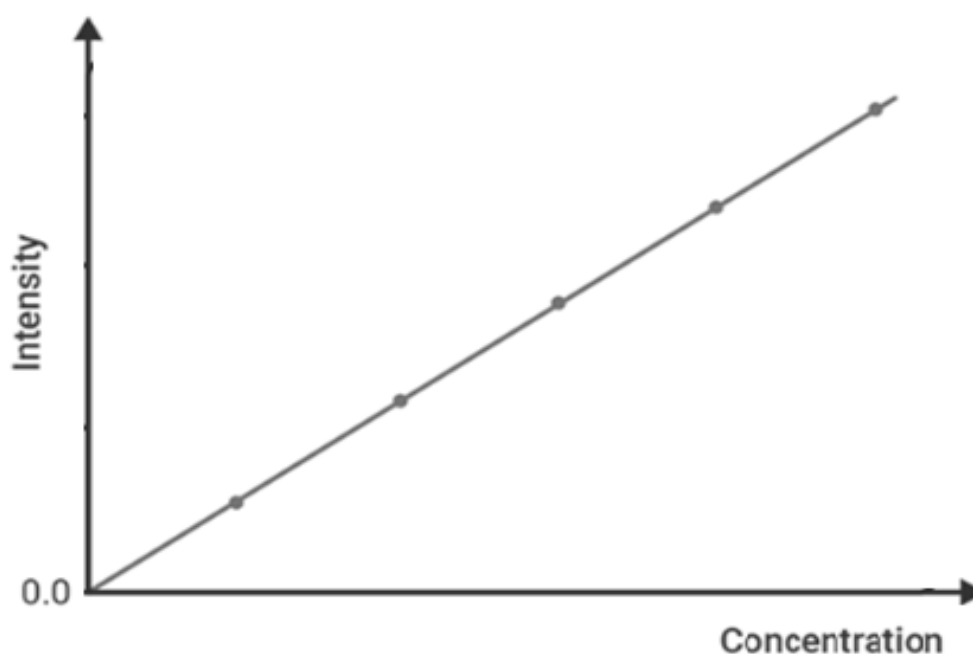
##### **Fundamento**

La técnica ICP-OES mide la luz emitida por los átomos excitados en un plasma de argón con elevada temperatura (6800 K), generado por un campo electromagnético. El proceso implica la excitación de átomos desde su estado fundamental a niveles de energía más altos. Al regresar a su estado base, estos átomos emiten energía a través de energía electromagnética en una longitud de onda que constituyen su espectro característico para cada elemento que son detectadas y cuantificadas (45).

La ley de Beer-Lambert explica la relación entre la intensidad de la luz y la concentración del elemento químico.

Para calibrar un ICP-OES se realiza una curva de calibración utilizando soluciones estándar que presentan cantidades determinadas

del o los elementos que se van a analizar. Esta curva calibración representa gráficamente la relación de la cantidad de luz emitida a una longitud de onda determinada con la concentración del elemento químico presente en la solución.



**Gráfico 1.** La curva de calibración de un metal entre la concentración (eje X) y la intensidad de la luz emitida (eje Y).

El ICP-OES Optima 8000 sus componentes principales son los siguientes:

- El espectrómetro.
- La fuente de ICP.
- El sistema de introducción de muestras.

Utilizando el principio ICP-OES, funciona de la siguiente manera:

1. Excitación de átomos que se encuentra en estado fundamental mediante un plasma de argón.
2. Cuantificación de la luz emitida a una longitud de onda definida cuando los electrones de los átomos retornan a su estado fundamental.
3. Determinación de la cantidad de un elemento químico en una solución, utilizando una curva de calibración.

### 2.3. Definición de términos

**OMS:** La Organización Mundial de la Salud (OMS), es la agencia especializada de las Naciones Unidas dedicada a la salud, encargada de asegurar que todas las personas alcancen el mejor estado de salud.

**Forraje:** Es un material vegetal consumido por el ganado en pastoreo.

**Arsénico:** Un elemento que se encuentra naturalmente en la corteza terrestre, y es extremadamente tóxico en su forma inorgánica.

**Leche:** Secretada por las hembras de los mamíferos, es un fluido biológico que proporciona los nutrientes y la energía indispensables para el desarrollo en la etapa inicial de vida de los infantes.

**Pienso:** Es un alimento para animales, constituido por una mezcla de materias primas, procesadas o no, destinada a la alimentación animal, formulada para proporcionar una nutrición equilibrada y segura.

**Límite Máximo Permisible (LMP):** Es la medición de la concentración o nivel de sustancias, elementos o propiedades físicas, químicas y biológicas que se liberan, y al exceder ciertos límites, tiene el potencial de dañar la salud del ser humano y el medio ambiente.

**La Espectrometría de Emisión Óptica que utiliza Plasma acoplado inductivamente (ICP-OES):** Es un método de análisis que mide con exactitud y sensibilidad la presencia de elementos químicos presentes en una muestra.

**Digestión ácida:** Es la utilización de ácidos para la oxidación total, descomponer completamente la muestra y eliminar interferencias de la materia orgánica.

**Inocuidad alimentaria:** Inocuidad de los alimentos se establece como el conjunto de condiciones y medidas aplicadas desde la producción hasta la preparación de alimentos, para garantizar que su consumo no presente riesgos para la salud.

**Compuesto de organoarsénico:** Son sustancias químicas que tienen enlaces entre el arsénico y el carbono.

**Contaminación Alimentaria:** Se define como la presencia de materias extrañas en los alimentos, que los hacen no aptos para el consumo humano, y puede ser de naturaleza química, física o biológica.

**Consejo Europeo:** Este organismo de la Unión Europea establece las directrices y prioridades políticas generales. Se ocupa de asuntos

complejos que no pueden resolverse en niveles más bajos de cooperación entre los gobiernos.

**FDA:** La Administración de Alimentos y Medicamentos es la agencia gubernamental de los EE.UU., regula alimentos, fármacos, dispositivos médicos, productos biológicos y cosméticos.

**Bioacumulación:** En el campo de la toxicología, se refiere al proceso mediante el cual los organismos vivos acumulan sustancias tóxicas químicas, alcanzando concentraciones internas superiores a las presentes en su entorno o en su alimentación.

**Cadena alimentaria:** Representa la secuencia en la que los organismos transfieren nutrientes y energía a través del consumo que fluye en una sola dirección.

## **CAPÍTULO III**

### **MARCO METODOLÓGICO**

#### **3.1. TIPO Y DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN**

##### **3.1.1. Tipo de investigación**

**Básica:** El estudio es de tipo básica, porque se orienta a la acumulación de información, no se enfoca en resolver problemas de manera inmediata, más bien al desarrollo y ampliación del conocimiento (46).

**Prospectivo:** El estudio es de tipo prospectivo, porque la información se documenta simultáneamente con el desarrollo del fenómeno (46).

##### **3.1.2. Diseño de investigación**

**Transversal:** Este estudio adopta un corte transversal, ya que las variables se miden en un único momento temporal, inmediatamente se procede a su análisis en un momento dado (46).

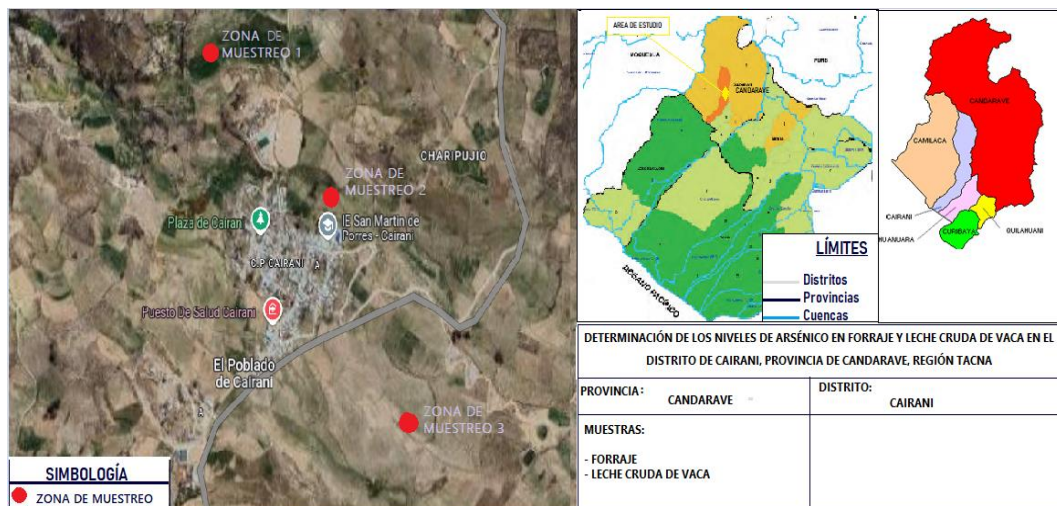
**Observacional:** El estudio es de diseño observacional porque el investigador observa los fenómenos tal y como ocurren naturalmente, sin intervenir en su desarrollo (46).

### 3.1.3. Nivel de investigación

Descriptivo porque describe eventos en un contexto temporal y geográfico específico, basado en la información recopilada, análisis y presentación de datos (46).

## 3.2. POBLACIÓN, MUESTRA Y MUESTREO

El periodo de estudio abarcó el mes de noviembre del año 2024 en el distrito de Cairani con una extensión de 371,17 km<sup>2</sup> con sus coordenadas geográficas Latitud: 17° 17' 7" Sur y Longitud: 70° 21' 50" Oeste; con 3 389 metros de altitud, en la provincia de Candarave, ubicada en la región de Tacna, al sur del territorio peruano.



**Gráfico 2.** Ubicación de las zonas de muestreo.

**Fuente:** Elaboración propia.

### **3.2.1. Población**

La muestra poblacional estará compuesta por la leche cruda recolectada de vacas y forraje que se suministra de alimento para las vacas de la investigación, que fueron expuestas al arsénico, y que pertenecen al Distrito de Cairani, ubicado en la provincia de Candarave, Región Tacna.

### **3.2.2. Muestra**

Estará conformada la muestra de leche cruda de 12 vacas, 3 muestras por cada vaca, se recolectará un total de 36 muestras de leche de 100 mL mediante ordeño mecánico manual, de acuerdo con el protocolo de ordeño de la Norma Técnica Peruana.

Las muestras de forraje estarán conformadas por la parte aérea de 18 muestras de pasto ovillo y 18 muestras de alfalfa recolectadas al azar en las tres zonas de muestreo en el distrito de Cairani.

### **3.2.3. Muestreo**

La selección de la muestra se realizará mediante un método no probabilístico, determinado por la conveniencia del investigador.

### **3.2.3.1. Criterios de inclusión**

- Leche de vacas que se encuentren en buen estado de salud.
- Forraje que incluya pasto y alfalfa con estado de madurez óptimo.

### **3.2.3.2. Criterios de exclusión**

- Leche de vacas de primera lactancia.
- Leche de vacas con mastitis.
- Forraje que no estén mohosas o deterioradas.

### **3.3. PROCEDIMIENTO Y TÉCNICAS PARA RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN**

#### **3.3.1. Ficha de recolección de datos**

Una herramienta de recopilación de información, validada por expertos, demuestra ser útil en la obtención de datos sobre los factores que aumentan los niveles de arsénico en muestras de forraje como la utilización de fertilizantes, agroquímicos, insecticidas o pesticidas. Por otro lado, se considerarán factores como el tiempo de permanencia en el hábitat, la edad y raza de las vacas, el tipo de agua que consume, si reciben medicación o tratamientos, la ventilación y la frecuencia de limpieza de la finca lechera, en relación con la leche cruda de vaca (Anexo 2).

#### **3.3.2. Instrumentos de medición**

La metodología utilizada para la determinación de arsénico de las 36 muestras de leche cruda de vaca, 18 muestras de pasto ovillo y 18 muestras de alfalfa en el distrito de Cairani, ubicado en la provincia de Candarave, región de Tacna, en la parte sur del territorio peruano; el análisis de arsénico se realizó mediante Espectrometría de Emisión Óptica de Plasma Inductivamente Acoplado (ICP-OES) procesados en el

Laboratorio de Ensayo y Control de Calidad de la Universidad Católica de Santa María, en la ciudad de Arequipa.

### **3.3.2.1. Materiales y/o instrumento**

#### **Materiales para toma de muestra**

- Frascos de polietileno estériles.
- Bolsas de polietileno con cierre hermético.
- Gel Pack Tippic.
- Cooler.
- Paños absorbentes.
- Lavador, jarra y balde.
- Soga gruesa.
- Tijera para poder podar.
- Agua desionizada, etc.

#### **Materiales**

- Tubos de digestión.
- Fiola de 50 ml.
- Tubos de lectura Falcon.
- Matraces Erlenmeyer.
- Probeta.

- Micropipetas de 100-1000ul.
- Vasos de precipitación.
- Papel craft.
- Baguetas de vidrio.
- Puntas de pipeta (tips).
- Millipore Miller.
- Jeringas de 10 ml.

### **Material biológico**

- 36 muestras perteneciente a leche cruda de vaca.
- 18 muestras de pasto ovillo y 18 muestras de alfalfa.

### **Reactivos**

- Ácido nítrico ultrapuro 60 % de la marca Merck de Alemania.
- Ácido clorhídrico ultrapuro 30 % de la marca Merck de Alemania.
- Solución estándar certificado (EPA Method 200.7 Calibration Standard 1) y multielemental, la cual presenta las siguientes concentraciones: 1 000 µg/mL: As, Ca; 500 µg/mL :Se; 200 µg/MI: Cd, Cu, Mn; 100 µg/mL: B, Ba, Sr; 50 µg/mL:Ag. Estándar de calibración 1A de Inorganic Ventures en una

matriz de ácido nítrico para lograr estabilidad (5% v/v Nitric Acid).

- Agua ultrapura.

### **Equipo**

- Refrigeradora.
- Molino eléctrico.
- Equipo de digestión Hot Block Pro.
- Espectrometría de Emisión Óptica que emplea un Plasma Acoplado Inductivamente.
- Balanza analítica de precisión 0,001 g.

### **3.3.2.2. Procedimiento**

#### **Recolección de la muestra.**

##### **Forraje**

Se recolecto 18 muestra de forraje de pasto y 18 muestras alfalfa la parte comestible (hoja – tallo) para el bovino en tres zonas de muestreo, en cada zona se tomaron seis puntos de muestreo, de los cuales se recolectaron muestras de cada forraje con un total de 36 muestras.

Se procedió a lavar las muestras de forraje con agua desionizada para asegurar la eliminación total de residuos de suelo y contaminantes, y luego secadas a temperatura ambiente para posteriormente ser pesadas 30 g de cada tipo de forraje. Se clasificaron las muestras de forraje según el tipo y zona de muestreo. El paso final fue etiquetar y empacar en bolsas de polietileno con sellado hermético.

##### **Leche**

El muestreo de leche cruda de vaca se efectuó en cumplimiento de la Norma Técnica Peruana. Se preparo adecuadamente lavando y secando la ubre y los 4 pezones para el ordeño de las vacas y se eliminó el primer chorro en un balde antes de ordeñar.

Para el estudio, se obtuvieron 3 muestras de leche de cada una de 12 vacas, resultando en un total de 36 muestras de 100 mL de leche cruda de vaca en vasos colectores descartable para muestras biológicas de polietileno estériles. Posteriormente fueron debidamente rotuladas y conservados a 4 °C en un cooler con Gel Pack Tippic congelados por 72 horas. Los Gel Pack Tippic se colocaron en las paredes y parte superior del cooler, además se usó paños absorbentes para absorber liquido o humedad hasta su traslado al Laboratorio de Ensayo y Control de Calidad de la Universidad Católica de Santa María, en la ciudad de Arequipa.

El procedimiento de las muestras de forraje y leche corresponde al EPA 200.7 Revisión REV 4.4 modificado.

**Procesamiento para el análisis de muestras de leche cruda de vaca.**

- Se midió 1 ml de las muestras de leche cruda con una micropipeta.
- Se añadió 1 ml de leche cruda de vaca a cada frasco de digestión, y luego se realizó el rotulado correspondiente.
- Posteriormente se agregó 2ml de ácido nítrico ultrapuro ( $\text{HNO}_3$ , 60 %, Merck, Alemania) y 1 ml ácido clorhídrico ultrapuro ( $\text{HCl}$ , 30 %, Merck, Alemania) para realizar la digestión.

- Luego los frascos se someten a digestión ácida vía húmeda a temperatura ambiente 25 °C durante 12 horas.

#### **Procesamiento para el análisis de muestras de forraje.**

- Las muestras de alfalfa para optimizar la digestión, se cortaron en fragmentos de 1 mm.
- Se peso 1 g de muestra de alfalfa en frasco de digestión con una balanza analítica.
- Las muestras de pasto fueron procesadas en una molinda para obtener una muestra más homogénea.
- Se tamizo la muestra de pasto.
- Se peso 1 g de muestras de pasto en frascos de digestión.
- Luego, se añadieron 4 ml de ácido nítrico y 2 ml de ácido clorhídrico ultrapuro a los frascos de digestión para realizar la digestión acida vía húmeda a temperatura ambiente durante 12h.

#### **Procesamiento de muestras digestión acida vía húmeda con calor en el Hot block.**

- Se prendió el equipo de Hot block.

- Los frascos de digestión de todas las muestras se sometieron a digestión acida vía húmeda con calor en el Hot block a una temperatura de 60 °C durante 12h.
- Se enfrió los tubos digestión con las muestras, hasta que se condense totalmente la muestra.
- Las muestras frías fueron reconstituidas con agua ultra pura a 50 ml en tubos de digestión.
- En tubos cónicos estériles se agrega 10 ml de la muestra reconstituida con ayuda de un millipore Miller para su posterior lectura utilizando la técnica de ICP-OES.

#### **Lectura de las muestras en el espectrofotómetro ICP-OES.**

- Se procedió a encender el espectrofotómetro ICP-OES y se dejó hasta que llegue a su temperatura estable.
- Se realizó la curva de calibración para la cuantificación del arsénico (Anexo 9).
- Se preparo el blanco y las soluciones estándares. Se utilizo una solución estándar certificado (EPA Method 200.7 Calibration Standard 1) y multielemental, la cual presenta las siguientes concentraciones: 1 000 µg/mL:As,Ca; 500 µg/mL :Se; 200 µg/mL:Cd, Cu, Mn; 100 µg/mL:B, Ba, Sr; 50 µg/mL:Ag.Estándar de

calibración 1A de *Inorganic Ventures* en una matriz de ácido nítrico para lograr estabilidad (5% v/v Nitric Acid).

- Se colocó las muestras en el automuestreador, y la secuencia fue de lavado con HNO<sub>3</sub> y agua ultra pura seguido de inyección de muestras. Se utilizó argón como arrastre.
- El detector mide la energía emitida por la muestra, y esta medición se transforma en una concentración que figuran en el System Status WinLab32 y seguidamente, se procedió a realizar los cálculos correspondientes.

#### **3.4. ASPECTOS ÉTICOS**

Este estudio fue sometido a revisión por el comité de ética de la Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann para su evaluación y aprobación (Anexo 10).

### **3.5. TÉCNICA DE ANÁLISIS DE DATOS**

Los datos de esta investigación fueron ordenados y tabulados utilizando el software Microsoft Excel, donde en una hoja de cálculo se registró las variables del estudio para su tratamiento estadístico posterior.

#### **Análisis estadístico descriptivo**

Se utilizó un análisis descriptivo para las variables de naturaleza cuantitativa y numérica, como es en el caso de la variable 1 como medidas de tendencia central, dispersión y forma para caracterizar la distribución de los datos. Por otro lado, la variable 2 con características cualitativas se realizó análisis de frecuencia utilizando tablas de frecuencias y gráficos circulares o barras.

#### **Análisis estadístico inferencial**

En el análisis estadístico inferencial de la variable 1, se evaluó la distribución de los datos para establecer su normalidad. Para ello, se aplicó la prueba de Shapiro-Wilk con un valor de  $p$  de 0,05 revelando que los datos no seguían una distribución normal; en consecuencia, se utilizó estadística no paramétrica aplicando la Prueba de Signos de Wilcoxon para la contrastación de la hipótesis al comparar variables numéricas con valores de referencia establecidos.

Para comparar la variable numérica continua (niveles de arsénico) y las variables categóricas (características de exposición), se aplicaron las pruebas no paramétricas de U de Mann-Whitney y H de Kruskal-Wallis, estableciendo un valor de p de 0,05.

Para comparar los niveles de arsénico en forraje según el tipo de forraje se empleó la prueba U de Mann-Whitney, con un valor p de 0,05.

Se empleó el paquete estadístico STATA versión 18 para el análisis del conjunto de datos.

## CAPÍTULO IV

### RESULTADOS

**Tabla 2.** Niveles de arsénico en leche cruda de vaca del distrito de Cairani, ubicado en la provincia de Candarave, región Tacna.

<b>Zona</b>	<b>Muestra</b>	<b>Resultados de As (mg/L)</b>	<b>LMP<sup>a</sup> CCA<sup>b</sup> (0,014 mg/L)</b>
1	1LA	0,1	Superior
	2LA	0,1	Superior
	3LA	0	Inferior
	4LA	0	Inferior
	5LA	0	Inferior
	6LA	0	Inferior
	7LA	0	Inferior
	8LA	0	Inferior
	9LA	0	Inferior
	10LA	0	Inferior
	11LA	0	Inferior
	12LA	0	Inferior
2	13LB	0,1	Superior
	14LB	0	Inferior
	15LB	0	Inferior
	16LB	0	Inferior
	17LB	0	Inferior
	18LB	0	Inferior
	19LB	0	Inferior
	20LB	0	Inferior
	21LB	0	Inferior
	22LB	0,05	Superior

	23LB	0	Inferior
	24LB	0	Inferior
	25LC	0	Inferior
	26LC	0	Inferior
	27LC	0	Inferior
	28LC	0,05	Superior
	29LC	0	Inferior
	30LC	0	Inferior
	31LC	0	Inferior
3	32LC	0	Inferior
	33LC	0	Inferior
	34LC	0	Inferior
	35LC	0	Inferior
	36LC	0	Inferior

**Fuente:** Informe de ensayo N° ANA21K24.005493 de análisis de muestras realizadas en el Laboratorio de Ensayo y Control de Calidad de la UCSM<sup>c</sup>, en la ciudad de Arequipa (Anexo 8).

<sup>a</sup> Límites máximos permisibles.

<sup>b</sup> Comisión del Codex Alimentarius.

<sup>c</sup> Universidad Católica de Santa María.

**Tabla 3.** Niveles de arsénico en pasto en el distrito de Cairani, ubicado en la provincia de Candarave, región Tacna.

Zona	Muestra	Resultados de As (mg/kg)	Límite máximo permisible Consejo del Parlamento Europeo (2mg/kg)
1	1DGA	13,299	Superior
	2DGA	13,093	Superior
	3DGA	14,094	Superior
	4DGA	5,949	Superior
	5DGA	6,294	Superior
	6DGA	7,834	Superior
2	7DGB	3,3	Superior
	8DGB	3,5	Superior
	9DGB	3,3	Superior
	10DGB	3,3	Superior
	11DGB	4,9	Superior
	12DGB	5,2	Superior
3	13DGC	1,3	Inferior
	14DGC	4,3	Superior
	15DGC	1,9	Inferior
	16DGC	1,9	Inferior
	17DGC	1,5	Inferior
	18DGC	1	Inferior

**Fuente:** Informe de ensayo N° ANA21K24.005493 de análisis de muestras realizadas en el Laboratorio de Ensayo y Control de Calidad de la UCSM, en la ciudad de Arequipa (Anexo 8).

**Tabla 4.** Niveles de arsénico en alfalfa en el distrito de Cairani, ubicado en la provincia de Candarave, región Tacna.

Zona	Muestra	Resultados de As (mg/kg)	Límite máximo permisible Consejo del Parlamento Europeo (2mg/kg).
1	1MSA	0,3	Inferior
	2MSA	0,3	Inferior
	3MSA	0,35	Inferior
	4MSA	0,45	Inferior
	5MSA	0,45	Inferior
	6MSA	0,347	Inferior
2	7MSB	0,6	Inferior
	8MSB	1,5	Inferior
	9MSB	0,8	Inferior
	10MSB	0,4	Inferior
	11MSB	1,5	Inferior
	12MSB	1,1	Inferior
3	13MSC	0,5	Inferior
	14MSC	0,6	Inferior
	15MSC	1,2	Inferior
	16MSC	2,1	Superior
	17MSC	1	Inferior
	18MSC	0,1	Inferior

**Fuente:** Informe de ensayo N° ANA21K24.005493 de análisis de muestras realizadas en el Laboratorio de Ensayo y Control de Calidad de la UCSM, en la ciudad de Arequipa (Anexo 8).

#### 4.1. Objetivo general

Determinar los niveles de arsénico en forraje y la leche cruda de vaca en el distrito de Cairani, provincia de Candarave, región Tacna.

**Tabla 5.** Estadísticos descriptivos de los niveles de arsénico en forraje (n=36) en el distrito de Cairani, ubicado en la provincia de Candarave, región Tacna.

#### Arsénico en alfalfa (n=18)

Forraje - Alfalfa	
Parámetros	As mg/kg
Promedio	0,76
Desviación estándar	0,54
Mediana	0,55
Valor mínimo	0,1
Valor máximo	2,1
Asimetría	1,05
Curtosis	3,23

**Fuente:** Informe de ensayo N° ANA21K24.005493 del laboratorio de Ensayo y Control de Calidad de la UCSM. Elaboración propia.

#### Interpretación

En las 18 muestras de alfalfa que consumen las vacas del distrito de Cairani, ubicado en la provincia de Candarave, región Tacna, se calcula un promedio de arsénico de  $0,76 \pm 0,54$  mg/kg. Asimismo, los niveles de arsénico medidos estuvieron comprendidos entre 0,1 mg/kg y 2,1 mg/kg.

## Arsénico en pasto (n= 18)

### Forraje – Pasto

Parámetros	As mg/Kg
Promedio	5,33
Desviación estándar	4,19
Mediana	3,9
Valor mínimo	1
Valor máximo	14,09
Asimetría	1,11
Curtosis	2,99

**Fuente:** Informe de ensayo N° ANA21K24.005493 del laboratorio de Ensayo y Control de Calidad de la UCSM. Elaboración propia.

### Interpretación

En las 18 muestras de pasto que consumen las vacas del distrito de Cairani, ubicado en la provincia de Candarave, región Tacna, se calcula un promedio de arsénico de  $5,33 \pm 4,19$  mg/kg. Asimismo, los niveles de arsénico medidos estuvieron comprendidos entre 1 mg/kg y 14,09 mg/kg.

**Tabla 6.** Estadísticos descriptivos de los niveles de arsénico en leche (n=36) en el distrito de Cairani, ubicado en la provincia de Candarave, región Tacna.

<b>Parámetros descriptivos</b>	<b>As (mg/L)</b>
Tamaño de muestra (N)	36
Promedio	0,01
Desviación estándar	0,02
Mediana	0
Valor mínimo	0
Valor máximo	0,10
Asimetría	2,45
Curtosis	7,41

**Fuente:** Informe de ensayo N° ANA21K24.005493 del laboratorio de Ensayo y Control de Calidad de la UCSM. Elaboración propia.

**Interpretación:** En las 36 muestras de leche cruda de vacas en el distrito de Cairani, ubicado en la provincia de Candarave, región Tacna, se obtuvo un valor promedio de arsénico  $0,01 \pm 0,02$  mg/L. Asimismo, el mayor valor de arsénico medido fue de 0,10 mg/L.

#### **4.1. Objetivos específicos**

Para realizar el análisis estadístico inferencial para los objetivos específicos, se analizará la normalidad de los datos para seleccionar las pruebas estadísticas inferenciales adecuadas que incluyen pruebas paramétricas o no paramétricas. Es primordial evaluar la distribución de los datos, de acuerdo a la normalidad se usara pruebas paramétricas o no paramétricas para el contraste de las hipótesis (47).

#### **Análisis de la normalidad**

##### **1) Formulación de hipótesis para análisis de datos.**

**Hipótesis nula ( $H_0$ ):** Los niveles de arsénico en las muestras de forraje y leche cruda de vaca tienen una distribución normal.

**Hipótesis alterna ( $H_a$ ):** Los niveles de arsénico en las muestras de forraje y leche cruda de vaca tienen una distribución diferente a la normal.

##### **2) Prueba estadística y nivel de significancia**

Prueba de Shapiro-Wilk ( $n=36$ ) con una significancia estadística de 0,05.

### 3) Obtención del valor p, interpretación y decisión del valor p.

**Tabla 7.** Prueba de Shapiro-Wilk (n=36) para la evaluación de los niveles de arsénico en las muestras de forraje en el distrito de Cairani, ubicado en la provincia de Candarave, región Tacna.

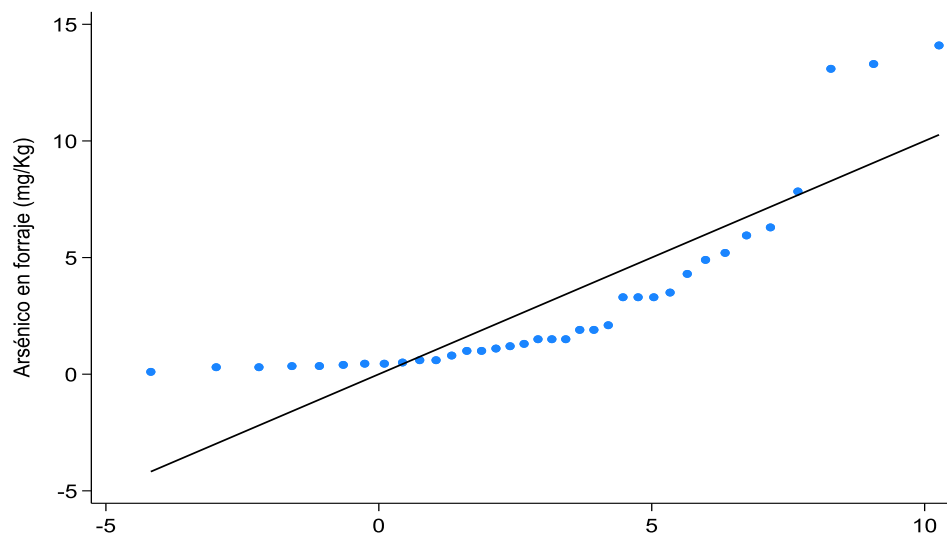
<b>Variable</b>	<b>N</b>	<b>W</b>	<b>V</b>	<b>z</b>	<b>valor p</b>
As mg/Kg	36	0,64	13,23	5,4	$\leq 0,001$

**Fuente:** Resultados obtenidos del paquete estadístico computarizado STATA v.18. Elaboración propia.

#### **Interpretación y decisión**

Luego de aplicar la prueba estadística de Shapiro-Wilk, el valor p resultante fue menor e igual a 0,001; lo cual es significativamente inferior al nivel de significancia estadística establecido en 0,05. Por lo tanto, se refuta la hipótesis nula y se confirma la hipótesis alternativa. Se determina que la distribución de los datos de arsénico en las muestras de forraje es diferente a una distribución normal, es decir, presenta una distribución no normal.

En consecuencia, dada la no normalidad de los datos, para realizar los contrastes de hipótesis se empleará estadística no paramétrica.



**Gráfico 3.** Cuantil-Cuantil o Q-Q plots de los niveles de arsénico en forraje en el distrito de Cairani, ubicado en la provincia de Candarave, región Tacna.

**Fuente:** Tabla 8 Prueba de Shapiro-Wilk en muestras de forraje. Elaboración propia.

En presente grafico nos muestra que los niveles de arsénico en forraje en el distrito de Cairani, ubicado en la provincia de Candarave, región Tacna no presentan linealidad, indica que los datos no siguen una tendencia lineal que pasa por el origen (0,0) y no muestran simetría en relación con el eje x. Lo cual indica distribución de datos no normal.

**Tabla 8.** Prueba de Shapiro-Wilk (n=36) para la evaluación de los niveles de arsénico en las muestras de leche cruda de vaca en el distrito de Cairani, ubicado en la provincia de Candarave, región Tacna.

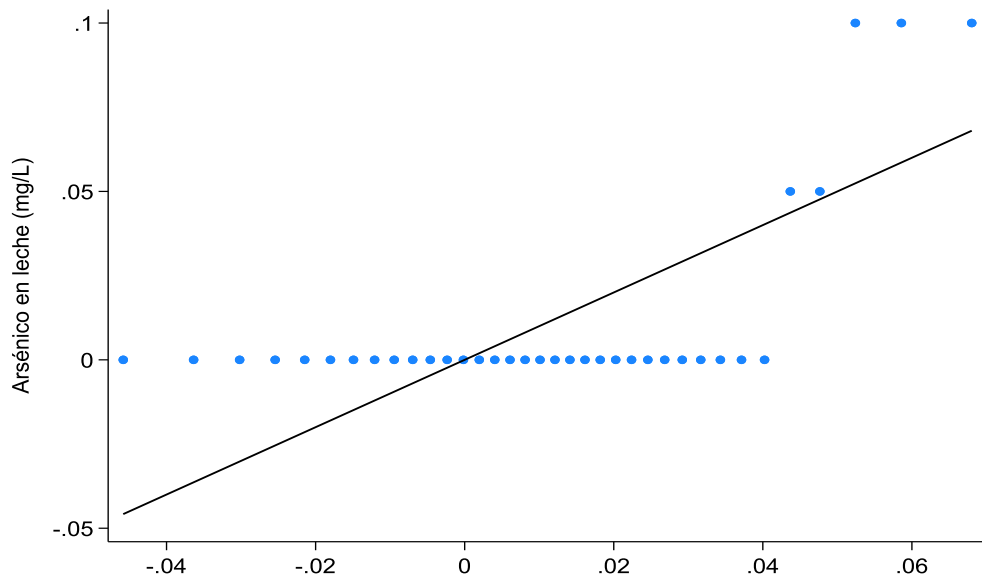
<b>Variable</b>	<b>N</b>	<b>W</b>	<b>V</b>	<b>z</b>	<b>valor p</b>
As mg/kg	36	0,72	10,17	4,85	≤ 0,001

**Fuente:** Resultados obtenidos del paquete estadístico computarizado STATA v.18. Elaboración propia.

### **Interpretación y decisión**

Luego de aplicar la prueba estadística de Shapiro-Wilk, el valor p resultante fue menor o igual a 0,001; lo cual es significativamente inferior al nivel de significancia estadística establecido en 0,05. Por lo tanto, se refuta la hipótesis nula y se confirma la hipótesis alternativa. Se determina que la distribución de los datos de arsénico en las muestras de leche cruda de vaca es diferente a una distribución normal, es decir, es no normal.

En consecuencia, dada la no normalidad de los datos, para realizar los contrastes de hipótesis se empleará estadística no paramétrica.



**Gráfico 4.** Cuantil-Cuantil o Q-Q plots de los niveles de arsénico en la leche cruda de vaca en el distrito de Cairani, ubicado en la provincia de Candarave, región Tacna.

**Fuente:** Tabla 9 Prueba de Shapiro-Wilk en muestras de leche cruda de vaca. Elaboración propia.

El presente grafico nos muestra que los niveles de arsénico en las muestras de leche cruda de vaca en el distrito de Cairani, ubicado en la provincia de Candarave, región Tacna no presentan linealidad, indica que los datos no siguen una tendencia lineal que pasa por el origen (0,0) y no muestran simetría en relación con el eje x. Lo cual indica distribución de datos no normal.

#### 4.1.1. Objetivo específico N° 1.

Describir las características de exposición a arsénico en la leche cruda de vaca del distrito de Cairani, provincia de Candarave, región Tacna.

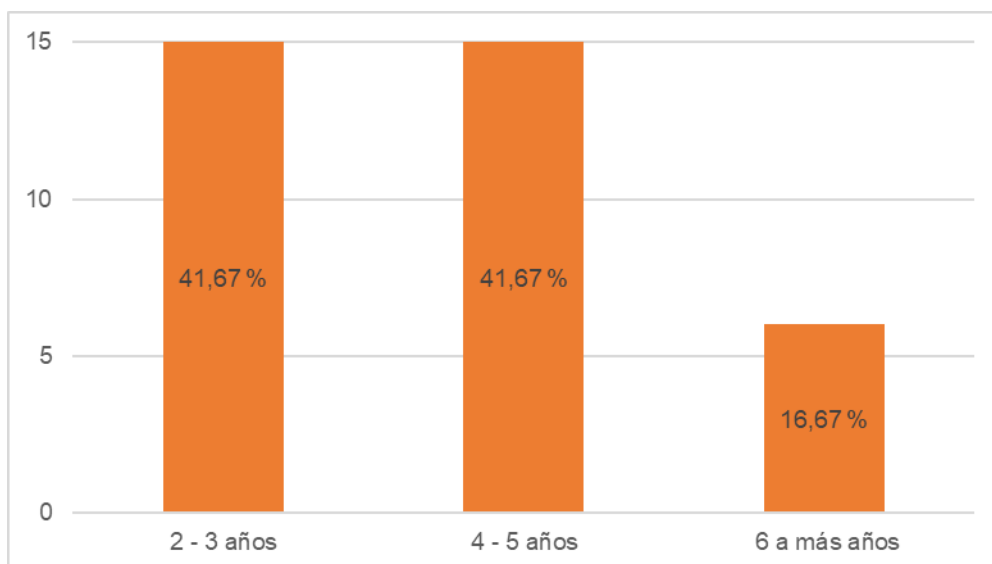
**Tabla 9.** Características de exposición a arsénico en la leche cruda de vaca del distrito de Cairani, ubicado en la provincia de Candarave, región Tacna.

<b>Características de exposición</b>	<b>N</b>	<b>%</b>
<b>Tiempo de hábitat</b>		
Entre los 2 - 3 años	15	41,67
Entre los 4 - 5 años	15	41,67
Entre los 6 a más años	6	16,67
<b>Tipo de forraje de consumo</b>		
Alfalfa	18	50
Pasto	18	50
<b>Raza</b>		
Brown Swiss	27	75
Holstein	9	25
<b>Total</b>	<b>36</b>	<b>100</b>

**Fuente:** Resultados obtenidos fueron de la ficha de recolección (Anexo 02).

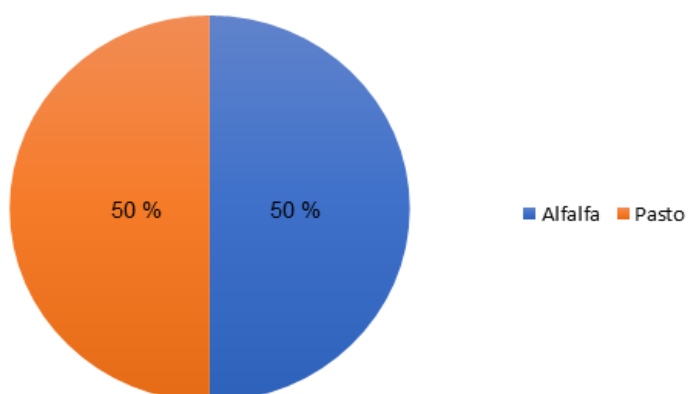
### **Interpretación y decisión:**

La presente tabla muestra el porcentaje del tiempo que habitan, el tipo de forraje que consumen y la raza que pertenecieron las vacas del estudio en el distrito de Cairani, ubicado en la provincia de Candarave, región Tacna. Con mayor porcentaje de tiempo de hábitat de la vaca de estudio perteneció al 41,67 % para el tiempo de hábitat de 2 a 3 años y al 41,67 % de 4 a 5 años, solo 6 muestras pertenecieron de 6 a más años. El porcentaje de 50 % para ambos tipos de forraje de las vacas del estudio, debido a que las vacas consumen ambos forrajes indiscriminadamente, sin embargo, en mayor cantidad se alimentaban con alfalfa. Con respecto a la raza que pertenecieron las vacas del estudio, la raza Brown Swiss perteneció al 75 % de las muestras de estudio, solo 9 muestras pertenecieron a la raza Holstein.



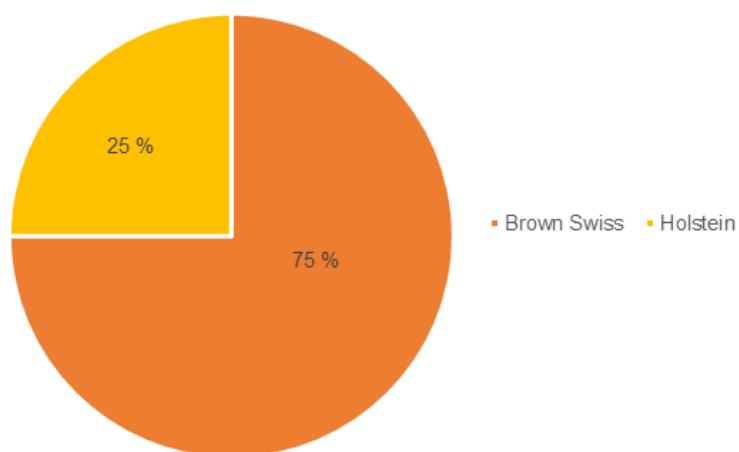
**Gráfico 5.** Porcentaje del tiempo de hábitat de las vacas del estudio en el distrito de Cairani, ubicado en la provincia de Candarave, región Tacna.

**Fuente:** Tabla 10 características de exposición a arsénico en la leche cruda de vaca. Elaboración propia.



**Gráfico 6.** Porcentaje del tipo de forraje que consumen las vacas del estudio en el distrito de Cairani, ubicado en la provincia de Candarave, región Tacna.

**Fuente:** Tabla 10 características de exposición a arsénico en la leche cruda de vaca. Elaboración propia.



**Gráfico 7.** Porcentaje de raza de las vacas del estudio en el distrito de Cairani, ubicado en la provincia de Candarave, región Tacna.

**Fuente:** Tabla 10 características de exposición a arsénico en la leche cruda de vaca. Elaboración propia.

#### **4.1.2. Objetivo específico N° 2.**

Comparar los niveles de arsénico en forraje del distrito de Cairani, provincia de Candarave, región Tacna con el límite máximo permisible establecido por el Consejo del Parlamento Europeo.

#### **Arsénico en alfalfa vs Consejo del Parlamento Europeo**

##### **1) Formulación de hipótesis estadísticas**

**Hipótesis nula ( $H_0$ ):** Los niveles de arsénico en forraje tipo alfalfa son iguales al LMP establecido por el Consejo del Parlamento Europeo.

**Hipótesis alterna ( $H_a$ ):** Los niveles de arsénico en forraje tipo alfalfa son diferentes al LMP establecido por el Consejo del Parlamento Europeo.

##### **2) Prueba estadística y nivel de significancia**

Prueba de Signos de Wilcoxon ( $n=18$ ) con una significancia estadística de 0,05.

### 3) Obtención del valor p

**Tabla 10.** Prueba de Signos de Wilcoxon (n=18) para comparar los niveles de arsénico en forraje tipo alfalfa en el distrito de Cairani, ubicado en la provincia de Candarave, región Tacna con el LMP establecidos por el Consejo del Parlamento Europeo.

<b>Estadísticos de la Prueba de Signos de Wilcoxon</b>	
Tamaño de muestra (N)	18
Mediana	0,55 mg/kg
Rango intercuartílico (p 25 % - p 75 %)	0,35 – 1,1
Valor de referencia: LMP de arsénico en forraje	2 mg/kg
Z	-3,68
Valor p	0,001

**Fuente:** Resultados obtenidos del paquete estadístico computarizado STATA v.18. Elaboración propia.

#### **Interpretación y decisión**

Luego de aplicar la prueba estadística de Signos de Wilcoxon, el valor p resultante fue igual a 0,001; lo cual es significativamente inferior al nivel de significancia estadística establecido en 0,05. Por lo tanto, se refuta la hipótesis nula y se confirma la hipótesis alternativa. Se determina que la mediana de los datos de arsénico en las muestras de forraje tipo alfalfa es diferente pero inferior al LMP establecido por el

Consejo del Parlamento Europeo de 2mg/kg. Por ende, se deduce que el forraje tipo alfalfa consumido por las vacas está dentro de los LMP por el Consejo del Parlamento Europeo.

### **Arsénico en pasto vs Consejo del Parlamento Europeo**

#### **1) Formulación de hipótesis estadísticas**

**Hipótesis nula ( $H_0$ ):** Los niveles de arsénico en forraje tipo pasto son iguales al LMP establecido por el Consejo del Parlamento Europeo.

**Hipótesis alterna ( $H_a$ ):** Los niveles de arsénico en forraje tipo pasto son diferentes al LMP por el Consejo del Parlamento Europeo.

#### **2) Prueba estadística y nivel de significancia**

Prueba de Signos de Wilcoxon ( $n=18$ ) con una significancia estadística de 0,05.

### 3) Obtención del valor p

**Tabla 11.** Prueba de Signos de Wilcoxon (n=18) para comparar los niveles de arsénico en forraje tipo pasto en el distrito de Cairani, ubicado en la provincia de Candarave, región Tacna con el LMP establecidos por el Consejo del Parlamento Europeo.

<b>Estadísticos de la Prueba de Signos de Wilcoxon</b>	
Tamaño de muestra (N)	<b>18</b>
Mediana	3,9 mg/kg
Rango intercuartílico (p 25 % - p 75 %)	1,9 – 14,09
Valor de referencia: LMP de arsénico en forraje	2 mg/kg
Z	3,072
Valor p	0,001

**Fuente:** Resultados obtenidos del paquete estadístico computarizado STATA v.18. Elaboración propia.

### Interpretación y decisión

Luego de aplicar la prueba estadística de Signos de Wilcoxon, el valor p resultante fue igual a 0,001; lo cual es significativamente inferior al nivel de significancia estadística establecido en 0,05. Por lo tanto, se refuta la hipótesis nula y se confirma la hipótesis alternativa. Se determina que la mediana de los datos de arsénico en las muestras de forraje tipo pasto es diferente pero superior al LMP establecido por el

Consejo del Parlamento Europeo de 2mg/kg. Por ende, se deduce que el forraje tipo pasto consumido por las vacas está excediendo los LMP por el Consejo del Parlamento Europeo.

#### **4.1.3. Objetivo específico N° 3.**

Comparar los niveles de arsénico en la leche cruda de vaca del distrito de Cairani, provincia de Candarave, región Tacna con los límites máximos permisibles establecidos por el Codex Alimentarius.

##### **1) Formulación de hipótesis para análisis de datos.**

**Hipótesis nula ( $H_0$ ):** Los niveles de arsénico en la leche cruda de vaca son iguales a los LMP establecidos por el Codex Alimentarius.

**Hipótesis alterna ( $H_a$ ):** Los niveles de arsénico en la leche cruda de vaca son diferentes a los LMP establecidos por el Codex Alimentarius.

##### **2) Prueba estadística y nivel de significancia**

Prueba de Signos de Wilcoxon ( $n=36$ ) con una significancia estadística de 0,05.

##### **3) Obtención del valor p**

**Tabla 12.** Prueba de Signos de Wilcoxon (n=36) para comparar los niveles arsénicos en leche cruda de vaca en el distrito de Cairani, ubicado en la provincia de Candarave, región Tacna con el LMP establecidos por el Codex Alimentarius.

<b>Estadísticos Prueba de Signos de Wilcoxon</b>	
Tamaño de muestra (N)	<b>36</b>
Mediana	0,00
Rango intercuartílico (p25% - p75%)	0 - 0
(a) Valor de referencia: <b>Codex Alimentarius</b>	0,014
Z	-2,78
Valor p	≤0,001

**Fuente:** Resultados obtenidos del paquete estadístico computarizado STATA v.18. Elaboración propia.

### **Interpretación y decisión**

Luego de aplicar la prueba estadística de Signos de Wilcoxon, el valor p resultante fue inferior e igual a 0,001; lo cual es significativamente inferior al nivel de significancia estadística establecido en 0,05. Por lo tanto, se refuta la hipótesis nula y se confirma la hipótesis alternativa. Se determina que la mediana de los datos de arsénico en las muestras de leche cruda de vaca es diferente al LMP establecido por el Codex Alimentarius 0,014 mg/kg. Por ende, se deduce que la leche cruda de vaca es inferior a los LMP por el Codex Alimentarius.

#### **4.1.4. Objetivo específico N° 4.**

Comparar los niveles de arsénico en la leche cruda de vaca del distrito de Cairani, provincia de Candarave, región Tacna, entre las características de exposición.

##### **1) Formulación de hipótesis para análisis de datos.**

**Hipótesis nula ( $H_0$ ):** Los niveles de arsénico en la leche cruda de vaca son iguales según las características de exposición.

**Hipótesis alterna ( $H_a$ ):** Los niveles de arsénico en la leche cruda de vaca son diferentes según las características de exposición.

##### **2) Prueba estadística y nivel de significancia**

- Prueba estadística de H de Kruskal-Wallis para establecer comparaciones de los niveles de arsénico en leche entre el tiempo de hábitat con una significancia estadística de 0,05.
- Prueba estadística de U de Mann-Whitney para establecer comparaciones de los niveles de arsénico en leche entre el tipo de forraje y la raza de la vaca con una significancia estadística de 0,05.

### 3) Obtención del valor p

**Tabla 13.** Prueba de H de Kruskall-Wallis (n=36) para comparar los niveles arsénicos en leche cruda de vaca en el distrito de Cairani, ubicado en la provincia de Candarave, región Tacna entre el tiempo de hábitat.

Característica	Media (mg/L)	Desviación estándar	Coefficiente	Valor p
Tiempo de hábitat				
Entre los 2 - 3 años	0,010	0,028	0,01	0,997
Entre los 4 - 5 años	0,013	0,035		
Entre los 6 a más años	0,008	0,020		

**Fuente.** Resultados obtenidos del paquete estadístico computarizado STATA v.18. Elaboración propia.

#### Interpretación y decisión

Luego de aplicar la prueba estadística de H de Kruskall-Wallis, el valor p resultante fue igual a 0,997; lo cual es significativamente superior al nivel de significancia estadística establecido en 0,05. Por lo tanto, se refuta la hipótesis alternativa y se confirma la hipótesis nula. Se determina que los niveles de arsénico en leche cruda de vaca no son diferentes según el tiempo de hábitat. Por ende, se deduce que el tiempo de hábitat no influye en los niveles de arsénico en la leche cruda.

**Tabla 14.** Prueba de U de Mann-Whitney (n=36) para comparar los niveles arsénicos en leche cruda de vaca en el distrito de Cairani, ubicado en la provincia de Candarave, región Tacna entre el tipo de forraje y la raza de la vaca.

<b>Característica</b>	<b>Media (mg/L)</b>	<b>Desviación estándar</b>	<b>Coficiente</b>	<b>Valor p</b>
<b>Tipo de forraje de consumo</b>				
Alfalfa	0,002	0,011	-1,50	0,162
Pasto	0,019	0,038		
<b>Raza</b>				
Brown Swiss	0,014	0,033	1,37	0,428
Holstein	0	0		

**Fuente.** Resultados obtenidos del paquete estadístico computarizado STATA v.18. Elaboración propia.

### **Interpretación y decisión**

Luego de aplicar la prueba estadística de U de Mann-Whitney, el valor p resultante fue igual a 0,162 y 0,428 para tipo de forraje de consumo y raza respectivamente, estos valores son significativamente superior al nivel de significancia estadística establecido en 0,05. Por lo tanto, se refuta la hipótesis alternativa y se confirma la hipótesis nula. Se determina que los valores de los datos de niveles de arsénico en leche cruda de vaca no son diferentes según el tipo de forraje de consumo y raza. Por ende, se deduce que el tipo de forraje de consumo y raza no influye en los niveles de arsénico en la leche cruda de vaca.

#### **4.1.5. Objetivo específico N° 5.**

Comparar los niveles de arsénico en forraje del distrito de Cairani, provincia de Candarave, región Tacna según el tipo de forraje.

##### **1) Formulación de hipótesis estadísticas**

**Hipótesis nula ( $H_0$ ):** Los niveles de arsénico en forraje son iguales según el tipo de forraje.

**Hipótesis alterna ( $H_a$ ):** Los niveles de arsénico en forraje son diferentes según el tipo de forraje.

##### **2) Prueba estadística y nivel de significancia**

Prueba estadística U de Mann-Whitney con una significancia estadística de 0,05.

### 3) Obtención del valor p

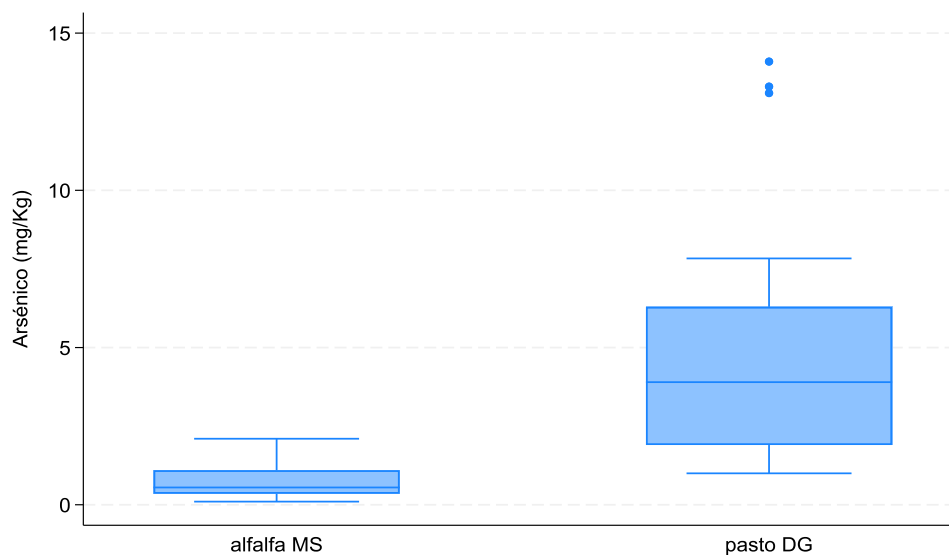
**Tabla 15.** Prueba estadística de U de Mann-Whitney para comparar los niveles de arsénico en forraje del distrito de Cairani, ubicado en la provincia de Candarave, región Tacna según el tipo de forraje.

Tipo forraje	N	U	z	Valor p
Alfalfa	18	183,5	-4,73	0,001
Pasto	18	482,5		

**Fuente.** Resultados obtenidos del paquete estadístico computarizado STATA v.18. Elaboración propia.

#### Interpretación y decisión

Luego de aplicar la prueba estadística de U de Mann-Whitney, el valor p resultante fue igual a 0,001; lo cual es significativamente inferior al nivel de significancia estadística establecido en 0,05. Por lo tanto, se refuta la hipótesis nula y se confirma la hipótesis alternativa. Se determina que los valores de niveles de arsénico en las muestras de forraje son diferentes según el tipo de forraje. Por consiguiente, se deduce que el forraje tipo pasto presenta niveles de arsénico superiores al forraje tipo alfalfa en el distrito de Cairani, ubicado en la provincia de Candarave, región Tacna.



**Gráfico 8.** Diagrama de Cajas y Bigotes de niveles de arsénico en forraje del distrito de Cairani, ubicado en la provincia de Candarave, región Tacna según el tipo de forraje.

**Fuente:** Tabla 16 Prueba estadística U de Mann-Whitney en forraje según el tipo de forraje. Elaboración propia.

## DISCUSIÓN

Se realizó la medición de los niveles de arsénico en el estudio presente de 36 muestras de forraje y 36 de leche cruda de vaca del distrito de Cairani, ubicado en la provincia de Candarave, región Tacna en noviembre del año 2024. La elección de este distrito se fundamentó porque Cairani los análisis de monitoreo indican que el agua presenta un riesgo químico significativo por arsénico, con una concentración de 0,58 mg/L en agua subterránea monitoreados años atrás por la unidad de salud ambiental (DESA) de la Dirección Regional de Salud de Tacna.

La cuantificación de los niveles de arsénico se efectuó mediante ICP-OES en un laboratorio acreditado desde el año 2012 con la NTP-ISO/IEC 17025 por el Instituto Nacional de Calidad, en el Laboratorio de Ensayo y Control de Calidad perteneciente a la Universidad Católica de Santa María en la ciudad de Arequipa, empleando normativas técnicas nacionales e internacionales para la determinación de la calidad de recurso hídrico, la condición del medio ambiente, la seguridad de los productos alimenticios, la calidad de la industria farmacéutica, de los cosméticos, etc. Tras obtener los resultados del análisis de arsénico en las muestras, se procedió a compararlos con los LMP establecidos por regulaciones

internacionales, para las muestras de forraje, se tomaron como referencia las normas del Parlamento Europeo, y para la leche cruda de vaca, los estándares de la Comisión del Codex Alimentarius.

Los resultados de este estudio sugieren que la presencia de arsénico fue indetectable en la mayoría de las 36 muestras de leche cruda en la lectura del equipo ICP - OES; a excepción de cinco muestras, las cuales exceden el LMP de 0,014 mg/L establecido por el Codex Alimentarius; sin embargo, el valor promedio fue de  $0,01 \pm 0,02$  mg/L el cual se encuentra dentro de los LMP.

Al respecto, a nivel internacional en el estudio por Özbay S. et al (20) realizado en Turquía alrededores de Hasandagi una montaña volcánica extinta, se determinó que la concentración promedio de arsénico en la leche analizada fue de 0,00098 mg/L, alcanzando un máximo de 0,00282 mg/L, niveles significativamente más bajos en comparación con el suelo y el forraje, estos valores cumplen con la Política Agrícola Común de la Unión Europea, para asegurar un elevado nivel de seguridad alimentaria y bienestar animal. Siguiendo esta línea de investigación, Forcada S. et al (22) analizó los niveles de arsénico presentes en muestras de leche, obteniendo niveles máximos de As de 0,016 mg/L y mínima de As fue 0,00123 mg/L; del total de las Fincas se obtuvo una media total de

concentración de As de 0,00165 mg/L. A los resultados obtenidos no superaron los límites máximos de residuos de arsénico de 0,5 mg/L establecidos por la normativa española. Por lo tanto, el estudio por Özbay S. et al y Forcada S. et al en contraste con el presente estudio también fue detectable el arsénico y se encontraban por debajo de los LMP por el Codex Alimentarius.

De forma análoga al presente estudio, Van N. et al (23) en Vietnam, trabajó en un ambiente con arsénico de origen geológico y estableció los niveles medios de arsénico total en la leche líquida, obteniendo concentraciones de 0,13932 mg/L. De este modo, un 91,22 % de las muestras presentaron contaminación, es decir, más de dos tercios del total tenían niveles superiores a los máximos permitidos en Vietnam según norma de la Comisión del Codex Alimentarius; sin embargo, estos resultados fueron contrarios a los obtenidos en la presente investigación, que encontró que el 86,11 % de las muestras de leche analizadas no presentaban niveles detectables de arsénico. Van N. et al atribuye los niveles altos de contaminación por arsénico, podría deberse a la utilización de productos químicos y uso de medicamentos veterinarios para matar tenías en el ganado. En el mismo estudio, se identificaron 23 muestras de leche y productos lácteos con concentraciones de arsénico superiores a los LMP, con un promedio de 0,15977 mg/L; estos resultados se relacionan con

contaminación durante la producción, almacenamiento y envasado de los productos lácteos.

En República de Serbia, de forma análoga a los resultados de Van N. et al, Davidov I. et al (24) estudió vacas clínicamente sanas y en buenas condiciones de seis granjas en Banat, se procedió a obtener muestras de agua, sangre y leche para el análisis. Se empleó la técnica de ICP-OES para determinar la presencia de arsénico en la leche, que encontró valores medios  $0,0665 \pm 0,053$  mg/L con valor mínimo 0,0010 y máximo 0,2800 mg/L; el valor medio no excede el Reglamento de dicho país que indica la cantidad máxima de arsénico en la leche es de 0,1 mg/L. Por el contrario, al presente estudio Davidov I. encontró que la concentración de arsénico en muestras de leche excede los LMP por el Codex Alimentarius. Davidov I. et al también realizó examen ecográfico de la ubre que mostró cambios en el parénquima en 77 de 120 vacas del estudio, impacto negativo del arsénico en la salud de las vacas, esto sugiere los daños que ocasiona este metaloide, y posteriormente conduce a la contaminación de la leche.

Al igual que Davidov I. et al, la investigación realizada por Castro N. et al (26) identificó metales pesados como cadmio (Cd), plomo (Pb), cobre (Cu), arsénico (As) y otros metales en la leche de vacas alimentadas con alfalfa cultivada en suelos regados con aguas residuales, donde reportó en las áreas de interés  $0,038 \pm 0,01$ ;  $0,029 \pm 0,01$ ;  $0,033 \pm 0,02$  y  $0,039 \pm 0,02$

mg/L de arsénico y una concentración promedio de arsénico de 0,035 mg/L en las muestras de leche, valor que se sitúa por debajo del LMP de 0,2 mg/L establecido por la Norma Oficial Mexicana para el arsénico, pero que excede los LMP del Codex Alimentarius.

Aunque en este estudio la presencia de arsénico no se detectó en la mayor parte de las muestras de leche analizadas, al respecto Davidov I. et al (25) refiere que las vacas lecheras están expuestas a peligros ambientales, como la presencia de metales pesados. Por ello se considera justificado el análisis de los niveles de residuos de As, Cd, Pb y otros en la leche debido al peligro que su presencia implica para los terneros y los seres humanos. Davidov I. et al realizó otro trabajo en el cual recogió muestras de leche de 50 vacas y detectó una concentración de arsénico de 0,058 mg/L, lo que representa un ligero exceso respecto a los valores límites sugeridos por la Federación Internacional de Lácteos y el Codex de 0,014 mg/L, estos resultados representa una vía de exposición a arsénico para los consumidores.

En el ámbito nacional en Perú, existen estudios que documentan la presencia de arsénico en leche. Tal es el caso del estudio de Castro J. et al (30) en la región Junín en los Andes centrales, una zona de producción lechera importante, situada en las proximidades de una planta de concentración de minerales de pequeña escala y un vertedero de residuos

sólidos, se reportó un nivel promedio de 0,030 mg/L de As en la leche cruda de vaca, excediendo los LMP en 2,1 veces de estándares del Codex Alimentarius de 0,014 mg/L y 3 veces superior al presente estudio, estos resultados implica un peligro para la salud humana por el consumo leche de vaca contaminada con arsénico. Los estudios indican que los niveles de arsénico en la leche dependen de factores como el entorno, la contaminación causada por actividades humanas y las normativas locales. Además, el mismo estudio evaluó el riesgo para la población de 2 a 85 años, reporto riesgo potencial e identificó el orden del cociente de riesgo objetivo siendo el  $As > Pb > Cd$  y el  $TQH > 1$  en As en todas las edades. Así un índice de peligrosidad HI fue  $> 1$  del total de metales pesados analizados.

Al respecto Castro N. et al (27) indica que el plomo (Pb), el cadmio (Cd) y el arsénico (As) pueden acumularse de forma crónica en el cuerpo, lo que puede desencadenar problemas de salud en la población, por tal motivo la investigación analizó los riesgos para la salud de la población infantil y adolescente, entre 3 meses y 18 años, en la zona de Alto Balsas donde convergen ríos contaminados con aguas residuales industriales y que consumen leche cruda de vaca que se alimentan de alfalfa contaminada, evaluando la ingesta diaria crónica (IDC), cálculo del cociente de riesgo (HQ) y el índice de riesgo (HI); reporto que solo el As mostró un

cociente de riesgo  $HQ > 1$ , lo que representa un riesgo alto. También reporto  $HI > 1$  significa que no es seguro. El riesgo de cáncer en este estudio reveló que las niñas mostraron valores más elevados en comparación con los niños.

En este punto, es importante añadir que la caracterización del riesgo desde el punto toxicológico es la evaluación de los riesgos por la exposición a sustancias tóxicas para la salud de poblaciones susceptibles, el TQH, o cociente de riesgo objetivo, representa la proporción entre la cantidad de metal pesado a la que se está expuesto y la dosis de referencia, y se utiliza para determinar el riesgo en la salud como efectos no cancerígenos por exposición a un elemento tóxico y el índice de riesgo (HI) se calcula sumando los cocientes de riesgo objetivo (TQH) de los metales pesados analizados, lo que permite evaluar el riesgo acumulativos tras exposición crónica de metales pesados presentes en los alimentos. No obstante, en el presente estudio no se consideró su estimación porque se precisa determinar la frecuencia con la que se produce la exposición al metal, la duración de dicha exposición, la cantidad de alimento consumido diariamente, la dosis de referencia oral del metal y el tiempo promedio de exposición.

Por su parte, Ninaquispe E. & Vasquez I. (31) realizó un análisis de leche y agua de riego provenientes de la cuenca de Santa Eulalia, y se

encontraron los siguientes resultados en muestras de leche que oscilaron entre 0,0558 mg/L y 0,0622 mg/L con un promedio de 0,059 mg/L; el cual es superior a los límites permitidos de 0,015mg/L para consumo humano. Similares resultados reporto Coronel B. & Villanueva M. (32) en el distrito de Huay Huay el cual presenta problemas ambientales de origen antropogénico ocasionado por las minería, el análisis mostró que la leche cruda de vaca contenía una concentración media de arsénico de 0,08 mg/L, con un margen de error de  $\pm 0,05$  mg/L; que indica que se encuentra excediendo LMP establecidos por la normativa del MERCOSUR, que fija un valor de 0,05mg/L y con el 60 % de las muestras que superan el LMP.

Al igual que en el trabajo de investigación realizado por Ninaquispe E. & Vasquez I. y Coronel B. & Villanueva M., en la investigación de Saenz L. (33) consistió en el análisis de la leche de vacas lecheras adultas de las razas Holstein y Brown Swiss en dos fundos, evidenciaron la presencia de arsénico en el fundo “Bella Unión” y fundo “La Molina” una media de 0,019 mg/L y 0,027 mg/L respectivamente, que excedieron los límites máximos permitidos establecidos por la Norma Técnica Ecuatoriana. Por otro lado, el estudio de Mamani M. (35) se llevó a cabo en el distrito de Ite, ubicado en la provincia de Jorge Basadre, Tacna, una región impactada por desechos mineros que se caracteriza por su elevada concentración en arsénico en el agua con 0,33 mg/L; la leche analizada mostró una

concentración promedio de arsénico de 0,032 mg/L con un rango de 0,002 - 0,075 mg/L, del total de las muestras analizadas un 50 % sobrepasaron LMP de 0,05 mg/L según el MERCOSUR, estos resultados podrían deberse a que el ganado consume arsénico indirectamente de su alimentación y se acumulan en tejidos, entre estos las glándulas mamarias. A consecuencia ocasiona la liberación de trazas en la leche de la vaca.

En contraposición a los resultados de esta investigación, la totalidad de los estudios a nivel nacional analizados fue detectable niveles de arsénico en leche por encima de los LMP por el Codex Alimentarius.

La bioacumulación de metales pesados constituye una preocupación importante en los seres vivos, ya que podría producir una baja aptitud física, problemas de reproducción, disminución de la inmunidad y aparición de enfermedades cancerosas y teratogénicas en los seres vivos expuestos.

En la misma línea Kocasari F. et al (28) realizaron su trabajo de investigación en Turquía en importantes yacimientos de mineral de mármol, que supone que los animales que pastan en esta zona podrían estar potencialmente en riesgo. Kocasari F. et al investigó la presencia de arsénico y otros metales en 50 muestras pertenecientes a tejidos musculares, hepáticos y renales de ganado en Burdur empleando la técnica analítica de ICP-OES, donde se reportó arsénico en las tres muestras, 1 en cada tejido bovino en las siguientes concentraciones de 0,044; 0,003 y 0,08

mg/kg en músculo, hígado y riñón respectivamente, cabe resaltar que estos valores fueron inferiores a los valores permisibles por el Código alimentario turco de 1 mg/kg. Al igual otro estudio realizado por Roggeman S. et al (29) realizó la medición de los niveles de As, Cd, Pb y otros metales en los tejidos, debido a que estos metales pesados actúan como biomarcadores importantes de toxicidad. Para ello, estudio vacas lecheras casi exclusivamente vacas Holstein y en menor proporción los Galloway, se reportó todos los niveles de As en los hígados y los riñones estaban dentro de 0,4 mg/kg. Referente a ello en el examen histopatológico se reportó sólo en el hígado daños leves del tejido, posiblemente por desintoxicación insuficiente y la alta acumulación de metales pesados. Por otro lado a nivel nacional, en Puno Huanqui R. (34) no encontró arsénico en muestras de carne y vísceras; en relación con esto, se señala que la bioacumulación de arsénico aumenta con la edad de los animales; en el estudio en cuestión, la mayoría de los animales no superaba los 5 años, por esta razón, a pesar de que los suelos de la cordillera de Ananea contienen arsénico, es probable que no se encuentren valores detectables.

Entre otros aspectos, se determinó relevante evaluar en esta investigación los niveles de arsénico en el forraje, el cual es un alimento perenne para el ganado vacunos.

Por lo tanto, se constató que el promedio de los niveles de arsénico en 18 muestras de forraje tipo pasto fue  $5,33 \pm 4,19$  mg/kg con el rango de arsénico fue de 1 mg/kg a 14,09 mg/kg y en 18 muestras de alfalfa el valor promedio fue  $0,76 \pm 0,54$  mg/kg con valores de arsénico comprendidos entre 0,1 mg/kg y 2,1 mg/kg; por lo tanto las muestras de forraje tipo pasto fue superior al LMP y las muestras de forraje tipo alfalfa fue inferior al LMP establecido por el Consejo del Parlamento Europeo de 2mg/kg. También la presente investigación reveló que la concentración de arsénico en el forraje varía dependiendo del tipo de forraje analizada.

En la misma línea Huanqui R. (34) analizo pastos en el distrito de Ananea, ubicado en Puno, reporto una media de  $0,04933 \pm 0,03305$  mg/kg con niveles que oscilaron entre 0,01306 mg/kg y 0,091997 mg/kg, estos resultados son inferiores al presente trabajo de investigación. El autor explica estas concentraciones bajas, debido a que el arsénico se impregna en forma natural a los pastos. Al respecto Roggeman S. et al (29) supone que los pastos que forman parte de la alimentación del vacuno tienen mayor impacto en la acumulación interna de arsénico que el gradiente de contaminación de la zona donde habitan.

Por otro lado Özbay S. et al (20) reportó un nivel de As promedio en piensos de 0,06016 mg/kg y el nivel mayor fue en verano con 0,12834 mg/kg; también valores bajos relacionados con el presente trabajo de

investigación. Por otro lado, similares resultados al presente estudio obtuvo Forcada S. et al (22) quien analizó muestras de forraje de 16 explotaciones ganaderas de España en áreas cerca o lejos de áreas industriales reportando en áreas a 20 km de fuentes puntuales de contaminación contenidos máximos de 7,87mg/kg y en las fincas cercanas a industrias reportó 2,19 mg/kg ambos valores superan los límites máximos permitidos (LMP) establecidos por la Unión Europea, estos resultados se atribuye a que es posible que As no se enriquezcan cerca de instalaciones industriales, sino particularmente tenga una presencia natural, es decir, la mineralogía natural del suelo; no obstante, el análisis de la mediana total de las fincas reveló un valor de 0,42 mg/kg, cifra inferior al límite máximo permisible establecido por la Unión Europea.

Con respecto a la alfalfa nuestro estudio encontró un promedio de arsénico de  $0,76 \pm 0,54$  mg/kg. Al respecto Chicaiza E. & Chuquimarca T. (21) reportó mayor concentración de arsénico en las hojas de la alfalfa, seguida por la raíz y menor en el tallo. Las partes aéreas absorbiendo 12,39 mg/kg y concentran el 80% del arsénico traslocado, por otro lado, la raíz absorbiendo 3,12 mg/kg y concentran el 20%; estos resultados nos ayudan a la comprensión completa de la eficacia de eliminación de arsénico que es determinado por los factores de translocación (TF), que muestran la gran capacidad de absorción de la alfalfa para mejorar la calidad del suelo.

Chicaiza E. & Chuquimarca T. demostraron que la alfalfa es una especie que acumula arsénico tres veces más en la parte aérea que en la raíz y su gran capacidad fitorremediadora de suelos contaminados con arsénico. La literatura respecto a esto nos señala que una elevada concentración de As causa alteraciones en el desarrollo de las plantas, manifestándose en cambios morfológicos y fisiológicos debido al estrés oxidativo celular (21).

En este punto, es importante añadir que existen ciertos factores para conocer la eficiencia de las plantas en la absorción y transporte de metales, calculando el Factor de Translocación (FT), que es la relación entre la concentración del metal en partes aéreas y la raíz, se considera plantas hiperacumuladoras cuando el FT es mayor a 1, esto indica que posee gran capacidad para absorber y extraer del suelo contaminantes; este proceso se le denomina fitoextracción.

Relacionado a lo anterior Castro N. et al (26) en su estudio obtuvo en las 4 zonas muestreadas  $1,25 \pm 0,6$ ;  $0,88 \pm 0,6$ ;  $1,12 \pm 0,8$  y  $0,80 \pm 1,5$  mg/kg de arsénico en alfalfa, con un promedio de  $1,0125$  mg/kg empleando la técnica analítica de ICP-OES, reportó un  $FT > 1$  señala que la alfalfa es una planta con propiedad hiperacumuladoras de metales, con una alta movilidad de estos compuestos en su interior de la planta, estos resultados supondrían un riesgo para los animales por la ingestión de contaminantes

en su alimentación. Castro N. et al explica que la desintoxicación por metales pesados en suelos se da por Fito extracción o Fito acumulación.

Respecto a la presente investigación la determinación de las características de exposición y los niveles de arsénico presentes en muestras de leche se obtuvo  $p > 0,05$ ; estadísticamente no significativa, por ende, los niveles de arsénico en la leche cruda de vaca no son diferente según el tiempo de hábitat, el tipo de forraje de consumo y raza; los cuales no influye en los niveles de arsénico en la leche cruda de vaca en el distrito de Cairani, ubicado en la provincia de Candarave, región Tacna.

Los resultados del análisis de las características de la exposición como el porcentaje del tiempo que habitan, el tipo de forraje que consumen y la raza que pertenecen las vacas del estudio en el distrito de Cairani, ubicado en la provincia de Candarave, región Tacna se registró una mayor proporción de tiempo de hábitat de la vaca del estudio pertenecen de 2 a 3 años con 41,67 %, de 4 a 5 años con 41,67 % y solo 6 muestras pertenecen de 6 a más años. El porcentaje de 50 % para ambos tipos de forraje de las vacas del estudio, debido a que las vacas consumen ambos forrajes indiscriminadamente, sin embargo, en mayor cantidad se alimentan con alfalfa.

En el presente estudio con respecto a la raza que pertenecen las vacas, el 75 % de las muestras de estudio pertenecen a la raza Brown Swiss y solo 9 muestras pertenecen a la raza Holstein. Al respecto, el estudio de Mamani M. (35) reportó que la raza de vaca Holstein predominó con 73,33 % a diferencia del presente trabajo de investigación que el mayor porcentaje fue la raza Brown Swiss que pertenecen al 75 % de las muestras. Mamani M. explica que el biotipo o la fisiología de la raza de vaca, podrían presentar menor o mayor vulnerabilidad con respecto a otra raza para almacenar arsénico.

Al respecto Roggeman S. et al (29) evidenció que las concentraciones de metales pesados se observaron niveles significativamente mayores en los distintos tejidos de los Galloways en relación con las vacas lecheras o de raza Holstein. Al respecto, la literatura indica que la cantidad de arsénico presente en los tejidos y fluidos de las vacas depende principalmente de su alimentación, el tipo de animal, tejidos afectados, y por la edad del animal. En la misma línea Castro J. et al (30) explica que el área de estudio en condiciones de alta concentración de arsénico, este se deposita y acumula en la capa superior de la corteza terrestre, siendo absorbido por los pastos, luego pasan a la cadena alimentaria y estos resultados están en línea con diferentes estudios. Del mismo modo, el estudio indica que la presencia de arsénico en la leche se relaciona con

diferentes factores como el tipo de alimentación y la raza del ganado, el sistema de producción y el uso de agroquímicos en el forraje, la proximidad a actividades minero-metalúrgicas o de residuos sólidos donde habitan el ganado.

En tal contexto Castro N. et al (26) indica que la edad de las vacas, específicamente a partir de los tres años, es un factor determinante para la presencia de metales pesados en niveles elevados en sus organismos. Con respecto al presente trabajo se obtuvo un mayor porcentaje de tiempo de hábitat de la vaca de estudio pertenecen al 41,67% para el tiempo de hábitat de 2 a 3 años y 41,67 % de 4 a 5 años, por tanto, se puede inferir la posible acumulación de metales pesados en niveles elevados en el organismo de los bovinos.

Adicionalmente, numerosos investigadores han analizado la información sobre la valoración de los riesgos que afectan a la salud de las personas expuestas a arsénico en los alimentos. Entre ellos Van N. et al (23) señala que el arsénico inorgánico, tanto en su forma trivalente (Arsénico III) como pentavalente (Arsénico V), ha sido clasificado por la Agencia Internacional de Investigación relacionado con el Cáncer (IARC) como un carcinógeno del grupo 1 que puede ocasionar fatiga sistémica, problemas cardíacos, etc. La exposición prolongada ocasiona enfermedad del pie negro, hiperpigmentación e hiperqueratosis, además, puede incrementar la

probabilidad de desarrollar enfermedades oncológicas de piel, hígado, pulmones y vejiga.

La FAO/OMS que recomienda que la ingesta diaria total (IDT) de arsénico (As) de todas las fuentes no debe exceder los 0,003 mg/kg de peso corporal al día. En tal contexto, Van N. et al reporto en la leche la concentración promedio de As de 0,13932 mg/kg; esto indicaría que si solo consume leche no afectaría la salud del consumidor. Es importante señalar que la leche no es la única vía de exposición al arsénico, sino que de manera adicional tenemos a otros alimentos y el agua que se consume, la inhalación de polvo y contacto dérmico, por ello, se requieren atención porque representan un peligro para los consumidores ya que se podría alcanzar niveles significativos.

En términos generales, este estudio destaca la relevancia de analizar lo que consumimos en la dieta como la leche, es necesario para evaluar el riesgo toxicológico real de los metales pesados, en la mayoría de los estudios que se contrastaron con el presente trabajo de investigación coinciden que la leche se detectó niveles de arsénico. Esto indicaría que la leche producida en el distrito de Cairani presentaría un riesgo mínimo para la salud humana, no obstante, la bioacumulación es un problema característico de este metal pesado a través de la cadena alimentaria, por ello se debe abarcar a fondo

y formular regulaciones relacionadas con la existencia de metales pesados en productos alimenticios de gran consumo.

## CONCLUSIONES

**Primera:** El nivel promedio de arsénico en pasto fue de  $5,33 \pm 4,19$  mg/kg y alfalfa fue de  $0,76 \pm 0,54$  mg/kg. El nivel promedio de arsénico en leche cruda de vaca fue  $0,01 \pm 0,02$  mg/L; en el 86,11 % de muestras no se detectó arsénico.

**Segunda:** En el nivel promedio de arsénico en forraje tipo pasto fue  $5,33 \pm 4,19$  mg/kg; este valor excede el LMP y de alfalfa fue de  $0,76 \pm 0,54$  mg/kg; este valor no excede el LMP establecidos por el Consejo del Parlamento Europeo de 2 mg/kg.

**Tercera:** En el nivel promedio de arsénico en leche fue de  $0,01 \pm 0,02$  mg/L, las cual se encuentran dentro del LMP establecidos por el Codex Alimentarius 0,014 mg/L.

**Cuarta:** En relación a las características de exposición el tiempo de hábitat de la vaca fue 41,67 % de 2 a 3 años y 41,67 % de 4 a 5 años, solo 6 muestras de 6 a más años con 16,67 %. Asimismo, la raza que pertenecen las vacas fue el 75 % fue Brown Swiss y raza Holstein el 25 %.

**Quinta:** Las características de exposición no influye en los niveles de arsénico significativamente en la leche cruda de vaca.

**Sexta:** Los niveles de arsénico en forraje son diferentes según el tipo de forraje, el pasto presenta niveles de arsénico superiores a alfalfa.

## RECOMENDACIONES

**Primera:** Para el MINSA, realizar estudios de impacto en la salud pública por el consumo de alimentos con presencia de arsénico en personas expuestas. Estudios que incluyan el cociente de riesgo objetivo (THQ) y el índice de riesgo (HI).

**Segunda:** Para los egresados de la Escuela Profesional de Farmacia y Bioquímica, estudiar la alfalfa y pasto para utilizar como fitorremediador.

**Tercera:** Para SENASA, evaluar la carne de vacunos y cordero, hortalizas y tubérculos para evaluar presencia de arsénico.

**Cuarta:** Para el Ministerio de Salud y la DIRESA de Tacna, crear una comisión reguladora que cuente con profesionales como químicos farmacéuticos para fiscalizar la presencia químicos tóxicos en los alimentos.

**Quinta:** Para la Comisión multisectorial permanente de seguridad alimentaria (COMPIAL), considerar establecer LMP en alimentos de mayor consumo, por ejemplo, establecer normas técnicas.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Varela G. La leche como vehículo de salud para la población. *Nutr Hosp.* 2018;35(SPE6):49-53.
2. Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego. Boletín Estadístico Mensual EL AGRO EN CIFRAS [Internet]. 2024 [citado 12 de junio de 2024]. Disponible en: <https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/6408778/5380407-boletin-mensual-el-agro-en-cifras-marzo-2024.pdf?v=1716903326>
3. Temelkovska K., Nikolovksa D., Pavlovska G., Blazevska T., Delinikolova E., Stojanovska T. Arsenic: exposure through the food chain, toxicity, and toxicity reduction by nutritional compounds. *J Food Technol Nutr.* 19 de septiembre de 2023;6(11-12):32-42.
4. Singh S., Yadav R., Sharma S., Singh A. Arsenic contamination in the food chain: A threat to food security and human health. *J Appl Biol Biotechnol.* 4 de junio de 2023;11(4):24-33.
5. Permigliani I., Vallejo N., Hasuoka P., Gil R., Romero M. Arsenic speciation analysis in cow's milk and plant-based imitation milks by HPLC-ICP-MS. *J Food Compos Anal.* 1 de febrero de 2024;126:105898.
6. Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego. gob.pe. 2022 [citado 23 de abril de 2024]. MIDAGRI promueve mayor consumo de leche para elevar calidad de la alimentación de población. Disponible en: <https://www.gob.pe/institucion/midagri/noticias/613411-midagri-promueve-mayor-consumo-de-leche-para-elevar-calidad-de-la-alimentacion-de-poblacion>
7. Chirinos D., Castro J., Ríos E., Mamani G., Quijada E., Huacho A. et al. Lead and Cadmium Bioaccumulation in Fresh Cow's Milk in an Intermediate Area of the Central Andes of Peru and Risk to Human Health. *Toxics.* junio de 2022;10(6):317.
8. Foroutan A., Guo A., Vazquez R., Lipfert M., Zhang L., Zheng J. et al. Chemical Composition of Commercial Cow's Milk. *J Agric Food Chem.* 1 de mayo de 2019;67(17):4897-914.

9. Domingo J. Concentrations of toxic elements (As, Cd, Hg and Pb) in cow milk: A review of the recent scientific literature. *Int J Dairy Technol.* 2021;74(2):277-85.
10. Gamarra F., Medina J., Lanchipa W., Tamayo R. & Sacari E. Structural, Optical, and Arsenic Removal Properties of Sol–Gel Synthesized Fe-Doped TiO<sub>2</sub> Nanoparticles. *Nanomaterials.* enero de 2022;12(19):3402.
11. Agencia para Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades. La toxicidad del arsénico | ¿Cuáles son los efectos fisiológicos de la exposición al arsénico? | ATSDR en Español [Internet]. 2022 [citado 25 de abril de 2024]. Disponible en: [https://www.atsdr.cdc.gov/es/csem/arsenic/efectos\\_fisiologicos.html](https://www.atsdr.cdc.gov/es/csem/arsenic/efectos_fisiologicos.html)
12. OMS. Arsénico [Internet]. 2022 [citado 25 de abril de 2024]. Disponible en: <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/arsenic>
13. Torres A., Choquecota R., Mamani G., Ticona P., Sanga M. & Gutierrez I. Bioadsorción de arsénico del agua del río Locumba utilizando cáscara de naranja (*Citrus sinensis*), Tacna. *Cienc Desarro.* 29 de junio de 2020;(26):41-7.
14. Ale D., Villa G. & Gastañaga del C. Concentraciones de Arsénico Urinario en Pobladores de dos Distritos de la Región Tacna, Perú, 2017. *Rev Peru Med Exp Salud Pública.* junio de 2018;35:183-9.
15. Díaz D. & Palacios K. Evaluación de las características de exposición al arsénico en el agua que consumen 4 centros poblados del distrito de Candarave – Tacna, Perú. *Univ Nac Mayor San Marcos [Internet].* 2023 [citado 1 de mayo de 2024]; Disponible en: <https://cybertesis.unmsm.edu.pe/handle/20.500.12672/20160>
16. Mesa de Concentración Para la Lucha Contra la Pobreza. <https://www.mesadeconcertacion.org.pe/>. 2017 [citado 1 de mayo de 2024]. Alerta: Situación De La Calidad De Agua Para Consumo Humano en la región Tacna - 2017. Disponible en: [https://www.mesadeconcertacion.org.pe/sites/default/files/archivos/2017/documentos/09/alerta\\_sobre\\_la\\_calidad\\_de\\_agua\\_para\\_consumo\\_humano\\_-\\_tacna\\_2017.pdf](https://www.mesadeconcertacion.org.pe/sites/default/files/archivos/2017/documentos/09/alerta_sobre_la_calidad_de_agua_para_consumo_humano_-_tacna_2017.pdf)
17. LA COMISIÓN EUROPEA. Diario Oficial de la Unión Europea. 2013 [citado 11 de mayo de 2024]. REGLAMENTO (UE) No 1275/2013 DE

- LA COMISIÓN. Disponible en:  
<https://www.boe.es/doue/2013/328/L00086-00092.pdf>
18. Luque G., Gomez H., Pari W., Peña F. & Huamán M. Peligro geológico en la región Tacna - [Boletín C 82]. Repos Inst INGEMMET [Internet]. julio de 2021 [citado 8 de mayo de 2024]; Disponible en: <https://repositorio.ingemmet.gob.pe/handle/20.500.12544/3161>
  19. Martin A., Turnbull R., Rissmann C. & Rieger P. Heavy metal and metalloid concentrations in soils under pasture of southern New Zealand. *Geoderma Reg.* 1 de diciembre de 2017;11:18-27.
  20. Özbay S., Dikici E. & Soylukan C. Evaluation of biological (feed, water), seasonal, and geological factors affecting the heavy metal content of raw milk. *J Food Compos Anal.* 1 de agosto de 2023;121:105401.
  21. Chicaiza E. & Chuquimarca T. "Evaluación agronómica de alfalfa (*medicago sativa*), achira (*canna indica*), y sigse (*cortasderia nitida*) para mejoramiento de suelos de la junta de riego Tiliche San José del cantón Latacunga provincia de Cotopaxi 2024". agosto de 2024 [citado 15 de diciembre de 2024]; Disponible en: <https://repositorio.utc.edu.ec/handle/123456789/12467>
  22. Forcada S., Menéndez M., Boente C., Rodríguez J., Costa J., Royo L. et al. Impact of Potentially Toxic Compounds in Cow Milk: How Industrial Activities Affect Animal Primary Productions. *Foods.* enero de 2023;12(8):1718.
  23. Van N., Van Ba N., Hoang N., Thu N., Thi H., Duc T. et al. Evaluación de la contaminación por arsénico de la leche y productos lácteos. *Rev Cuba Med Mil* [Internet]. septiembre de 2022 [citado 29 de mayo de 2024];51(3). Disponible en: [http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci\\_abstract&pid=S0138-65572022000300003&lng=es&nrm=iso&tlng=en](http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S0138-65572022000300003&lng=es&nrm=iso&tlng=en)
  24. Davidov I., Stojanović D., Vukomanović A., Vranešević M., Radinović M., Erdeljan M. et al. EFFECT OF ARSENIC ON COW'S UDDER PARENCHIMA. 2021 [citado 15 de diciembre de 2024];21(1-2). Disponible en: <https://doisrpska.nub.rs/index.php/VJRS/article/view/8888>
  25. Davidov I., Kovacevic Z., Stojanovic D., Pucarevic M., Radinovic M., Stojic N. et al. Contamination of Cow Milk by Heavy Metals in Serbia.

Acta Sci Vet [Internet]. 1 de enero de 2019 [citado 15 de diciembre de 2024];47. Disponible en: <https://seer.ufrgs.br/index.php/ActaScientiaeVeterinariae/article/view/96366>

26. Castro N., Moreno R., Calderón F., Moreno A. & Tamaríz V. Metales pesados en leche de vacas alimentadas con alfalfa producida en suelos irrigados con aguas residuales en Puebla y Tlaxcala, México. *Rev Mex Cienc Pecu.* 2018;9(3):466-85.
27. Castro N., Moreno R., Calderón F., Moreno A. & Juárez M. Assessment risk to children's health due to consumption of cow's milk in polluted areas in Puebla and Tlaxcala, Mexico. *Food Addit Contam Part B Surveill.* septiembre de 2017;10(3):200-7.
28. Kocasari F., Yurdakul O., Kart A., Yalcin H. & Bayezit E. Few heavy metal levels in certain tissues of cattle in Burdur of Turkey. *Indian J Anim Res* [Internet]. 9 de marzo de 2017 [citado 15 de diciembre de 2024]; Disponible en: <https://arccjournals.com/journal/indian-journal-of-animal-research/B-441>
29. Roggeman S., de Boeck G., De Cock H., Blust R. & Bervoets L. Accumulation and detoxification of metals and arsenic in tissues of cattle (*Bos taurus*), and the risks for human consumption. *Sci Total Environ.* 1 de enero de 2014;466-467:175-84.
30. Castro J., Chirinos D., Ríos E., Castro G., Chagua P. & De La Cruz G. Lead, Cadmium, and Arsenic in Raw Cow's Milk in a Central Andean Area and Risks for the Peruvian Populations. *Toxics.* 25 de septiembre de 2023;11(10):809.
31. Ninaquispe E. & Chacon I. Determinación de la presencia de metales pesados (Hg, As, Pb Y Cd) en leche y agua de regadío de la cuenca de Santa Eulalia, Agosto 2020 [Internet]. 2021. Disponible en: [https://alicia.concytec.gob.pe/vufind/Record/UHFR\\_60b1f4f36c99cb76428a8863771cedcb](https://alicia.concytec.gob.pe/vufind/Record/UHFR_60b1f4f36c99cb76428a8863771cedcb)
32. Coronel B & Villanueva M. Concentración de arsénico y plomo en leche cruda de vaca y el efecto de la salud en los consumidores del distrito de Huay Huay región Junín, 2020 - 2021". 6 de febrero de 2022 [citado 29 de mayo de 2024]; Disponible en: <https://repositorio.uma.edu.pe/handle/20.500.12970/773>

33. Sáenz L. Presencia de metales pesado en la leche de consumo humano en el valle de Cajamarca. Univ Nac Cajamarca [Internet]. 18 de junio de 2019 [citado 29 de mayo de 2024]; Disponible en: <http://repositorio.unc.edu.pe/handle/20.500.14074/3377>
34. Huanqui R. Determinación de metales pesados en pastos, fibra, carne y vísceras de alpacas en comunidades del distrito de Ananea - Puno. Univ Nac Altiplano [Internet]. 10 de octubre de 2018 [citado 4 de junio de 2024]; Disponible en: <https://repositorio.unap.edu.pe/handle/20.500.14082/8960>
35. Mamani M. Determinación de arsénico en leche fresca de bovinos por espectrofotometría de absorción atómica en lte, 2022. 2024 [citado 11 de diciembre de 2024]; Disponible en: <https://repositorio.unjbg.edu.pe/handle/20.500.12510/4454>
36. Mitra S., Chakraborty A., Tareq A., Emran T., Nainu F., Khusro A. et al. Impact of heavy metals on the environment and human health: Novel therapeutic insights to counter the toxicity. J King Saud Univ - Sci. 1 de abril de 2022;34(3):101865.
37. Abd M., Elkaliny N., Elyazied M., Azab S., Elkhalifa S., Elmasry S. et al. Toxicity of Heavy Metals and Recent Advances in Their Removal: A Review. Toxics. julio de 2023;11(7):580.
38. Fatoki J. & Badmus J. Arsenic as an environmental and human health antagonist: A review of its toxicity and disease initiation. J Hazard Mater Adv. 1 de febrero de 2022;5:100052.
39. Humans IWG on the E of CR to. ARSENIC AND ARSENIC COMPOUNDS. En: Arsenic, Metals, Fibres and Dusts [Internet]. International Agency for Research on Cancer; 2012 [citado 27 de mayo de 2024]. Disponible en: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK304380/>
40. Rajiv S., George M. & Nandakumar G. Dermatological manifestations of arsenic exposure. J Skin Sex Transm Dis. 14 de abril de 2023;5(1):14-21.
41. Sattar A., Xie S., Hafeez M., Wang X., Hussain H., Iqbal Z. et al. Metabolism and toxicity of arsenicals in mammals. Environ Toxicol Pharmacol. 1 de diciembre de 2016;48:214-24.

42. Litter M. Arsénico en agua. [Internet]. Universidad Nacional de San Martín. Editorial de la Universidad Nacional de San Martín (UNSAM Edita); [citado 9 de diciembre de 2024]. Disponible en: <http://ri.unsam.edu.ar/handle/123456789/911>
43. Suárez M., González F., González D., Rubio C. & Hardisson A. Análisis, diagnóstico y tratamiento de las intoxicaciones arsenicales. Cuad Med Forense. enero de 2004;(35):05-14.
44. Rodríguez C. Intoxicación por arsénico. Med Leg Costa Rica. diciembre de 2021;38(2):4-16.
45. Jiménez M., Endara A. & Ponce H. Plasma acoplado inductivamente en espectroscopia de emisión óptica (ICP-OES). RECIMUNDO. 9 de octubre de 2020;4(4):4-12.
46. Hernández R., Fernández C. & Baptista P. Metodología de la investigación [Internet]. McGraw Hill España; 2014 [citado 26 de diciembre de 2024]. Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/libro?codigo=775008>
47. Pedraza M., Alcalá C., Castillo S. & Treviño J. Criterio de validación de normalidad en muestras pequeñas; pruebas paramétricas o no paramétricas. (1).

# ANEXOS

## Anexo 1. Matriz de consistencia

DETERMINACIÓN DE LOS NIVELES DE ARSÉNICO EN FORRAJE Y LECHE CRUDA DE VACA EN EL DISTRITO DE CAIRANI, PROVINCIA DE CANDARAVE, REGIÓN TACNA				
Problema general	Objetivo general	Hipótesis	Variables y dimensiones	Metodología
¿Cuál será los niveles de arsénico en forraje y la leche cruda de vaca en el distrito de Cairani, provincia de Candarave, región Tacna?	Determinar los niveles de arsénico en forraje y la leche cruda de vaca en el distrito de Cairani, provincia de Candarave, región Tacna.	El trabajo de investigación se enfoca un estudio descriptivo, el objetivo principal es describir y caracterizar las variables de interés en una población. A consecuencia no es necesario establecer hipótesis.	<p><b>Variable 1</b></p> <p>Niveles de arsénico en forraje y leche cruda de vaca.</p> <p><b>Variable 2</b></p> <p>Características de exposición.</p> <p><b>Población</b></p> <p>La población estará constituida por la leche cruda recolectada de vacas y forraje que se suministra de alimento para las mismas vacas del estudio expuestas a arsénico que pertenecen al Distrito de Cairani, ubicado en la provincia de Candarave, Región Tacna.</p>	<p><b>Tipo de investigación</b></p> <p>Básica y prospectivo.</p> <p><b>Diseño de investigación</b></p> <p>Transversal y observacional.</p> <p><b>Nivel de investigación</b></p> <p>Descriptivo</p> <p><b>Técnicas de recopilación de información:</b></p> <p>Ficha de recolección de datos.</p> <p><b>Instrumento</b></p> <p>Espectrómetro óptico de Plasma Inducido ICP-OES</p> <p><b>Técnicas de procesamiento de información:</b> Estadística</p>
Problemas específicos	Objetivos específicos			
a) ¿Cuáles serán las características de exposición a arsénico en leche cruda de vaca en el distrito de Cairani, provincia de Candarave, región Tacna?	a) Describir las características de exposición a arsénico en la leche cruda de vaca del distrito de Cairani, provincia de Candarave, región Tacna.			
b) ¿Existirá diferencias significativas en los niveles promedios de arsénico en forraje del distrito de Cairani, provincia de Candarave, región Tacna en comparación a los límites máximos	a) Comparar los niveles de arsénico en el forraje del distrito de Cairani, provincia de Candarave, región Tacna con el límite máximo permisible			

- permisibles por el Consejo del Parlamento Europeo?
- c) ¿Existirá diferencias significativas en los niveles promedios de arsénico en leche cruda de vaca del distrito de Cairani, provincia de Candarave, región Tacna en comparación a los límites máximos permisibles por el Codex Alimentarius?
- d) ¿Existirá diferencias significativas en los niveles promedios de arsénico en leche cruda de vaca del distrito de Cairani, provincia de Candarave, región Tacna según las diferentes características de exposición?
- e) ¿Existirá diferencias significativas en los niveles promedios de arsénico en forraje del distrito de Cairani, provincia de Candarave, región Tacna según el tipo de forraje?
- b) Comparar los niveles de arsénico en la leche cruda de vaca del distrito de Cairani, provincia de Candarave, región Tacna con los límites máximos permisibles establecidos por Codex Alimentarius.
- c) Comparar los niveles de arsénico en la leche cruda de vaca del distrito de Cairani, provincia de Candarave, región Tacna, entre las características de exposición.
- d) Comparar los niveles de arsénico en forraje del distrito de Cairani, provincia de Candarave, región Tacna según el tipo de forraje.

### **Muestra**

Está conformada la muestra de leche cruda por 3 muestras de leche por vaca, se recolectará 36 muestras de 250 mL de leche de 12 vacas luego del ordeño manual, de acuerdo con el protocolo de ordeño de la Norma Técnica Peruana.

Las muestras de forraje estarán conformadas por 18 muestras de pasto ovillo y 18 muestras de alfalfa recolectadas al azar de las tres zonas estudiadas en el distrito de Cairani ubicado en la provincia de Candarave, región de Tacna.

### **Muestreo**



Se estimará mediante una técnica no probabilística a conveniencia del investigador.

descriptiva y estadística inferencial.

---

**Fuente:** Elaboración propia.

## Anexo 2. Ficha de recolección de datos.

	<b>UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE GROHMANN</b> <b>FACULTAD DE CIENCIAS DE LA SALUD</b> <b>ESCUELA PROFESIONAL DE FARMACIA Y BIOQUÍMICA</b>	
<b>FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS</b>		
<b>“DETERMINACIÓN DE LOS NIVELES DE ARSÉNICO EN FORRAJE Y LECHE CRUDA DE VACA EN EL DISTRITO DE CAIRANI, PROVINCIA DE CANDARAVE, REGIÓN TACNA”</b>		
Completar los espacios y marcar con X donde corresponda según los ítems.		
Fecha: ____ de noviembre del 2024		
<b>I. RELACIONADO CON LA UBICACIÓN</b>		
1.1. Ubicación de la finca lechera.		
_____		
<b>II. FACTORES RELACIONADO CON LA VACA</b>		
2.1. Lugar de nacimiento de la vaca:		
_____		
2.2. Tiempo de residencia de la vaca en Cairani.		
a) 2 años		
b) 3 años		
c) 4 años		
d) 5 años		
e) > 5 años		
2.3. Edad de la vaca:		
a) 2 años		
b) 3 años		
c) 4 años		
d) 5 años		
e) > 5 años		
2.4. Raza de la vaca:		
a) Holstein ( )		
b) Brown Swiss ( )		
c) Jersey ( )		
d) Simmental ( )		
e) Otro ( )		
Especificar: _____		
2.5. Tipo de agua que consume la vaca:		
a) Agua del Rio Callazas ( )		
b) Agua de pozo ( )		
c) Otro ( )		
Especificar: _____		
	2.6. Tratamiento o medicación de la vaca:	
	El animal recibe medicación o algún tratamiento:	
	Si ( )	
	Especificar medicamento: _____	
	No ( )	
	<b>III. FACTORES RELACIONADOS CON LA FINCA LECHERA</b>	
	3.1. Ventilación de la finca lechera:	
	a) Muy ventilado ( )	
	b) Regularmente ventilado ( )	
	c) Poco ventilado ( )	
	3.2. Frecuencia de la limpieza de la finca lechera:	
	a) Todos los días ( )	
	b) Interdiario ( )	
	c) Cada semana ( )	
	d) Otro ( )	
	Especificar: _____	
	<b>IV. FACTORES RELACIONADOS CON EL FORRAJE</b>	
	4.1. Tipo de forraje consumido por la vaca:	
	a) Pasto ( <i>Dactylis glomerata</i> ) ( )	
	b) Alfalfa ( <i>Medicago sativa</i> ) ( )	
	4.2. Utilización de fertilizantes, agroquímicos, insecticidas o pesticidas en el forraje.	
	Si ( )	
	Especificar: _____	
	No ( )	
		Gracias por su participación

**Fuente:** La ficha de recolección de datos utilizada se basa en ficha de Mamani Aguilar MD (35) que se ajustó a las necesidades específicas del presente estudio.

### Anexo 3. Validación del instrumento por juicio de expertos.

Tacna, 14 de noviembre del 2024

**SOLICITO: VALIDACIÓN DE INSTRUMENTO POR CRITERIO DE ESPECIALISTA**

Señor(a):

.....

Es grato dirigirme a Usted para solicitar la colaboración para validar el instrumento de mi trabajo de investigación de tesis titulada "DETERMINACIÓN DE LOS NIVELES DE ARSÉNICO EN FORRAJE Y LECHE CRUDA DE VACA EN EL DISTRITO DE CAIRANI, PROVINCIA DE CANDARAVE, REGIÓN TACNA", para optar el título profesional de Químico Farmacéutico, por ello es necesario realizar la fase de validación del instrumento de la ficha de recolección de datos, con la finalidad de darle rigor científico al presente estudio.

Es por tal motivo, que respetuosamente le solicito su colaboración como juez especializado para evaluar y proporcionar su opinión experta sobre el formato propuesto para la recopilación de información en mi trabajo de investigación, apelando a su destacada trayectoria profesional, experiencia y prestigio.

Agradezco de antemano por su disposición de colaborar y aporte brindado en este trabajo de investigación. Me despido con alta estima y aprecio hacia su persona y su experiencia profesional.

Atentamente:

\_\_\_\_\_  
Nombres y Apellidos de Bach  
Delia Arminia Ccama Calderon

\_\_\_\_\_  
Nombres y Apellidos de Asesora  
Dra. Yemile Del Carmen Berríos Espejo

Adj.

- Ficha de evaluación de instrumento
- Instrumento de investigación
- Matriz de consistencia

## VALIDACIÓN DE INSTRUMENTO POR JUICIO DE EXPERTOS

**TÍTULO: DETERMINACIÓN DE LOS NIVELES DE ARSÉNICO EN FORRAJE Y LECHE CRUDA DE VACA EN EL DISTRITO DE CAIRANI, PROVINCIA DE CANDARAVE, REGIÓN TACNA**

Aspectos de validación:

ITEMS	DIMENSIÓN	Claridad <sup>1</sup>		Pertinencia <sup>2</sup>		Relevancia <sup>3</sup>		SUGERENCIA
		SI	NO	SI	NO	SI	NO	
I.	<b>RELACIONADO CON LA UBICACIÓN</b>							
1.1.	Ubicación de la finca lechera.	X		X		X		
II.	<b>FACTORES RELACIONADOS CON LA VACA</b>							
2.1.	Lugar de nacimiento de la vaca.	X		X		X		
2.2.	Tiempo de residencia de la vaca en Cairani.	X		X		X		
2.3.	Edad de la vaca.	X		X		X		
2.4.	Raza de la vaca.	X		X		X		
2.5.	Tipo de agua que consume la vaca.	X		X		X		
2.6.	Tratamiento o medicación de la vaca.	X		X		X		
III.	<b>FACTORES RELACIONADOS CON LA FINCA LECHERA</b>							
3.1.	Ventilación de la finca lechera.	X		X		X		
3.2.	Frecuencia de la limpieza de la finca lechera.	X		X		X		
IV.	<b>FACTORES RELACIONADOS CON EL FORRAJE</b>							
4.1.	Tipo de forraje consumido por la vaca	X		X		X		
4.2.	Utilización de fertilizantes, agroquímicos, insecticidas o pesticidas en el forraje	X		X		X		

Opinión de aplicabilidad: Aplicable  Aplicable después de corregir ( ) No aplicable ( )

Apellidos y nombres del juez validador: QUISPE ACERO JUAN DNI 00676464

Especialidad del juez validador: ING. AGRÓNOMO



Ing. Agro. Juan Quispe Acero  
CIP 22391

Firma y sello del juez validador

<sup>1</sup>Claridad: Se entiende sin dificultad los ítems de manera concisa, precisa y directa.

<sup>2</sup>Pertinencia: El ítem pertenece a la dimensión.

<sup>3</sup>Relevancia: El ítem es adecuado para representar la dimensión del constructo.

## VALIDACIÓN DE INSTRUMENTO POR JUICIO DE EXPERTOS

**TÍTULO: DETERMINACIÓN DE LOS NIVELES DE ARSÉNICO EN FORRAJE Y LECHE CRUDA DE VACA EN EL DISTRITO DE CAIRANI, PROVINCIA DE CANDARAVE, REGIÓN TACNA**

Aspectos de validación:

ITEMS	DIMENSIÓN	Claridad <sup>1</sup>		Pertinencia <sup>2</sup>		Relevancia <sup>3</sup>		SUGERENCIA
		SI	NO	SI	NO	SI	NO	
<b>I.</b>	<b>RELACIONADO CON LA UBICACIÓN</b>							
1.1.	Ubicación de la finca lechera.	/		/		/		
<b>II.</b>	<b>FACTORES RELACIONADOS CON LA VACA</b>							
2.1.	Lugar de nacimiento de la vaca.	/		/		/		
2.2.	Tiempo de residencia de la vaca en Cairani.	/		/		/		
2.3.	Edad de la vaca.	/		/		/		
2.4.	Raza de la vaca.	/		/		/		
2.5.	Tipo de agua que consume la vaca.	/		/		/		
2.6.	Tratamiento o medicación de la vaca.	/		/		/		
<b>III.</b>	<b>FACTORES RELACIONADOS CON LA FINCA LECHERA</b>							
3.1.	Ventilación de la finca lechera.	/		/		/		
3.2.	Frecuencia de la limpieza de la finca lechera.	/		/		/		
<b>IV.</b>	<b>FACTORES RELACIONADOS CON EL FORRAJE</b>							
4.1.	Tipo de forraje consumido por la vaca	/		/		/		
4.2.	Utilización de fertilizantes, agroquímicos, insecticidas o pesticidas en el forraje	/		/		/		

**Opinión de aplicabilidad:** Aplicable (X)    Aplicable después de corregir ( )    No aplicable ( )

Apellidos y nombres del juez validador: CHANGULLIO ROAS JUAN JOSE DNI 60492845

Especialidad del juez validador: QUIMICO FARMACEUTICO - DOCTOR EN EPIDEMIOLOGIA

  
Firma y sello del juez validador  
GOBIERNO REGIONAL TACNA  
DIRECCION REGIONAL DE SALUD

<sup>1</sup>Claridad: Se entiende sin dificultad los ítems de manera concisa, precisa y directa.

<sup>2</sup>Pertinencia: El ítem pertenece a la dimensión.

<sup>3</sup>Relevancia: El ítem es adecuado para representar la dimensión del constructo.

Q.F. JUAN JOSE EVARISTO CHANGULLIO ROAS  
E.O.F.P. Nº 01121  
EQUIPO DE ACCESO Y USO REGIONAL DE MEDICAMENTOS  
DIRECCION EJECUTIVA DE MEDICAMENTOS, INSUMOS Y ...

## VALIDACIÓN DE INSTRUMENTO POR JUICIO DE EXPERTOS

**TÍTULO: DETERMINACIÓN DE LOS NIVELES DE ARSÉNICO EN FORRAJE Y LECHE CRUDA DE VACA  
EN EL DISTRITO DE CAIRANI, PROVINCIA DE CANDARAVE, REGIÓN TACNA**

Aspectos de validación:

ITEMS	DIMENSIÓN	Claridad <sup>1</sup>		Pertinencia <sup>2</sup>		Relevancia <sup>3</sup>		SUGERENCIA
		SI	NO	SI	NO	SI	NO	
<b>I.</b>	<b>RELACIONADO CON LA UBICACIÓN</b>	SI	NO	SI	NO	SI	NO	
1.1.	Ubicación de la finca lechera.	<b>x</b>		<b>x</b>		<b>x</b>		
<b>II.</b>	<b>FACTORES RELACIONADOS CON LA VACA</b>	SI	NO	SI	NO	SI	NO	
2.1.	Lugar de nacimiento de la vaca.	<b>x</b>		<b>x</b>		<b>x</b>		
2.2.	Tiempo de residencia de la vaca en Cairani.	<b>x</b>		<b>x</b>		<b>x</b>		
2.3.	Edad de la vaca.	<b>x</b>		<b>x</b>		<b>x</b>		
2.4.	Raza de la vaca.	<b>x</b>		<b>x</b>		<b>x</b>		
2.5.	Tipo de agua que consume la vaca.	<b>x</b>		<b>x</b>		<b>x</b>		
2.6.	Tratamiento o medicación de la vaca.	<b>x</b>		<b>x</b>		<b>x</b>		
<b>III.</b>	<b>FACTORES RELACIONADOS CON LA FINCA LECHERA</b>	SI	NO	SI	NO	SI	NO	
3.1.	Ventilación de la finca lechera.	<b>x</b>		<b>x</b>		<b>x</b>		
3.2.	Frecuencia de la limpieza de la finca lechera.	<b>x</b>		<b>x</b>		<b>x</b>		
<b>IV.</b>	<b>FACTORES RELACIONADOS CON EL FORRAJE</b>	SI	NO	SI	NO	SI	NO	
4.1.	Tipo de forraje consumido por la vaca	<b>x</b>		<b>x</b>		<b>x</b>		
4.2.	Utilización de fertilizantes, agroquímicos, insecticidas o pesticidas en el forraje	<b>x</b>		<b>x</b>		<b>x</b>		

**Opinión de aplicabilidad:** Aplicable (**x**)    Aplicable después de corregir ( )    No aplicable ( )

Apellidos y nombres del juez validador: Avendaño Cáceres, Miriam Alicia    DNI 00483918

Especialidad del juez validador: Ingeniero en Industrias Alimentarias

  
Ing. Miriam Alicia Avendaño Cáceres  
 CIR 60819  
 Firma y sello del juez validador

<sup>1</sup>Claridad: Se entiende sin dificultad los ítems de manera concisa, precisa y directa.

<sup>2</sup>Pertinencia: El ítem pertenece a la dimensión.

<sup>3</sup>Relevancia: El ítem es adecuado para representar la dimensión del constructo.

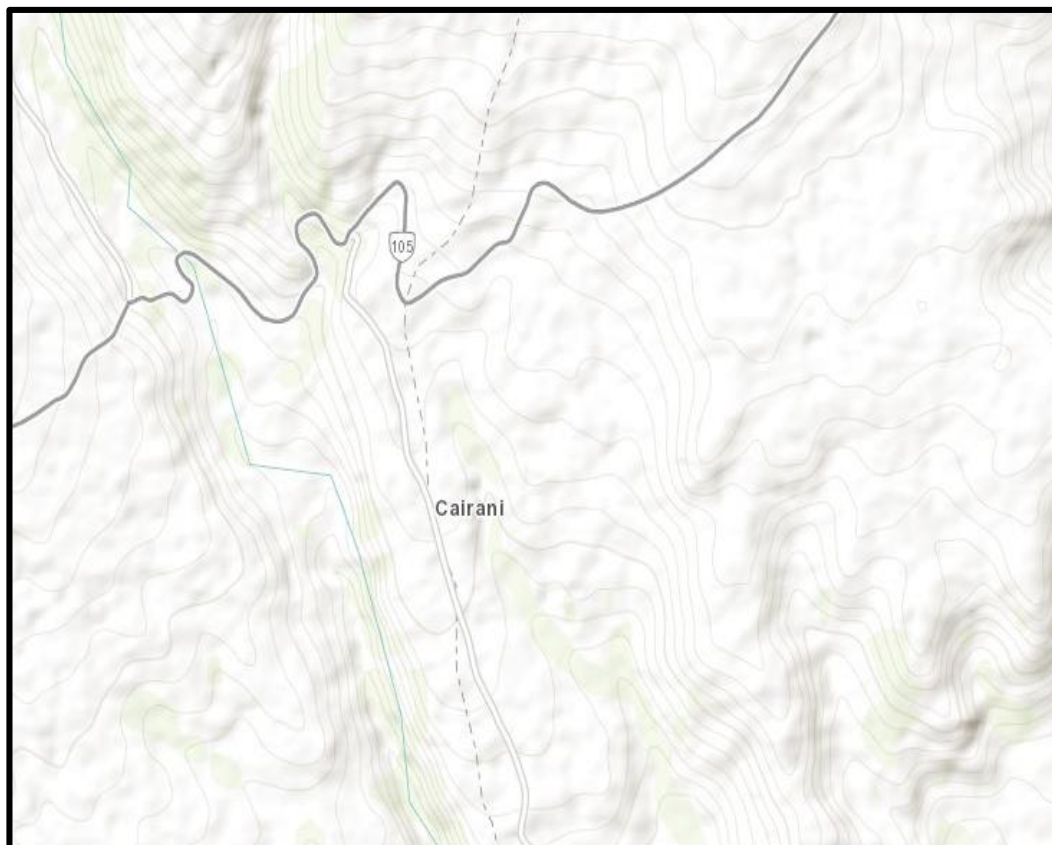
**Anexo 4.** Mapas de hidrología y topografía del distrito de Cairani, provincia de Candarave, región Tacna.



**Fuente:** Observatorio Nacional de Recursos Hídricos – ANA.

<b><i>Distrito de Cairani, Provincia de Candarave – Región Tacna en Nov. 2025</i></b>	
Altitud	3 205 msnm
Latitud	- 17,29
Longitud	- 70,35
Humedad	56,45%
Precipitación	1 mm
Norte	8088100
Este	355180
Cuenca	Locumba
Bloque de riego	Callazas-Cairani
Zona de captación	Río Callazas
Caudal Rio Callazas	3 231 m <sup>3</sup> /s
Fuente de agua	Laguna Suchea
Riego por gravedad	1695 Ha.

**Fuente:** Elaboración propia.



**Fuente:** Observatorio Nacional de Recursos Hídricos – ANA

<b><i>Distrito de Cairani, Provincia de Candarave – Región Tacna en Nov. 2025</i></b>	
Clima	Semiarido
Pendiente	Escarpado
Análisis mecánico de suelo	Arena 50 %, limo 35 % y arcilla 15 %
Clase textural	Franco arenoso
Inclinación	38°

**Fuente:** Elaboración propia.

**Anexo 5. Fotografías de evidencia en la toma y análisis de las muestras.**

**Evidencia fotográfica durante el desarrollo del trabajo de tesis.**



## Toma y recolección de muestra



## Procesamiento de muestras de leche cruda de vaca.



- A. Se midió 1 ml de las muestras de leche cruda de vaca en una micropipeta.
- B. Colocar en cada frasco de digestión los 1 ml de leche cruda de vaca rotulado.
- C. Ácido nítrico ultrapuro ( $\text{HNO}_3$ , 60 %, Merck, Alemania) y ácido clorhídrico ultrapuro ( $\text{HCl}$ , 30 %, Merck, Alemania)
- D. Posteriormente se agregó 2ml de ácido nítrico ultrapuro y 1 ml de ácido clorhídrico ultrapuro para realizar la digestión.
- E. Luego los frascos se someten a digestión ácida vía húmeda a temperatura ambiente  $25\text{ }^\circ\text{C}$  durante 12 horas.
- F. Muestras de leche transcurrido las 12 horas de digestión ácida vía húmeda a temperatura ambiente.

## Procesamiento de muestras de forraje.



- A. Las muestras de alfalfa fueron cortadas a 1 mm con el fin de obtener una mayor eficiencia en el proceso de digestión.
- B. Pesar 1 g de muestra de alfalfa en frasco de digestión.
- C. Las muestras de pasto fueron procesadas en una molienda para obtener una muestra más homogénea.
- D. Tamizar la muestra de pasto.
- E. Pesar 1 g de muestras de pasto en frascos de digestión.
- F. Posteriormente a los frascos de digestión se le agrega 4 ml de ácido nítrico y 2 ml de ácido clorhídrico ultrapuro para realizar la digestión acida vía húmeda a temperatura ambiente durante 12h.

**Procesamiento de muestras digestión acida vía húmeda con calor en el Hot block.**



- A. Prender el equipo de Hot block.
- B. Los frascos de digestión se someten a digestión acida vía húmeda con calor en el Hot block a una temperatura de 60°C durante 12h.
- C. Las muestras de leche cruda, alfalfa y pasto de izquierda a derecha antes de ser sometidas a digestión acida vía húmeda con calor.
- D. Enfriar los tubos digestión con las muestras, hasta que se condense totalmente la muestra.
- E. Las muestras frías fueron reconstituidas con agua ultra pura a 50 ml en tubos de digestión.
- F. En tubos cónicos estériles se agrega 10 ml de la muestra reconstituida con un millipore Miller para su posterior lectura en el espectrofotómetro.

## Lectura de las muestras en el espectrofotómetro ICP-OES.



- A. Encender el espectrofotómetro de emisión óptica por plasma inductivamente acoplado y esperar que se establezca la temperatura. Se determina la curva de calibración del arsénico.
- B. Se utilizó una solución estándar certificado (EPA Method 200.7 Calibration Standard 1) y multielemental, la cual presenta las siguientes concentraciones: 1 000  $\mu\text{g/mL}$ :As,Ca; 500  $\mu\text{g/mL}$  :Se; 200  $\mu\text{g/mL}$ :Cd, Cu, Mn; 100  $\mu\text{g/mL}$ :B, Ba, Sr; 50  $\mu\text{g/mL}$ :Ag. Estándar de calibración 1A de *Inorganic Ventures* en una matriz de ácido nítrico para lograr estabilidad (5% v/v Nitric Acid).
- C. Se preparó el blanco y las soluciones estándares.
- D. Coloca las muestras en el automuestreador, la secuencia fue de lavado con  $\text{HNO}_3$  y agua ultra pura seguido de inyección de muestras. Se utiliza argón como arrastre.
- E. El detector detecta la energía de la muestra, posteriormente se traduce en una concentración, que figuran en el System Status WinLab32 y seguidamente, se procede a realizar los cálculos correspondientes.

**Anexo 6.** Contenidos máximos permitidos de arsénico según el Consejo del Parlamento Europeo en la alimentación animal publicado en el Diario Oficial de la Unión Europea (17).

---

<b>Sustancias indeseables</b>	<b>Productos destinados a la alimentación animal</b>	<b>Contenido máximo en mg/kg</b>
<b>Arsénico</b>	Materias primas para piensos	2

**Anexo 7.** Contenidos máximos permitidos de arsénico según el Codex Alimentarius en leche.

---

<b>Sustancias indeseables</b>	<b>Productos</b>	<b>Contenido máximo en mg/L</b>
<b>Arsénico</b>	Leche	0,014

**Anexo 8.** Informe de ensayo N° ANA21K24.005493 de análisis de muestras realizadas en el laboratorio de Ensayo y Control de Calidad de la Universidad Católica de Santa María – Arequipa.



**UNIVERSIDAD CATOLICA DE SANTA MARIA**  
**FACULTAD DE CIENCIAS FARMACEUTICAS, BIOQUIMICAS Y BIOTECNOLOGICAS**  
**LABORATORIO DE ENSAYO Y CONTROL DE CALIDAD**

Urb. San José S/N Umacollo CAMPUS UNIVERSITARIO H-204/205 ☎ + 51 54 382038 ANEXO 1166  
 ✉ laboratoriodeensayo@ucsm.edu.pe 🌐 http://www.ucsm.edu.pe 📄 Apto. 1350  
 AREQUIPA - PERÚ



**INFORME DE ENSAYO N° ANA21K24.005493**

**INFORMACIÓN PROPORCIONADA POR EL CLIENTE**

**Nombre del cliente** : Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann  
**Dirección del cliente** : Av. Miraflores s/n Cercado Ciudad Universitaria Tacna  
**RUC** : 20147796634  
**Identificación del contacto** : Delia Arminia Ccama Calderón  
**Descripción de la muestra** : Muestra varias

**INFORMACIÓN DEL ENSAYO**

**Condición del muestreo** : Por el cliente  
**Tamaño de muestra** : 10 a 20 g c/u  
**Fecha de recepción** : 21/11/2024  
**Fecha de ejecución de ensayo** : 21/11/2024 al 30/11/2024  
**Fecha de emisión de informe** : 05/12/2024  
**Página** : 1 de 3

**I. ANÁLISIS FÍSICO – QUÍMICO:**

**DETERMINACIÓN DE ARSENICO**

Método plasma de acoplamiento inductivo (ICP) con espectrofotómetro de emisión óptico (OES)

ANÁLISIS	UNIDADES	RESULTADO
1LA	mg/L	0,100
2LA	mg/L	0,100
3LA	mg/L	0,000
4LA	mg/L	0,000
5LA	mg/L	0,000
6LA	mg/L	0,000
7LA	mg/L	0,000
8LA	mg/L	0,000
9LA	mg/L	0,000
10LA	mg/L	0,000
11LA	mg/L	0,000
12LA	mg/L	0,000
13LB	mg/L	0,100
14LB	mg/L	0,000
15LB	mg/L	0,000
16LB	mg/L	0,000
17LB	mg/L	0,000
18LB	mg/L	0,000
19LB	mg/L	0,000
20LB	mg/L	0,000
21LB	mg/L	0,000
22LB	mg/L	0,050
23LB	mg/L	0,000
24LB	mg/L	0,000



UNIVERSIDAD CATOLICA DE SANTA MARIA  
FACULTAD DE CIENCIAS FARMACEUTICAS, BIOQUIMICAS Y BIOTECNOLOGICAS  
LABORATORIO DE ENSAYO Y CONTROL DE CALIDAD

Urb. San José S/N Umacollo CAMPUS UNIVERSITARIO H-204/205 ☎ + 51 54 382038 ANEXO 1166  
✉ laboratoriodeensayo@ucsm.edu.pe 🌐 http://www.ucsm.edu.pe 📄 Apto. 1350  
AREQUIPA - PERÚ



INFORME DE ENSAYO N° ANA21K24.005493

INFORMACIÓN PROPORCIONADA POR EL CLIENTE

Nombre del cliente : Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann  
Dirección del cliente : Av. Miraflores s/n Cercado Ciudad Universitaria Tacna  
RUC : 20147796634  
Identificación del contacto : Delia Arminia Ccama Calderón  
Descripción de la muestra : Muestra varias

INFORMACIÓN DEL ENSAYO

Condición del muestreo : Por el cliente  
Tamaño de muestra : 10 a 20 g c/u  
Fecha de recepción : 21/11/2024  
Fecha de ejecución de ensayo : 21/11/2024 al 30/11/2024  
Fecha de emisión de informe : 05/12/2024  
Página : 2 de 3

25LC	mg/L	0,000
26LC	mg/L	0,000
27LC	mg/L	0,000
28LC	mg/L	0,050
29LC	mg/L	0,000
30LC	mg/L	0,000
31LC	mg/L	0,000
32LC	mg/L	0,000
33LC	mg/L	0,000
34LC	mg/L	0,000
35LC	mg/L	0,000
36LC	mg/L	0,000
1DGA	mg/Kg	13,299
2DGA	mg/Kg	13,093
3DGA	mg/Kg	14,094
4DGA	mg/Kg	5,949
5DGA	mg/Kg	6,294
6DGA	mg/Kg	7,834
7DGB	mg/Kg	3,300
8DGB	mg/Kg	3,500
9DGB	mg/Kg	3,300
10DGB	mg/Kg	3,300
11DGB	mg/Kg	4,900
12DGB	mg/Kg	5,200
13DGC	mg/Kg	1,300
14DGC	mg/Kg	4,300
15DGC	mg/Kg	1,900
16DGC	mg/Kg	1,900



UNIVERSIDAD CATOLICA DE SANTA MARIA  
FACULTAD DE CIENCIAS FARMACEUTICAS, BIOQUIMICAS Y BIOTECNOLOGICAS  
LABORATORIO DE ENSAYO Y CONTROL DE CALIDAD

Urb. San José S/N Umacollo CAMPUS UNIVERSITARIO H-204/205 ☎ + 51 54 382038 ANEXO 1165  
✉ laboratoriodeensayo@ucsm.edu.pe 🌐 http://www.ucsm.edu.pe 📄 Apto. 1350  
AREQUIPA - PERÚ



INFORME DE ENSAYO N° ANA21K24.005493

INFORMACIÓN PROPORCIONADA POR EL CLIENTE

Nombre del cliente : Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann  
Dirección del cliente : Av. Miraflores s/n Cercado Ciudad Universitaria Tacna  
RUC : 20147796634  
Identificación del contacto : Delia Arminia Ccama Calderón  
Descripción de la muestra : Muestra varias

INFORMACIÓN DEL ENSAYO

Condición del muestreo : Por el cliente  
Tamaño de muestra : 10 a 20 g c/u  
Fecha de recepción : 21/11/2024  
Fecha de ejecución de ensayo : 21/11/2024 al 30/11/2024  
Fecha de emisión de informe : 05/12/2024  
Página : 3 de 3

17DGC	mg/Kg	1,500
18DGC	mg/Kg	1,000
1MSA	mg/Kg	0,300
2MSA	mg/Kg	0,300
3MSA	mg/Kg	0,350
4MSA	mg/Kg	0,450
5MSA	mg/Kg	0,450
6MSA	mg/Kg	0,347
7MSB	mg/Kg	0,600
8MSB	mg/Kg	1,500
9MSB	mg/Kg	0,800
10MSB	mg/Kg	0,400
11MSB	mg/Kg	1,500
12MSB	mg/Kg	1,100
13MSC	mg/Kg	0,500
14MSC	mg/Kg	0,600
15MSC	mg/Kg	1,200
16MSC	mg/Kg	2,100
17MSC	mg/Kg	1,000
18MSC	mg/Kg	0,100

OBSERVACIONES:

- La información proporcionada por el cliente es de responsabilidad exclusiva del mismo,
- El muestreo, las condiciones de muestreo, tratamiento previo y transporte de la muestra hasta el ingreso al LECC son responsabilidad del solicitante y los resultados emitidos en el presente informe se refieren a la muestra tal como se recibió,
- Los resultados emitidos en el presente informe se relacionan únicamente a las muestras ensayadas y no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce, Este documento no debe ser reproducido, sin autorización escrita del Laboratorio de Ensayo y Control de Calidad



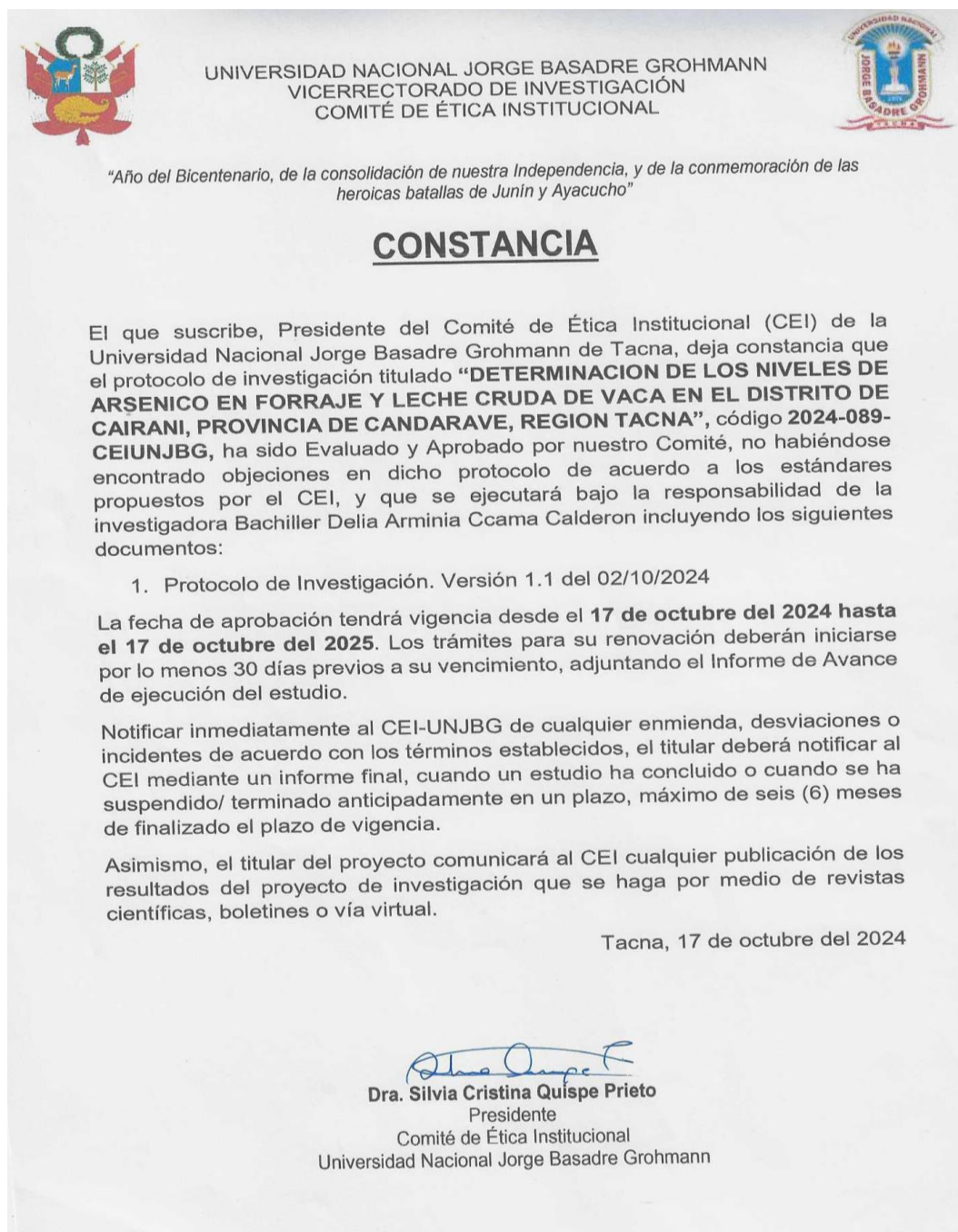
Firmado digitalmente por:  
RICARDO ALONSO ABRIL  
RAMIREZ DNI:29651987  
RUC:20141637941  
Motivo:  
Fecha: 05/12/2024 14:19:02-0500

Código: LECC-15INF-002F ED:01 Fecha de Aprobación: 2022-08-16 Aprobación por: DT

**Anexo 9.** Curva de calibración de arsénico de muestras de leche-forraje.

CURVA DE CALIBRACION DE ARSENICO				
concentracion	intensidad corregida		x	s
	rep 1	rep 2		
0.05	19132.4	19402.8	19267.6	191.20
2.60	29439.1	29861.7	29650.4	298.82
15.60	85030.8	85618.8	85324.8	415.78
a	18677.78	18995.78	18836.7765	224.86
b	4250.354788	4268.272115	4259.313452	12.67
r	0.99994	0.99996		

**Anexo 10. Constancia del Comité de Ética Institucional de proyecto de investigación.**





UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE GROHMANN  
VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN  
COMITÉ DE ÉTICA INSTITUCIONAL



"Año del Bicentenario, de la consolidación de nuestra Independencia, y de la conmemoración de las heroicas batallas de Junín y Ayacucho"


**PARTICIPANTES EN LA REUNIÓN DE LA EVALUACIÓN DEL PROYECTO**

Con fecha del 17 de octubre del 2024 los miembros del Comité de Ética Institucional (CEI) presentes en la reunión dan por APROBADO el proyecto de investigación titulado: "DETERMINACION DE LOS NIVELES DE ARSENICO EN FORRAJE Y LECHE CRUDA DE VACA EN EL DISTRITO DE CAIRANI, PROVINCIA DE CANDARAVE, REGION TACNA", presentado por la investigadora Bachiller Delia Arminia Ccama Calderon.

El titular deberá enviar los informes de avances de la ejecución de su Proyecto de Investigación cada 06 meses hasta el término del plazo de vigencia en el cuál enviará un informe final.


N°	NOMBRES Y APELLIDOS	FIRMAS
1	Dra. Silvia Cristina Quispe Prieto	
2	Med. Vet. Miguel Ángel Padilla Mamani	
3	Dra. Marilú Hilda Manchego Colque	
4	MSc. Luis Alberto Barrios Moquillaza	
5	Dra. María Soledad Porras Roque	
6	Dra. Sylvia Carolina Alcázar Alay	NO CORRESPONDE
7	Mgr. Enrique Eugenio Rodríguez Vargas	NO CORRESPONDE
8	Dra. Rosario del Pilar Telles Velásquez	NO CORRESPONDE
9	Mgr. Anacelly Valera López	NO CORRESPONDE

## Anexo 11. Resolución de facultad para ejecución de la tesis.

**UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE GROHMANN**  
**FACULTAD DE CIENCIAS DE LA SALUD**

**E.P. FARMACIA Y BIOQUÍMICA**  
**RECORRIDO**

16 SEP 2024  
Escuela Profesional de: Obstetricia, Enfermería, Medicina Humana, Odontología,  
Farmacia y Bioquímica

Hora: 10:33 Firma: 

**RESOLUCIÓN DE FACULTAD Nº 13112-2024-FACS-UNJBG**  
Tacna, 11 de setiembre de 2024

**VISTO:**

El Oficio N° 272-2024-ESFB/FACS, el Director de la Escuela Profesional de Farmacia y Bioquímica, solicita designación de Asesor para el Proyecto de tesis presentado por el(la) Bach. DELIA ARMINIA CCAMA CALDERON;

**CONSIDERANDO:**

Que, se deberá tener presente que en el Reglamento de Grados y Títulos de la UNJBG, aprobado mediante la R.R. N° 12401-2023-UNJBG, (11.12.2023), en el *Capítulo VI del asesor de Tesis, Art. 14° - Previa carta de conformidad del asesor, el o los interesados solicitarán al Director de la Escuela profesional de aprobación del proyecto de tesis, el mismo que se otorgará mediante Resolución de Facultad, teniendo un periodo máximo de un (01) año para la ejecución de la tesis;*

Que, el(la) BACH. DELIA ARMINIA CCAMA CALDERON, de la Escuela Profesional de Farmacia y Bioquímica solicita se le asigne Asesor para el proyecto de tesis;

Que, mediante el Oficio N° 272-2024-ESFB/FACS, el Director de la Escuela Profesional de Farmacia y Bioquímica, designando como Asesor a la DRA. YEMILE DEL CARMEN BERRIOS ESPEJO, para el proyecto de tesis titulado: DETERMINACIÓN DE LOS NIVELES DE ARSÉNICO EN FORRAJE Y LECHE CRUDA DE VACA EN EL DISTRITO DE CAIRANI, PROVINCIA DE CANDARAVE, REGIÓN TACNA, presentado por el(la) Bach. DELIA ARMINIA CCAMA CALDERON;

Que, teniendo opinión favorable de su Asesora se procede a dar continuidad de trámite;

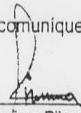
De conformidad con el Art. 70° numeral 70.2 de la Ley Universitaria N° 30220, Art. 169 inc) b. del Estatuto de la Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann, y en uso de las atribuciones conferidas a la Sra. Decana de la Facultad de Ciencias de la Salud;

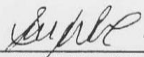
**SE RESUELVE:**

**ART. 1°:** Oficializar la Designación como Asesor a la DRA. YEMILE DEL CARMEN BERRIOS ESPEJO, para el Proyecto de Tesis titulado: DETERMINACIÓN DE LOS NIVELES DE ARSÉNICO EN FORRAJE Y LECHE CRUDA DE VACA EN EL DISTRITO DE CAIRANI, PROVINCIA DE CANDARAVE, REGIÓN TACNA, presentado por el(la) BACH. DELIA ARMINIA CCAMA CALDERON, de la Escuela Profesional de Farmacia y Bioquímica.

**ART. 2°:** Autorizar la ejecución de Proyecto de Tesis presentado por el(la) BACH. DELIA ARMINIA CCAMA CALDERON, de la Escuela Profesional de Farmacia y Bioquímica, de la Facultad de Ciencias de la Salud.

Regístrese, comuníquese y archívese.

  
Dra. Rimma Myriam Pilco Velásquez  
DECANA  
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA SALUD

  
Mro. Vanessa Varlét Valle Cohaila  
SECRETARIA ACADÉMICA ADMINISTRATIVA  
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA SALUD

DISTR. ESFB., Interesado., arch.

VVC/tr.-

Av. Miraflores s/n Ciudad Universitaria – Central Telefónica 583000 Anexo 2226 Casilla Postal 316.