

**UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE GROHMANN**

Facultad de Ciencias de la Salud

Escuela Profesional de Farmacia y Bioquímica

**DETERMINACIÓN DE METALES TÓXICOS (ARSÉNICO Y BORO) EN HÍGADO DE  
GANADO VACUNO Y EVALUACIÓN DEL RIESGO TOXICOLÓGICO EN LOS  
POBLADORES DE LA PROVINCIA DE CANDARAVE, TACNA - 2025**

**TESIS**

Presentada por:

**Bach. Flor De Maria Lima Chancuaña**

**Bach. Ximena Ester Alferez Aguilar**

Para optar el Título Profesional de:

**QUÍMICO FARMACÉUTICO**

TACNA – PERÚ

2026

**UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE GROHMANN**

**Facultad de Ciencias de la Salud**

**Escuela Profesional de Farmacia y Bioquímica**

**DETERMINACIÓN DE METALES TÓXICOS (ARSÉNICO Y BORO)  
EN HÍGADO DE GANADO VACUNO Y EVALUACIÓN DEL  
RIESGO TOXICOLÓGICO EN LOS POBLADORES  
DE LA PROVINCIA DE CANDARAVE,  
TACNA - 2025**

**TESIS**

Presentada por:

**Bach. Flor De Maria Lima Chancuaña**

**Bach. Ximena Ester Alferez Aguilar**

**Para optar el Título Profesional de:**

**QUÍMICO FARMACÉUTICO**

Aprobada por UNANIMIDAD, ante el siguiente jurado.



**Dr. Edgard Guido Calderón Copa**  
**Presidente**



**Dra. Diana Paloma Coaquera Lencinas**  
**Miembro**



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



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

## CERTIFICADO DE SIMILITUD

Yo, Dra. **YEMILE DEL CARMEN BERRIOS ESPEJO** en mi condición de asesora acredita por la RESOLUCIÓN DE FACULTAD N° 13777-2025.FACS. UNJBG, de la tesis de Investigación titulada: **DETERMINACIÓN DE METALES TÓXICOS (ARSÉNICO Y BORO) EN HÍGADO DE GANADO VACUNO Y EVALUACIÓN DEL RIESGO TOXICOLÓGICO EN LOS POBLADORES DE LA PROVINCIA DE CANDARAVE, TACNA - 2025.**, presentado por la BACH. **FLOR DE MARIA LIMA CHANCUAÑA**, y la BACH. **XIMENA ESTER ALFEREZ AGUILAR**, 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 permitido con un porcentaje de 4%.

Por lo que **CERTIFICO LA SIMILITUD** de SIMILITUD BAJA de la tesis estando de acuerdo al NIVEL **PERMITIDO** para continuar con los trámites correspondientes y para su **publicación en el repositorio institucional**

Se emite el presente certificado con fines de continuar con los trámites respectivos para la obtención del Título Profesional de Químico Farmacéutico.



ASESORA

DNI: 00411194

Nombre y apellidos del asesor: **YEMILE DEL CARMEN BERRIOS ESPEJO**



TESISTA

Nombre y apellidos: **FLOR DE MARIA LIMA CHANCUAÑA**



TESISTA

Nombre y apellidos: **XIMENA ESTER ALFEREZ AGUILAR**



## **DEDICATORIA**

A Dios, mi guía, quien me ha dado fortaleza, paciencia y sabiduría para enfrentar cada desafío académico y personal y así cumplir esta meta.

A mi madre, Alejandra, y a mi hermano Adrián, por su ayuda, compañía y palabras de aliento en los momentos difíciles, siendo un pilar fundamental en mi vida. Y en general a todos mis hermanos, por su cariño, comprensión y respaldo en cada etapa de mi vida.

Finalmente, a mí misma, por la perseverancia, esfuerzo y constancia que puse para cumplir mis metas y superar cada desafío en este proceso académico.

*Bach. Flor De Maria Lima Chancuaña*

A Dios por ser mi guía constante, por darme fuerzas en los momentos más difíciles y por permitirme llegar hasta este importante logro en mi vida académica.

A mi madre Ruth y mi hermana Xiomara, por su amor incondicional, sus palabras de aliento y por creer en mi incluso cuando yo dudaba. Su apoyo ha sido el pilar que me sostuvo durante todo este camino.

A Yoel y Bernabe, mi familia, por su compañía, su paciencia y por estar presente en cada etapa de este proceso, brindándome ánimo y motivación.

Finalmente, a mi tía Maribel por sus palabras de ánimo, por creer en mí y acompañarme en este camino.

*Bach. Ximena Ester Alferez Aguilar*

## **AGRADECIMIENTOS**

Agradecemos a Dios por darnos la fortaleza, la sabiduría y el acompañamiento constante para superar cada desafío y permitirnos llegar juntas hasta el final de este camino.

A la Dra. Yemile Berrios Espejo, nuestra asesora, por su dedicación, orientación y por compartir generosamente sus conocimientos, contribuyendo de manera fundamental al desarrollo de esta tesis.

Al Q.F. Diego Ale, por su apoyo, orientación y valiosos aportes técnicos brindados durante el desarrollo de esta investigación.

Finalmente, a todos nuestros docentes, quienes con su enseñanza y compromiso formaron parte de nuestro crecimiento profesional y personal.

## ÍNDICE

DEDICATORIA.....	iv
AGRADECIMIENTOS .....	vi
ÍNDICE.....	vii
ÍNDICE DE TABLAS .....	xi
INDICE DE FIGURAS.....	xiv
ÍNDICE DE GRÁFICOS.....	xv
ÍNDICE DE ANEXOS.....	xix
RESUMEN.....	xxi
ABSTRACT .....	xxii
INTRODUCCIÓN .....	1
<b>CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA</b>	
1.1. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA.....	4
1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA .....	10
1.2.1. Problema principal.....	10
1.2.2. Problemas secundarios .....	10
1.3 JUSTIFICACIÓN .....	11
1.3.1. Justificación teórica .....	11
1.3.2. Justificación Práctica .....	12
1.3.3. Justificación Metodológica.....	13
1.4. OBJETIVOS .....	14
1.4.1. Objetivo general .....	14
1.4.2. Objetivos específicos.....	14
1.5. HIPÓTESIS .....	15

1.6. DETERMINACIÓN DE VARIABLES.....	16
1.6.1. Variable dependiente.....	16
1.6.2. Variable independiente.....	16
1.7. OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES.....	17

## **CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO**

2.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN.....	18
2.1.1. Antecedentes internacionales.....	18
2.1.2. Antecedentes nacionales.....	26
2.1.3. Antecedentes Locales.....	30
2.2. BASES TEÓRICAS.....	33
2.2.1. Hígado de vacuno.....	33
2.2.2. Metales pesados.....	36
2.2.3. Arsénico (As).....	36
2.2.4. Boro.....	51
2.2.5. Ingesta Diaria Estimada (IDE).....	60

## **CAPÍTULO III: MARCO METODOLÓGICO**

3.1. TIPO, DISEÑO Y NIVEL DE LA INVESTIGACIÓN.....	66
3.1.1. Tipo de investigación.....	66
3.1.2. Diseño de investigación.....	67
3.1.3. Nivel de la investigación.....	67
3.2. POBLACIÓN Y MUESTRA.....	67

3.2.1. Población.....	68
3.2.2. Muestra.....	68
3.3. TÉCNICAS, INSTRUMENTOS Y PROCEDIMIENTOS PARA LA RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN.....	71
3.3.1. Técnicas para la recolección de datos.....	71
3.3.2. Consentimiento informado.....	71
3.3.3. Instrumentos de medición.....	72
3.4. ANÁLISIS DE DATOS.....	78
CAPÍTULO IV: RESULTADOS	
4.1. Determinación de las concentraciones de arsénico y boro en muestras de hígados de vacunos faenados en la provincia de Candarave, Tacna – 2025.....	80
4.2. Descripción de las características sociodemográficas y de alimentación de los pobladores evaluados de la provincia de Candarave, Tacna – 2025.....	82
4.3 Descripción de las características clínicas de los pobladores evaluados (n=41) de la provincia de Candarave, Tacna – 2025. ....	86
4.4. Determinación de las concentraciones de arsénico en orina de los pobladores evaluados de la provincia de Candarave, Tacna – 2025. .....	88

4.5. Evaluación del riesgo toxicológico de arsénico y boro en función de las características sociodemográficas, de alimentación y de las concentraciones de arsénico en orina de los pobladores evaluados de la provincia de Candarave, Tacna – 2025. ....	89
4.5.1. Determinación del riesgo toxicológico de arsénico por consumo de hígado de res en los pobladores evaluados.....	89
4.5.2. Determinación del riesgo toxicológico de boro por consumo de hígado de res en los pobladores evaluados.....	97
4.5.3. Riesgo toxicológico de arsénico y boro según las características sociodemográficas. ....	102
4.5.4. Riesgo toxicológico de arsénico y boro según las características de alimentación.....	117
4.5.5. Riesgo toxicológico de arsénico según concentraciones de arsénico en orina de los pobladores evaluados .....	130
DISCUSIÓN .....	133
CONCLUSIONES .....	146
RECOMENDACIONES.....	149
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	151
ANEXOS.....	166

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1.</b>	Operacionalización de variables.....	17
<b>Tabla 2.</b>	Límites máximos permisibles de arsénico en agua según organismos internacionales. ....	38
<b>Tabla 3.</b>	Signos y síntomas por intoxicación aguda. ....	47
<b>Tabla 4.</b>	Signos y síntomas por intoxicación crónica.....	49
<b>Tabla 5.</b>	Límites máximos permisibles de boro en agua según organismo internacionales.....	53
<b>Tabla 6.</b>	Valores de referencia internacionales (USEPA/EPA).....	61
<b>Tabla 7.</b>	Estadísticos descriptivos de las concentraciones de arsénico en hígado de vacunos faenados en la provincia de Candarave.....	80
<b>Tabla 8.</b>	Características sociodemográficas de los pobladores evaluados. ....	82
<b>Tabla 9.</b>	Características de la alimentación de los pobladores evaluados .....	84
<b>Tabla 10.</b>	Frecuencias de signos y síntomas crónicos reportados por los pobladores.....	86

<b>Tabla 11.</b>	Estadísticos descriptivos de las concentraciones de arsénico en orina de los pobladores evaluados. ....	88
<b>Tabla 12.</b>	Estadísticos descriptivos de la Ingesta diaria estimada de arsénico por consumo de hígado vacuno en los pobladores evaluados .....	89
<b>Tabla 13.</b>	Estadísticos descriptivos del Riesgo toxicológico (HQ) por consumo de hígado vacuno en los pobladores evaluados. ....	90
<b>Tabla 14.</b>	Prevalencia de pobladores evaluados con elevado riesgo por consumo de hígado vacuno.....	92
<b>Tabla 15.</b>	Prueba de Shapiro-Wilk para la evaluación de normalidad.....	95
<b>Tabla 16.</b>	Estadísticos descriptivos de la Ingesta diaria estimada de boro por consumo de hígado vacuno en los pobladores evaluados.....	97
<b>Tabla 17.</b>	Estadísticos descriptivos de la Ingesta diaria estimada de boro por consumo de hígado vacuno en los pobladores evaluados.....	98
<b>Tabla 18.</b>	Prueba de Shapiro-Wilk para la evaluación de normalidad.....	100

<b>Tabla 19.</b>	Riesgo toxicológico de arsénico por consumo de hígado de res según las características sociodemográficas de los pobladores evaluados. ....	103
<b>Tabla 20.</b>	Riesgo toxicológico de boro por consumo de hígado de res según las características sociodemográficas de los pobladores evaluados .....	110
<b>Tabla 21.</b>	Riesgo toxicológico de arsénico por consumo de hígado de res según las características de alimentación de los pobladores evaluados.....	118
<b>Tabla 22.</b>	Riesgo toxicológico de boro por consumo de hígado de res según las características de alimentación de los pobladores evaluados.....	124

## INDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b>	Proceso del metabolismo del arsénico. ....	42
<b>Figura 2.</b>	Ubicación de la zona de muestra. ....	68

## ÍNDICE DE GRÁFICOS

<b>Gráfico 1.</b>	Prevalencia de pobladores evaluados con elevado riesgo toxicológico de arsénico por consumo de hígado de res en la provincia de Candarave, Tacna - 2025. ....	93
<b>Gráfico 2.</b>	Q-Q plots del Índice de riesgo toxicológico de arsénico para la evaluación de la normalidad. ....	96
<b>Gráfico 3.</b>	Q-Q plots del Índice de riesgo toxicológico de boro para la evaluación de la normalidad. ....	101
<b>Gráfico 4.</b>	Índice de riesgo (HQ) por arsénico según sexo, asociado al consumo de hígado de res de pobladores evaluados por consumo de hígado de res. ....	105
<b>Gráfico 5.</b>	Índice de riesgo (HQ) por arsénico según edad, asociado al consumo de hígado de res de pobladores evaluados por consumo de hígado de res ....	106
<b>Gráfico 6.</b>	Índice de riesgo (HQ) por arsénico según ocupación laboral, asociado al consumo de hígado de res de pobladores evaluados por consumo de hígado de res ....	107
<b>Gráfico 7.</b>	Índice de riesgo (HQ) por arsénico según nivel de educación, asociado al consumo de hígado de res	

	de pobladores evaluados por consumo de hígado de res. ....	108
<b>Gráfico 8.</b>	Índice de riesgo (HQ) por arsénico según tiempo de residencia, asociado al consumo de hígado de res de pobladores evaluados por consumo de hígado de res .....	109
<b>Gráfico 9.</b>	Índice de riesgo (HQ) por boro según sexo, asociado al consumo de hígado de res de pobladores evaluados por consumo de hígado de res. ....	112
<b>Gráfico 10.</b>	Índice de riesgo (HQ) por boro según edad, asociado al consumo de hígado de res de pobladores evaluados por consumo de hígado de res .....	113
<b>Gráfico 11.</b>	Índice de riesgo (HQ) por boro según ocupación laboral, asociado al consumo de hígado de res de pobladores evaluados por consumo de hígado de res. ....	114
<b>Gráfico 12.</b>	Índice de riesgo (HQ) por boro según nivel de educación, asociado al consumo de hígado de res de pobladores evaluados por consumo de hígado de res .....	115

<b>Gráfico 13.</b>	Índice de riesgo (HQ) por boro según tiempo de residencia, asociado al consumo de hígado de res de pobladores evaluados por consumo de hígado de res .....	116
<b>Gráfico 14.</b>	Índice de riesgo (HQ) por arsénico según la frecuencia de consumo de hígado de res de pobladores evaluados .....	120
<b>Gráfico 15.</b>	Índice de riesgo (HQ) por arsénico según la cantidad de hígado de res (g) que consumen los pobladores evaluados .....	121
<b>Gráfico 16.</b>	Correlación del Índice de riesgo (HQ) por arsénico asociado al consumo de hígado de res y el peso corporal de pobladores evaluados.....	122
<b>Gráfico 17.</b>	Índice de riesgo (HQ) por arsénico según el lugar de compra o de adquisición de los hígados por los pobladores evaluados .....	123
<b>Gráfico 18.</b>	Índice de riesgo (HQ) por boro según la frecuencia de consumo de los hígados de res por los pobladores evaluados .....	126
<b>Gráfico 19.</b>	Índice de riesgo (HQ) por boro según la cantidad de consumo de los hígados de res por los pobladores evaluados .....	127

<b>Gráfico 20.</b>	Correlación del índice de riesgo toxicológico de boro por consumo de hígado de res y peso corporal de los pobladores evaluados.....	128
<b>Gráfico 21.</b>	Índice de riesgo (HQ) por boro según la frecuencia de consumo de los hígados de res por los pobladores evaluados .....	129
<b>Gráfico 22.</b>	Correlación del índice de riesgo de boro por consumo de hígado de res y peso corporal de los pobladores evaluados .....	132

## INDICE DE ANEXOS

<b>Anexo 1.</b>	Matriz de consistencia .....	167
<b>Anexo 2.</b>	Ficha de recolección de datos .....	168
<b>Anexo 3.</b>	Validación del instrumento por juicio de expertos.....	170
<b>Anexo 4.</b>	Validación de la encuesta por coeficientes de acuerdo inter- expertos.....	177
<b>Anexo 5.</b>	Consentimiento informado.....	183
<b>Anexo 6.</b>	Programa conjunto de la FAO/OMS sobre normas alimentarias comité del Codex sobre contaminantes de los alimentos. ....	184
<b>Anexo 7.</b>	Mercosur/GMC/Res. N°12/11de contaminantes inorgánicos en alimentos.....	185
<b>Anexo 8.</b>	Perfil Toxicológico Del Boro Agencia Para El Registro De Sustancias Toxicas Y Enfermedades .....	187

<b>Anexo 9.</b>	Mapa de hidrología y topografía de la Provincia de Candarave, región Tacna .....	189
<b>Anexo 10.</b>	Evidencias fotográficas en la recolección de muestras.....	190
<b>Anexo 11.</b>	Resultados De Laboratorio BHIOS.....	196
<b>Anexo 12.</b>	Resultados De Laboratorio CETOX.....	198
<b>Anexo 13.</b>	Cálculo del riesgo toxicológico de arsénico y boro .....	200

## RESUMEN

La presente investigación evaluó el riesgo toxicológico por exposición a arsénico (As) y boro (B) asociado al consumo de hígado bovino en residentes de Candarave, 2025. Se analizaron 40 hígados provenientes de faena local y 41 muestras de orina de pobladores, realizadas en BHIOS Laboratorio y en el laboratorio CETOX, mediante la técnica de Espectrofotometría de absorción atómica con generador de hidruros. En el tejido hepático, el arsénico alcanzó una media de  $0,76 \pm 0,53$  mg/kg (peso húmedo), por debajo del referente de 1,0 mg/kg (MERCOSUR), aunque con valores altos en algunas muestras. El B mostró una media de  $7,08 \pm 0,98$  mg/kg, homogénea y elevada para víscera. Al interpretar estas concentraciones a exposición humana, el riesgo por arsénico (HQ-As) promedió  $1,47 \pm 1,80$  y aproximadamente una cuarta parte de los participantes presentó  $HQ \geq 1$ , concentrándose en quienes combinan porciones de  $\geq 300$  g por ocasión y 2 – 3 veces al mes. En contraste, el HQ por boro fue de  $4,84 \times 10^{-3} \pm 5,94 \times 10^{-3}$ , muy por debajo de 1 en todos los casos, sin indicios de riesgo por esta ruta. Estos hallazgos sugieren priorizar medidas de mitigación focalizadas para arsénico (como ajustes de porción y frecuencia de consumo), mientras que, para boro, la exposición dietaria vía hígado se mantiene dentro de márgenes considerados seguros.

**Palabras clave:** Arsénico, Boro, riesgo toxicológico, hígado bovino, HQ.

## ABSTRACT

This study evaluated the toxicological risk of exposure to arsenic (As) and boron (B) associated with the consumption of bovine liver in residents of Candarave, 2025. Forty livers from local slaughterhouses and 41 urine samples from residents were analyzed at BHIOS Laboratory and CETOX Laboratory using atomic absorption spectrophotometry with a hydride generator. In liver tissue, arsenic reached a mean of  $0,76 \pm 0,53$  mg/kg (wet weight), below the reference level of 1,0 mg/kg (MERCOSUR), although some samples showed higher values. Boron showed a mean of  $7.08 \pm 0.98$  mg/kg, consistent and elevated for organ meats. When interpreting these concentrations as human exposure, the arsenic hazard (HQ-As) averaged  $1,47 \pm 1,80$ , and approximately one-quarter of the participants presented an  $HQ \geq 1$ , concentrated among those who consumed portions  $\geq 300$  g per occasion 2 – 3 times per month. In contrast, the HQ for boron was  $4,84 \times 10^{-3} \pm 5,94 \times 10^{-3}$ , well below 1 in all cases, with no indication of risk from this route. These findings suggest prioritizing targeted mitigation measures for arsenic (such as portion size and frequency adjustments), while for boron, dietary exposure via liver remains within considered safe limits.

**Keywords:** Arsenic, Boron, toxicological risk, bovine liver, HQ.

## INTRODUCCIÓN

La contaminación ambiental por metales pesados es un problema de creciente preocupación a nivel global, debido a su persistencia, bioacumulación y potencial toxicidad para los ecosistemas y la salud humana <sup>1</sup>. Dentro de este contexto, el arsénico y el boro son elementos traza que, aunque esenciales en bajas concentraciones para algunos organismos, pueden resultar altamente tóxicos al superar ciertos límites <sup>2</sup>.

La provincia de Candarave, ubicada en la región de Tacna, Perú, presenta características geológicas y actividades antropogénicas (como la actividad volcánica, minera y la agricultura) que podrían influir en la presencia y concentración de arsénico y boro en su entorno. Estas fuentes pueden contaminar el suelo y el agua, representando una vía de exposición para los pobladores, así como el ganado vacuno que se alimenta en la zona <sup>3</sup>.

El ganado vacuno, al consumir pastos y agua contaminados, puede bioacumular estos metales pesados en sus tejidos, especialmente en órganos como el hígado, donde se lleva a cabo la biotransformación y retención de diversos compuestos. El consumo de estos alimentos de origen animal por parte de la población humana representa una potencial

vía de transferencia de arsénico y boro a la cadena alimentaria, generando riesgos para la salud pública <sup>4</sup>.

Estudios previos como el de Saborío y Hidalgo (2015) y Jomova et al. (2011) han evidenciado los impactos negativos de la exposición prolongada al arsénico, incluyendo varios tipos de cáncer, trastornos del corazón, problemas neurológicos y de la piel <sup>5,6</sup>. De manera similar, el boro se relaciona con la disminución del peso fetal, el incremento de malformaciones del corazón y problemas testiculares en investigaciones con animales. En cantidades extremadamente altas, su consumo en personas puede provocar náuseas, vómitos, diarrea, cefaleas y convulsiones <sup>7,8</sup>.

A pesar de la potencial exposición y los riesgos asociados, existe una necesidad de cuantificar los niveles de arsénico y boro presentes en el hígado de ganado vacuno en la provincia de Candarave, así como su posible relación con los patrones de consumo de este alimento por parte de los pobladores locales. Comprender esta relación es importante para evaluar el riesgo de exposición de la población y para implementar medidas preventivas y de control que protejan la salud pública en la región.

La presente investigación se plantea, como un estudio Cuantitativo, observacional, transversal y analítico, que tiene como objetivo determinar la concentración de arsénico y boro en hígado de ganado vacuno y evaluar el riesgo toxicológico asociado a su consumo en los pobladores de la provincia de Candarave, Tacna, durante el año 2025.

# **CAPÍTULO I**

## **PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

### **1.1. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA**

La exposición humana a metales tóxicos a través de alimentos contaminados representa una creciente preocupación en salud pública a nivel mundial<sup>9</sup>. Elementos como el arsénico y el boro, si bien pueden estar presentes de forma natural en el ambiente, en concentraciones elevadas pueden convertirse en agentes tóxicos con efectos adversos sobre la salud humana<sup>10</sup>. En zonas donde la actividad volcánica, minera o agrícola es intensa, como ocurre en varias provincias alto andinas del sur del Perú, estos elementos pueden ingresar a la cadena alimentaria a través del agua, suelo y forraje, afectando directamente a los animales de pastoreo, y posteriormente, a los seres humanos que consumen productos de origen animal<sup>9</sup>.

La provincia de Candarave, ubicada en el departamento de Tacna, es una zona eminentemente ganadera y agrícola, donde el consumo de productos derivados del ganado vacuno, como el hígado, forma parte de la

dieta tradicional de la población. Sin embargo, estudios preliminares y reportes ambientales han advertido la presencia de arsénico y boro en fuentes de agua y suelos de la región. Los niveles de arsénico en el agua de ríos, manantiales y agua potable en Candarave superan en gran medida la Normativa de Calidad Ambiental para agua destinada al consumo humano (0,01 mg/L o 10 ug/L) como Límite Máximo Permitido (LMP) para agua de Consumo. Investigaciones llevadas a cabo en los ríos Callazas y Salado indican que la cantidad reportada alcanza hasta 0,76 mg/L (760 ug/L). Esto podría implicar una bioacumulación de estos elementos en los tejidos de los animales, particularmente en el hígado, que funciona como un órgano de filtración y almacenamiento <sup>11,12</sup>.

En la región se han reportado concentraciones elevadas de boro en el agua, superando el valor de referencia establecido para agua potable, que es de 2,4 mg/L. Según la Organización Mundial de la Salud (OMS). Los niveles detectados exceden los límites recomendados para el consumo humano, lo que representa un riesgo potencial para la salud. Al igual que el arsénico, la presencia de boro en estas concentraciones constituye una vía de exposición directa tanto para la población como para los animales que pastan y consumen estas aguas <sup>13,14</sup>.

El hígado vacuno, por ser un alimento altamente consumido en zonas rurales debido a su valor nutricional y su bajo costo, podría representar una vía importante de exposición crónica a metales tóxicos si contiene concentraciones elevadas de arsénico y boro. Esta situación plantea la necesidad de investigar no solo la presencia de estos metales en el hígado vacuno, sino también los hábitos de consumo de este alimento en la población local, para evaluar el riesgo toxicológico que dicha exposición podría representar para la salud pública.

Investigaciones a nivel global, como la realizada por Lehel y colaboradores en 2025, enfatizan que los productos provenientes de animales (lácteos, carnes, huevos, órganos) pueden servir como medios de contaminación cuando los animales han estado expuestos a agua, tierras o alimentos contaminados con estas sustancias. Se destaca específicamente que el (As) presente en cultivos esenciales facilita una exposición directa que impacta a aproximadamente el 80 por ciento de la población a nivel mundial <sup>15</sup>.

Das et al <sup>16</sup> en el año 2021, en una región de India (Bengala Occidental) se investigó la toxicidad del arsénico en vacas: se observó que los animales expuestos presentaban niveles significativamente más altos

de As en su leche, hígado y carne, y que el consumo diario de As por un bovino adulto era aproximadamente 4,56 veces superior al de un grupo de control, Los científicos enfatizan el grave peligro que suponen estos productos animales contaminados al entrar en la cadena de suministro alimentaria para las personas.

Varol et al <sup>17</sup> en el año 2023, llevaron a cabo una investigación en la región de Izmir, Turquía, centrada en suelos de olivares. Ellos hallaron una “contaminación moderada” y un “significativo enriquecimiento” de boro (B), aunque consideraron que el riesgo ecológico potencial era “bajo”. A pesar de que el boro (B) es un elemento vital para las plantas, sus niveles elevados pueden resultar tóxicos. Por lo tanto, la contaminación de los suelos con boro podría suponer un grave desafío tanto para los ecosistemas como para la salud de las personas .

En Latinoamérica, el hidroarsenicismo crónico regional endémico (HACRE) en naciones como Argentina, Chile y México ha evidenciado que la ingestión de arsénico va más allá del agua; afecta también a los cultivos (arroz, granos, hortalizas) y a los animales que beben esa agua y consumen esos pastos <sup>18</sup> .

Varios estudios realizados en países de América Latina como Argentina y Perú han evidenciado la transferencia biológica y acumulación de arsénico y otros metales pesados en los tejidos de animales de granja que han estado expuestos. Esto indica que el hígado de res representa un riesgo significativo, y no solo una mera posibilidad teórica <sup>19,20</sup> .

Cabe destacar que en la población que está en contacto con fuentes de arsénico inorgánico, existe un alto riesgo de cáncer vinculado principalmente al uso de agua contaminada y, en segundo lugar, a la cadena alimentaria. Este hecho , junto con la designación del arsénico inorgánico como un carcinógeno del grupo 1 por la IARC (Agencia Internacional para la Investigación sobre el Cáncer), indica que esa población tiene una gran posibilidad de sufrir procesos tumorales o de oncogénesis, en particular cáncer de piel, pulmón y vejiga <sup>21</sup> .

Investigaciones a nivel nacional en Perú indican claramente que la principal causa del riesgo es la elevada concentración de arsénico y boro en las aguas de las cuencas del sur y norte del país. Regiones como Puno, Lima, Moquegua y Tacna han documentado de manera continua altos niveles de arsénico en las aguas superficiales y subterráneas. La exposición al arsénico a través del agua representa un antiguo desafío de

salud pública; por ello, el Ministerio de Salud (MINSa) ha publicado orientaciones técnicas, como la R.M.N.°168-2022-MINSa, para una atención integral de personas expuestas al arsénico, lo que subraya la gravedad del riesgo crónico <sup>22</sup>.

A pesar de que existen menos investigaciones sobre la bioacumulación de boro en órganos de consumo como el hígado, los datos provenientes de Perú muestran que los niveles de boro en las aguas, especialmente las de origen geotérmico, están por encima de los Estándares de Calidad Ambiental para riego de cultivos y la bebida de animales. Esto impacta de manera indirecta en toda la cadena alimentaria <sup>23</sup>.

A pesar de la importancia de este tema, existen escasos estudios locales que integren el análisis de contaminantes en alimentos de origen animal con la evaluación del riesgo en la población consumidora. En este contexto, es fundamental llevar a cabo una investigación científica que permita estimar el nivel de exposición alimentaria a arsénico y boro a través del consumo de hígado de res, y así contribuir a la toma de decisiones en salud ambiental y a la protección de la salud de la población de Candarave.

## **1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA**

### **1.2.1. Problema principal**

¿Cuáles son las concentraciones de arsénico y boro en hígados de ganado vacuno y cuál es el riesgo toxicológico asociado a su consumo en los pobladores de la provincia de Candarave, Tacna – 2025?

### **1.2.2. Problemas secundarios**

- ¿Cuáles son las características sociodemográficas y de alimentación de los pobladores evaluados de la provincia de Candarave, Tacna – 2025?
  
- ¿Cuáles son las características clínicas de los pobladores evaluados de la provincia de Candarave, Tacna – 2025?
  
- ¿Cuáles son las concentraciones de arsénico en orina de los pobladores evaluados de la provincia de Candarave, Tacna – 2025?

- ¿El riesgo toxicológico de arsénico y boro será diferente en función de las características sociodemográficas, de alimentación y de las concentraciones de arsénico en orina de los pobladores evaluados de la provincia de Candarave, Tacna – 2025?

### **1.3 JUSTIFICACIÓN**

#### **1.3.1. Justificación teórica**

Este estudio es relevante porque integra el análisis de contaminación alimentaria con el impacto en la salud humana, dos componentes esenciales para la vigilancia de enfermedades ambientales. La información generada permitirá identificar posibles riesgos toxicológicos en la población y establecer recomendaciones basadas en evidencia para las autoridades sanitarias y ambientales. Asimismo, brindará un insumo importante para el diseño de estrategias de prevención, educación sanitaria y control de calidad alimentaria en zonas rurales expuestas a contaminación ambiental. El proyecto también tiene un valor académico, al aplicar un enfoque metodológico riguroso basado en la evaluación de riesgo toxicológico, combinando análisis de laboratorio y encuestas poblacionales, lo que puede servir

de modelo para futuras investigaciones similares en otras regiones del país <sup>24</sup> .

### **1.3.2. Justificación Práctica**

La determinación de los niveles de arsénico y boro en órganos de consumo del ganado proporcionará información esencial para evaluar los posibles riesgos para la salud de los pobladores de Candarave que consumen hígado de res local. Los resultados de este estudio servirán como base para la toma de decisiones por parte de las autoridades locales y regionales en cuanto a medidas de control y mitigación de la contaminación por arsénico y boro en la zona, así como para la implementación de programas de vigilancia sanitaria <sup>25</sup> .

La investigación puede contribuir a la concientización de la población sobre los posibles riesgos asociados al consumo de alimentos contaminados con arsénico, promoviendo prácticas de consumo más seguras y la demanda de alimentos de calidad garantizada.

Al identificar posibles problemas de contaminación, la investigación podría motivar la implementación de buenas prácticas ganaderas que minimicen la exposición del ganado al arsénico y boro, protegiendo así la salud animal y la calidad de sus productos.

### **1.3.3. Justificación Metodológica**

La investigación empleará espectrometría de absorción atómica con generador de hidruros para la cuantificación de arsénico y boro en hígado bovino, así como arsénico en muestras de orina, lo que permitirá obtener resultados precisos y reproducibles. La aplicación de estas técnicas contribuirá además al fortalecimiento de las capacidades analíticas en la región <sup>26</sup>.

Asimismo, se utilizará una metodología sistemática para recolectar información sobre los patrones de consumo de hígado de res en la población de Candarave, mediante cuestionarios estructurados y validados que permitan obtener datos representativos de la población adulta <sup>27</sup>.

Este estudio contribuirá a la evaluación de la exposición a contaminantes a través de la cadena alimentaria en poblaciones

rurales. La combinación de la determinación de contaminantes en la fuente alimentaria (hígado de ganado) con la evaluación de los patrones de consumo humano proporcionará un modelo para futuras investigaciones en otras regiones o con otros contaminantes.

## **1.4. OBJETIVOS**

### **1.4.1. Objetivo general**

Determinar las concentraciones de arsénico y boro en hígados de ganado vacuno y evaluar el riesgo toxicológico asociado a su consumo en los pobladores de la provincia de Candarave, Tacna – 2025.

### **1.4.2. Objetivos específicos**

- Describir las características sociodemográficas y de alimentación de los pobladores evaluados de la provincia de Candarave, Tacna – 2025.
- Describir las características clínicas de los pobladores evaluados de la provincia de Candarave, Tacna – 2025.

- Determinar las concentraciones de arsénico en orina de los pobladores evaluados de la provincia de Candarave, Tacna – 2025.
- Evaluar el riesgo toxicológico de arsénico y boro en función de las características sociodemográficas, de alimentación y de las concentraciones de arsénico en orina de los pobladores evaluados de la provincia de Candarave, Tacna – 2025.

### **1.5. HIPÓTESIS**

**Hipótesis nula (H<sub>0</sub>):** No existe riesgo toxicológico significativo para la salud de los pobladores de Candarave por el consumo de hígado de ganado vacuno con presencia de arsénico y boro.

**Hipótesis alterna (H<sub>a</sub>):** Existe un riesgo toxicológico significativo para la salud de los pobladores de Candarave asociado al consumo de hígado de ganado vacuno contaminado con arsénico y boro.

## **1.6. DETERMINACIÓN DE VARIABLES**

### **1.6.1. Variable dependiente**

Riesgo toxicológico en los pobladores.

### **1.6.2. Variable independiente**

Concentración de metales tóxicos de arsénico y boro en hígado de ganado vacuno.

## 1.7. OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES

Tabla 1. Operacionalización de variables.

VARIABLES	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL	INDICADORES	VALOR FINAL	TIPO DE VARIABLE	ESCALA
<p><b>Variable dependiente</b></p> <p>Riesgo toxicológico en los pobladores.</p>	<p>Es la probabilidad que una población expuesta a uno o más agente químico sufra efectos adversos para la salud. (EPA 1989).</p>	<p>Medición a través del HQ (Hazard Quotient).</p>	<p>HQ= IDE/RFD</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- HQ: Cociente de riesgo.</li> <li>- IDE: Ingesta diaria estimada.</li> <li>- RFD: Dosis de referencia.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- HQ &lt; 1: No se esperan efectos adversos para la salud.</li> <li>- HQ &gt; 1: Podría existir un riesgo de efectos adversos para la salud.</li> </ul>	<p>Categórica dicotómica</p>	<p>Nominal</p>
<p><b>Variable independiente</b></p> <p>Concentración de metales tóxicos (arsénico y boro) en hígado de ganado vacuno.</p>	<p>Cantidad de metales tóxicos presentes por unidad de peso de tejido animal, expresados en mg/kg. (ATSDR-2023).</p>	<p>Determinación mediante Espectrometría de absorción atómica con generador de hidruros (HGAAS).</p>	<p>Concentración de arsénico.</p> <p>Concentración de boro.</p>	<p><b>Arsénico</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- &lt;1,00 mg/kg: inferior al límite permisible.</li> <li>- &gt;1,00 mg/kg: superior al límite permisible según MERCOSUR.</li> </ul> <p><b>Boro</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- &lt; 0,23 mg/kg: inferior al límite permisible.</li> <li>- &gt;0,23 mg/kg: superior al límite permisible según ATSDR.</li> </ul>	<p>Categórica dicotómica</p> <p>Categórica dicotómica</p>	<p>Nominal</p> <p>Nominal</p>

## **CAPÍTULO II**

### **MARCO TEÓRICO**

#### **2.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN**

##### **2.1.1. Antecedentes internacionales**

El-Ghareb et al <sup>28</sup> en Egipto en el 2025, realizaron el estudio *“Evaluación del riesgo para la salud de los elementos tóxicos presentes en hígados de res importados en Egipto: influencia de la cocción”*, el propósito de este estudio fue analizar la presencia de metales peligrosos en 300 hígados de res congelados en Mansoura, en Egipto, y examinar el efecto de la cocción sobre su concentración. En todas las muestras se encontraron mercurio, arsénico, plomo y cadmio, y muchas excedieron los niveles permisibles. La cocción no disminuyó las concentraciones de metales, sino que las incrementó. Las ingestas diarias estimadas de dichos metales fueron menores a los límites considerados seguros. No obstante, la mayoría de las muestras presentaban niveles superiores a los límites permitidos de Hg (56 %), As (99 %) y Pb (56 %) que representaban un posible riesgo para la salud. Por lo tanto, se sugiere

que deben implementar acciones rigurosas para prevenir la contaminación en estos productos alimenticios

Mushtaq A et al <sup>29</sup>, en Pakistán en el 2024, realizaron el estudio *“Acumulación de metales pesados en la carne, riñones e hígado de ganado vacuno, pollos de engorde y cabras vendidos en Quetta, ciudad noroccidental de Baluchistán, Pakistán”*, se reveló que las concentraciones de metales pesados en carne, riñón de vacuno, pollos de engorde y cabra excedieron los límites permisibles de los metales pesados. El total de muestras fueron 180, mediante Espectroscopia de absorción atómica. Los resultados eran diferentes en niveles dependiendo de la especie y el tipo de órgano. El promedio de concentraciones de As, Pb y Hg estaban dentro de los límites permisibles establecidos por la Autoridad de Alimentos de Australia y Nueva Zelanda (ANZFA 2015) aunque hubo muestras que sobrepasaban. El hígado fue el principal tejido de bioacumulación (Cr, Pb y Hg) en comparación de la carne y el riñón. El riesgo de estos metales pesados para la salud humana se estimó mediante la ingesta dietética (IDE), el riesgo objetivo (THQ) y el índice de riesgo (HI) se mostró que los metales pesados provenían principalmente de productos de cabra y vacuno, mientras que las colmenas de engorde estaban más contaminadas. En conclusión, a

excepción del As, ninguno de los elementos tuvo un cociente de riesgo objetivo (CTI) superior a 1.

Emurotu J et al <sup>30</sup>, en Nigeria en el 2023, investigaron el estudio “*Composición aproximada y concentraciones de algunos metales pesados esenciales en hígado, riñón y tejido muscular de vacas, carneros y cabras en Lokoja, estado de Kogi, Nigeria*”, este análisis tuvo como objetivo establecer la composición (agua, proteína y grasa) y las cantidades de ciertos metales pesados selenio, cobalto y boro en el hígado, riñones, el tejido muscular (carne) de vacas, borregos, y cabras que fueron adquiridos en un matadero o mercado en la ciudad de Lokoja, en el estado de Kogi, Nigeria. Las muestras fueron analizadas mediante espectrometría de masas con plasma acoplado inductivamente (ICP-MS). Los resultados fueron selenio (~ 5,2 y 6,0 mg/kg), cobalto (~ 1,5 y 6,0 mg/kg). De acuerdo con los escritores, las concentraciones de selenio y boro (~ 0,1 y 0,3 mg/kg). De acuerdo con los escritores, las concentraciones de selenio y cobalto en numerosas muestras “sobrepasaban el límite recomendado” para ingerir, aunque se trate de sustancias necesarias, podría constituir un peligro para la salud humana si se consumen estas vísceras con frecuencia.

Varol M et al <sup>17</sup> , en Turquía en el 2023, realizaron el estudio “*Evaluación de la contaminación por boro y los riesgos para la salud relacionados en los suelos recolectados de olivares de la provincia de İzmir, Turquía*”, se recogieron muestras de suelo a profundidades de 0-30 cm de 118 olivares y se calculó la concentración de B, Al, Fe, pH y materia orgánica. Los resultados fueron para B (47,08 mg/kg) del área lo cual se comparó con la concentración media mundial de B en el suelo (42 mg/kg). Se presentó un riesgo ecológico potencial bajo de B, según el factor de contaminación (Cf) y el enriquecimiento (EF), si hubo contaminación moderada y enriquecimiento significativo para B. Estos hallazgos indicaron que el B se relaciona especialmente con el material parental del suelo, así como el agua.

Dong S et al <sup>31</sup> , en China en el 2023, investigaron el estudio “*Evaluación de la exposición al boro del agua de mar desalinizada en una isla de China*”, este estudio investigó el nivel de boro en el agua potable y la ingesta diaria de boro de los residentes de la isla, y evaluó los riesgos para la salud derivados de la exposición al boro. El estudio involucró a 220 voluntarios de 89 familias, quienes proporcionaron información básica y hábitos de vida. La ingesta promedio de boro, la dieta y la ingesta total de boro resultaron similares en todos los grupos

de edad y género. La exposición máxima al boro fue de 0,31 mg/kg de peso corporal al día. El estudio no encontró un riesgo significativo de cáncer por la exposición al boro en el agua, y la exposición total al boro representó un menor riesgo para la salud humana en la región. Sin embargo, no debe ignorarse la toxicidad de la exposición al boro. Estudios futuros deberían fortalecer el análisis de subgrupos poblacionales.

Das et al <sup>16</sup> , en Bengala occidental en el 2021, realizaron el estudio *“Toxicidad del arsénico en el ganado criado en zonas endémicas y controladas de arsénico en Bengala Occidental: riesgo para la salud humana y el medio ambiente”*, sobre la toxicidad del arsénico en el ganado de Bengala Occidental concluye que el consumo de agua y forrajes contaminados provoca una acumulación significativa de arsénico inorgánico en tejidos y productos comestibles del ganado, como la leche (principalmente en la caseína), carne, e hígado, exponiendo un riesgo subclínico para los animales. Esta contaminación no solo afecta la salud del ganado, sino que también representa una vía importante de transferencia a la cadena alimentaria humana, contribuyendo a un riesgo de cáncer significativo según los modelos de riesgo. Los autores identifican que el estiércol de vaca y el agua de bebida son las

principales vías de reingreso del arsénico al ciclo ambiental, recomendando urgentemente el suministro de agua superficial limpia para el ganado y la población humana para interrumpir este ciclo vicioso de exposición.

Yilmaz et al <sup>32</sup> , en Turquía en el 2018, investigaron el estudio *“Niveles de arsénico, boro, níquel, silicio, cadmio, plomo y aluminio en despiles de vacuno (hígado) y de pollo (hígado y corazón) comercializados en Turquía”*, el estudio evaluó los niveles de metales pesados esenciales y no esenciales, y oligoelementos en hígados de ternera y pollo, así como corazones de pollo, en Estambul, Turquía. Se utilizaron 42 muestras, analizadas mediante espectrometría de emisión óptica. Los niveles promedio de elementos en hígados de ternera fueron superiores a los de pollo y corazones de pollo. Se encontraron concentraciones específicas de arsénico ( $0,315 \pm 0,228$ ), boro ( $109,274 \pm 51,688$ ), níquel, silicio, cadmio, plomo y aluminio en hígado de ternera. Los resultados mostraron que los niveles de plomo y cadmio en las vísceras no superaron los límites máximos establecidos por el Codex Alimentario Turco.

Cortes S et al <sup>33</sup> , en Chile en el 2011, realizaron el estudio *“Evaluación de la exposición al boro mediante agua potable y orina en el norte de Chile”*, en la ciudad de Arica, Chile, se evaluó la exposición a boro a través del agua de consumo y orina en la población en Arica. Se tomaron muestras de agua del grifo y embotellada (173 y 22, respectivamente), así como de orina de 22 voluntarios, mediante espectroscopia de plasma acoplado inductivamente (ICP-OES). Las concentraciones en agua potable variaron entre 0,22 y 11,3 mg/L (mediana 2,9 mg/L), y en orina alcanzaron una mediana de 4,28 mg/L. El estudio concluye que la población está altamente expuesta, existiendo una correlación significativa entre los niveles de boro en agua y en orina.

Concha G et al <sup>34</sup> , en Suecia en el 2010, realizaron el estudio *“Exposición de alto nivel a litio, boro, cesio y arsénico a través del agua potable en los Andes del norte de Argentina”*, un estudio realizado en comunidades andinas del norte de Argentina. Analizaron 31 elementos diferentes en agua y en orina, mediante ICP-MS se investigó la exposición a metales y metaloides en agua de consumo, incluyendo boro, litio, cesio y arsénico. Los resultados mostraron concentraciones muy elevadas arsénico en el agua potable (hasta 210 µg/L), encontramos concentraciones notablemente altas de litio (la más alta,

1000 µg/L), cesio (320 µg/L), rubidio (47 µg/L) y boro (5950 µg/L). Se encontraron concentraciones elevadas similares de arsénico, litio, cesio y boro en la orina de las mujeres estudiadas (N = 198): los valores medianos de la aldea variaron de 26 a 266 µg/L de arsénico, 340 a 4550 µg/L de litio, 34 a 531 µg/L de cesio y 2980 a 16 560 µg/L de boro. En conclusión, mostraron concentraciones muy elevadas de boro en agua potable, lo que representa una fuente relevante de exposición crónica para la población. El estudio evidenció riesgos toxicológicos combinados por la presencia de múltiples elementos.

Pérez A et al <sup>35</sup>, en Argentina en el 2010, realizaron el estudio *“Presencia de arsénico en tejidos de origen bovino en el sudeste de la provincia de Córdoba, Argentina”*, en esta investigación, se determinaron los niveles de arsénico en riñones, hígados, tejidos musculares y glándulas mamarias de ganado bovino de la zona analizada. Las vísceras que mostraron los niveles de arsénico en hígado, riñón. Las mediciones más altas se encontraron nuevamente en el riñón y el hígado. Las cifras observadas en vísceras (en el hígado variaron entre 27,0 y 46,5 ng/g, mientras que en el riñón fluctuaron entre 24,0 y 73,2 ng/g). Las cantidades observadas en las muestras de glándula mamaria y músculo se mantuvieron por debajo del límite detectable del

procedimiento utilizado en concentraciones de arsénico en los diferentes tejidos analizados.

López M et al <sup>36</sup>, en España en el 2000, realizaron el estudio *“Niveles de arsénico, cadmio, plomo, cobre y zinc en hígado, riñón y carne de ganado vacuno sacrificado en Galicia”*, en el cual se analizaron los niveles en hígado para arsénico (~ 10,2 µg/kg), cadmio (~ 83,3 µg/kg), plomo (~ 47,5 µg/kg), cobre y zinc, asimismo en riñón y carne, los resultados mostraron los niveles de los metales tóxicos en la ganadería vacuno de Galicia fueron bajos y bastante parecidos a los que se han documentado en otras partes de Europa, Australia y Canadá. Sin embargo, se observaron niveles elevados de cobre en hígado (~36,6 mg/kg) en algunas muestras, lo que sugiere la necesidad de un monitoreo continuo para prevenir posibles riesgos para la salud humana.

### **2.1.2. Antecedentes nacionales**

Días D Palacios <sup>24</sup>, en Lima en el 2023, realizaron el estudio *“Evaluación de las características de exposición al arsénico en el agua que consumen 4 centros poblados del distrito de Candarave – Tacna,*

*Perú*”, el objetivo del estudio fue evaluar la exposición al arsénico en el agua de cuatro centros poblados del Distrito de Candarave, Tacna: Candarave, Talaca, San Pedro y Santa Cruz. Se examinaron un total de 127 habitantes, siendo la mayoría mujeres y personas entre 48 y 62 años. Talaca presentó la mayor concentración de arsénico en agua, con 860 µg/L, mientras que Santa Cruz tuvo la menor, con 75 µg/L. Las concentraciones de arsénico total en los pobladores de Talaca, San Pedro y Candarave superaron el límite de tolerancia biológica (25 µg/g creatina). Se reportaron enfermedades como dislipidemia (12,60 %) e hipertensión (11,02 %), posiblemente relacionadas con la exposición crónica al arsénico.

Bellido O et al <sup>37</sup>, en Arequipa en el 2019, en el estudio *“Concentración de metales pesados en agua, suelo forraje y vísceras de ovinos de tres lugares cercanos a una mina cuprífera en Arequipa Perú”*, se llevó a cabo la medición de varios metales (Arsénico, Cadmio, Cobre, Cromo, Hierro, Mercurio, Plomo y Zinc) en el agua, suelo, vegetación y vísceras de oveja, mediante espectrometría de masas con plasma de acoplamiento inductivo. El nivel de metales pesados en el agua se mantuvo bajo los límites peruanos para el agua de irrigación, a excepción de Cu, que presento valores parecidos en los 3 sitios (0,52 a 0,64 mg/L).

En los estudios de suelo, todas las localizaciones presentaron elevados índices de Cadmio (entre 62,01; 381,94 mg/kg). Este compuesto químico también se encontró en elevadas concentraciones en las muestras de forraje (1856,09 mg/kg en Vitor), además, no obstante, los niveles de Cd en las vísceras de oveja criadas en los tres lugares no fueron especialmente elevada, en comparación con los riñones, el hígado de las ovejas Congata y Uchumayo mostró concentraciones más elevadas de cobre (32,85 mg/kg y 30,48 mg/kg, respectivamente). La tendencia fue opuesta en Vitor.

Huanqui R <sup>38</sup> , en Puno en el 2018 realizó el estudio *“Determinación de metales pesados en pastos, fibra, carne y vísceras de alpacas en comunidades del distrito de Ananea-Puno”*, se recolectaron muestras de pasto, fibra del costillar medio, carne y vísceras, se analizaron cuatro metales (As, Cd, Hg y Pb) mediante la técnica de espectrofotometría de absorción atómica con horno de grafito, los resultados en el pasto se hallaron niveles de metales pesados como Hg, Cd y As con  $1,996 \pm 0,152$   $1,623 \pm 0,118$  y  $1,606 \pm 0,352$  ug/kg pasto, en la fibras de alpaca fue  $2,326 \pm 0,191$  ug de Hg /kg, Cd  $1,752 \pm 0,155$  , As  $1,72 \pm 0,247$  y Pb  $0,884$  ug/kg, la concentración de cadmio en los huesos ,muslos, pulmón ,riñón y hígado de las alpacas fue de 2,366;

2,157;1,969; 1,512 y 1,214 ug/kg. En Hg 2,092; 2,061 y 1,979; 1,925 y 1,919 ug/kg. Para concluir, los niveles de mercurio y cadmio en los músculos y vísceras de las alpacas no exceden los límites máximos permitidos de acuerdo con las normas internacionales de alimentos.

Ñaccha J y Aguilar W <sup>39</sup>, en Lima en el 2015, realizaron el estudio *“Determinación cuantitativa de plomo, cadmio y arsénico en hígado de ganado bovino expendido en el mercado Ciudad de Dios-San Juan de Miraflores, durante el periodo mayo-agosto 2015”*, se llevó a cabo una investigación de tesis con la finalidad de establecer las cantidades de plomo, cadmio y arsénico en 23 muestras de hígado de vacas del mercado Ciudad de Dios en Lima, mediante el uso de espectrofotometría de Absorción Atómica. Los promedios hallados fueron de 0,4452 mg/Kg para plomo (con un rango de 0,26 a 0,87 mg/Kg), 0,3965 mg/Kg para cadmio (con un rango de 0,14 a 0,77 mg/Kg) y 1,2521 mg/Kg para arsénico (con un rango de 0,28 a 2,66 mg/Kg). Los investigadores llegaron a la conclusión de que las muestras de hígado estudiadas sobrepasan los límites establecidos por la normativa del Mercosur y la Unión Europea para los tres metales, lo que señala un riesgo posible y un motivo de preocupación para la salud pública debido a la presencia de metales pesados.

### 2.1.3. Antecedentes Locales

Mori L et al <sup>40</sup> , en Tacna en el 2025, en este estudio se investigó *“Estudio de la contaminación por arsénico en la cuenca del Caplina, Tacna, Perú: Análisis de arsenito y arsenato mediante espectrometría de masas con plasma acoplado inductivamente y cromatografía líquida de alta resolución”*, un estudio realizado en la cuenca del río Caplina, en la provincia de Tacna, evaluó la concentración de arsénico en aguas superficiales. Los resultados mostraron que los niveles de arsénico excedían el límite recomendado por la OMS en varios puntos de monitoreo. Además, se detectaron especies de arsénico altamente tóxicas, como el arsenito, lo que representa un riesgo significativo para la salud pública.

Avendaño E et al <sup>14</sup> , en Tacna en el 2021, se realizó el estudio *“Metales de valor añadido en los ríos salado ubicados en las cuencas Sama y Locumba (Región de Tacna - Perú) y su correlación con arsénico y boro”*, el propósito principal es analizar la presencia de estos componentes tanto en el agua como en los sedimentos y, de manera esencial, establecer si hay un vínculo estadístico entre su existencia y la de elementos que se conocen como contaminantes habituales en la

minería o en entornos geotérmicos: arsénico (As) y boro (B). A través del procedimiento ICP-MS, los hallazgos indican concentraciones de Li de (1,818; 0,415 mg/L), Rb (0,248; 0,048 mg/L), Cs (0,361; 0,104 mg/L) y Ge (0,005; 0,002 mg/L) en el río Salado-Locumba, y 1,950; 0,544 mg/L, 0,343; 0,090 mg/L, 0,401; 0,096 mg/L y 0,005; 0,002 mg/L en el río Salado-Sama, respectivamente. Se descubrió que existe una correlación positiva, significativa y fuerte entre las concentraciones de los elementos de valor agregado Li, Rb, Cs y los elementos As y B encontrados en 14 puntos de muestreo dispersos en distintas fuentes de agua.

Ccama D <sup>41</sup>, en Tacna en el 2025, se realizó el estudio “Determinación de los niveles de arsénico en forraje y leche cruda de vaca en el distrito de Cairani, provincia de Candarave, región Tacna”, se tomaron 36 muestras de forraje y 36 de leche fresca de vacas, y se analizó las concentraciones de (As) empleado la técnica del espectrofotómetro de emisión óptica con plasma acoplado inductivamente. Un promedio de As en la leche fresca fue reportado entre (0,01;0,02 mg/L), está dentro los Límites Máximos Permisibles (por el Codex alimentarias). El 13,89 % de las muestras mostraron As y excedieron; mientras que el 86,11 % no se detectó As respecto al forraje se registró una media de arsénico de 0,76; 0,54 mg/kg para alfalfa no

presento problemas y de 5,33; 4,19 mg/kg para pasto que supero en (LMP) de 2 mg/kg fijado por el Parlamento Europeo. En conclusión, la leche fresca presente en el distrito de Cairani está incluida en el contenido de la leche características de los LMP, mientras en forraje superó los LMP.

Ale D <sup>42</sup>, en Tacna en el 2017 realizo el estudio *“Determinación de la exposición crónica a arsénico por consumo de agua de origen subterránea en pobladores adultos de dos localidades de la provincia de Candarave, Tacna”*, se realizó una investigación en muestras de orina de habitantes adultos en los distritos de Cairani (103) y Camilaca (71) respectivamente. Se realizó el análisis en el laboratorio de toxicología del Instituto Nacional de Salud, utilizando espectrofotometría de absorción atómica FIAS-AAS y el procedimiento de digestión por microondas e inyección a flujo. Los resultados en los habitantes de Cairani sobrepasaron el límite de toxicidad recomendado, a diferencia de los de Camilaca, donde el 80 por ciento de las muestras supero el límite establecido por la Organización Mundial de la Salud. El nivel medio de arsénico en la orina del grupo poblacional de Cairani fue más de 33 veces el VRT (659,506 µg/g creatinina frente a 20 µg/g creatinina). Por

otro lado, Camilaca lo sobrepasa en 1.7 veces (34,041  $\mu\text{g/g}$  creatinina frente a 20  $\mu\text{g/g}$  creatinina).

## **2.2. BASES TEÓRICAS**

### **2.2.1. Hígado de vacuno**

Se considera que la predilección del ser humano por el hígado de vacuno es ancestral y se remonta a la prehistoria. Igualmente, en la antigüedad clásica, el hígado era un manjar muy valorado y los romanos elaboraban un potaje basado en hígado e higos, muy apreciado <sup>43</sup>.

Un dato poco común es que el hígado es el único componente cárnico que posee vitamina C. Durante el periodo de colonización los cazadores y tramperos, careciendo de frutas y vegetales a su alcance, se apodaban en el hígado de las presas que cazaban para su suministro de vitamina C <sup>43</sup>.

El hígado es una glándula adjunta al sistema digestivo. Está situado hacia derecha del plano medio y tiene dos superficies distintas.

- **Superficie parietal:** Es convexa y suave, vinculada con la sección derecha del diafragma que toca directamente las tres costillas finales.
- **Superficie visceral:** Presenta una forma bastante irregular debido a las marcas dejadas por órganos cercanos. En esta cara se observa la fisura portal, donde entran los vasos sanguíneos y salen el conducto hepático <sup>47</sup>.
- **Fisiopatología del Hígado de los Bovinos**

El hígado desempeña el papel principal en la preservación de la homeostasis metabólica en los animales. Esto abarca varios procesos metabólicos vinculados a los carbohidratos, lípidos, aminoácidos nutricionales, vitaminas, entre otros. También el hígado participa en la producción de proteínas en la sangre, la biotransformación de los

metabolitos del sistema circulatorio, la detoxificación y eliminación de desechos, derivados de los venenos conocidos como xenobióticos <sup>44</sup>.

El hígado está expuesto a una serie de ataques metabólicos, tóxicos, microbianos y circulatorios. Si se derrota la resistencia frente a estas agresiones, la función hepática empieza a deteriorarse, lo que resulta en serias repercusiones. La capacidad máxima funcional del hígado bovino se excede cuando el 50 % del parénquima está afectado. Es crucial tener en cuenta que los ensayos clínicos y químicos funcionales siguen siendo normales, incluso si solo hay un remanente funcional del 25 % <sup>44</sup>.

En el bovino, las alteraciones patológicas pueden derivarse de alteraciones metabólicas, alteraciones en la fermentación ruminal, intoxicaciones, e infecciones virales y/o bacteria. En las vacas de elevada producción de leche, la lipidosis hepática es el motivo más habitual de fallo hepático <sup>44</sup>.

### **2.2.2. Metales pesados**

Los metales pesados son componentes naturales de la corteza de la tierra, y su ubicación se determina por factores geográficos. Entre los metales pesados como el arsénico (As), cadmio (Cd), cromo (Cr), cobalto (Co), cobre (Cu), mercurio (Hg), plomo (Pb), entre otros <sup>45</sup>.

Se distinguen por su alta masa atómica y su capacidad tóxica para los seres vivos. La mayoría de los metales pesados provocan daño ambiental y atmosférico, y pueden resultar letales para las personas. También tiene capacidad de transformarse en extremadamente tóxicos al combinarse con diversos componentes del entorno, tales como el agua, el suelo y el aire, y pueden ser expuestos a los seres humanos y otros seres vivos a través de la cadena alimenticia <sup>46</sup>.

### **2.2.3. Arsénico (As)**

#### **2.2.3.1. Generalidades del arsénico**

Con un peso atómico 74,922 y número atómico de 33, el arsénico (As) es un metaloide de aroma aliáceo presente como componente

natural en la corteza de la Tierra, con una concentración media de 2 mg/kg, dependiendo de la condición de la corteza. composición geológica del terreno. Hay tres categorías principales de compuestos de arsénico: inorgánico, orgánico, gas de arsina y arsinas reemplazadas <sup>47</sup>.

Posee la habilidad para modificar su estado de oxidación y puede presentarse en cuatro variantes distintas.  $As^{-3}$  (arsina),  $As^0$  (arsénico),  $As^{+3}$  (arsenito) y (arseniato)  $As^{+5}$ .

En comparación con el arsénico orgánico, las formas químicas inorgánicas, específicamente el As (III) y As (V), o bien la combinación de ambas son más tóxicas. La principal fuente de exposición humana al arsénico es la ingesta de alimentos y agua <sup>53</sup>.

Sin embargo, su origen también puede venir derivado de la actividad antropogénica, procedente de emisiones industriales (producción de energía a partir de combustibles fósiles, fundición de minerales metálicos), derivado de usos industriales o por su presencia como impureza en productos (fertilizantes, productos fitosanitarios ) <sup>48</sup>.

**Tabla 2.** Límites máximos permisibles de arsénico en agua según organismos internacionales.

<b>Institución</b>	<b>Limite en agua potable</b>
OMS	0,01 mg/L (10 µg/ L)
EPA (USA)	0,01 mg/L
DIGESA (PERU)	0,010 mg/L

**Fuente** :Elaboración propia a partir de datos de la Organización Mundial de la Salud <sup>49</sup> , EPA <sup>50</sup>, DIGESA <sup>51</sup>.

### 2.2.3.2. Toxicocinética

#### Absorción

El arsénico es absorbido a través de tres vías: oral , respiratoria y dérmica <sup>52</sup> .

**Por vía oral:** Esta es la principal vía de exposición ambiental y ocupacional para el arsénico inorgánico, el arsenito ( $As^{+3}$ ) presenta mayor solubilidad en lípidos; por el contrario, el arseniato ( $As^{+5}$ ) presenta una mejor absorción a nivel intestinal. La absorción de ambas formas inorgánicas por el tracto gastrointestinal es sumamente alta, situándose habitualmente entre el 60 % y el 95 % <sup>53</sup>.

**Por vía respiratoria:** Su absorción depende de su tamaño de las partículas, su solubilidad y la naturaleza química del compuesto. Las

partículas de gran tamaño (superiores a 10  $\mu\text{m}$ ) se acumulan en las vías superiores, donde son eliminadas por el movimiento de los cilios y deglutidas hacia el tracto gastrointestinal TGI <sup>54</sup>. No se ha establecido con exactitud la cantidad de arsénico que se absorbe al inhalar, pero se considera que oscila entre el 60 y el 90 % <sup>18</sup>.

**Por vía dérmica:** la absorción de arsénico es reducida, llegando al 2 %. Es crucial señalar que el arsénico trivalente tiene una mayor capacidad de absorción en comparación con el pentavalente <sup>55</sup>.

### **Distribución**

Tras ser absorbido, el arsénico ingresa a la sangre y se acopla con las globulinas para dispersarse por todo el organismo, alcanzando la totalidad de los tejidos en las primeras 24 horas. Inicialmente, se acumula en niveles superiores en el hígado, los pulmones, los riñones y el bazo. Esta acumulación ocurre mediante su unión a los grupos sulfhidrilo de las proteínas. En el tejido óseo, el arsénico sustituye al fósforo, pudiendo persistir allí por años. Una mínima cantidad pasa por las barreras placentarias y hematoencefálicas. En las próximas 30 horas se acumula en el cabello y las uñas. Los niveles de As en segmentos

de cabello señalan el periodo que ha pasado desde el comienzo de la exposición <sup>53,56</sup>.

### **Metabolismo y biotransformación**

El hígado es el principal órgano encargado de metabolizar el arsénico. En este proceso, las formas inorgánicas son metiladas a través de la enzima arsénico-3-metiltransferasa (As3MT), hay dos procesos fundamentales de biotransformación.

La Fase I se caracteriza por reacciones de reducción y oxidación que vinculan al arsenito ( $\text{As}^{3+}$ ) y arseniato ( $\text{As}^{5+}$ ). Tras ser absorbidas en el tracto gastrointestinal, las especies inorgánicas experimentan primera reducción previa a la metilación mediante; este proceso es mediado por el glutatión (GSH) y la tiorredoxina (TRX) como agentes reductores en el torrente sanguíneo. El arsénico inorgánico ingresa a las células mediante mecanismo de transportes específicos, como las acuagliceroporinas y los transportadores de fosfato, donde los arseniatos son reducidos a arsenito <sup>57</sup>.

Una vez completada esta etapa, se produce la metilación oxidativa, obteniéndose ácido monometilarsónico (MMA) y ácido dimetilarsínico (DMA), donde el cofactor S-adenosilmetionina (SAM) actúa como la fuente de grupos metilos (-CH<sub>3</sub>), permitiendo la conversión de especies arsenicales trivalentes a pentavalentes <sup>57</sup>.

La Fase II se caracteriza por reacciones de conjugación del arsénico, principalmente con el glutatión (GSH). Se plantea que la unión del arsénico trivalente (As<sup>III</sup>) con glutatión (GSH) facilita que la enzima arsénico-3-metiltransferasa (As3MT) forme los compuestos ácidos monometilarsónico (MMA<sup>V</sup>) y ácido dimetilarsínico (DMA<sup>V</sup>) mediante reacciones de metilación oxidativa <sup>57</sup>.

La biotransformación del arsénico está mediada por tres grupos enzimáticos especializados, el cual se divide principalmente en tres categorías funcionales según González-Martínez et al. (2020): la Purina nucleósido fosforilasa (PNP), que actúa en la reducción de los arseniatos (As<sup>5+</sup>); arsénico-3-metiltransferasa (As3MT), encargada de la metilación del arsénico trivalente (As<sup>3+</sup>) y algunas enzimas de la familia glutatión-S-transferasas (GST) <sup>57</sup>.

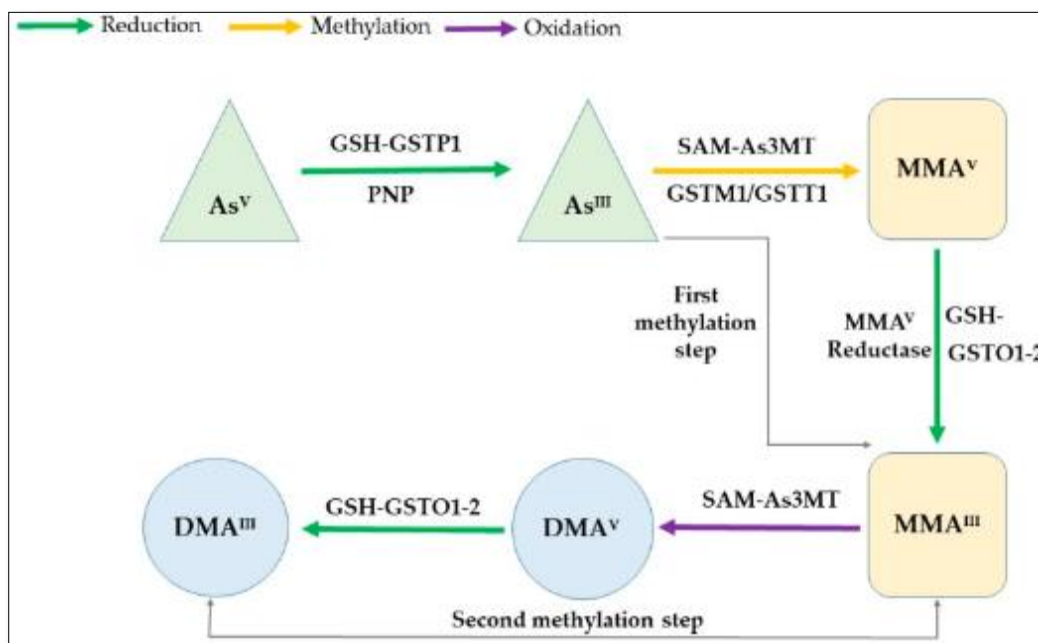


Figura 1. Proceso del metabolismo del arsénico

Fuente: (González-Martínez et al, 2020).

Disponible en: <https://www.mdpi.com/1422-0067/21/14/4832>

El proceso metabólico inicia con la reducción del arseniato ( $As^V$ ) a arsenito ( $As^{III}$ ), una reacción catalizada por las enzimas purina nucleótido fosforilasa (PNP) y glutatión-S-transferasa (GSTP1), utilizando glutatión (GSH) como donador de electrones. Posteriormente, el arsenito ( $As^{III}$ ) atraviesa el primer paso de metilación catalizados por la enzima arsénico-3-metiltransferasa (As3MT) y el cofactor la S-adenosilmetionina (SAM, donador de metilo) para formar ácido monometilarsónico ( $MMA^V$ ). Luego, el  $MMA^V$  es reducido a Ácido monometilarsónico ( $MMA^{III}$ ) por la  $MMA^V$  reductasa y el complejo

glutación -S-transferasa omega1 y 2 (GSTO1–2). Finalmente, ocurre el segundo metilación ,donde ácido monometilarsónico ( $\text{MMA}^{\text{III}}$ ) se oxida a ácido dimetilarsínico ( $\text{DMA}^{\text{V}}$ ) vía SAM-arsénico-3-metiltransferasa ( $\text{As3MT}$ ),para terminar reduciéndose a  $\text{DMA}^{\text{III}}$  a través de complejo GSH-GSTO1-2 <sup>57, 58</sup>.

### **Excreción**

El arsénico circulante presenta una vida media de 6 horas. es excretado principalmente por el riñón, aunque también se utilizan rutas secundarias, así como por las heces, leche materna, uñas, cabello y bilis. El arsénico se elimina tanto en sus formas inorgánicas ( $\text{As}^{\text{III}}$  y  $\text{As}^{\text{V}}$ ) como en sus metabolitos metilados (MMA y DMA).El ácido dimetilarsínico representa el metabolito de mayor relevancia en la excreción, con un rango del 50 y 70 %, seguido por el arsénico inorgánico,(20 y 25%) y el ácido monometilarsónico (15 y 30 %) (55) (59).Cabe destacar que la mayor parte de esta eliminación ocurre en los primeros cuatro días, aunque puede detectarse presencia de arsénico en la orina hasta 10 días después <sup>60</sup>.

### 2.2.3.3. Toxicodinámica del arsénico

Se basará considerando este proceso: propiedades físicas, el estado de oxidación, vía de ingreso y su solubilidad en el medio biológico, velocidad de eliminación y velocidad de absorción celular. Las toxicidades de los compuestos derivados del arsénico varían según su forma química, desde la más alta a la más baja, es el siguiente: arsénico inorgánico (3 y 5), arsénico orgánico (+3 y +5), compuestos arsenicales y, por último, el arsénico elemental.

Este impacto tóxico es multisistémico y se manifiesta a través de los siguientes mecanismos específicos según la forma química involucrada

**El arsénico trivalente [As<sup>III</sup> o arsenito]:** En el ámbito intracelular y bajo un pH neutro, este compuesto ingresa a través de las acuagliceroporinas. Una vez dentro, se unen a las moléculas de cisteína de diversas proteínas y enzimas, creando un enlace covalente con el azufre de los grupos sulfhidrilo(-SH). Esta unión forma complejo estables que inhiben sistemas metabólicos tales como la glucólisis, el ciclo de Krebs y el complejo piruvato deshidrogenasa. Particularmente, la inhibición de la enzima succinato deshidrogenasa interrumpe la

fosforilación oxidativa y la respiración celular, lo que deriva en una reducción crítica en la síntesis de adenosín trifosfato (ATP). Además, el As III, al inhibir al glutatión reductasa, cambia la estructura del citoesqueleto, incrementando los niveles de peróxido de hidrógeno y desencadenando estrés oxidativo. A nivel extracelular, este compuesto produce modificaciones en la transmisión de señales, lo que provoca a nivel cerebral al modificar las funciones de los neurotransmisores, Esto explicaría los trastornos conductuales de la persona<sup>55, 61</sup>.

**Arsénico pentavalente [As<sup>V</sup> o arseniato]:** Este compuesto se descompone en arsénico trivalente (As<sup>III</sup>) y el arsénico pentavalente, que no se puede reducir, reemplaza al fósforo inorgánico por su similitud estructural, lo que justifica su toxicidad. Este elemento entra en las células a través del sistema de transporte de fosfato, lo que provoca que se sustituya este elemento en los procesos enzimáticos microsomales, lo que interrumpe la fosforilación oxidativa y disminuye la producción de adenosín trifosfato (ATP), generando así ésteres inestables. Además, el arsénico pentavalente (As<sup>V</sup>) tiene la capacidad de unirse al fosfato de piridoxal e inhibir la producción de dopamina y serotonina. También, debido a su unión con algunos receptores hormonales, puede interferir en la señalización celular a nivel endocrino<sup>55, 61</sup>.

Ácido monometilarsónico (MMA) y ácidos dimetilarsínico (DMA):  
Estos compuestos se caracterizan por presentar una toxicidad baja porque no logran crear enlaces estables con las moléculas biológicas de los seres humanos <sup>55, 61</sup>.

#### **2.2.3.4. Efectos en la salud**

Intoxicación aguda: se considera a la administración de una sola dosis, o múltiples dosis, durante un lapso no superior a 24 horas, permitiendo una rápida asimilación del compuesto. Los efectos surgen de forma inmediata y pueden provocar la muerte a causa de un colapso cardiovascular y un shock hipovolémico. En humanos, la dosis mortal de trióxido de arsénico consumido es entre 70 a 180 mg (a próximamente 600 µg/kg/día), mientras que la dosis mortal mínima se sitúa en el rango de 1 a 3 mg/kg. Estos efectos agudos o subagudos son reversibles <sup>47</sup>.

**Tabla 3.** Signos y síntomas por intoxicación aguda.

Vía de exposición	Signos y síntomas	
Por ingesta	<b>Gastrointestinal</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Queilitis urente (Ardor en los labios).</li> <li>- Diarrea riciforme, hemorrágica o coleriforme.</li> <li>- Aliento aliáceo.</li> <li>- Disfagia y dolor epigastrio.</li> <li>- Náuseas, Vómitos.</li> <li>- Deshidratación.</li> <li>- Odinofagia.</li> </ul>
	<b>Cardiovascular</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Taquicardia, Hipotensión.</li> <li>- Edema agudo pulmonar agudo.</li> <li>- Vasodilatación generalizada.</li> <li>- Shock hipovolémico.</li> </ul>
	<b>Hepático</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Elevación de las transaminasas hepáticas.</li> </ul>
	<b>Hematológico</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Anemia, Leucopenia</li> <li>- Trombocitopenia por aplasia medular.</li> </ul>
	<b>Neurológico</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Cefaleas, Letargia, Convulsiones, Coma.</li> </ul>
	<b>Renal</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Oliguria.</li> <li>- Necrosis tubular aguda.</li> <li>- Insuficiencia renal.</li> </ul>
<b>Contacto local</b>	<b>Mucocutáneos</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Irritación.</li> <li>- Exantema.</li> <li>- Desprendimiento de piel.</li> </ul>
<b>Inhalación</b>		<ul style="list-style-type: none"> <li>- Irritación de las vías respiratorias.</li> <li>- Tos, Disnea.</li> <li>- Cianosis.</li> <li>- Trastornos nerviosos, digestivos.</li> <li>- Edema pulmonar.</li> <li>- Conjuntivitis Y Cianosis facial.</li> </ul>

Fuente: "Elaboración propia"

## **Intoxicación crónica**

Respecto a la exposición crónica, se ha observado la hiperpigmentación (difusa o localizada) tras un periodo de 6 meses a 3 años de ingesta continuada de dosis altas de As (0,04 mg/kg/día). En casos de exposición a dosis bajas (iguales o superiores a 0,01 mg/kg/día), estos efectos suelen manifestarse en un lapso de 5 a 15 años. Además de las alteraciones cutáneas, la exposición crónica puede provocar queratosis palmo plantar, lesiones cutáneas precancerosas, neuropatías periféricas, trastornos gastrointestinales y alteraciones cardiovasculares. Asimismo, se ha documentado compromiso de órganos como hígado, riñón y sistema nervioso, pudiendo evolucionar en casos prolongados hacia cáncer de piel, pulmón o vejiga, debido a la capacidad carcinogénica del arsénico, Los signos y síntomas clínicos asociados a este cuadro se detallan en la (Tabla 4).

**Tabla 4.** Signos y síntomas por intoxicación crónica.

<b>Vía de exposición</b>	<b>Signos y síntomas</b>
<b>Lesiones dérmicas</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Hiperhidrosis.</li> <li>- Hiperqueratosis palmar y plantar.</li> <li>- Verrugas, Dermatitis irritativa y alérgica.</li> <li>- Úlceras.</li> <li>- Melanoderma arsenical.</li> <li>- Sensibilización.</li> <li>- Acrocianosis.</li> <li>- Caída de cabello y uñas.</li> </ul>
<b>Lesiones de mucosas</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Queratoconjuntivitis.</li> <li>- Irritación de las vías respiratorias superiores (rinofaringotraqueobronquitis crónica).</li> </ul>
<b>Trastorno del aparato digestivo</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Gastritis.</li> <li>- Mala absorción.</li> <li>- Malestar abdominal y pérdida de peso.</li> <li>- Diarrea, Náuseas, Estreñimiento.</li> </ul>
<b>Sistema cardiovascular</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Hipertensión arterial.</li> <li>- Arterioesclerosis.</li> <li>- Acrocianosis.</li> <li>- Gangrena (pie negro).</li> </ul>
<b>Sistema Nervioso</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Cefalea, Insomnio.</li> <li>- Neuropatía el primer signo de intoxicación crónica.</li> <li>- Parestesias.</li> <li>- Fasciculaciones.</li> <li>- Temblor, Ataxia.</li> <li>- Trastornos de la sensibilidad.</li> <li>- Debilidad.</li> </ul>
<b>Trastornos hematológicos</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Leucopenia, Anemia megaloblástica.</li> <li>- Anemia aplásica.</li> <li>- Trombocitopenia. Pancitopenia.</li> </ul>
<b>Sistema endocrino</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Diabetes mellitus.</li> <li>- Hipertiroidismo o hipotiroidismo.</li> </ul>
<b>Efecto cancerígeno</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Cáncer de pulmón.</li> <li>- Cáncer de piel.</li> </ul>

Fuente: "Elaboración propia"

### **2.2.3.5. Carcinogénesis**

El As inorgánico ha sido categorizado por la Agencia Internacional para la Investigaciones sobre el Cáncer en el grupo I (cancerígeno demostrado en humanos), debido a que existen evidencias suficientes sobre carcinogénica en humanos. Por su parte, la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos, lo categoriza como cancerígeno en el grupo A, basándose en la evidencia de sus impactos negativos en la salud. En 2004, la IARC determinó que existía suficiente evidencia en humanos para sostener que la exposición al As a través del agua de consumo provoca cáncer de piel, pulmón y vejiga <sup>62, 63</sup>.

Es importante señalar que el consumo constante de aguas contaminadas con sales de arsénico provoca el denominado Hidroarsenicismo Crónico Regional Endémico, el cual impacta diversos órganos y sistemas; en particular la piel, donde se presentan cuatro fases caracterizadas por: sudoración excesiva y prurito, engrosamientos epidérmicos en la región palmo-plantar, la aparición de manchas que se originan en el tronco y se expanden sin perjudicar las mucosas y finalmente, el surgimiento de lesiones ulceradas que pueden evolucionar hacia carcinomas <sup>47</sup>.

## **2.2.4. Boro**

### **2.2.4.1. Generalidades del Boro**

Se encuentra en la primera posición del grupo III A en la tabla periódica; su símbolo es B, tiene un número atómico de 5 y su masa atómica es de 10,811 g. En realidad, el boro consiste en una combinación de dos isótopos estables:  $^{10}\text{B}$  (19,8 %) y  $^{11}\text{B}$  (80,2 %), según la Organización Mundial de la Salud <sup>64</sup>.

El boro en su forma pura se presenta en diferentes alotropías. Aparte de su estado como un polvo, el boro también tiene cuatro tipos de estructuras cristalinas:  $\alpha$ -romboédrica,  $\beta$ -romboédrica,  $\alpha$ -tetragonal y  $\beta$ -tetragonal <sup>64</sup>.

Presenta una notable atracción por los boratos que contienen oxígeno y reacciona con agua a temperaturas superiores a 100 °C, dando lugar a la formación de ácido bórico y otros compuestos. La falta de electrones en el boro impide la formación de enlaces típicos de dos electrones, dando paso a enlaces multicéntricos que son puramente covalentes. El boro establece enlaces covalentes robustos con elementos que son electronegativos, como el oxígeno y el flúor <sup>64</sup>.

Se encuentra de manera común en la naturaleza, a menudo en cantidades bastante bajas. En rocas y tierras, los niveles de boro normalmente son menores a 10 ppm, aunque hay informes que indican la presencia de hasta 100 ppm en lutitas y ciertos tipos de suelos <sup>65</sup>.

En el agua dulce, las concentraciones son de menos de 0,01 hasta 1,5 ppm. En el medio ambiente, el boro está siempre presente de forma química unida al oxígeno, usualmente como boratos de metales alcalinos o alcalinotérreos, o en la forma de ácido bórico. El boro en su forma elemental no se encuentra en la naturaleza.

La principal manera en que los humanos se exponen al boro es a través de su consumo en alimentos (especialmente en frutas y verduras). Otra fuente notable de exposición puede ser el polvo de borato en el trabajo y la presencia de boratos en productos de consumo (como cosméticos, medicamentos e insecticidas) <sup>65</sup>.

**Tabla 5.** Límites máximos permisibles de boro en agua según organismo internacionales.

Institución	Limite en agua potable
OMS	2,4 mg/L
EPA (USA)	2,4 mg/L
MINSA (PERU)	1,5mg/L

*Fuente* :Elaboración propia a partir de datos de la Organización Mundial de la Salud <sup>49</sup>, EPA <sup>66</sup>, DIGESA <sup>51</sup>.

#### 2.2.4.2. Toxicocinética del boro

Los boratos inorgánicos que son absorbidos por humanos y animales se presentan, casi únicamente en su forma de ácido bórico no disociado. Así, los diversos compuestos inorgánicos que contienen boro se analizan desde una perspectiva de toxicología como " boro " <sup>67</sup>.

#### Absorción

**Por vía inhalatoria:** Los reportes sobre síntomas en las vías respiratorias superiores, tras la exposición a polvo de boro y ácido bórico indican que el boro podría acumularse en estas vías. En entorno laborales, Se ha observado que los trabajadores dedicados a la producción de bórax presentan niveles de boro en sangre y orina casi

diez veces más altos al final de su jornada laboral en comparación con el inicio, lo que sugiere que el boro que se inhala se absorbe y se distribuye a todo el organismo <sup>8</sup>.

**Por vía oral:** En seres humanos, se ha observado una absorción gastrointestinal prácticamente total, evidenciada por la excreción urinaria del 93,9 % de la cantidad consumida de ácido bórico en un intervalo de 96 horas. Asimismo, el análisis de diversas publicaciones científicas permite estimar tasas de absorción oral que oscilan entre el 81 y el 92 % en humanos y del 95 % para animales (ratas) <sup>8</sup>.

**Por vía dérmica:** Los participantes de la investigación presentaron una penetración dérmica del 0,23 y 0,21 % tras aplicación de 1,8 mL de soluciones al 5 % de ácido bórico y bórax. Investigaciones sobre la eliminación urinaria en personas indican que la absorción de boro a través de la piel sana es bastante baja. No obstante, Investigaciones sobre la excreción en conejos indican que el boro se incorpora fácilmente tras el contacto con la piel lesionada <sup>8</sup>.

## **Distribución**

**Por vía oral:** En un estudio, se distribuyó el boro de manera uniforme en varios órganos de ratas machos, como el hígado, riñones y cerebro, músculos, glándulas suprarrenales, testículos, vesículas seminales y sangre tras recibir 61 mg de boro por kg al día durante 28 días. Sin embargo, no se encontró boro en el tejido adiposo. Las concentraciones en sangre y testículos fueron similares en ratas que recibieron entre 26 y 68 mg de boro por kg al día durante 9 semanas. Además, el boro se acumuló en los huesos, alcanzando niveles tres veces mayores que en los tejidos blandos <sup>8</sup>.

## **Metabolismo**

Como un compuesto químico que no es orgánico, no se anticipa que el boro sea procesado por personas ni por animales. Investigaciones sobre inhalación y exposición oral a boratos en seres humanos y en animales han informado de manera constante que el borato original solo se encuentra en sangre, tejidos y orina <sup>8</sup>.

Investigaciones sobre la falta de boro en animales y tres ensayos clínicos en personas han mostrado que el boro influye en el metabolismo de macrominerales y en las actividades celulares de otras sustancias que impactan funciones esenciales, como el calcio y el magnesio. Encontramos que los compuestos inorgánicos de borato se hallan en el cuerpo en forma de ácido bórico. Este ácido es el único derivado del boro que se ha detectado en la orina y que se ha verificado una y otra vez que representa más del 90 por ciento de la cantidad de boro que se ingiere. No existe evidencia que sugiera que el ácido bórico se descomponga dentro del organismo <sup>65</sup>.

### **Eliminación y excreción**

**Por vía inhalatoria:** Más del 94 % del ácido bórico inhalado y consumido por empleados chinos fue eliminado en la orina después de 24 horas. Esto se basa en un promedio estimado de 11,84 mg de boro al día. En ratas que inhalaban aerosoles de óxido de boro, se encontró un promedio de 11,90 mg de boro por kg diario en la orina, en comparación con 0,24 mg/kg/día en grupos de control sin intervención <sup>8</sup>.

**Por vía oral:** Más del 93 % de la dosis administrada se eliminó a través de la orina de seis hombres voluntarios a las 96 horas tras recibir una sola dosis oral de 1,9 mg de boro por kg (en forma de ácido bórico). Un estudio de nueve casos de intoxicación por ácido bórico mostró que la vida útil del compuesto era de 13,4 horas, con un rango entre 4 y 27,8 horas <sup>8</sup>.

En experimentos con conejos, se recuperó entre un 50 y 66 % de la dosis administrada en la orina tras la ingesta de 17,1 a 119,9 mg de boro por kg/día como ácido bórico.

Utilizando información de estudios anteriores, calcularon que el porcentaje de boro absorbido que fue eliminado variaba del 67 al 98 % en humanos y alcanzaba el 99 % en ratas.

En general, los datos farmacocinéticos disponibles respaldan un alto grado de similitud cualitativa (ausencia de metabolismo, alta eliminación a través de mecanismos de filtración renal y características de distribución extravascular aparentemente consistentes) entre las especies experimentales relevantes y los humanos <sup>68</sup>.

### **2.2.4.3. Mecanismo de acción del boro**

Un posible mecanismo a través del cual el boro actúa podría ser explicado por la bioquímica del mismo. El ácido bórico, junto con grupos hidroxilo de sustancias orgánicas, genera ésteres complejos. Esta propiedad a menudo conduce a la formación de complejos con varios azúcares vitales. Entre estos azúcares se encuentra la ribosa, un componente de la adenosina. Investigaciones recientes indican que los múltiples efectos positivos del boro ocurren al bloquear biomoléculas que contienen adenosina. Las biomoléculas más relevantes que muestran mayor afinidad por el boro incluyen los fosfatos de adenosina (ADP) y la S-adenosilmetionina (SAM-e) en tejidos de animales. Los ADP están presentes en todas las células animales y funcionan como nucleótidos de señal en las respuestas neuronales. La SAM-e es uno de los sustratos enzimáticos más comunes en el cuerpo. Aproximadamente el 95 % de la SAM-e se involucra en procesos de metilación, los cuales impactan en el ARN, ADN, fosfolípidos, proteínas y en la actividad hormonal <sup>69</sup>.

#### **2.2.4.4. Efectos tóxicos del boro**

Los datos disponibles sobre la toxicidad del boro son escasos y requieren más investigación. El boro es un nutriente vital que se obtiene de diversas fuentes. La investigación acerca de la toxicidad del boro y sus derivados en el cuerpo humano ha sido insuficiente, especialmente a nivel celular. Se han documentado casos que incluyen congestión, inflamación, dermatitis descamativa, deterioro en células epiteliales de los riñones, así como hinchazón y edema. Los análisis de riesgos vinculados a la alimentación y al suministro de agua indican que el borato de sodio y el ácido bórico, cuando están en altos niveles, pueden ser tóxicos. Aunque estos compuestos no causan quemaduras cutáneas, sí pueden irritar los ojos. En ciertas especies, se han testeado dosis letales de boro, las cuales no muestran propiedades cancerígenas. En aquellos grupos que recibieron un alto nivel de boro, el tamaño del feto se redujo de manera significativa en función de la dosis. Las toxicidades más importantes se relacionan con la reproducción y el desarrollo. Se halló evidencia de toxicidad fetal en conejos, ratas y ratones en estudios experimentales <sup>69</sup>.

#### 2.2.4.5. Clasificación Toxicológica del Boro

De acuerdo con la normativa CPL de la Unión Europea, el ácido bórico y los boratos son considerados potencialmente dañinos para la reproducción, categorizados como 1B y etiquetados con el peligro H360FD (Puede afectar al feto). Asimismo, resultan molestos para la vista (Grupo 2), provocando una fuerte incomodidad, y podrían inducir toxicidad si se consumen en grandes cantidades o en situaciones de exposición prolongada, impactando órganos como los riñones, el hígado y el cerebro <sup>70</sup>.

#### 2.2.5. Ingesta Diaria Estimada (IDE)

Esta es la cantidad del metal que una persona está ingiriendo diariamente a través del hígado de vacuno:

$$IDE = \frac{C \times IR}{BW}$$

**Donde:**

- IDE: Ingesta diaria estimada (mg/kg peso corporal/día)
- C: Concentración del metal en hígado (mg/kg)

- IR: Ingesta del alimento (g/día)

BW: Peso corporal promedio del individuo (kg)

**Tabla 6.** Valores de referencia internacionales (USEPA/EPA).

<b>Metal</b>	<b>Dosis diaria tolerable (TDI) /RfD</b>
Arsénico (inorgánico)	0,000063 mg/kg/día (USEPA)
Boro	0,2 mg/kg/día (EPA)

Fuente: *Elaboración propia a partir de datos de la EPA*<sup>66</sup>.

### **Cociente de Riesgo (Hazard Quotient, HQ)**

Es una medida utilizada en la valoración de riesgos ambientales y de salud que contrasta la cantidad de exposición a una sustancia con la dosis de referencia, la cual no debería provocar efectos negativos.

$$HQ = \frac{IDE}{RfD}$$

- HQ < 1: No se esperan efectos adversos para la salud.
- HQ > 1: Podría existir un riesgo de efectos adversos para la salud.

### 2.3. DEFINICIÓN DE TÉRMINOS

**Arsénico (As):** Elemento químico metaloide presente de forma natural en la corteza terrestre. Puede encontrarse en diversas formas orgánicas e inorgánicas, siendo las formas inorgánicas las más tóxicas para la salud humana. En este estudio, se refiere a la concentración total de arsénico determinada en el tejido hepático del ganado vacuno.

**ATSDR:** Agencia para Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades

**Boro (B):** Elemento químico no metálico presente en el medio ambiente, tanto de forma natural como resultado de actividades industriales. Es esencial para las plantas en bajas concentraciones, pero puede ser tóxico para animales y humanos en niveles elevados. En este estudio, se refiere a la concentración total de boro determinada en el tejido hepático del ganado vacuno.

**EPA:** La Agencia de Protección Ambiental (EPA) salvaguarda la salud de las personas, el entorno y los recursos naturales. Se encarga de prevenir y regular la contaminación del aire y del agua mediante el establecimiento de estándares para la calidad del aire y las emisiones vehiculares, así como

programas para garantizar la limpieza del agua e información acerca de la salud medioambiental.

**ECA:** Un instrumento de gestión ambiental que establece los niveles de concentración de elementos o sustancias (ya sea en el agua, el aire o la tierra) que no suponen un peligro importante para la salud de los seres humanos ni para el medio ambiente. Se utiliza para monitorear el estado general del entorno.

**Hígado de Ganado Vacuno:** Órgano interno del ganado bovino encargado de diversas funciones metabólicas, incluyendo la detoxificación y el almacenamiento de sustancias. En este estudio, se refiere a las muestras de tejido hepático recolectadas del ganado vacuno de la provincia de Candarave.

**HACRE:** Se refiere al hidroarsenicismo crónico regional endémico. Es una enfermedad grave y crónica causada por la exposición prolongada al arsénico presente en aguas de consumo contaminadas de forma natural.

**IARC:** Agencia Internacional para la Investigación del Cáncer. Dedicada a la investigación científica y la coordinación de estudios sobre las causas del

cáncer humano y los mecanismos de la carcinogénesis. Su misión principal es desarrollar estrategias científicas para la prevención y el control del cáncer a nivel mundial.

**Límite Máximo Permisible (LMP):** Los niveles máximos de sustancias físicas, químicas y biológicas que pueden ser liberadas al ambiente sin causar daño a la salud humana ni al medio ambiente. Su función principal es controlar y limitar la contaminación generada por fuentes emisoras específicas, protegiendo así tanto la salud pública como el entorno ambiental.

**Metal Pesado:** Término general que se refiere a elementos químicos metálicos con una densidad relativamente alta y que pueden ser tóxicos para los organismos vivos, incluso en bajas concentraciones.

**MINSA:** Es el Ministerio de Salud del Perú, entidad del Poder Ejecutivo encargada de la formulación, dirección y gestión de la política nacional de salud. Fomentando la salud, previniendo las enfermedades y asegurando que todos reciban atención integral de salud, su misión primordial es salvaguardar la dignidad social y personal de los ciudadanos.

**Normativa CPL:** Es la ley que regula la Clasificación, Etiquetado y Envasado de sustancias y mezclas químicas.

**OMS:** Es un organismo especializado de las Naciones Unidas fundado en 1948, con sede en Ginebra, Suiza. Su misión principal es gestionar políticas de prevención, promoción e intervención en salud a nivel mundial para alcanzar el grado máximo de salud para todas las personas.

## CAPÍTULO III

### MARCO METODOLÓGICO

#### 3.1. TIPO, DISEÑO Y NIVEL DE LA INVESTIGACIÓN

##### 3.1.1. Tipo de investigación

- **Cuantitativo:** El estudio es cuantitativo, ya que se recopila y analiza datos numéricos para establecer relaciones entre variables, aspectos observables de la realidad, utilizando herramientas estadísticas.
  
- **Observacional:** El estudio es de tipo Observacional, porque se observa y se registra fenómenos tal como ocurren en la realidad, sin intervenir ni manipular variables.
  
- **Analítico:** El estudio es de tipo Analítico, porque se examina en profundidad la información existente para entender causas y/o relaciones entre variables, a partir de los datos recopilados.

### 3.1.2. Diseño de investigación

- **Transversal:** Porque se examina datos de variables recolectadas en un intervalo temporal sobre una población o subconjunto establecido previamente.

### 3.1.3. Nivel de la investigación

- **Descriptivo:** Porque describe las características de las variables tal como se presentan en la realidad.
- **Correlacional:** Porque analiza la relación o asociación que existe entre dos o más variables, sin manipularlas.

## 3.2. POBLACIÓN Y MUESTRA

El periodo de estudio comprendió entre los meses de Junio – Octubre del año 2025 en la provincia de Candarave con ubicación geográfica de Latitud 17° 15' 30" Sur y Longitud 70° 12' 15" Oeste, con 3415 m s. n. m.



Figura 2. Ubicación de la zona de muestra.

*Fuente:* Observatorio Nacional del Agua - ANA

### 3.2.1. Población

- Población animal: Ganado vacuno faenado en mataderos de la provincia de Candarave.
- Población humana: Pobladores adultos residentes en la provincia de Candarave que consumen hígado bovino.

### 3.2.2. Muestra

- **Muestra animal (n = 40):** Se recolectaron 40 muestras de hígado de ganado vacuno durante el proceso de faena en mataderos de la provincia de Candarave.

- **Muestra humana (n = 41):** Se encuestaron 41 pobladores adultos consumidores de hígado bovino, a quienes se les aplicó una encuesta estructurada y se les recolectó una muestra de orina.

**Cálculo de tamaño de muestra para estimar una proporción (% de pobladores con niveles elevados de arsénico en orina)**

$$n = \frac{Z^2_{\alpha/2} \cdot p (1 - p)}{d^2}$$

**Donde:**

- n** : Tamaño de muestra = ¿?
- Z  $\alpha/2$**  : Valor Z para el nivel de confianza = 1,96 para 95 %
- p** : Proporción esperada: 90 % como promedio de lo reportado por Ale-Mauricio (42) en Cairani y Camilaca (100 % y 80 %, respectivamente).
- d** : Precisión deseada (error máximo admisible en términos absolutos) = 0.1 ( $\pm$  10 %)

**Aplicando:**

$$n = \frac{1,96^2 \times 0,9 \times 0,10}{0,10^2}$$

$n = 35 \text{ personas} + 15 \% \text{ (pérdidas o no participación)}$

$n = 41 \text{ personas}$

### **3.2.2.1. Criterios de inclusión**

- Personas  $\geq$  40 años que residen en Candarave.
- Personas que consuman hígado de ganado al menos una vez a la semana o una vez cada dos semanas.
- Ganado vacuno que se alimentan en la provincia de Candarave.
- Ganado vacuno criados en la provincia de Candarave.

### **3.2.2.1. Criterios de exclusión**

- Personas que no consumen hígado de ganado.
- Personas que no residen en la provincia de Candarave.
- Hígado con signos de descomposición, daño o contaminación
- Personas con enfermedades que alteren la dieta.

### **3.3. TÉCNICAS, INSTRUMENTOS Y PROCEDIMIENTOS PARA LA RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN**

#### **3.3.1. Técnicas para la recolección de datos**

Se utilizó una ficha de recopilación de datos originales (entrevistas) previamente validado por juicio de expertos, junto con muestreo biológico para identificar Arsénico y Boro, seguido de una evaluación del riesgo toxicológicos. Siguiendo los procedimientos normalizados para la recolección, conservación, transporte y examen de las muestras, y se implementarán estrategias de control de calidad para garantizar la fiabilidad de los hallazgos. (Anexo 2).

#### **3.3.2. Consentimiento informado**

En el presente estudio, se garantizó que todos los participantes proporcionen su consentimiento informado previo a la recolección de muestras biológicas (orina) y la participación en encuestas relacionadas con la exposición a metales tóxicos. El consentimiento informado implicó la entrega de información clara y suficiente sobre los objetivos del

estudio, los procedimientos a realizar, así como la confidencialidad de los datos obtenidos (Anexo 4).

### **3.3.3. Instrumentos de medición**

La determinación cuantitativa de Arsénico y Boro se realizó en 40 muestras de tejido de hígado de ganado vacuno y 41 muestras de orina de pobladores adultos de la Provincia de Candarave, Tacna. Se empleó la técnica de Espectrofotometría de Absorción Atómica con Generación de Hidruros en BHIOS Laboratorio (Arequipa). Para la orina humana, el análisis se realizó en el Centro Toxicológico S.A.C CETOX (Lima) utilizando un Espectrofotómetro de Absorción Atómica, asegurando la utilización de técnicas de alta sensibilidad para la evaluación de la exposición y el riesgo toxicológico.

#### **3.3.3.1. Materiales y/o instrumentos**

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

- Bolsa Estéril Tipo “Ziploc”.
- Guantes de Nitrilo.
- Cooler Box.

- Cooler de Tecnopor.
- Gorros descartables.
- Mandil descartable.
- Mascarilla.
- Plástico Film.
- Vaso de muestra de orina.
- Tijera.
- Plumón.
- Marcador permanente.
- Gel Pack.
- Termómetro.
- Frascos para muestra de orina.

### **Materiales biológicos**

- 40 muestras de hígado de ganado vacuno
- 41 muestras de orina humana.

### **Reactivos y materiales**

- Balanza analítica.
- Crisol.
- Campana extractora de gases.
- Centrifuga.

- Ácido clorhídrico (HCl).
- Borohidruro de sodio ( $\text{NaBH}_4$ ) fresco en solución alcalina (reactivo generador de hidruros).
- Hidróxido de sodio (NaOH).
- Ácido nítrico ( $\text{HNO}_3$ ) ultrapuro grado de análisis.
- Peróxido de hidrógeno ( $\text{H}_2\text{O}_2$ ) .
- Solución amortiguadora.
- Gas portador.
- Soluciones estándar certificadas de arsénico.
- Soluciones estándar certificadas de boro.

### **Procedimiento analítico para determinación de metales.**

#### **Preparación de la curva de calibración:**

Los criterios para la curva de calibración fueron establecidos de la siguiente manera: Se elabora una solución patrón de 1000 ppb y se utilizan alícuotas de 0,25; 0,5; 1 y 2 mL para hacer soluciones de 5, 10, 20 y 40 ppb en frascos de 50 mL. La solución stock es de arsénico a una concentración de 1000 ppm. Después, se agrega 5 mL de ácido clorhídrico purificado y 5 mL de una solución reductora que tenga un 5 % de yoduro de potasio y un 5 % de ácido ascórbico, se deja reposar

durante 45 minutos a temperatura ambiente y se completa el volumen con agua ultra pura.

**Preparación de las muestras:**

- Mezclar la muestra hasta homogeneidad, tomar una alícuota de 6 gramos y transferir a un crisol.
- Agrega 3 mL de nitrato de magnesio al 50 % P/V.
- Colocar los crisoles y secar en una mufla y calcinar 500 °C por 3 horas.
- Colocar los crisoles en plancha de calentamiento a 350 °C hasta completar la precalcinación.
- Llevar las muestras precalcinaadas en una mufla y calcinar 500 °C por 3 horas.
- Enfriar y adicionar 10 mL de una solución de ácido clorhídrico al 6M de calentar en plancha termostática por 5 minutos y transferir cuantitativamente a un fiola de 25 mL diluir con agua ultrapura, agitar y dejar reposar.
- Filtrar un volumen necesario por un filtro de membrana de 0,45 µm.

- De la solución filtrada del paso anterior, tomar 5 mL y transferir a una fiola de 50 mL.
- Adicionar 5ml de ácido clorhídrico purificado y 5 ml de una solución reductora que contenga yoduro de potasio 5 % y ácido ascórbico 5 %.
- Dejar reposar 45 minutos a temperatura ambiente y llevar a volumen con agua ultrapura y proceder a leer.

### **Equipos**

- Equipos de análisis para la determinación de Arsénico y Boro
- (Espectrómetro de Absorción Atómica con Generación de Hidruros
- Espectrofotómetro de Absorción Atómica.
- Software para el procesamiento y análisis de los datos de laboratorio.

### **3.3.3.2. Procedimiento**

#### **Recolección de muestras**

##### **- Hígado**

Se recolecto 40 muestras de hígado de vacuno en tiempos de diferentes, en cada toma de muestra se utilizó una bolsa estéril tipo “ziploc” y guantes para evitar contaminación. Se identificaron con códigos muestra 1, muestra 2, hasta la muestra numero 20 tanto como para arsénico y 20 para boro y finalmente se conservaron en gel pack frio en un conservador “cooler” térmico para su traslado.

##### **- Orina**

Se tomo las muestras de orina de los pobladores previa coordinación, quedando la hora lugar y fecha, antes se le brindo información de cómo se debía tomar la muestra, para luego recogerlo, se identificaron por un código asignado para cada muestra al momento de la recolección, colocando fecha y el código asignado para cada uno, acto seguido puesto en el cooler con cadena de frio.

### **3.4. ANÁLISIS DE DATOS**

#### **Estadística descriptiva**

- Las variables numéricas se describen según su naturaleza, empleando medidas de tendencia central y de dispersión (por ejemplo, media y desviación estándar o mediana y rango intercuartílico, según corresponda).
- Las variables categóricas se presentarán como frecuencias absolutas y relativas, expresadas también en porcentajes.

#### **Estadística inferencial**

Previo al análisis bivariado, se evaluará la normalidad de la distribución del índice de riesgo toxicológico de Arsénico y de Boro. En caso de evidenciarse una distribución no normal o asimétrica, se emplearán pruebas estadísticas no paramétricas acordes con la naturaleza de las covariables incluidas en el análisis (características sociodemográficas, de alimentación y concentraciones de arsénico en orina).

Para las comparaciones del análisis bivariado se formularán hipótesis estadísticas específicas, considerando un valor de  $p < 0,05$  como nivel de significancia estadística.

Todos los análisis se realizarán en el software estadístico STATA, versión 18.

## CAPÍTULO IV

### RESULTADOS

#### 4.1. Determinación de las concentraciones de arsénico y boro en muestras de hígados de vacunos faenados en la provincia de Candarave, Tacna – 2025.

**Tabla 7.** Estadísticos descriptivos de las concentraciones de arsénico en hígado de vacunos faenados en la provincia de Candarave.

<b>Parámetro</b>	<b>Arsénico (mg/kg)</b>	<b>Boro (mg/kg)</b>
Promedio	0,76	7,08
Mediana (percentil 50 %)	0,58	7,02
Rango intercuartílico (RIC)*	0,44 – 0,90	6,26 – 7,90
Desviación estándar	0,53	0,98
Valor mínimo	0,18	5,28
Valor máximo	2,42	8,57
Asimetría	1,75	- 0,06
Curtosis	6,06	1,94

**Fuente:** Resultado de software estadístico STATA versión 18.

**RIC:** percentil 25 – percentil 75

### **Interpretación:**

En las 20 muestras de hígado bovino analizadas en la provincia de Candarave, la concentración promedio de arsénico fue de  $0,76 \pm 0,53$  mg/kg (peso húmedo). Este valor medio se ubica por debajo del referente operativo de 1,0 mg/kg usado como comparación (MERCOSUR). Sin embargo, se observó un máximo de 2,42 mg/kg, que sí excede dicho referente, aunque corresponde a un caso puntual y no describe al conjunto de datos. En términos de distribución, el percentil 75 fue 0,90 mg/kg, lo que indica que aproximadamente una de cada cuatro muestras supera ese nivel.

Para boro, los resultados fueron más homogéneos, dado que la media fue  $7,08 \pm 0,98$  mg/kg (peso húmedo), con una dispersión relativamente baja. Al contrastarlos con el valor referencial de boro reportado por ATSDR para hígado de res ( $\approx 0,23$  mg/kg), se aprecia que incluso el valor mínimo registrado (5,28 mg/kg) se encuentra por encima de dicho nivel. En conjunto, estos hallazgos sugieren una exposición elevada a boro a través del consumo de hígado de res.

**4.2. Descripción de las características sociodemográficas y de alimentación de los pobladores evaluados de la provincia de Candarave, Tacna – 2025.**

**Tabla 8.** Características sociodemográficas de los pobladores evaluados.

<b>Características</b>	<b>N</b>	<b>%</b>
<b>Sexo</b>		
Masculino	22	53,66
Femenino	19	46,34
<b>Edad (años)</b>		
De 40 a 50	11	26,83
De 51 a 60	8	19,51
De 61 a más	22	53,66
<b>Ocupación laboral</b>		
Ama de casa	9	21,95
Agricultor	32	78,05
<b>Nivel educativo</b>		
Sin educación formal	2	4,88
Primaria	19	46,34
Secundaria	17	41,46
Superior	3	7,32
<b>Años de residencia(años)</b>		
De 10 a 20	10	24,39
De 21 a 30	4	9,76
De 31 a más	27	65,85
<b>Total</b>	<b>41</b>	<b>100</b>

**Fuente:** Resultado de software estadístico STATA versión 18.

### **Interpretación:**

En la muestra evaluada (n = 41) de pobladores de la provincia de Candarave, la mayoría de participantes fueron hombres (53,66 %), predominando las personas mayores (53,66 %) que tenían 61 años o más. También destaca el arraigo local, el 65,85 % declara vivir en la zona por más de 31 años. En términos de actividad económica, la agricultura es la ocupación principal (78,05 %) del lugar. Respecto a escolaridad o nivel de estudios, es muy frecuente que los pobladores cuenten con educación primaria (46,34 %) o secundaria (41,46 %).

**Tabla 9.** Características de la alimentación de los pobladores evaluados

<b>Características</b>	<b>n</b>	<b>%</b>
<b>Frecuencia de consumo de hígado</b>		
Una vez a la semana	1	2,44
De dos a tres veces por mes	7	17,07
Al menos una vez al mes	33	80,49
<b>Cantidad de hígado consumido por cada ocasión(g)</b>		
100	34	82,93
300	7	17,07
<b>Peso corporal (kg)</b>	69,02 ± 11,69*	
<b>Lugar de compra/adquisición del hígado de res</b>		
Mercado local	22	53,66
Camal	3	7,32
Faenado propio	16	39,02
<b>Total</b>	<b>41</b>	<b>100</b>

**Fuente:** Resultado de software estadístico STATA versión 18.

\* Media ± desviación estándar

**Interpretación:**

En la muestra evaluada (n = 41) de pobladores de la provincia de Candarave, la mayoría de participantes consume hígado de res al menos una vez al mes (80,49 %), lo que indica que no es un alimento de consumo diario ni semanal. Cuando lo incluyen en su dieta, la porción habitual es de 100 g, aproximadamente un filete mediano. En cuanto al origen, 53,66 % señala que compra el hígado en el mercado local, mientras que 39,02 % cría y faena sus propios animales.

Por último, el peso corporal promedio de los pobladores evaluados fue de  $69,02 \pm 11,69$  kg.

**4.3 Descripción de las características clínicas de los pobladores evaluados (n=41) de la provincia de Candarave, Tacna – 2025.**

**Tabla 10.** Frecuencias de signos y síntomas crónicos reportados por los pobladores.

<b>Pregunta</b>	<b>n</b>	<b>%</b>
<b><i>¿Usted o alguien de su familia ha presentado alguno de los siguientes signos y síntomas de manera frecuente?</i></b>		
Cansancio crónico o debilidad	40	29,63
Caída de cabello	31	22,96
Lesiones en la piel o cambios en la pigmentación	25	18,52
Problemas renales	10	7,41
Trastornos digestivos frecuentes	29	21,48
<b>Total</b>	<b>135</b>	<b>100</b>
<b><i>Signos y síntomas crónicos auto reportados</i></b>		
Erupción cutánea	7	10,14
Gastritis	25	36,23
Hipertensión arterial	6	8,7
Hipotensión	5	7,25
Hígado graso	26	37,68
<b>Total</b>	<b>69</b>	<b>100</b>

**Fuente:** Resultado de software estadístico STATA versión 18.

### **Interpretación:**

Los pobladores evaluados de Candarave reportaron con mayor frecuencia cansancio crónico o debilidad (29,63 %), caída de cabello (22,96 %) y trastornos digestivos recurrentes (21,48 %). Además, una proporción importante indicó antecedentes de gastritis (36,23 %) y hígado graso (37,68 %).

#### 4.4. Determinación de las concentraciones de arsénico en orina de los pobladores evaluados de la provincia de Candarave, Tacna – 2025.

**Tabla 11.** Estadísticos descriptivos de las concentraciones de arsénico en orina de los pobladores evaluados.

<b>Parámetro</b>	<b>Arsénico (µg/L)</b>
Promedio	373,54
Mediana (percentil 50 %)	384,40
Desviación estándar	193,27
Valor mínimo	52,30
Valor máximo	873,90
Asimetría	0,40
Curtosis	2,91
Rango intercuartílico (RIC)	228,20 - 463

**Fuente:** Resultado de software estadístico STATA versión 18.

**RIC:** percentil 25 – percentil 75

#### **Interpretación:**

En las 41 muestras de orina analizadas de pobladores de la provincia de Candarave, la concentración media de arsénico fue  $373,54 \pm 193,27$  µg/L. Este promedio supera en torno a ocho veces el valor de referencia de 50 µg/L establecido por el Ministerio de Salud (MINSA). La dispersión observada es amplia, con valores entre 52,30 y 873,90 µg/L. En consecuencia, todas las muestras se ubican por encima del valor referente.

**4.5. Evaluación del riesgo toxicológico de arsénico y boro en función de las características sociodemográficas, de alimentación y de las concentraciones de arsénico en orina de los pobladores evaluados de la provincia de Candarave, Tacna – 2025.**

**4.5.1. Determinación del riesgo toxicológico de arsénico por consumo de hígado de res en los pobladores evaluados.**

**4.5.1.1. Ingesta diaria estimada (IDE) de arsénico**

**Tabla 12.** Estadísticos descriptivos de la Ingesta diaria estimada de arsénico por consumo de hígado vacuno en los pobladores evaluados.

<b>Parámetro</b>	<b>IDE (mg/Kg. Día)</b>
Promedio	$8,82 \times 10^{-5}$
Mediana (percentil 50%)	$3,83 \times 10^{-5}$
Desviación estándar	$1,08 \times 10^{-4}$
Valor mínimo	$2,41 \times 10^{-5}$
Valor máximo	$3,79 \times 10^{-4}$
Rango intercuartílico (RIC)	$3,46 \times 10^{-5} - 4,59 \times 10^{-5}$

**Fuente:** Resultado de software estadístico STATA versión 18.

**RIC:** percentil 25 – percentil

### Interpretación:

En los pobladores evaluados (n = 41) de la provincia de Candarave, la ingesta diaria estimada de arsénico por consumo de hígado de res fue, en promedio,  $8,82 \times 10^{-5} \pm 1,08 \times 10^{-4}$  mg/kg. día. Este valor refleja la cantidad promedio de arsénico que una persona incorporaría cada día a partir de ese alimento bajo los patrones de consumo reportados.

#### 4.5.1.2. Riesgo toxicológico (HQ) de arsénico

**Tabla 13.** Estadísticos descriptivos del Riesgo toxicológico (HQ) por consumo de hígado vacuno en los pobladores evaluados.

Parámetro	HQ
Promedio	1,47
Mediana (percentil 50 %)	0,64
Desviación estándar	1,80
Valor mínimo	0,40
Valor máximo	6,32
Rango intercuartílico (RIC)*	0,58 – 0,77

**Fuente:** Resultado de software estadístico STATA versión 18.

**RIC:** percentil 25 – percentil 75

**Interpretación:**

En la población evaluada de Candarave ( $n = 41$ ), el riesgo toxicológico por arsénico presentó un promedio de  $1,47 \pm 1,80$  (adimensional). En ese sentido, un  $HQ \geq 1$  sugiere efectos nocivos potenciales a la salud, por lo que ese promedio indicaría preocupación sanitaria. Sin embargo, la variabilidad fue alta (valores entre 0,40 y 6,32), lo que refleja exposiciones heterogéneas dentro del grupo. De acuerdo con el percentil 75, la mayoría de los participantes no supera el umbral definido en el estudio para riesgo elevado, aunque existe un subconjunto con valores claramente por encima de 1.

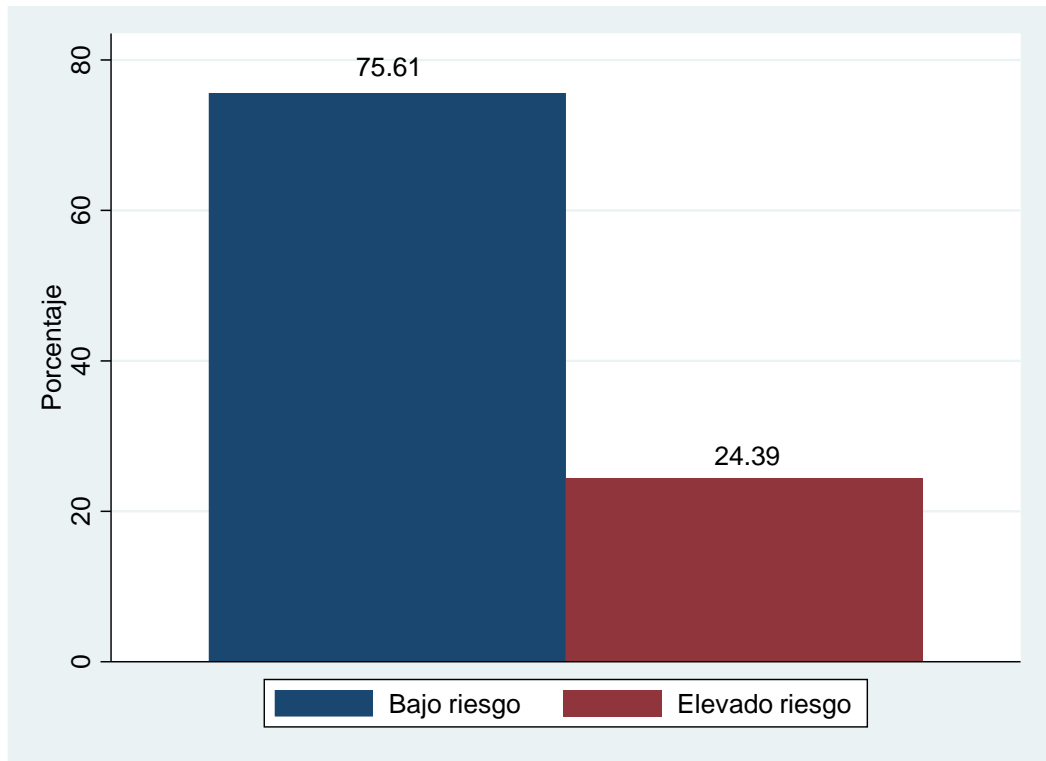
**Tabla 14.** Prevalencia de pobladores evaluados con elevado riesgo por consumo de hígado vacuno.

<b>Índice de riesgo</b>	<b>n</b>	<b>%</b>
Bajo riesgo (HQ < 1)	31	75,61
Elevado riesgo (HQ ≥ 1)	10	24,39

**Fuente:** Resultado de software estadístico STATA versión 18.

**Interpretación:**

En la población evaluada de Candarave (n = 41), el 75,61 % presentó un HQ < 1, lo que indica que esos pobladores presentan un bajo riesgo de efectos potenciales dañinos asociados al consumo de hígado de res.



**Gráfico 1.** Prevalencia de pobladores evaluados con elevado riesgo toxicológico de arsénico por consumo de hígado de res.

**Fuente:** Tabla 14.

#### **4.5.1.2.1. Evaluación de normalidad del riesgo toxicológico (HQ) de arsénico**

##### **a) Formulación de hipótesis**

**Hipótesis nula (H<sub>0</sub>):** La distribución de los datos del índice de riesgo toxicológico (HQ) de arsénico no es diferente a la normal.

**Hipótesis alterna (H<sub>a</sub>):** La distribución de los datos del índice de riesgo toxicológico (HQ) de arsénico es diferente a la normal.

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

Prueba de Shapiro-Wilk con un nivel de significancia estadística de 5 % o 0,05.

### c) Obtención de valor-p e interpretación

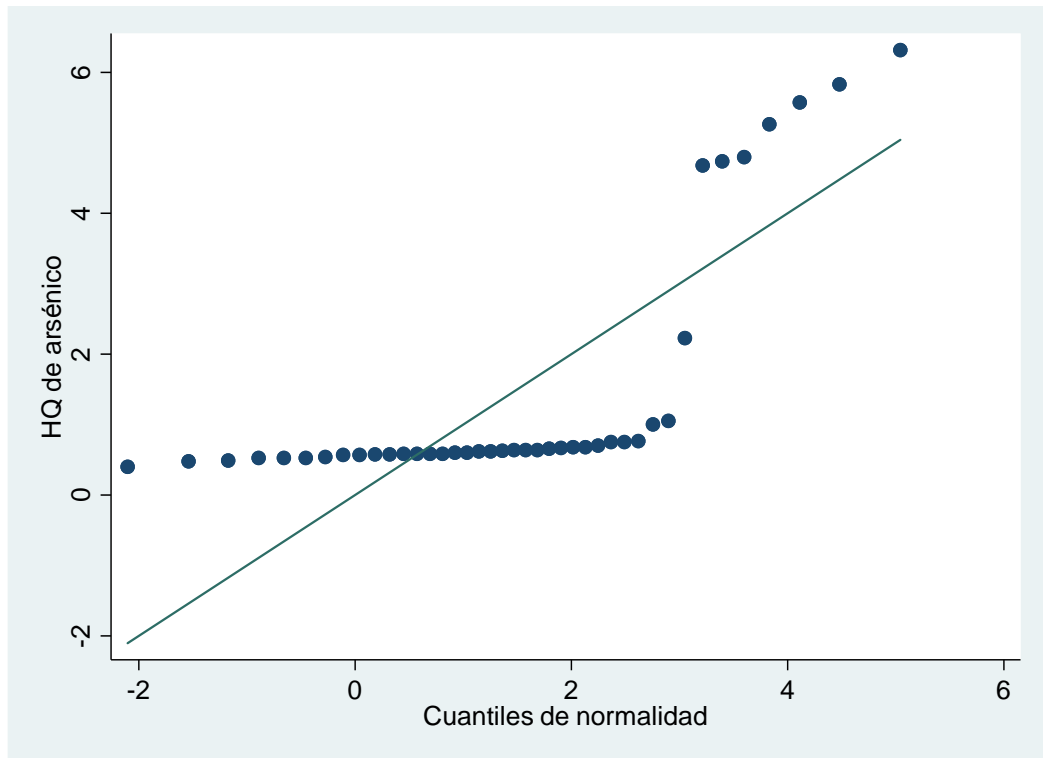
**Tabla 15.** Prueba de Shapiro-Wilk para la evaluación de normalidad.

Variable	n	Valor Z	Valor p
Índice de riesgo toxicológico (HQ)	41	6,05	< 0,001

**Fuente:** Resultado de software estadístico STATA versión 18.

#### **Interpretación:**

Tras aplicar la prueba de Shapiro–Wilk, se obtuvo un valor  $p < 0,001$ ; por lo que se rechaza la hipótesis nula de normalidad. En consecuencia, el índice de riesgo toxicológico (HQ) por arsénico no sigue una distribución normal (presenta asimetría). Por ello, en los análisis bivariados posteriores se emplearán métodos no paramétricos según corresponda al diseño y tipo de variables. De igual manera, se empleará la mediana como medida de resumen.



**Gráfico 2.** Q-Q *plots* del Índice de riesgo toxicológico de arsénico para la evaluación de la normalidad.

**Fuente:** Tabla 15.

**Interpretación:**

En el gráfico Q–Q del HQ por arsénico, los cuantiles muestrales se apartan de la línea de referencia (normal teórica), lo que evidencia no normalidad de los datos. Este patrón coincide y refuerza el resultado de la prueba de Shapiro–Wilk ( $p < 0,001$ ).

## 4.5.2. Determinación del riesgo toxicológico de boro por consumo de hígado de res en los pobladores evaluados

### 4.5.2.1. Ingesta diaria estimada de boro

**Tabla 16.** Estadísticos descriptivos de la Ingesta diaria estimada de boro por consumo de hígado vacuno en los pobladores evaluados.

Parámetro	IDE (mg/Kg. Día)
Promedio	$8,23 \times 10^{-4}$
Mediana	$3,58 \times 10^{-4}$
Desviación estándar	$1,01 \times 10^{-3}$
Valor mínimo	$2,24 \times 10^{-4}$
Valor máximo	$3,54 \times 10^{-3}$
Rango intercuartílico (RIC)	$3,23 \times 10^{-4} - 4,29 \times 10^{-4}$

**Fuente:** Resultado de software estadístico STATA versión 18.

**RIC:** percentil 25 – percentil 75

### Interpretación:

En la población evaluada de Candarave (n=41), la ingesta diaria estimada (IDE) de boro por consumo de hígado de res fue, en promedio,  $8,23 \times 10^{-4} \pm 1,01 \times 10^{-3}$  mg/kg. día. Este valor expresa la cantidad promedio de boro que una persona incorporaría cada día a partir de ese alimento, según los patrones de consumo reportados. La desviación

estándar es mayor que la media ( $CV \approx 123 \%$ ), lo que indica una alta variabilidad entre participantes. En ese sentido, los valores están comprendidos entre  $2,24 \times 10^{-4}$  y  $3,54 \times 10^{-3}$ .

#### 4.5.2.2. Riesgo toxicológico (HQ) de boro

**Tabla 17.** Estadísticos descriptivos de la Ingesta diaria estimada de boro por consumo de hígado vacuno en los pobladores evaluados.

Parámetro	HQ
Promedio	$4,84 \times 10^{-3}$
Mediana	$2,10 \times 10^{-3}$
Desviación estándar	$5,94 \times 10^{-3}$
Valor mínimo	$1,32 \times 10^{-3}$
Valor máximo	0,021
Rango intercuartílico (RIC)	$1,90 \times 10^{-3} - 2,52 \times 10^{-3}$

**Fuente:** Resultado de software estadístico STATA versión 18.

**RIC:** percentil 25 – percentil 75

### **Interpretación:**

En la población evaluada de Candarave (n=41), el riesgo toxicológico (HQ) por boro tuvo un promedio de  $4,84 \times 10^{-3} \pm 5,94 \times 10^{-3}$  (adimensional). Dado que  $HQ < 1$  indica bajo potencial de efectos nocivos, este promedio no sugiere preocupación sanitaria. Se observó variabilidad (rango:  $1,32 \times 10^{-3}$  a 0,021), lo que refleja exposiciones heterogéneas entre participantes. Con todo, ningún valor superó el umbral de 1, por lo que no se anticipa riesgo toxicológico asociado al boro por consumo de hígado de res en esta población.

#### **4.5.2.2.1. Evaluación de la normalidad del riesgo toxicológico (HQ) de boro**

##### **a) Formulación de hipótesis**

**Hipótesis nula (Ho):** La distribución de los datos del índice de riesgo toxicológico (HQ) de boro no es diferente a la normal.

**Hipótesis alterna (Ha):** La distribución de los datos del índice de riesgo toxicológico (HQ) de boro es diferente a la normal.

## b) Prueba estadística y nivel de significancia

Prueba de Shapiro-Wilk con un nivel de significancia estadística de 5 % o 0,05.

## c) Obtención de valor-p e interpretación

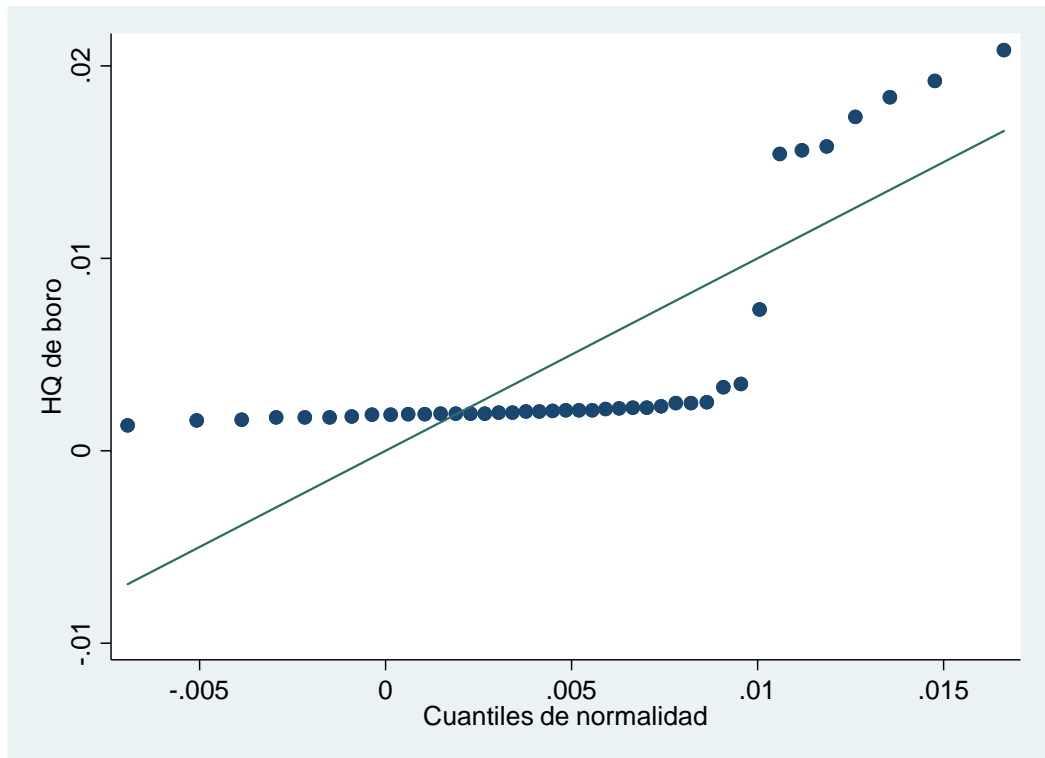
**Tabla 18.** Prueba de Shapiro-Wilk para la evaluación de normalidad.

Variable	N	Valor Z	Valor p
Índice de riesgo toxicológico (HQ)	41	6,05	<0,001

Fuente: Resultado de software estadístico STATA versión 18.

### Interpretación:

Luego de aplicar la prueba de Shapiro–Wilk, se obtuvo un valor  $p < 0,001$ ; por lo que se rechaza la hipótesis nula de normalidad. En consecuencia, el índice de riesgo toxicológico (HQ) por boro no sigue una distribución normal, presentando asimetría. Por ello, en los análisis bivariados posteriores se emplearán métodos no paramétricos según corresponda al diseño y tipo de variables. De igual manera, se empleará la mediana como medida de resumen.



**Gráfico 3.** Q-Q *plots* del Índice de riesgo toxicológico de boro para la evaluación de la normalidad.

**Fuente:** Tabla 18.

**Interpretación:**

En el gráfico Q–Q del HQ por boro, los cuantiles muestrales se apartan de la línea de referencia (normal teórica), lo que evidencia no normalidad de los datos. Este patrón coincide y refuerza el resultado de la prueba de Shapiro–Wilk ( $p < 0,001$ ).

#### **4.5.3. Riesgo toxicológico de arsénico y boro según las características sociodemográficas.**

##### **a) Formulación de hipótesis**

**Hipótesis nula (H<sub>0</sub>):** El riesgo toxicológico de arsénico y boro no es diferente según las características sociodemográficas de los pobladores de la provincia de Candarave, Tacna – 2025.

**Hipótesis alterna (H<sub>a</sub>):** El riesgo toxicológico de arsénico y boro es diferente según las características sociodemográficas de los pobladores de la provincia de Candarave, Tacna – 2025.

##### **b) Elección de pruebas estadística y límite de significancia**

Para evaluar el Índice de riesgo (HQ) en función de:

- Las variables sexo y ocupación laboral se utilizará la prueba de U de Mann Whitney.
- Las variables edad (categorizada), nivel educativo y años de residencia (categorizada) se utilizará la prueba Kruskal-Wallis.

Todas las pruebas tendrán un valor de significancia de 5 % o 0,05.

**c) Obtención de valores-p e interpretación**

**Tabla 19.** Riesgo toxicológico de arsénico por consumo de hígado de res según las características sociodemográficas de los pobladores evaluados.

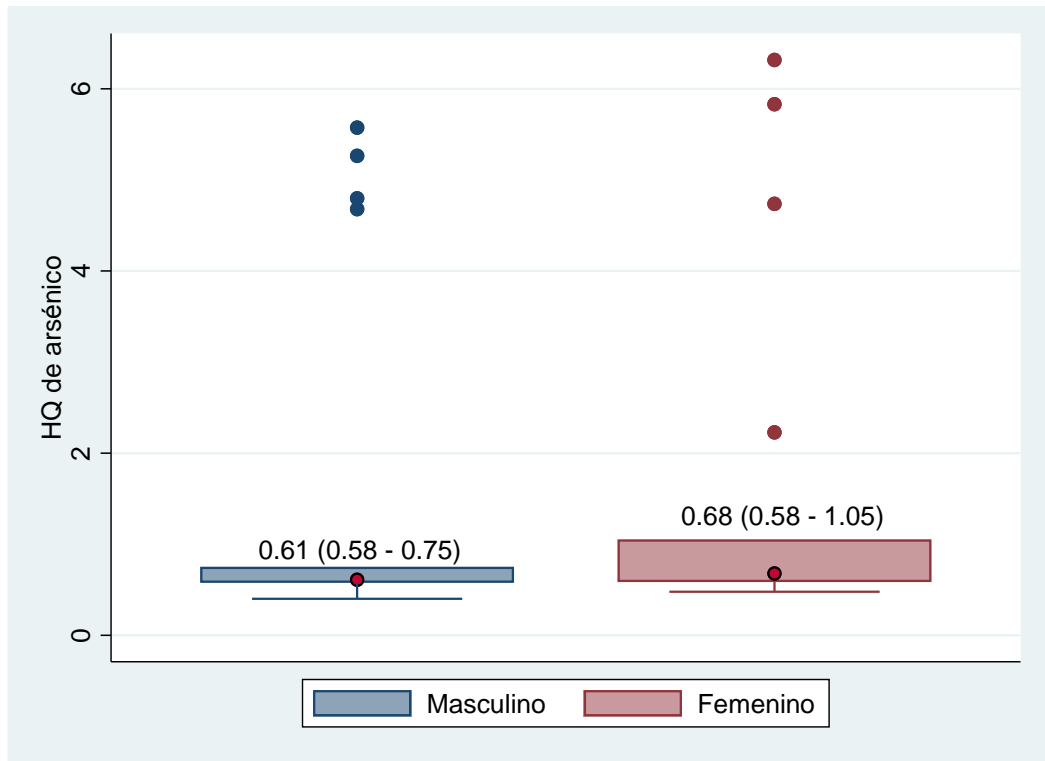
Características	Índice de riesgo (HQ)	Valor-p
	Mediana (RIC)	
<b>Sexo</b>		0,271
Masculino	0,61 (0,58 – 0,75)	
Femenino	0,68 (0,58 – 1,05)	
<b>Edad (años)</b>		0,548
De 40 a 50	0,60 (0,53 – 4,68)	
De 51 a 60	0,66 (0,59 – 5,19)	
De 61 a más	0,63 (0,58 – 0,75)	
<b>Ocupación laboral</b>		0,658
Ama de casa	0,62 (0,58 – 4,73)	
Agricultor	0,64 (0,58 – 0,75)	
<b>Nivel educativo</b>		0,188
Sin educación formal	0,91 (0,77 – 1,05)	
Primaria	0,62 (0,58 – 0,75)	
Secundaria	0,60 (0,53 – 0,68)	
Superior	4,68 (0,64 – 4,78)	
<b>Años de residencia</b>		0,112
De 10 a 20	1,46 (0,58 – 4,73)	
De 21 a 30	0,57 (0,56 – 0,59)	
De 31 a más	0,64 (0,58 – 0,75)	

**Fuente:** Resultado de software estadístico STATA versión 18.

**RIC:** percentil 25 – percentil 75

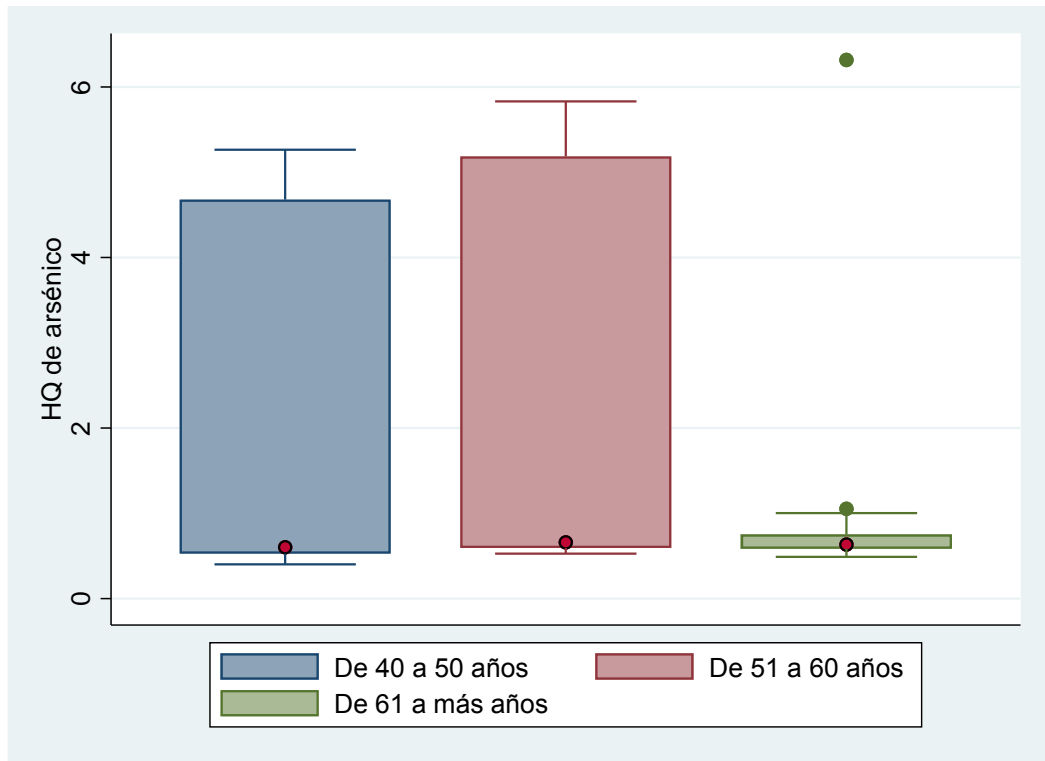
**Interpretación:**

En la población evaluada de Candarave ( $n = 41$ ), las mujeres mostraron un HQ por arsénico ligeramente superior al de los hombres, con un caso individual que superó el umbral de  $HQ = 1$  (1,05). No obstante, la diferencia por sexo no fue estadísticamente significativa ( $p = 0,271$ ). De forma similar, en el grupo de 40–60 años se observaron valores individuales  $>1$ , pero sin diferencias significativas entre grupos etarios ( $p > 0,05$ ). En la misma línea, no se encontraron diferencias del HQ por arsénico según ocupación, nivel educativo o años de residencia (todas con  $p > 0,05$ ).



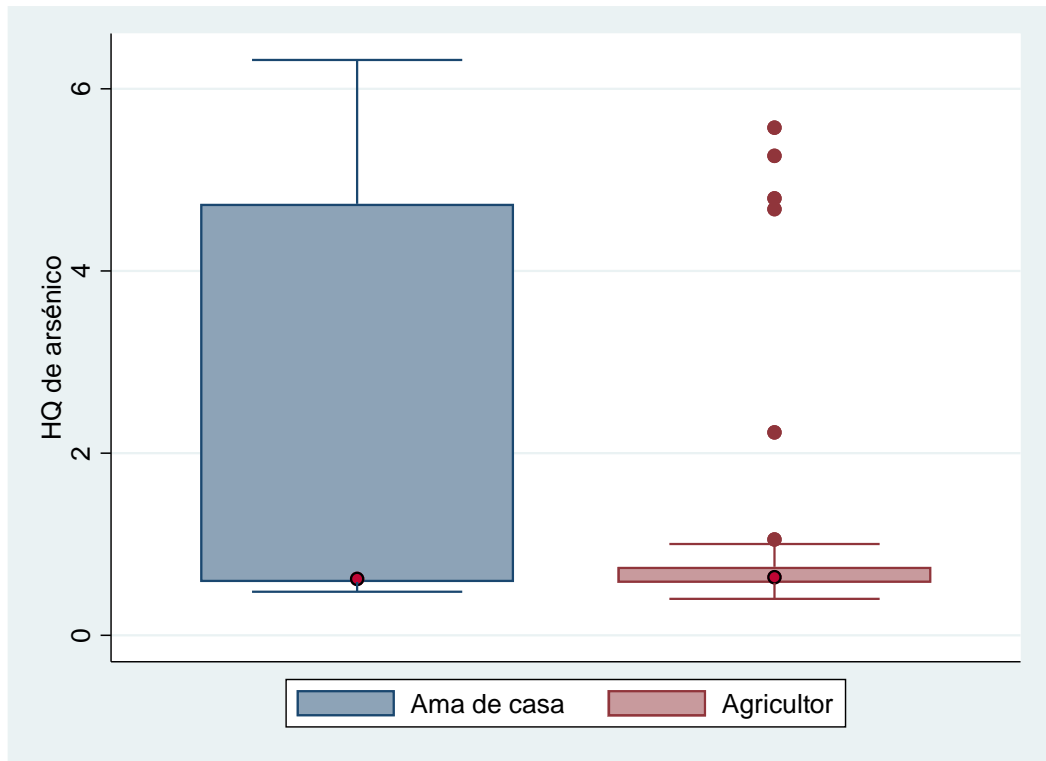
**Gráfico 4.** Índice de riesgo (HQ) por arsénico según sexo, asociado al consumo de hígado de res de pobladores evaluados por consumo de hígado de res.

**Fuente:** Tabla 19.



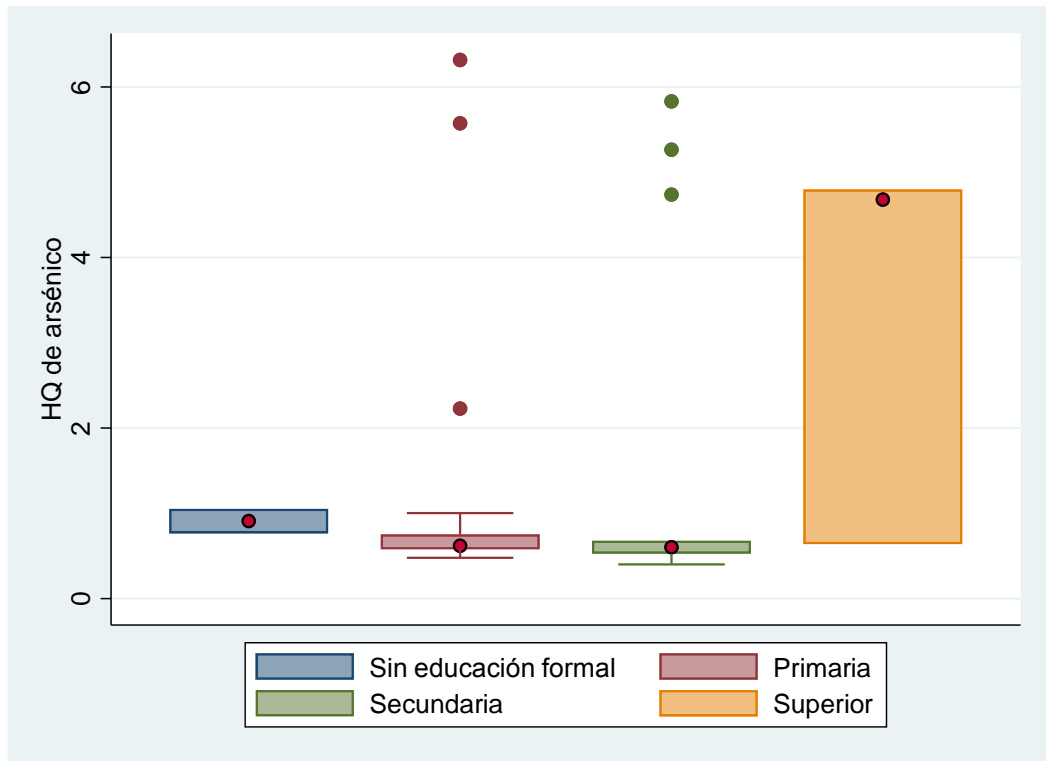
**Gráfico 5.** Índice de riesgo (HQ) por arsénico según edad, asociado al consumo de hígado de res de pobladores evaluados por consumo de hígado de res.

**Fuente:** Tabla 19.



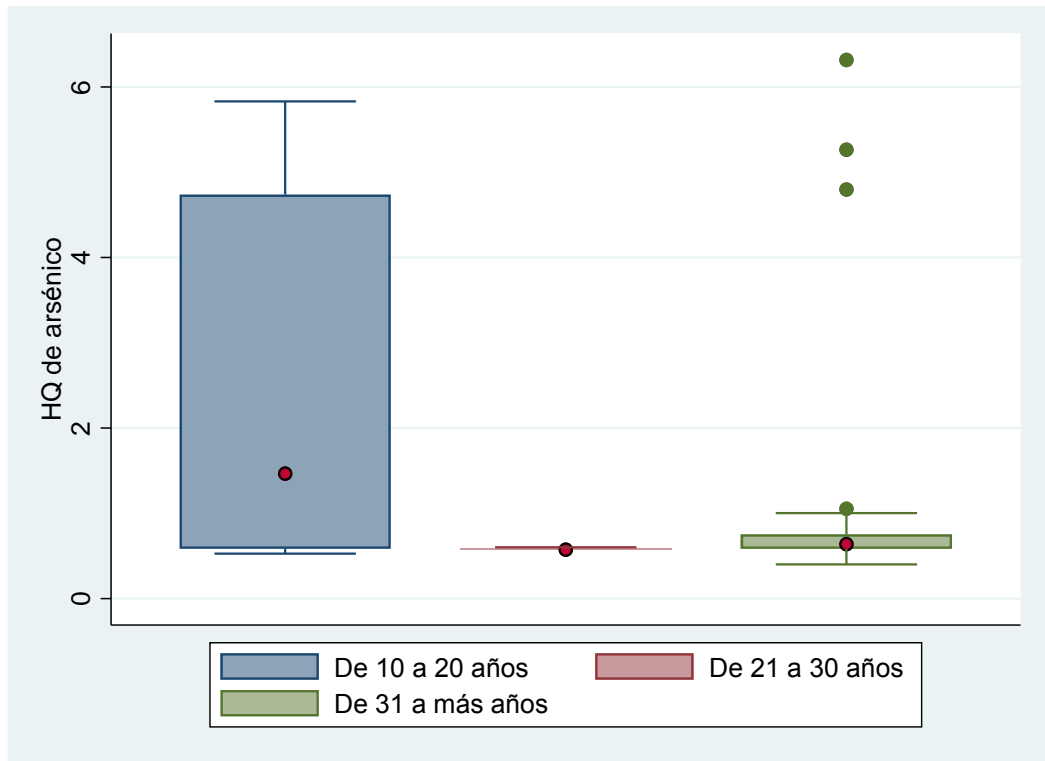
**Gráfico 6.** Índice de riesgo (HQ) por arsénico según ocupación laboral, asociado al consumo de hígado de res de pobladores evaluados por consumo de hígado de res.

**Fuente:** Tabla 19.



**Gráfico 7.** Índice de riesgo (HQ) por arsénico según nivel de educación, asociado al consumo de hígado de res de pobladores evaluados por consumo de hígado de res.

**Fuente:** Tabla 19.



**Gráfico 8.** Índice de riesgo (HQ) por arsénico según tiempo de residencia, asociado al consumo de hígado de res de pobladores evaluados por consumo de hígado de res.

**Fuente:** Tabla 19.

**Tabla 20.** Riesgo toxicológico de boro por consumo de hígado de res según las características sociodemográficas de los pobladores evaluados.

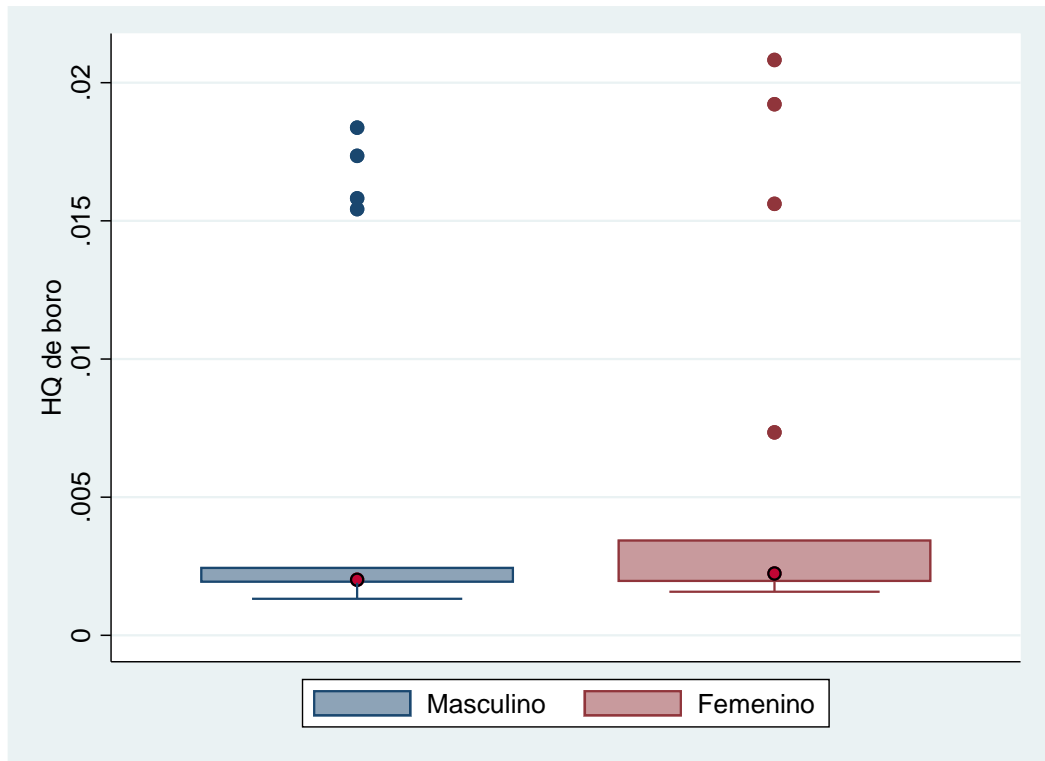
Características	Índice de riesgo (HQ)	Valor-p
	Mediana (RIC)	
<b>Sexo</b>		0,278
Masculino	$2,01 \times 10^{-3}$ ( $1,9 \times 10^{-3} - 2,48 \times 10^{-3}$ )	
Femenino	$2,23 \times 10^{-3}$ ( $1,92 \times 10^{-3} - 3,47 \times 10^{-3}$ )	
<b>Edad(años)</b>		0,548
De 40 a 50	$1,98 \times 10^{-3}$ ( $1,73 \times 10^{-3} - 1,54 \times 10^{-2}$ )	
De 51 a 60	$2,17 \times 10^{-3}$ ( $1,95 \times 10^{-3} - 1,71 \times 10^{-2}$ )	
De 61 a más	$2,08 \times 10^{-3}$ ( $1,92 \times 10^{-3} - 2,48 \times 10^{-3}$ )	
<b>Ocupación laboral</b>		0,659
Ama de casa	$2,04 \times 10^{-3}$ ( $1,92 \times 10^{-3} - 1,56 \times 10^{-2}$ )	
Agricultor	$2,10 \times 10^{-3}$ ( $1,90 \times 10^{-3} - 2,48 \times 10^{-3}$ )	
<b>Nivel educativo</b>		0,189
Sin educación formal	$2,99 \times 10^{-3}$ ( $2,52 \times 10^{-3} - 3,47 \times 10^{-3}$ )	
Primaria	$2,04 \times 10^{-3}$ ( $1,90 \times 10^{-3} - 2,47 \times 10^{-3}$ )	
Secundaria	$1,98 \times 10^{-3}$ ( $1,73 \times 10^{-3} - 2,23 \times 10^{-3}$ )	
Superior	$1,54 \times 10^{-2}$ ( $2,10 \times 10^{-3} - 1,58 \times 10^{-2}$ )	
<b>Años de residencia</b>		0,112
De 10 a 20	$4,82 \times 10^{-3}$ ( $1,93 \times 10^{-3} - 1,56 \times 10^{-2}$ )	
De 21 a 30	$1,89 \times 10^{-3}$ ( $1,88 \times 10^{-3} - 1,94 \times 10^{-3}$ )	
De 31 a más	$2,10 \times 10^{-3}$ ( $1,93 \times 10^{-3} - 2,47 \times 10^{-3}$ )	

**Fuente:** Resultado de software estadístico STATA versión 18

**RIC:** percentil 25 – percentil 75

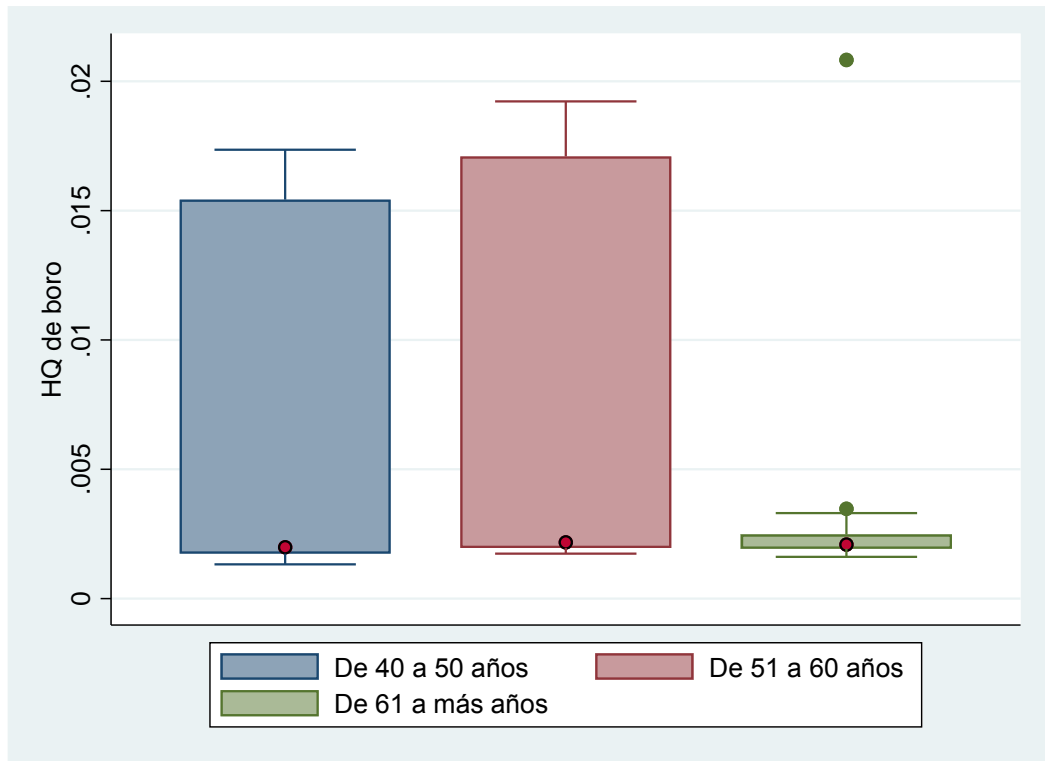
**Interpretación:**

En la población evaluada de Candarave ( $n = 41$ ), las mujeres presentaron un HQ por boro ligeramente mayor que los hombres; sin embargo, ningún caso superó el umbral de  $HQ = 1$ , por lo que no se anticipa riesgo toxicológico. La diferencia por sexo no fue significativa ( $p = 0,278$ ). De modo similar, el grupo de 51 años o más mostró valores más altos que los de menor edad, sin diferencias significativas entre rangos etarios ( $p > 0,05$ ). En la misma línea, no se observaron diferencias del HQ por boro según ocupación, nivel educativo o años de residencia (todas con  $p > 0,05$ ).



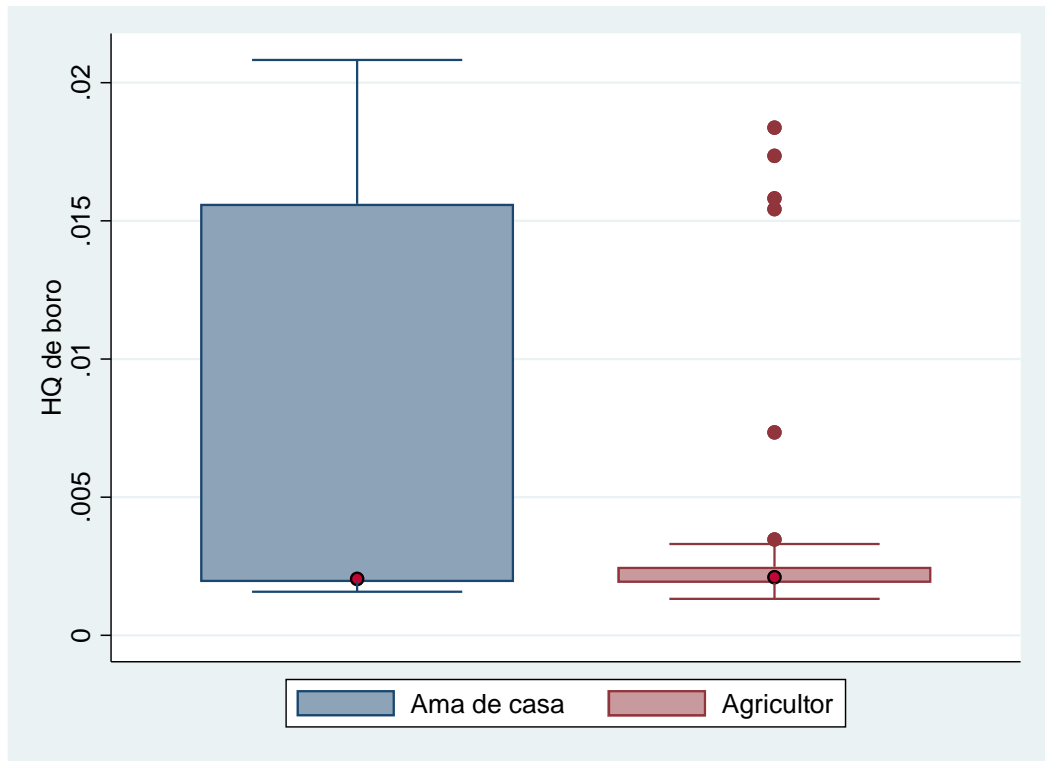
**Gráfico 9.** Índice de riesgo (HQ) por boro según sexo, asociado al consumo de hígado de res de pobladores evaluados por consumo de hígado de res.

**Fuente:** Tabla 20.



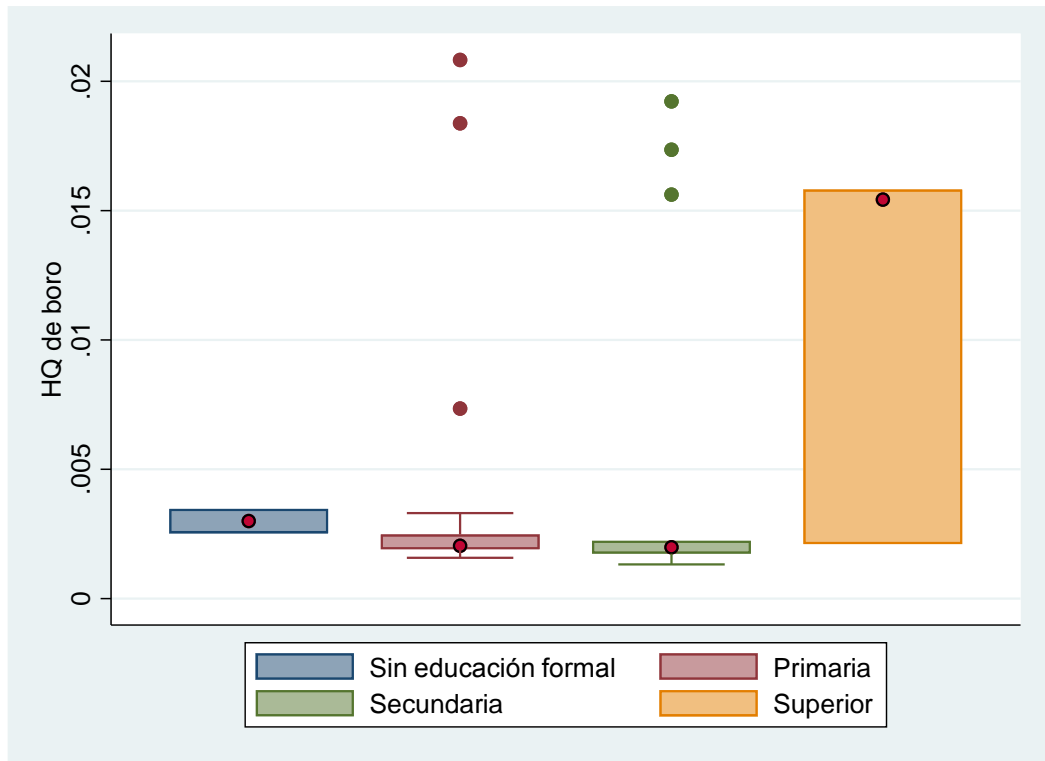
**Gráfico 10.** Índice de riesgo (HQ) por boro según edad, asociado al consumo de hígado de res de pobladores evaluados por consumo de hígado de res.

**Fuente:** Tabla 20.



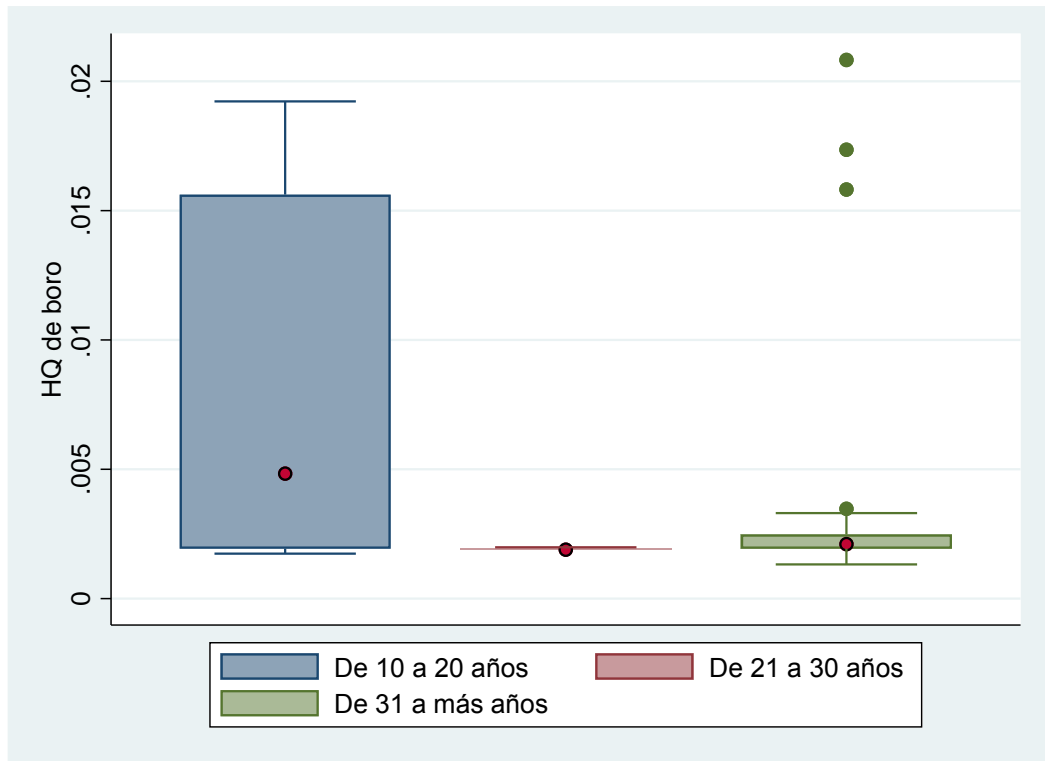
**Gráfico 11.** Índice de riesgo (HQ) por boro según ocupación laboral, asociado al consumo de hígado de res de pobladores evaluados por consumo de hígado de res.

**Fuente:** Tabla 20.



**Gráfico 12.** Índice de riesgo (HQ) por boro según nivel de educación, asociado al consumo de hígado de res de pobladores evaluados por consumo de hígado de res.

**Fuente:** Tabla 20.



**Gráfico 13.** Índice de riesgo (HQ) por boro según tiempo de residencia, asociado al consumo de hígado de res de pobladores evaluados por consumo de hígado de res.

**Fuente:** Tabla 20.

#### **4.5.4. Riesgo toxicológico de arsénico y boro según las características de alimentación.**

##### **a) Formulación de hipótesis**

**Hipótesis nula (Ho):** El riesgo toxicológico de arsénico y boro no es diferente según las características de alimentación de los pobladores de la provincia de Candarave, Tacna – 2025.

**Hipótesis alterna (Ha):** El riesgo toxicológico de arsénico y boro es diferente según las características de alimentación de los pobladores de la provincia de Candarave, Tacna – 2025.

##### **b) Elección de pruebas estadísticas y límite de significancia**

Para evaluar el Índice de riesgo (HQ) en función de:

- La variable cantidad de hígado consumido se utilizará la prueba de U de Mann Whitney.
- La variable peso corporal se utilizará la prueba de Spearman.
- Las variables frecuencia de consumo y lugar de compra/adquisición se utilizará la prueba Kruskal-Wallis.

Todas las pruebas tendrán un valor de significancia de 5 % o 0,05.

### c) Obtención de valores-p e interpretación

**Tabla 21.** Riesgo toxicológico de arsénico por consumo de hígado de res según las características de alimentación de los pobladores evaluados.

Características	Índice de riesgo	Valor-p
	Mediana (RIC)	
<b>Frecuencia de consumo de hígado</b>		< 0,001
1 vez a la semana	2,22 (2,22 – 2,29)	
De 2 a 3 veces por mes	5,26 (4,73 – 5,83)	
Al menos una vez al mes	0,60 (0,57 – 0,69)	
<b>Cantidad de hígado consumido por cada ocasión</b>		< 0,001
100 g	0,61 (0,57 – 0,68)	
300 g	5,26 (4,74 – 5,83)	
<b>Peso corporal (kg)</b>	- 0,55*	< 0,001
<b>Lugar de compra/adquisición del hígado de res</b>		0,664
Mercado local o feria	0,62 (0,57 – 0,68)	
Camal	0,66 (0,58 – 4,78)	
Faenado propio	0,70 (0,58 – 1,03)	

**Fuente:** Resultado de software estadístico STATA versión 18.

**RIC:** percentil 25 – percentil 75

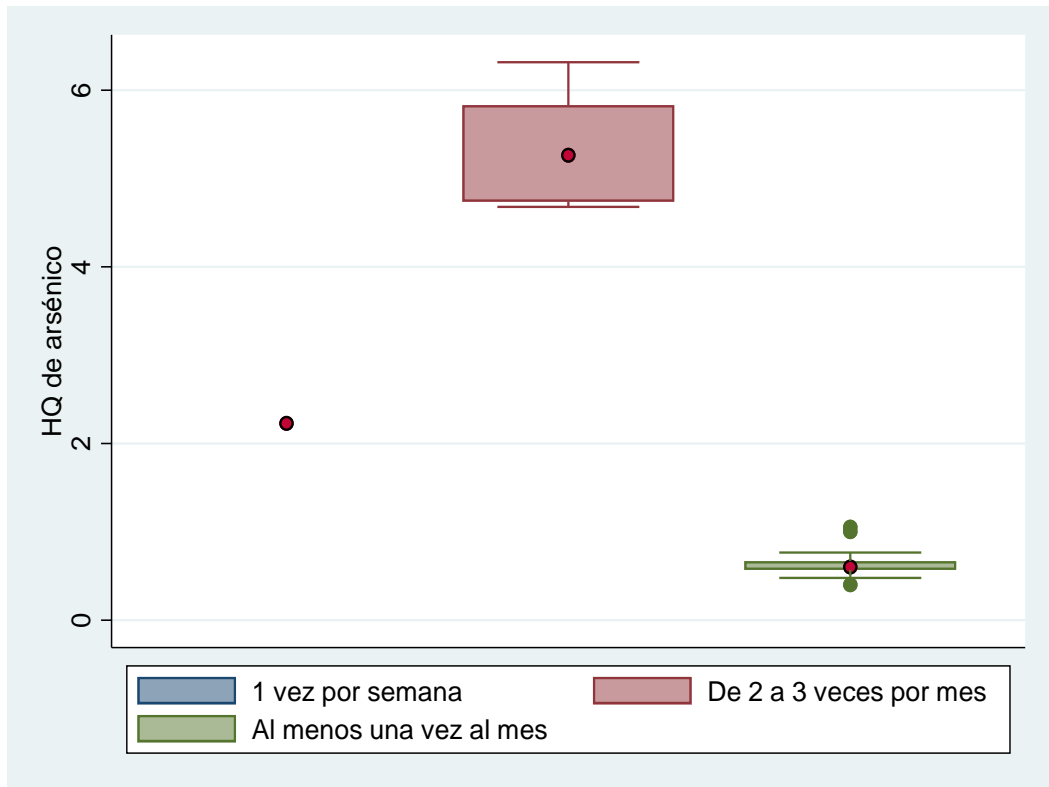
\* Rho de Spearman

### **Interpretación:**

En la población evaluada de Candarave ( $n = 41$ ), quienes consumen hígado de res 2 – 3 veces al mes presentaron HQ por arsénico significativamente más altos que quienes lo consumen 1 vez al mes o 1 vez por semana ( $p < 0,001$ ). En este grupo (2 – 3/mes), la mediana del HQ fue 5,26 (RIC: 4,73–5,83), de modo que todas las observaciones superan el umbral  $HQ = 1$ , indicando efectos potencialmente dañinos para la salud. De forma consistente, quienes consumen  $\geq 300$  g por ocasión mostraron HQ mayores que quienes consumen porciones menores ( $p < 0,001$ ).

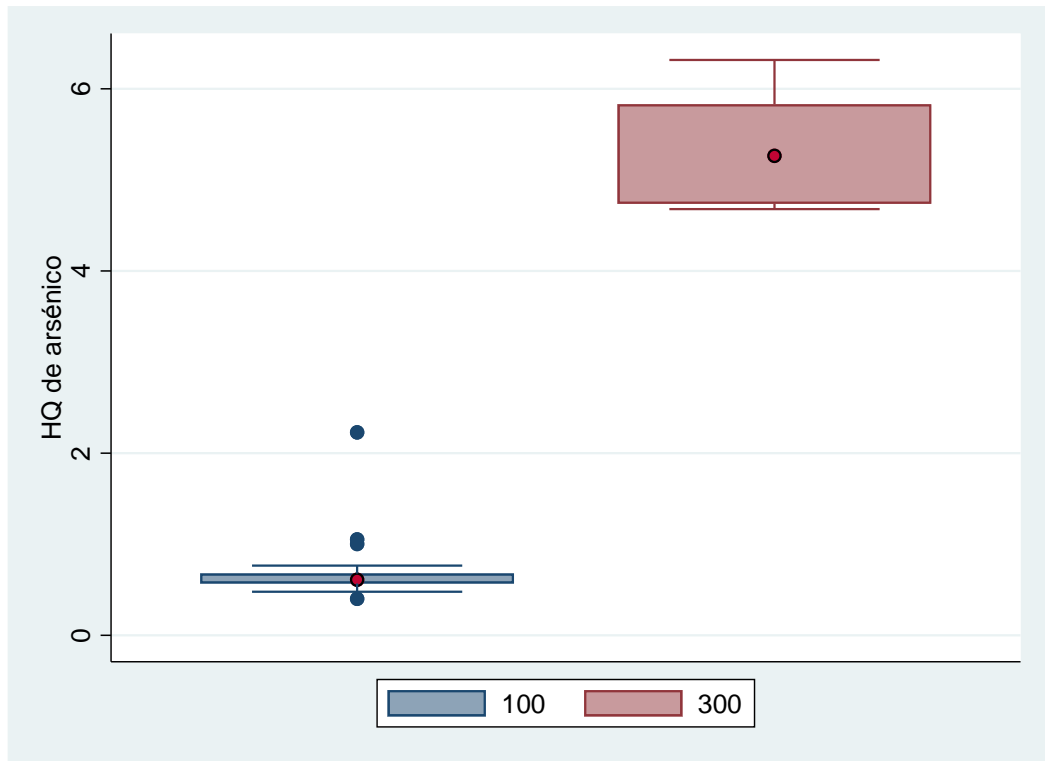
Respecto al peso corporal, se observó una correlación inversa de magnitud moderada entre peso y HQ ( $Rho = -0,55$ ;  $p < 0,001$ ), indicando que, a menor peso, mayor HQ.

Finalmente, el lugar de adquisición del hígado no mostró diferencias estadísticamente significativas en el HQ por arsénico (valor  $p > 0,05$ ).



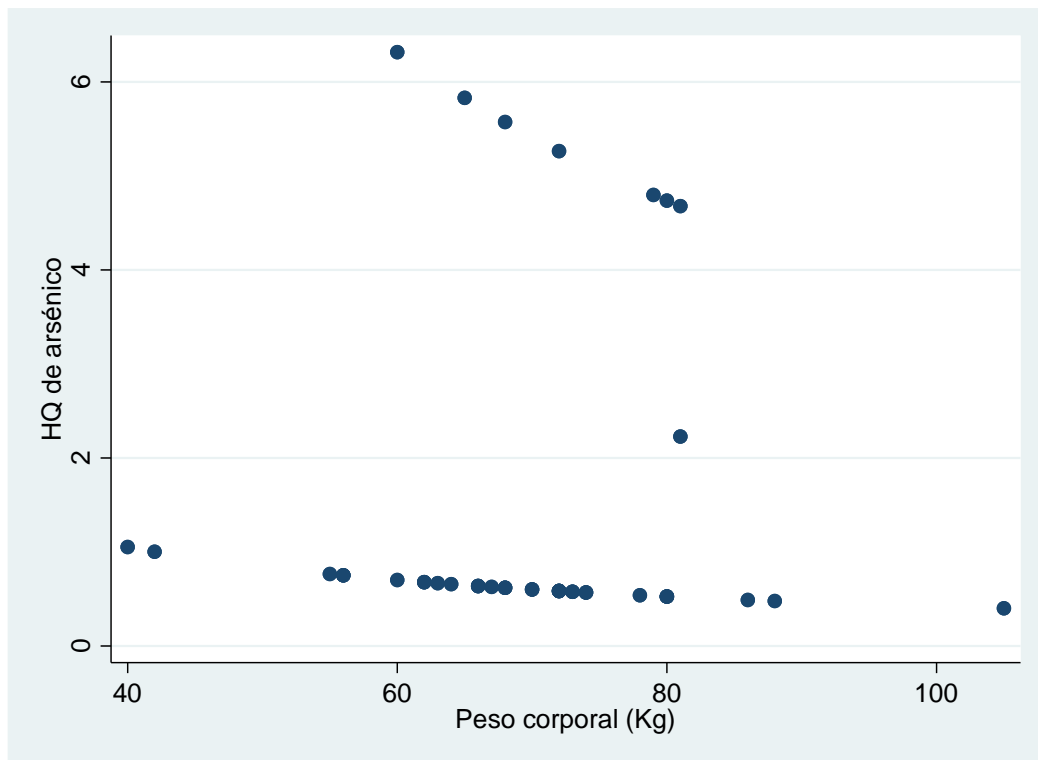
**Gráfico 14.** Índice de riesgo (HQ) por arsénico según la frecuencia de consumo de hígado de res de pobladores evaluados.

**Fuente:** Tabla 21.



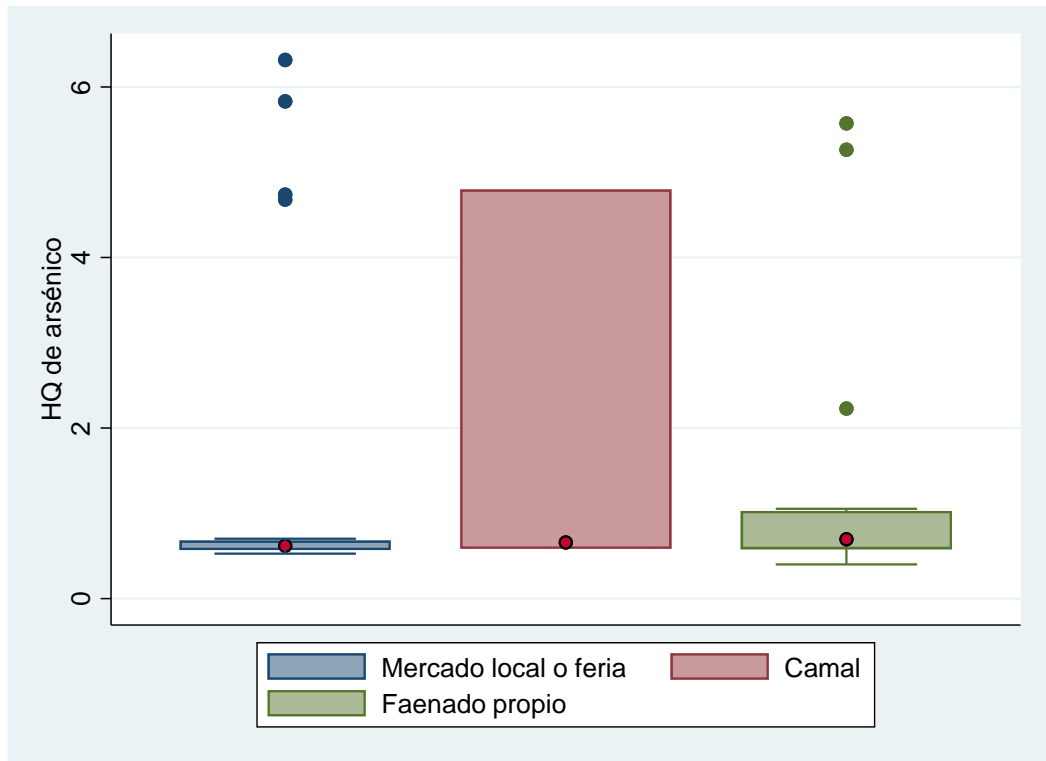
**Gráfico 15.** Índice de riesgo (HQ) por arsénico según la cantidad de hígado de res (g) que consumen los pobladores evaluados.

**Fuente:** Tabla 21.



**Gráfico 16.** Correlación del Índice de riesgo (HQ) por arsénico asociado al consumo de hígado de res y el peso corporal de pobladores evaluados.

**Fuente:** Tabla 21.



**Gráfico 17.** Índice de riesgo (HQ) por arsénico según el lugar de compra o de adquisición de los hígados por los pobladores evaluados.

**Fuente:** Tabla 21.

**Tabla 22.** Riesgo toxicológico de boro por consumo de hígado de res según las características de alimentación de los pobladores evaluados.

Características	Índice de riesgo	Valor-p
	Mediana (RIC)	
<b>Frecuencia de consumo de hígado</b>		< 0,001
Una vez a la semana	$7,34 \times 10^{-3}$ ( $7,34 \times 10^{-3} - 7,35 \times 10^{-3}$ )	
De 2 a 3 veces por mes	$1,73 \times 10^{-2}$ ( $1,56 \times 10^{-2} - 1,92 \times 10^{-2}$ )	
Al menos una vez al mes	$1,98 \times 10^{-3}$ ( $1,88 \times 10^{-3} - 2,20 \times 10^{-3}$ )	
<b>Cantidad de hígado consumido por cada ocasión</b>		< 0,001
100 g	$2,01 \times 10^{-3}$ ( $1,88 \times 10^{-3} - 2,23 \times 10^{-3}$ )	
300 g	$1,74 \times 10^{-2}$ ( $1,56 \times 10^{-2} - 1,92 \times 10^{-2}$ )	
<b>Peso corporal (kg)</b>	- 0,55*	< 0,001
<b>Lugar de compra/adquisición del hígado de res</b>		0,665
Mercado local o feria	$2,04 \times 10^{-3}$ ( $1,88 \times 10^{-3} - 2,23 \times 10^{-3}$ )	
Camal	$2,17 \times 10^{-3}$ ( $1,93 \times 10^{-3} - 1,58 \times 10^{-2}$ )	
Faenado propio	$2,29 \times 10^{-3}$ ( $1,91 \times 10^{-3} - 3,38 \times 10^{-3}$ )	

**Fuente:** Resultado de software estadístico STATA versión 18.

**RIC:** percentil 25 – percentil 75

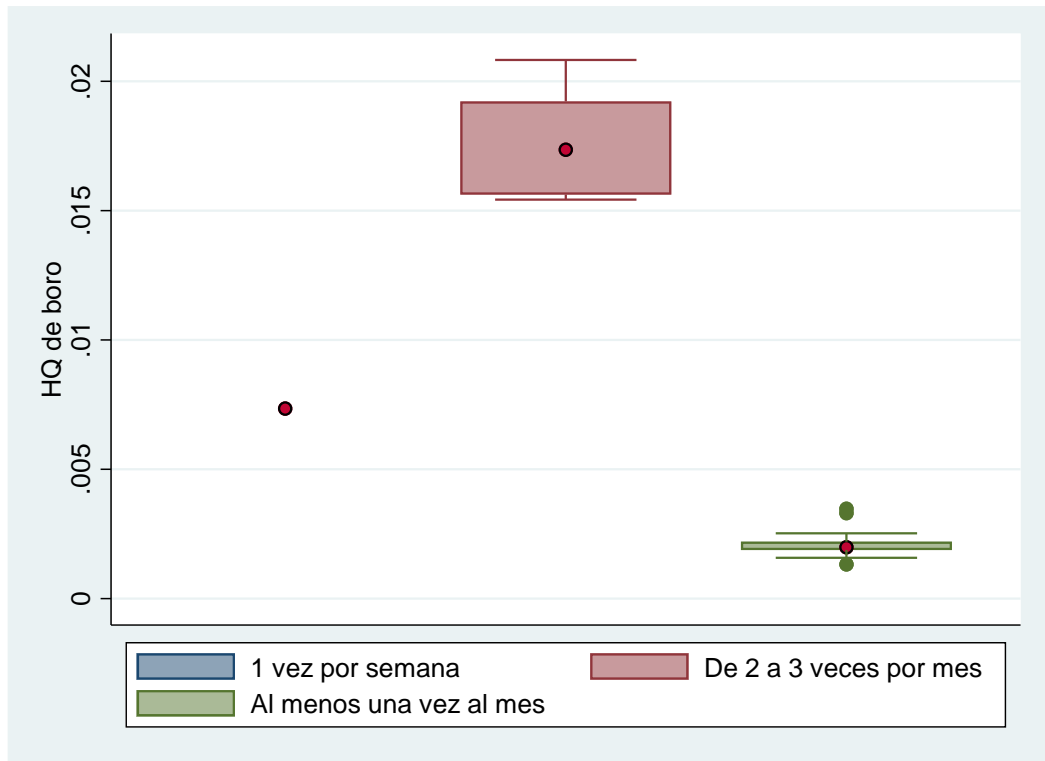
\* Rho de Spearman

### **Interpretación:**

En la población estudiada de Candarave ( $n = 41$ ), quienes consumen hígado de res 2 – 3 veces al mes y quienes ingieren  $\geq 300$  g por ocasión presentan valores de HQ para boro significativamente mayores que sus respectivos grupos de comparación ( $p < 0,001$ ). Aun así, ningún valor individual de HQ superó el umbral de 1, por lo que no se anticipa riesgo para la población bajo estos patrones de consumo.

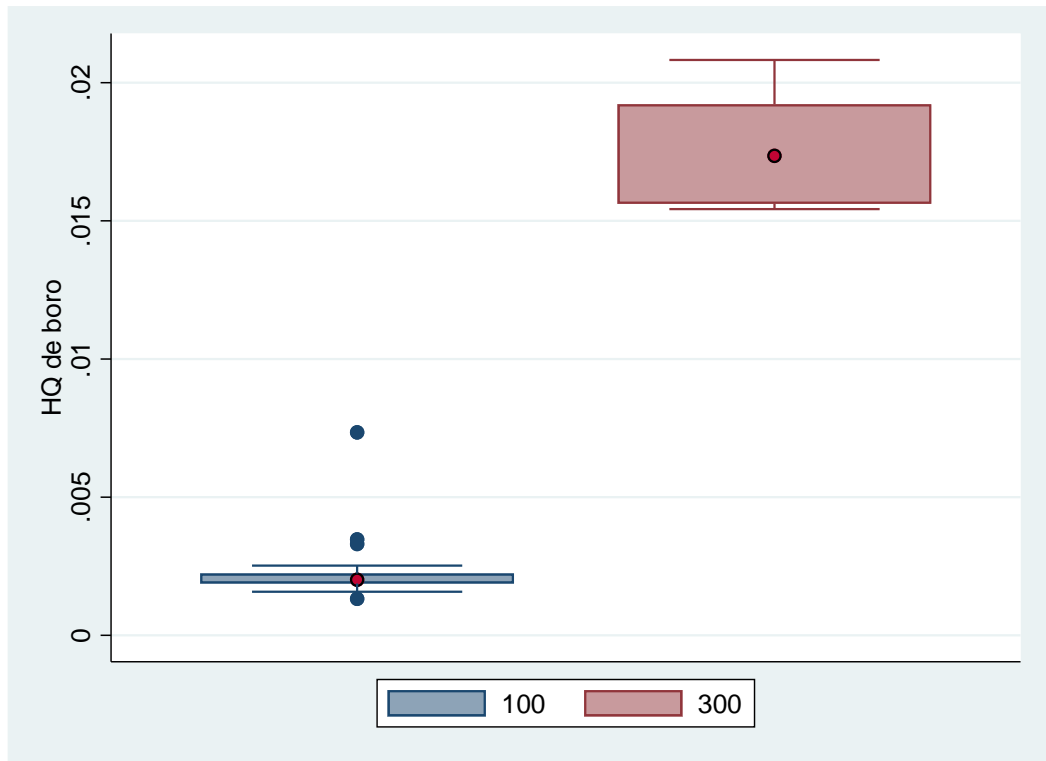
En cuanto al peso corporal, se observó una correlación inversa y significativa entre peso y HQ ( $Rho = -0,55$ ;  $p < 0,001$ ), indicando que, a menor peso, mayor HQ.

Finalmente, el lugar de compra/adquisición del hígado (mercado local vs. faena propia) no mostró diferencias en el HQ por boro (valor  $p > 0,05$ ).



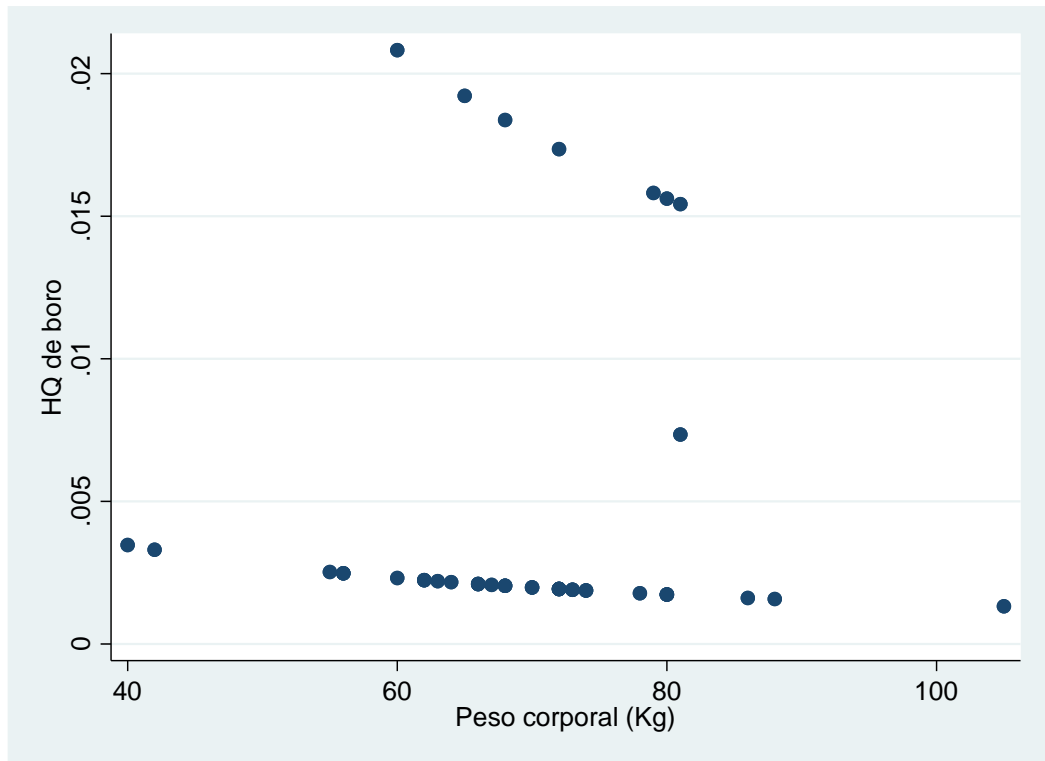
**Gráfico 18.** Índice de riesgo (HQ) por boro según la frecuencia de consumo de los hígados de res por los pobladores evaluados.

**Fuente:** Tabla 22.



**Gráfico 19.** Índice de riesgo (HQ) por boro según la cantidad de consumo de los hígados de res por los pobladores evaluados.

**Fuente:** Tabla 22.

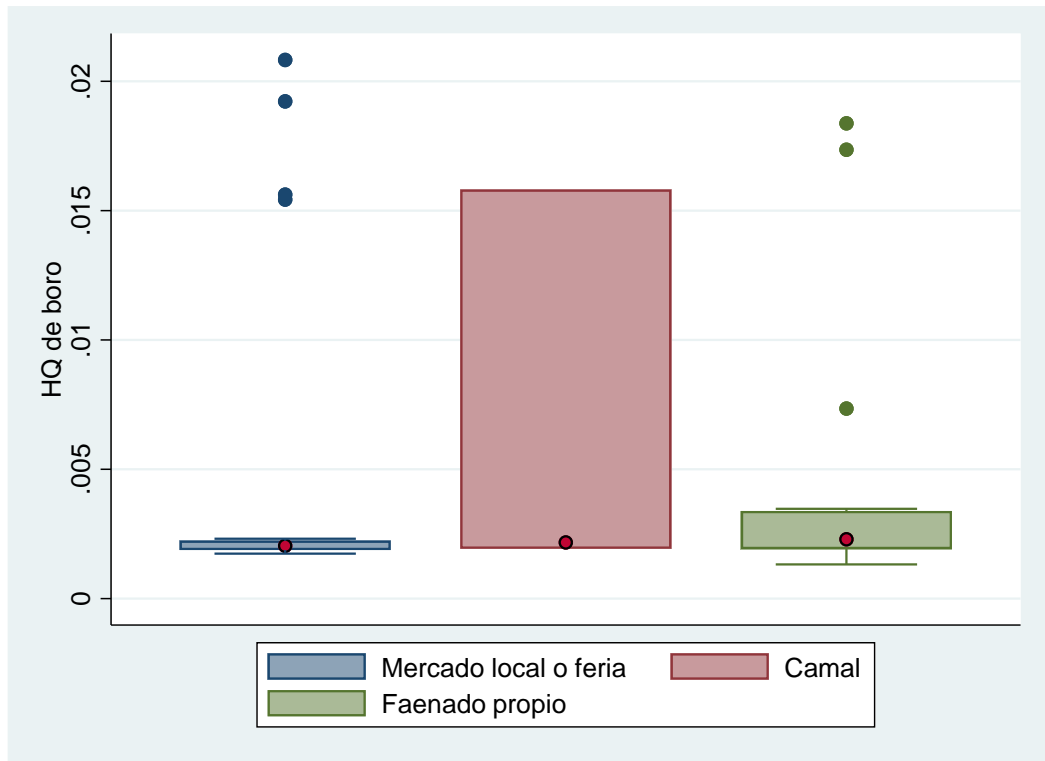


**Gráfico 20.** Correlación del índice de riesgo toxicológico de boro por consumo de hígado de res y peso corporal de los pobladores evaluados.

**Fuente:** Tabla 22.

**Interpretación:**

En el gráfico se aprecia una relación inversa entre el peso corporal y el HQ por boro: a mayor peso, menor HQ.



**Gráfico 21.** Índice de riesgo (HQ) por boro según el lugar de compra o de adquisición de los hígados por los pobladores evaluados.

**Fuente:** Tabla 22.

#### **4.5.5. Riesgo toxicológico de arsénico según concentraciones de arsénico en orina de los pobladores evaluados**

##### **a) Formulación de hipótesis**

**Hipótesis nula (H<sub>0</sub>):** El riesgo toxicológico de arsénico no es diferente según las concentraciones de arsénico en orina de los pobladores de la provincia de Candarave, Tacna – 2025.

**Hipótesis alterna (H<sub>a</sub>):** El riesgo toxicológico de arsénico es diferente según las concentraciones de arsénico en orina de los pobladores de la provincia de Candarave, Tacna – 2025.

##### **b) Elección de pruebas estadística y límite de significancia**

- Prueba de Spearman con un valor de significancia de 5 % o 0,05.

##### **c) Obtención de valor-p e interpretación**

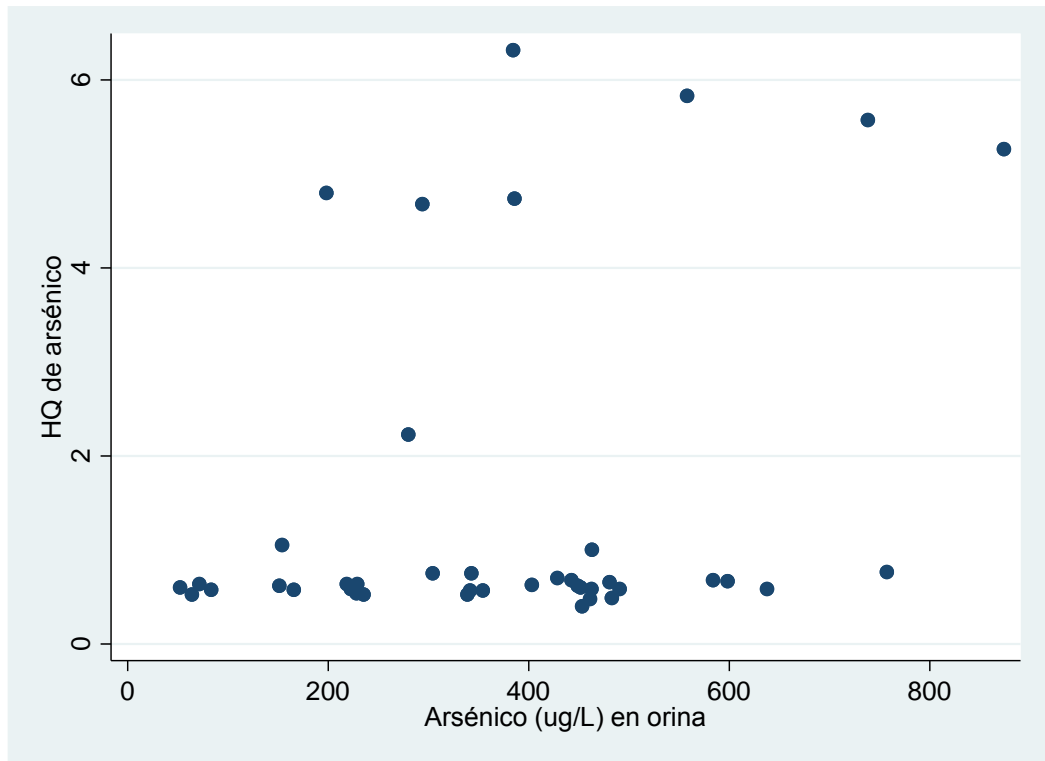
**Tabla 23.** Riesgo toxicológico de arsénico por consumo de hígado de res según las concentraciones de arsénico en orina de los pobladores evaluados.

Correlación	Rho de Spearman	Valor-p
Arsénico en orina e Índice de riesgo (HQ)	0,21	0,193

**Fuente:** Resultado de software estadístico STATA versión 18

#### **Interpretación:**

Tras aplicar Spearman, se obtuvo coeficiente Rho = 0,21, lo que sugiere una correlación positiva débil entre la concentración de arsénico en orina y el HQ. Sin embargo, con un valor  $p = 0,193$  no se rechaza la hipótesis nula, por lo que no hay evidencia de una asociación monotónica estadísticamente significativa entre ambas variables en esta muestra.



**Gráfico 22.** Correlación del índice de riesgo de arsénico por consumo de hígado de res y las concentraciones de arsénico en orina de los pobladores evaluados.

**Fuente:** Tabla 23.

**Interpretación:**

En el gráfico de dispersión no se aprecia una tendencia definida de los puntos, por lo que no se evidencia una correlación entre ambas variables.

## DISCUSIÓN

La presente investigación cuantificó las concentraciones de Arsénico y Boro en hígado bovino faenado en el distrito de Candarave y estimó la exposición humana mediante la ingesta diaria estimada y el índice de riesgo toxicológico (*hazard quotient*, HQ) asociado al consumo habitual de hígado de res. El distrito concentra la mayor población de la provincia y actúa como nodo de distribución de vísceras de bovinos, ovinos y aves hacia mercados locales, por lo que el hígado bovino constituye una matriz alimentaria clave para evaluar la contribución de la cadena pecuaria al riesgo por As y B.

Asimismo, la elección de Candarave se sustenta en un contexto hidro-geoquímico bien documentado. Dado que, diversas investigaciones han mostrado que varias cuencas de Tacna presentan aguas subterráneas con niveles de As y B que superan los límites recomendados por la OMS y la normativa peruana, especialmente en sistemas de riego y agua de consumo en cuencas altoandinas y áridas. En la misma provincia, estudios de arsénico urinario en Cairani y Camilaca evidenciaron medianas de 601,6 y 30,2  $\mu\text{g/g}$  creatinina, respectivamente, con 80 – 100 % de la población por encima del valor de referencia de toxicidad de 20  $\mu\text{g/g}$  creatinina,

confirmando una exposición crónica intensa al As en la zona <sup>42</sup>. De forma complementaria, en el distrito de Candarave se han descrito concentraciones medias de As urinario cercanas a 87 µg/g creatinina, también superiores al valor biológico de referencia <sup>71</sup>. Este escenario justifica la evaluación de matrices alimentarias de origen local para entender mejor la contribución de la ganadería a la carga de exposición.

Así, en las 20 muestras de hígado bovino analizadas, la concentración media de As fue  $0,76 \pm 0,53$  mg/kg (peso húmedo), con marcada heterogeneidad (percentil 75 = 0,90 mg/kg y un máximo de 2,42 mg/kg). Aunque el promedio se sitúa por debajo del valor orientador de 1,0 mg/kg propuesto en la normativa de MERCOSUR para vísceras, los valores máximos indican bioacumulación relevante en un subconjunto de animales. Este patrón contrasta con lo descrito como niveles de “fondo” en bovinos de regiones sin exposición significativa, donde las concentraciones en hígado suelen situarse en el orden de decenas de µg/kg (0,01 – 0,05 mg/kg). Estudios en España reportaron medias geométricas de As en hígado bovino alrededor de 10 µg/kg (0,01 mg/kg) , muy por debajo de 0,1 mg/kg, incluso en zonas con presencia de metales en pasturas <sup>36</sup>. En Argentina, en el sudeste de Córdoba — una de las áreas con hidroarsenicismo más estudiadas de la región—, se han encontrado niveles

de As en hígado entre 27 y 46,5 ng/g (0,027–0,0465 mg/kg) y en riñón entre 24 y 73,2 ng/g, también inferiores a 0,1 mg/kg, pese a la exposición de los animales a aguas subterráneas arsenicales <sup>35</sup>. Estudios más recientes en la Pampa argentina, que incluyen zonas naturalmente contaminadas, confirman que la mayoría de hígados y riñones bovinos cumplen las guías de seguridad alimentaria, con valores que rara vez superan algunas décimas de mg/kg y con índices de riesgo por debajo de 1 <sup>73</sup>.

En contraste, investigaciones en Egipto han documentado escenarios más extremos, con promedios de As en hígado bovino cercanos a 6 mg/kg y alta proporción de muestras que exceden límites regulatorios más estrictos, como el estándar Chino de 0,5 mg/kg <sup>28</sup>. En ese contexto, Candarave se ubica en una situación intermedia, dado que el promedio hepático es menor que el reportado en estudios egipcios, pero supera de manera consistente los niveles observados en series europeas y latinoamericanas típicamente consideradas como “de fondo”, y un porcentaje no despreciable de muestras supera el límite chino si se adopta ese referente.

Complementariamente, el presente estudio evaluó las concentraciones de As urinario en 41 muestras de pobladores de Candarave. Se obtuvo una concentración media de arsénico de  $373,54 \pm 193,27 \mu\text{g/L}$ , con un rango de 52,30 a 873,90  $\mu\text{g/L}$ . Este promedio supera en torno a ocho veces el valor de referencia de 50  $\mu\text{g/L}$  establecido por el Ministerio de Salud (MINSA), y todas las muestras se ubicaron por encima de dicho umbral. Estos hallazgos confirman un escenario de exposición humana intensa y generalizada al As, consistente con la clasificación de la provincia como área de riesgo crónico, y sugieren que la carga corporal de arsénico en la población refleja múltiples vías de exposición (principalmente agua de consumo y otros alimentos, además de las vísceras). Asimismo, este resultado ratifica los hallazgos locales publicados por Ale-Mauricio et al.<sup>42</sup> y Pérez<sup>74</sup>.

En relación a los resultados de B en hígado bovino, estos fueron notablemente homogéneos ( $7,08 \pm 0,98 \text{ mg/kg}$ , peso húmedo), con un rango de 5,28 – 8,06  $\text{mg/kg}$ . Incluso el valor mínimo supera de forma amplia el valor orientativo alimentario ( $\sim 0,23 \text{ mg/kg}$  para hígado de res) derivado de compilaciones toxicológicas internacionales. Comparativamente, en Nigeria se han descrito concentraciones de B de 0,1 – 0,3  $\text{mg/kg}$  en hígado, riñón y músculo de bovinos, ovinos y caprinos, valores que son dos órdenes

de magnitud menores a los hallados en Candarave <sup>30</sup>. La literatura indica que, en condiciones habituales, el hígado no es un órgano preferente de depósito de B, debido a que este elemento tiende a distribuirse de manera amplia en tejidos blandos, con acumulación mayor en hueso y eliminación predominante por vía urinaria, de modo que las concentraciones en vísceras suelen ubicarse en el rango de 0,1 – 0,3 mg/kg <sup>75</sup>. La combinación de niveles hepáticos consistentemente elevados y un contexto hidrogeológico rico en B sugiere una exposición sostenida del ganado a fuentes ambientales (agua de bebida y forraje) análoga a la descrita en rebaños ubicados cerca de yacimientos o plantas de procesamiento de boratos en Turquía, donde se han observado incrementos de B en sangre y orina bovina sin necesariamente traducirse en efectos clínicos inmediatos <sup>76</sup>.

Al convertir las concentraciones de As en hígado bovino a exposición humana, la ingesta diaria estimada promedio calculado fue  $8,82 \times 10^{-5} \pm 1,08 \times 10^{-4}$  mg/kg. día y el HQ-As medio  $1,47 \pm 1,80$ , con un rango de 0,40 a 6,32. Estos valores indican que, aunque aproximadamente el 75 % de los participantes se ubica por debajo del umbral convencional de preocupación (HQ < 1), existe un subconjunto con HQ > 1. Este grupo se concentra en personas que reportan porciones grandes de hígado ( $\geq 300$  g por ocasión)

y una frecuencia de consumo de 2 – 3 veces al mes, especialmente en individuos con menor peso corporal. Este comportamiento es coherente con la estructura del modelo de exposición (dosis proporcional a concentración y porción, e inversamente proporcional al peso) y con evaluaciones internacionales que muestran que el consumo frecuente de vísceras de animales expuestos puede empujar el HQ por encima de 1, incluso cuando el promedio poblacional se mantiene por debajo del umbral, como se ha descrito para carne y vísceras de pequeños rumiantes en zonas arsenicales de Asia y África <sup>77,78</sup>.

Comparados con la literatura internacional, los HQ-As estimados para Candarave se sitúan en la parte alta del espectro reportado para hígado bovino. En estudios europeos y latinoamericanos donde las concentraciones hepáticas rondan 0,03 – 0,07 mg/kg, los HQ calculados para adultos suelen ser inferiores a 1 bajo escenarios de consumo estándar <sup>36</sup>. Incluso en series egipcias con niveles analíticos elevados de As en hígado, el riesgo promedio estimado no siempre supera el umbral de 1 cuando se asumen porciones moderadas y pesos corporales típicos de adultos <sup>29,80</sup>. La diferencia con Candarave se explica tanto por la presencia de concentraciones hepáticas relativamente altas en una fracción de las

muestras como por patrones culturales de consumo de vísceras que amplifican la exposición en subgrupos específicos.

Para B, la IDE derivada del hígado ( $\approx 8,2 \times 10^{-4}$  mg/kg día) fue baja en términos toxicológicos y el HQ-B resultó marcadamente inferior a 1 en todos los participantes. Aunque las concentraciones hepáticas de B son elevadas en comparación con otros países, la contribución de esta víscera a la ingesta total es muy limitada, tanto por la porción como por la baja frecuencia de consumo. Organismos internacionales como la OMS, la EFSA y la ATSDR han establecido valores de referencia para B en el rango de 0,1 – 0,2 mg/kg día como ingesta tolerable o valor guía<sup>31,80</sup>, por lo que la IDE-B observada en Candarave representa menos del 1 % del umbral en el promedio y alrededor del 2 % en el escenario de mayor consumo. En consecuencia, todos los HQ-B individuales se mantuvieron muy lejos del punto de preocupación sanitaria. Esta “aparente paradoja” —niveles tisulares altos sin riesgo dietario relevante— subraya la importancia de distinguir entre exposición ambiental del ganado (que amerita vigilancia en origen) y riesgo humano real según patrones de consumo.

En cuanto a la influencia de características sociodemográficas en el índice de riesgo, se encontró que las mujeres presentaron HQ-As algo mayores que los hombres (0,61 frente 0,68), aunque sin significación estadística ( $p = 0,271$ ), lo que es esperable dada la menor masa corporal promedio para una misma porción y concentración. La literatura sobre evaluación de riesgo por metales en alimentos coincide en mostrar HQ más altos en subgrupos de menor peso (niños, mujeres de bajo peso) cuando no se ajustan las porciones, mientras que las diferencias por sexo tienden a atenuarse al controlar por peso o ingesta <sup>35,79</sup>. En cuanto a la edad, los participantes de mayor edad mostraron HQ algo más elevados, pero las diferencias no fueron concluyentes ( $p = 0,548$ ), lo cual es coherente con la naturaleza transversal del HQ, que resume la dosis “actual” sin incorporar explícitamente la historia de exposición.

Donde la edad y, sobre todo, los años de residencia cobran mayor relevancia es en el riesgo cancerígeno, porque la duración de la exposición se integra explícitamente en el modelo. La experiencia de la Región II de Chile (Antofagasta) ilustra este fenómeno: estudios ecológicos y de cohortes han demostrado que décadas de consumo de agua con altas concentraciones de As se traducen en incrementos marcados de mortalidad por cáncer de vejiga y pulmón, con riesgos relativos que superan

3 – 6 veces los de regiones no expuestas y con latencias que se prolongan décadas aun después de mejorar la calidad del agua <sup>81,82</sup>. En ese marco, dos individuos con HQ-As similares en un corte transversal pueden tener riesgos acumulados muy distintos si uno de ellos ha residido la mayor parte de su vida en una zona con aguas arsenicales, como ocurre en buena parte de la población de Candarave. La evidencia en Tacna, que incluye estudios de arsénico urinario y de exposición crónica por agua de consumo en distintos distritos rurales, refuerza la idea de una exposición multivía y de larga duración que no se refleja completamente en un HQ instantáneo basado solo en el consumo de hígado <sup>42</sup>.

También se evaluó si el HQ-As era dependiente de los valores de arsénico urinario, sin embargo, no se evidenció una correlación estadísticamente significativa ( $p = 0,193$ ). Esta ausencia de correlación no implica que el consumo de hígado no contribuya a la carga corporal de As, sino que su peso relativo parece menor frente a otras fuentes más constantes e intensas, como el agua para consumo humano. Además, el arsénico urinario refleja fundamentalmente la exposición reciente integrada de todas las vías (por ejemplo; agua, otros alimentos y ocupación), mientras que el HQ calculado en este estudio captura un escenario específico de exposición dietaria asociado a una sola matriz (hígado de res), con

frecuencia de consumo relativamente baja y variable. A ello se suman las limitaciones de tamaño muestral y las diferencias temporales entre la ingesta recordada de hígado y el momento de la toma de muestra de orina. En conjunto, estos elementos ayudan a explicar por qué la variabilidad del As urinario no se distribuye linealmente con el HQ-As derivado solo del hígado, aun cuando formaría parte del “conjunto” de exposiciones que contribuye al biomarcador.

En la presente investigación también se consideró importante explorar los antecedentes clínicos y la sintomatología presentada por los pobladores evaluados, que podrían estar relacionados a la exposición por arsénico. En ese sentido, los pobladores evaluados de Candarave refirieron con mayor frecuencia cansancio crónico o debilidad (29,63 %), trastornos digestivos recurrentes (21,48 %) y caída de cabello (22,96 %). Estos hallazgos son compatibles con manifestaciones inespecíficas descritas en escenarios de exposición crónica a arsénico, donde suelen reportarse con mayor prevalencia debilidad, cefalea, anemia y síntomas gastrointestinales, además de efectos cutáneos y neurológicos en exposiciones sostenidas<sup>83,84</sup>. Sin embargo, por su naturaleza inespecífica, estas manifestaciones también pueden explicarse por múltiples causas no toxicológicas

(comorbilidades, dieta, infecciones, estrés, condiciones laborales), por lo que deben interpretarse con cautela.

Respecto a la caída de cabello, la evidencia disponible muestra que el arsénico puede producir alteraciones en piel y anexos (cabello y uñas) en cuadros de intoxicación y en arsenicismo crónico, aunque no es un hallazgo patognomónico ni exclusivo <sup>85</sup>. En el contexto peruano, existen reportes clínicos de arsenicismo por exposición ambiental (debido a relaves mineros) que documentan compromiso de piel y anexos como parte del espectro clínico, lo que respalda la plausibilidad biológica de este tipo de manifestaciones en poblaciones expuestas <sup>86</sup>. Aun así, en este estudio dichos síntomas fueron autorreferidos y no acompañados de una evaluación dermatológica/tricológica estandarizada, por lo que no es posible atribuirlos causalmente a la exposición.

Los datos sobre la alta proporción de pobladores que refirió gastritis (36,23 %) e hígado graso (37,68 %) deben analizarse en un marco de multicausalidad. Por un lado, la exposición crónica a arsénico se ha asociado con síntomas gastrointestinales y con alteraciones metabólicas; incluso, estudios poblacionales han encontrado asociaciones entre

exposición (biomarcadores urinarios) y mayor probabilidad de esteatosis hepática no alcohólica (NAFLD), y la evidencia experimental respalda mecanismos como estrés oxidativo y disrupción del metabolismo lipídico<sup>84,87</sup>. Por otro lado, “gastritis” e “hígado graso” autorreportados pueden reflejar diagnósticos previos no verificables o síntomas interpretados como tales, y dependen fuertemente de confirmación clínica (historia médica, endoscopía si corresponde, ecografía, perfil hepático/metabólico). Además, dado que el HQ por boro fue consistentemente  $< 1$ , la probabilidad de que el consumo de hígado explique estos cuadros por esta vía es baja; en humanos, los efectos por ingesta de boro a dosis elevadas se describen principalmente como gastrointestinales, pero no se infieren a partir de los niveles de exposición dietaria estimados en Candarave.

En suma, los resultados de Candarave son coherentes con un escenario de exposición crónica multivía a As —con una contribución no trivial de la cadena pecuaria a través del consumo de hígado en subgrupos de alto consumo— y con una exposición a B relevante para el ganado, pero de baja implicancia toxicológica para la población en cuanto al consumo de esta víscera. La integración de las evidencias de hígado bovino y arsénico urinario refuerza la idea de que el agua y otros alimentos constituyen las principales fuentes de exposición humana, mientras que el hígado actúa

como un contribuyente adicional, particularmente relevante para ciertos patrones de consumo.

Finalmente, aunque la mayoría de los pobladores presentó un HQ-As < 1 asociado al consumo de hígado, ello no equivale a ausencia de riesgo. El HQ es una métrica de riesgo no cancerígeno, estática y centrada en un escenario de exposición específico y no captura la acumulación de dosis a lo largo de la vida ni la suma de otras fuentes de exposición. En una provincia con altas concentraciones de As y B en agua, forrajes y con biomarcadores urinarios sistemáticamente elevados, los hallazgos de este estudio respaldan la necesidad de evaluaciones integradas que incorporen especiación de As en vísceras, biomonitoreo urinario seriado y modelos de riesgo cancerígeno que consideren años de residencia y múltiples vías de exposición, así como intervenciones en la fuente (mejoras en agua de bebida y manejo de forrajes) para reducir la carga total de exposición en la población.

## CONCLUSIONES

**PRIMERA:** En 40 muestras de hígado bovino de Candarave, la concentración media de arsénico fue  $0,76 \pm 0,53$  mg/kg (peso húmedo), por debajo del referente operativo de 1,0 mg/kg (MERCOSUR). En cambio, el boro mostró una media de  $7,08 \pm 0,98$  mg/kg, superior al valor referencial reportado por ATSDR (0,23 mg/kg), hasta es superior el valor mínimo observado (5,28 mg/kg). Por otra parte, en la población evaluada, el HQ por arsénico promedio fue de  $1,47 \pm 1,80$  y el 24,39 % presentó  $HQ \geq 1$ , sugiriendo posible riesgo asociado al consumo de hígado; mientras que el HQ por boro fue bajo ( $4,84 \times 10^{-3} \pm 5,94 \times 10^{-3}$ ), sin evidencia de riesgo por esta vía.

**SEGUNDA:** En la muestra de residentes de Candarave ( $n = 41$ ) predominaron los hombres (53,66 %) y las personas de 61 años o más (53,66 %). El 65,85 % vive en la zona >31 años. La agricultura es la actividad principal (78,05 %). En cuanto el nivel educativo, la mayoría cuenta con primaria (46,34 %) o secundaria (41,46 %).

Referente a los hábitos de consumo, 80,49 % se reportó que comían hígado de res al menos una vez al mes, por lo que no es un alimento muy frecuente. La porción típica es 100 g ( $\approx$  un filete mediano). Sobre el origen del alimento, 53,66 % lo compra en el mercado local y 39,02 % proviene de crianza y faena propia.

**TERCERA:** Los pobladores evaluados de Candarave reportaron con mayor frecuencia cansancio crónico o debilidad (29,63 %), caída de cabello (22,96 %) y trastornos digestivos recurrentes (21,48 %). Además, una proporción importante indicó antecedente de gastritis (36,23 %) y hígado graso (37,68 %).

**CUARTA:** En las 41 muestras de orina analizadas de pobladores de la provincia de Candarave, la concentración media de arsénico fue  $373,54 \pm 193,27 \mu\text{g/L}$ . Este promedio supera en torno a ocho veces el valor de referencia de  $50 \mu\text{g/L}$  establecido por el Ministerio de Salud (MINSA).

**QUINTA:** El riesgo por Arsénico y Boro no mostró diferencias significativas según las características sociodemográficas de los pobladores de la provincia de Candarave (Tacna, 2025) —incluyendo sexo, edad, nivel educativo, ocupación, tampoco muestra diferencia significativa el lugar de adquisición del hígado de res. En cambio, el riesgo sí depende de las características de alimentación (tamaño de porción y frecuencia de consumo) y del peso corporal.

## RECOMENDACIONES

**PRIMERA:** Reproducir la metodología del presente estudio en Candarave, con la finalidad de realizar análisis de sensibilidad a los parámetros obtenidos. Es importante ajustar los resultados con la especiación de Arsénico, y diferenciar el riesgo estimado según la forma química del arsénico (inorgánico vs orgánico).

**SEGUNDA:** Reforzar la caracterización de la exposición humana a Arsénico y Boro mediante la inclusión de biomarcadores más exactos y dieta. Por ejemplo, reportar el arsénico urinario en  $\mu\text{g/L}$  con corrección por creatinina o densidad (de acuerdo a la normativa peruana) y, de ser posible, incorporar boro urinario permitirá cerrar el circuito exposición–carga corporal. Complementariamente, encuestas dietarias específicas (frecuencia de consumo y porción real de hígado y otras vísceras) y mediciones repetidas en el tiempo captarán la variabilidad intraindividual.

**TERCERA:** De acuerdo con los resultados del presente estudio, se recomienda establecer orientaciones sobre porciones y frecuencia de consumo de hígado bovino, especialmente en poblaciones vulnerables con bajo peso corporal, como niños, gestantes y adultos mayores, con el fin de reducir la exposición potencial a metales como arsénico y boro. Asimismo, se sugiere fortalecer la vigilancia sanitaria de vísceras comercializadas en mataderos y mercados locales, mediante controles periódicos de contaminantes.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Azeez N. Bioaccumulation and phytoremediation of some heavy metals (Mn, Cu, Zn and Pb) by bladderwort and duckweed. *Biodiversitas Journal of Biological Diversity* [Internet]. 4 de mayo de 2021 [citado 15 de abril de 2025];22(5). Disponible en: <https://smujo.id/biodiv/article/view/8155>
2. Toxicological profile for arsenic. [citado 15 de abril de 2025]; Disponible en: <https://wwwn.cdc.gov/TSP/ToxProfiles/ToxProfiles.aspx?id=22&tid=3>
3. Rivera A, Samaniego P, Vela J, Le J. Geología y evaluación de peligros del Complejo Volcánico Yucamane - Calientes (Candarave - Tacna) - [Boletín C 65]. Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico – INGEMMET [Internet]. octubre de 2018 [citado 15 de abril de 2025]; Disponible en: <https://repositorio.ingemmet.gob.pe/handle/20.500.12544/1879>
4. Alvarez-Blacio A, Alvitres-Medina C, Castro C, Verdugo J, Pérez-González A, Dolores TM, et al. Characterization of the content of anions and metals in potatoes, tomatoes, and onions marketed in Cuenca, Ecuador to obtain a classification model. *Enfoque UTE*. 2022;13(4):47-59.
5. Jomova K, Jenisova Z, Feszterova M, Baros S, Liska J, Hudecova D, et al. Arsenic: toxicity, oxidative stress and human disease. *Journal of Applied Toxicology*. 2011;31(2):95-107.
6. Jomova K. et al. Arsénico: toxicidad, estrés oxidativo y enfermedades humanas. [citado 27 de octubre de 2025]. (PDF) Arsénico: toxicidad,

estrés oxidativo y enfermedades humanas. Disponible en:  
[https://www.researchgate.net/publication/49836886\\_Arsenic\\_Toxicity\\_oxidative\\_stress\\_and\\_human\\_disease](https://www.researchgate.net/publication/49836886_Arsenic_Toxicity_oxidative_stress_and_human_disease)

7. Boro (EHC 204, 1998) [Internet]. [citado 27 de octubre de 2025]. Disponible en: <https://www.inchem.org/documents/ehc/ehc/ehc204.htm>
8. HEALTH EFFECTS. En: Toxicological Profile for Boron [Internet]. Agency for Toxic Substances and Disease Registry (US); 2010 [citado 25 de agosto de 2025]. Disponible en: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK599075/>
9. Morales-Simfors N, Bundschuh J, Herath I, Inguaggiato C, Caselli AT, Tapia J, et al. Arsenic in Latin America: A critical overview on the geochemistry of arsenic originating from geothermal features and volcanic emissions for solving its environmental consequences. Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico – INGEMMET [Internet]. mayo de 2020 [citado 26 de abril de 2025]; Disponible en: <https://repositorio.ingemmet.gob.pe/handle/20.500.12544/2632>
10. Resumen de Salud Pública: Boro (Boron) | PHS | ATSDR [Internet]. 2023 [citado 19 de abril de 2025]. Disponible en: [https://www.atsdr.cdc.gov/es/phs/es\\_phs26.html](https://www.atsdr.cdc.gov/es/phs/es_phs26.html)
11. Costa C. Reducción del contenido de arsénico a nivel permisible, mediante un reactor químico discontinuo (batch) en el agua de consumo del Distrito de Huanuara – Tacna. 2024 [citado 28 de octubre de 2025]; Disponible en: <https://repositorio.unjbg.edu.pe/handle/20.500.12510/4745>

12. Cornejo V, Machaca E. Evaluación de los efectos de la alteración hidrológica sobre la calidad del agua en el río Callazas Tacna, 2023. Universidad Privada de Tacna [Internet]. 3 de septiembre de 2025 [citado 28 de octubre de 2025]; Disponible en: <http://repositorio.upt.edu.pe/handle/20.500.12969/4371>
13. Desarrollo (INADE) IN de, Tacna (PET) PE, Palza Arias-Barahona G, Zevallos Rojas R, Asillo Parari B. Evaluación hidrológica cuenca del río Sama. Autoridad Nacional del Agua [Internet]. 2001 [citado 26 de abril de 2025]; Disponible en: <https://repositorio.ana.gob.pe/handle/20.500.12543/3549>
14. Avendaño E, Briceño M, Cornejo L, Morales D, Ward N, Avendaño E, et al. Metales de valor añadido en los ríos salado ubicados en las cuencas Sama y Locumba (Región de Tacna - Perú) y su correlación con arsénico y boro. *Revista de la Sociedad Química del Perú*. julio de 2021;87(3):278-97.
15. Lehel J, Pleva D, Nagy A, Süth M, Kocsner T. Potential Metal Contamination in Foods of Animal Origin—Food Safety Aspects. *Applied Sciences*. enero de 2025;15(15):8468.
16. Das A, Joardar M, Chowdhury N, De A, Mridha D, Roychowdhury T. Arsenic toxicity in livestock growing in arsenic endemic and control sites of West Bengal: risk for human and environment. *Environ Geochem Health*. agosto de 2021;43(8):3005-25.
17. Varol M, Deliboran A, Aytop H, Ateş Ö. Boron contamination and related health risk assessment in the soils collected from olive groves in İzmir province, Türkiye. *Chemosphere*. diciembre de 2023;343:140210.

18. Guía Hidroarsenismo Crónico Regional Endémico (HACRE) : Salud y Deportes [Internet]. [citado 2 de junio de 2025]. Disponible en: <https://www.mendoza.gov.ar/salud/biblioteca/otras-guias/guia-hidroarsenismo-cronico-regional-endemico-hacre/>
19. Medina-Pizzali M, Robles P, Mendoza M, Torres C. Ingesta de arsénico: el impacto en la alimentación y la salud humana. *Revista Peruana de Medicina Experimental y Salud Pública*. enero de 2018;35(1):93-102.
20. Lillo D, Orellana S, Hernández J, Ramírez L, Carrasco S. Evaluación de riesgo en salud por exposición a arsénico en agua en localidades rurales de la de Región de Arica y Parinacota, Chile. *Revista Chilena de Salud Pública*. 31 de diciembre de 2024;29:e74458.
21. About IARC [Internet]. [citado 30 de octubre de 2025]. Disponible en: [https://www.iarc.who.int/cards\\_page/about-iarc](https://www.iarc.who.int/cards_page/about-iarc)
22. Resolución Ministerial N.º 168-2022-MINSA [Internet]. [citado 2 de junio de 2025]. Disponible en: <https://www.gob.pe/institucion/minsa/normas-legales/2793103-168-2022-minsa>
23. Dirección General de Calidad Ambiental [Internet]. [citado 30 de octubre de 2025]. Estándares de calidad ambiental. Disponible en: <https://www.minam.gob.pe/calidadambiental/estandares-de-calidad-ambiental/>
24. Landrigan P, Fuller R, Acosta N, Adeyi O, Arnold R, Basu N (Nil), et al. The Lancet Commission on pollution and health. *The Lancet*. 3 de febrero de 2018;391(10119):462-512.

25. Codex Alimentarius Commission Procedural Manual [Internet]. FAO; WHO; 2025 [citado 15 de abril de 2025]. Disponible en: <https://openknowledge.fao.org/handle/20.500.14283/cd4216en>
26. Willis J. Analysis of Biological Materials by Atomic Absorption Spectroscopy. En: Methods of Biochemical Analysis [Internet]. John Wiley & Sons, Ltd; 1963 [citado 15 de abril de 2025]. p. 1-67. Disponible en: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/9780470110294.ch1>
27. Fink A. How to Conduct Surveys: A Step-by-Step Guide. Sixth Edition. SAGE Publications Ltd (CA). SAGE Publications; 2016 ene.
28. El-Ghareb H, Sayed-Ahmed M, Abd-Elghany S, Zakaria A, Sallam K. Health risk assessment of toxic elements in imported beef livers in Egypt: Influence of cooking. *Journal of Food Composition and Analysis*. 1 de diciembre de 2025;148:108131.
29. Mushtaq A, Sajjad A, Ismail T, Ali O. Heavy metals accumulation in the meat, kidney and liver of cattle, broilers and goats sold in Quetta, northwestern city of Balochistan, Pakistan. *Br Poult Sci*. diciembre de 2024;65(6):740-50.
30. Emurotu J, Olawale O, Dallatu E, Obiyenwa G. Proximate Composition and Concentrations of Some Essential Heavy Metals in Liver, Kidney and Tissue Muscle of Cow, Ram, and Goat in Lokoja, Kogi State, Nigeria. *Journal of Applied Sciences and Environmental Management*. 2 de octubre de 2023;27(9):1937-44.
31. Dong S, Shi J, Liu Y, Qu Y, Zhao X, Liu F, et al. Boron Exposure Assessment of Desalinated Seawater on an Island in China. *Int J Environ Res Public Health*. 30 de enero de 2023;20(3):2451.

32. Yilmaz-Aksu, F; Tarhan, D; Sandikci-Altunatmaz, S; Pastaci-Ozsobaci, N; Barutcu, ub; o yo. niveles de arsénico, boro, níquel, silicio, cadmio, plomo y aluminio en desfiles de vacuno (hígado) y de pollo (hígado y corazón) comercializados en turquía [Internet]. 2018 [citado 21 de noviembre de 2025]. Disponible en: <https://hero.epa.gov/reference/5131212/>
33. Cortes S, Reynaga-Delgado E, Sancha A, Ferreccio C. Boron exposure assessment using drinking water and urine in the North of Chile. *Science of The Total Environment*. 1 de diciembre de 2011;410-411:96-101.
34. Concha G, Broberg K, Grandér M, Cardozo A, Palm B, Vahter M. High-Level Exposure to Lithium, Boron, Cesium, and Arsenic via Drinking Water in the Andes of Northern Argentina. *Environ Sci Technol*. 1 de septiembre de 2010;44(17):6875-80.
35. Pérez A, Pérez M, Fernandez A. Presencia de arsénico en tejidos de origen bovino en el sudeste de la provincia de Córdoba, Argentina. diciembre de 2010 [citado 5 de noviembre de 2025]; Disponible en: <https://ri.conicet.gov.ar/handle/11336/16165>
36. López M, Miranda M, Castillo C, Hernández J, Benedito J. Niveles de arsénico, cadmio, plomo, cobre y zinc en hígado, riñón y carne de ganado vacuno sacrificado en Galicia. *Eurocarne (España)* [Internet]. 2000 [citado 11 de abril de 2025];(86). Disponible en: <https://agris.fao.org/search/en/providers/122599/records/64775f8abc45d9ecdbc2d175>
37. Bellido O, Alca J. Concentración de metales pesados en el agua, suelo, forraje y vísceras de ovinos de tres lugares cercanos a una mina

cuprífera en Arequipa, Perú. En: ResearchGate [Internet]. [citado 18 de noviembre de 2025]. Disponible en: [https://www.researchgate.net/publication/334151196\\_Concentracion\\_de\\_metales\\_pesados\\_en\\_el\\_agua\\_suelo\\_forraje\\_y\\_visceras\\_de\\_ovinos\\_de\\_tres\\_lugares\\_cercanos\\_a\\_una\\_mina\\_cuprifera\\_en\\_Arequipa\\_Peru](https://www.researchgate.net/publication/334151196_Concentracion_de_metales_pesados_en_el_agua_suelo_forraje_y_visceras_de_ovinos_de_tres_lugares_cercanos_a_una_mina_cuprifera_en_Arequipa_Peru)

38. Huanqui R. Determinación de metales pesados en pastos, fibra, carne y vísceras de alpacas en comunidades del distrito de Ananea - Puno. 2018.
39. Ñaccha J, Aguilar W. Determinación cuantitativa de plomo, cadmio y arsénico en hígado de ganado bovino expendido en el mercado Ciudad de Dios – San Juan de Miraflores, durante el periodo mayo – agosto 2015. [citado 15 de abril de 2025]; Disponible en: <https://repositorio.uigv.edu.pe/item/4aa5120f-c893-4830-9726-4b8210795aa1>
40. Study of Arsenic Contamination in the Caplina Basin, Tacna, Peru: Arsenite and Arsenate Analysis Using Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometry and High-Performance Liquid Chromatography [Internet]. [citado 19 de abril de 2025]. Disponible en: [https://www.mdpi.com/2071-1050/17/2/611?utm\\_source=chatgpt.com](https://www.mdpi.com/2071-1050/17/2/611?utm_source=chatgpt.com)
41. Ccama D. Determinación de los niveles de arsénico en forraje y leche cruda de vaca en el Distrito de Cairani, Provincia de Candarave, Región Tacna. 2025 [citado 10 de julio de 2025]; Disponible en: <https://repositorio.unjbg.edu.pe/handle/20.500.12510/5008>

42. Ale D. Determinación de la exposición crónica a arsénico por consumo de agua de origen subterránea en pobladores adultos de dos localidades de la provincia de Candarave, Tacna. 2017 [citado 14 de abril de 2025]; Disponible en: <https://repositorio.unjbg.edu.pe/handle/20.500.12510/1041>
43. Venelogía [Internet]. 2025 [citado 27 de mayo de 2025]. Propiedades y beneficio antianémico del Hígado de Res. Disponible en: <https://www.venelogia.com/archivos/3499/>
44. Engormix [Internet]. [citado 15 de abril de 2025]. Fisiopatología del Hígado de las Vacas de Alta Producción. Disponible en: [https://www.engormix.com/micotoxinas/micotoxinas-produccion-leche/fisiopatologia-higado-vacas-alta\\_a26020/](https://www.engormix.com/micotoxinas/micotoxinas-produccion-leche/fisiopatologia-higado-vacas-alta_a26020/)
45. AyT BUAP - Los metales pesados en la historia de la humanidad, [Internet]. [citado 27 de mayo de 2025]. Disponible en: <https://www.aytbuap.mx/aytbuap-727/los-metales-pesados-en-la-historia-de-la-humanidad>
46. Impact of heavy metals on the environment and human health: Novel therapeutic insights to counter the toxicity [Internet]. CISPAC. [citado 27 de mayo de 2025]. Disponible en: <https://cispac.gal/en/publicacions/impact-of-heavy-metals-on-the-environment-and-human-health-novel-therapeutic-insights-to-counter-the-toxicity/>
47. Guía de práctica clínica para el diagnóstico y tratamiento de la intoxicación por arsénico: Guía técnica (R.M. N° 389-2011/MINSA) [Internet]. [citado 27 de mayo de 2025]. Disponible en:

<https://www.gob.pe/institucion/minsa/informes-publicaciones/321711-guia-de-practica-clinica-para-el-diagnostico-y-tratamiento-de-la-intoxicacion-por-arsenico-guia-tecnica-r-m-n-389-2011-minsa>

48. Gilbert-Diamond D, Li Z, Perry A, Spencer S, Gandolfi A, Karagas M. A Population-based Case–Control Study of Urinary Arsenic Species and Squamous Cell Carcinoma in New Hampshire, USA. *Environ Health Perspect.* octubre de 2013;121(10):1154-60.
49. Guías para la calidad del agua de consumo humano: Cuarta edición que incorpora la primera agenda [Internet]. [citado 6 de noviembre de 2025]. Disponible en: <https://www.who.int/es/publications/i/item/9789241549950>
50. US EPA O. Normas sobre el arsénico e información relacionada [Internet]. 2018 [citado 6 de noviembre de 2025]. Disponible en: <https://espanol.epa.gov/espanol/normas-sobre-el-arsenico-e-informacion-relacionada>
51. Reglamento de Calidad de Agua para Consumo Humano | SINIA [Internet]. [citado 6 de noviembre de 2025]. Disponible en: <https://sinia.minam.gob.pe/documentos/reglamento-calidad-agua-consumo-humano>
52. ResearchGate [Internet]. [citado 29 de mayo de 2025]. (PDF) Intoxicación por arsénico. Disponible en: [https://www.researchgate.net/publication/366529384\\_Intoxicacion\\_por\\_arsenico](https://www.researchgate.net/publication/366529384_Intoxicacion_por_arsenico)

53. Ramírez A. Exposición ocupacional y ambiental al arsénico: actualización bibliográfica para investigación científica. Anales de la Facultad de Medicina. julio de 2013;74(3):237-48.
54. Arsénico (Arsenic): CAS#: 7440-38-2. [citado 29 de mayo de 2025]; Disponible en: <https://stacks.cdc.gov/view/cdc/47575>
55. Allende V. Evaluación de riesgo toxicológico al arsénico por consumo de arroz pulido expendido en el mercado productores de Santa Anita – Lima, Perú 2020. 2021.
56. Flores E. Determinación de arsénico, por absorción atómica, en agua de consumo humano proveniente de SEDAPAL, de cisterna y de pozo del distrito de Puente Piedra. 2009.
57. González-Martínez F, Sánchez-Rodas D, Varela N, Sandoval C, Quiñones LA, Johnson-Restrepo B. As3MT and GST Polymorphisms Influencing Arsenic Metabolism in Human Exposure to Drinking Groundwater. International Journal of Molecular Sciences. enero de 2020;21(14):4832.
58. Wei S, Zhang H, Tao S. A review of arsenic exposure and lung cancer. Toxicol Res (Camb). 23 de enero de 2019;8(3):319-27.
59. Ramírez A. Exposición ocupacional y ambiental al arsénico: actualización bibliográfica para investigación científica. Anales de la Facultad de Medicina. julio de 2013;74(3):237-48.
60. Sinche L. Determinación de plomo, cadmio y arsénico en carne de pollo expendido en el mercado de Caquetá - San Martín de Porres. Lima -

Perú. Noviembre del 2020. 10 de agosto de 2023 [citado 15 de abril de 2025]; Disponible en: <https://hdl.handle.net/20.500.13053/10434>

61. Hughes M. Arsenic toxicity and potential mechanisms of action. *Toxicology Letters*. 7 de julio de 2002;133(1):1-16.
62. Marchetti M, Tomac A, Perez S, Marchetti M, Tomac A, Perez S. Perfil De Riesgo Para La Inocuidad De Alimentos: Presencia De Arsénico En Argentina. *Revista Argentina de Salud Pública*. febrero de 2021;13:191-200.
63. Towards an assessment of the socioeconomic impact of arsenic poisoning in Bangladesh [Internet]. [citado 5 de noviembre de 2025]. Disponible en: <https://www.who.int/publications/i/item/WHO-SDE-WSH-00.4>
64. CHEMICAL AND PHYSICAL INFORMATION. En: *Toxicological Profile for Boron* [Internet]. Agency for Toxic Substances and Disease Registry (US); 2010 [citado 27 de octubre de 2025]. Disponible en: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK599080/>
65. Visualización de documentos | NEPIS | EPA de EE. UU. [Internet]. [citado 28 de octubre de 2025]. Disponible en: <https://nepis.epa.gov/Exe/ZyNET.exe/P1006CK9.TXT?ZyActionD=ZyDocument&Client=EPA&Index=2000+Thru+2005&Docs=&Query=&Time=&EndTime=&SearchMethod=1&TocRestrict=n&Toc=&TocEntry=&QField=&QFieldYear=&QFieldMonth=&QFieldDay=&IntQFieldOp=0&ExtQFieldOp=0&XmlQuery=&File=D%3A%5Czyfiles%5CIndex%20Data%5C00thru05%5CTxt%5C00000023%5CP1006CK9.txt&User=ANONYMOUS&Password=anonymous&SortMethod=h%7C->

&MaximumDocuments=1&FuzzyDegree=0&ImageQuality=r75g8/r75g8/x150y150g16/i425&Display=hpfr&DefSeekPage=x&SearchBack=ZyActionL&Back=ZyActionS&BackDesc=Results%20page&MaximumPages=1&ZyEntry=1&SeekPage=x&ZyPURL

66. US EPA Search [Internet]. [citado 6 de noviembre de 2025]. Disponible en:

[https://search.epa.gov/epasearch/?querytext=EPA+%28USA%29%092.4+mg%2F&areaname=&areacontacts=&areasearchurl=&typeofsearch=epa&result\\_template=#/](https://search.epa.gov/epasearch/?querytext=EPA+%28USA%29%092.4+mg%2F&areaname=&areacontacts=&areasearchurl=&typeofsearch=epa&result_template=#/)

67. Bolt HM, Başaran N, Duydu Y. Effects of boron compounds on human reproduction. Arch Toxicol. 1 de marzo de 2020;94(3):717-24.

68. US EPA NCFEA. US EPA. 2001 [citado 6 de noviembre de 2025]. iris toxicological review of boron and compounds (external review draft 2001). Disponible en:

<https://assessments.epa.gov/risk/document/&deid%3D20852>

69. (PDF) The Physiological Role of Boron on Health. ResearchGate [Internet]. [citado 16 de noviembre de 2025]; Disponible en:

[https://www.researchgate.net/publication/323792821\\_The\\_Physiological\\_Role\\_of\\_Boron\\_on\\_Health](https://www.researchgate.net/publication/323792821_The_Physiological_Role_of_Boron_on_Health)

70. Is Boric Acid Toxic to Reproduction in Humans? Assessment of the Animal Reproductive Toxicity Data and Epidemiological Study Results - PubMed [Internet]. [citado 16 de noviembre de 2025]. Disponible en: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/26511087/>

71. Ticona W. Niveles de arsénico en orina de pobladores adultos del distrito de Candarave en diciembre del 2016. 2018.

72. Pérez A, Pérez M, Fernández A. Presencia de arsénico en tejidos de origen bovino en el sudeste de la provincia de Córdoba, Argentina. InVet [Internet]. junio de 2010 [citado 26 de noviembre de 2025];12(1):59-67. Disponible en: [https://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci\\_abstract&pid=S1668-34982010000100008&lng=es&nrm=iso&tlng=es](https://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S1668-34982010000100008&lng=es&nrm=iso&tlng=es)
73. Gonçalves C, Arellano F, Braeuer S, Göessler W, Cirelli A, Carrera ALP. Arsenic and other trace elements in bovine liver and kidney from a naturally contaminated area in Argentina. Revista Internacional de Contaminación Ambiental [Internet]. 3 de noviembre de 2025 [citado 26 de noviembre de 2025];41:689-700. Disponible en: <https://www.revistascca.unam.mx/rica/index.php/rica/article/view/55184>
74. Pérez P. Evaluación de arsénico de orina de pobladores adultos del distrito de Ite. Tacna 2012. 2013 [citado 15 de abril de 2025]; Disponible en: <https://repositorio.unjbg.edu.pe/handle/20.500.12510/1094>
75. Białek M, Czauderna M, Krajewska K, Przybylski W. Selected physiological effects of boron compounds for animals and humans. A review. [citado 26 de noviembre de 2025]; Disponible en: <https://www.jafs.com.pl/Selected-physiological-effects-of-boron-compounds-for-animals-and-humans-A-review,114546,0,2.html>
76. Celebi C, Sen H, Susar H, Celebi M, Karahan I. Relationship between distance to boron mine and exposure in cattle. Environ Geochem Health. 15 de abril de 2025;47(5):173.

77. Yadav S, Dutta T, Chatterjee A, Dutta S, Mohammad A, Das A. Environmental contamination of arsenic: pathway analysis through water-soil-feed-livestock in Nadia District (India) and potential human health risk. *Environ Sci Pollut Res Int.* octubre de 2024;31(47):57832-55.
78. Mandal P. An insight of environmental contamination of arsenic on animal health. *Emerging Contaminants* [Internet]. 1 de marzo de 2017 [citado 26 de noviembre de 2025];3(1):17-22. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2405665016300609>
79. McClintock TR, Chen Y, Bundschuh J, Oliver JT, Navoni J, Olmos V, et al. Arsenic exposure in Latin America: biomarkers, risk assessments and related health effects. *Sci Total Environ.* 1 de julio de 2012;429:76-91.
80. EFSA Panel on Food Additives and Nutrient Sources added to Food (ANS). Scientific Opinion on the re-evaluation of boric acid (E 284) and sodium tetraborate (borax) (E 285) as food additives. *EFSA Journal* [Internet]. 2013 [citado 26 de noviembre de 2025];11(10):3407. Disponible en: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.2903/j.efsa.2013.3407>
81. Marshall G, Ferreccio C, Yuan Y, Bates M, Steinmaus C, Selvin S, et al. Fifty-year study of lung and bladder cancer mortality in Chile related to arsenic in drinking water. *J Natl Cancer Inst.* 20 de junio de 2007;99(12):920-8.

82. Smith A, Goycolea M, Haque R, Biggs M. Marked increase in bladder and lung cancer mortality in a region of Northern Chile due to arsenic in drinking water. *Am J Epidemiol*. 1 de abril de 1998;147(7):660-9.
83. Guha D, Dasgupta U. Chronic arsenic toxicity: Studies in West Bengal, India. *The Kaohsiung Journal of Medical Sciences*. 1 de septiembre de 2011;27(9):360-70.
84. Arsénico [Internet]. [citado 6 de noviembre de 2025]. Disponible en: <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/arsenic>
85. Yu V, Juhász M, Chiang A, Atanaskova N. Alopecia and Associated Toxic Agents: A Systematic Review. *Skin Appendage Disord*. octubre de 2018;4(4):245-60.
86. Ramos W, Ortega-Loayza A, Díaz J, De La Cruz-Vargas J, Tello M, Ronceros G, et al. Arsenicism by Chronic Exposure to Mine Tailings in Peru: An Analysis of 17 Cases with Lesions on Skin and/or Annexes. *Clin Cosmet Investig Dermatol*. 2022;15:2407-14.
87. Frediani J, Naioti E, Vos M, Figueroa J, Marsit C, Welsh J. Arsenic exposure and risk of nonalcoholic fatty liver disease (NAFLD) among U.S. adolescents and adults: an association modified by race/ethnicity, NHANES 2005-2014. *Environ Health*. 15 de enero de 2018;17(1):6.
88. Perry L. USEPA Releases Toxicological Assessment Update for Inorganic Arsenic [Internet]. EHS Support. 2025 [citado 26 de noviembre de 2025]. Disponible en: <https://ehs-support.com/news/usepa-releases-toxicological-assessment-update-for-inorganic-arsenic/>

# **ANEXOS**

## Anexo 1. Matriz de consistencia

PROBLEMA	OBJETIVOS	HIPÓTESIS	VARIABLES	METODOLOGÍA	TECNICAS INSTRUMENTOS
<p><b>Problema principal</b></p> <p>¿Existirá riesgo toxicológico en los pobladores de Candarave, asociado al consumo de hígado de ganado vacuno con presencia de arsénico y boro durante el año 2025?</p>	<p><b>Objetivo general</b></p> <p>Evaluar el riesgo toxicológico por exposición a arsénico y boro en los pobladores de la provincia de Candarave a través del consumo de hígado de ganado vacuno en el año 2025.</p>	<p><b>Hipótesis alterna</b></p> <p>Existe un riesgo toxicológico significativo para la salud de los pobladores de Candarave asociado al consumo de hígado de ganado vacuno contaminado con arsénico y boro.</p>	<p><b>Variable dependiente</b></p> <p>Riesgo toxicológico en los pobladores.</p> <p><b>Indicador:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- HQ= IDE/RFD</li> <li>- HQ: Cociente de riesgo.</li> <li>- IDE: Ingesta diaria estimada.</li> <li>- RFD: Dosis de referencia.</li> </ul>	<p><b>Tipo de investigación</b></p> <p>Cuantitativo, observacional, analítico.</p> <p><b>Diseño de investigación:</b></p> <p>Transversal.</p>	<p><b>Técnica</b></p> <p>Laboratorio: BHIOS Cálculo de IDE y HQ</p>
<p><b>Problemas secundarios</b></p> <p>¿Cuáles son las concentraciones de arsénico y boro en muestras de hígado de ganado vacuno faenados en la provincia de Candarave?</p> <p>¿Cuáles son las características sociodemográficas y de alimentación de los pobladores evaluados de la provincia de Candarave, Tacna-2025?</p> <p>¿Cuáles son las concentraciones de arsénico en orina de los pobladores evaluados de la provincia de Candarave, Tacna-2025?</p> <p>¿El riesgo toxicológico de arsénico y boro será diferente en función de las características sociodemográficas, de alimentación y de las concentraciones de arsénico en orina de los pobladores evaluados de la provincia de Candarave, Tacna-2025?</p>	<p><b>Objetivos específicos</b></p> <p>Determinar las concentraciones de arsénico y boro en muestras de hígados de ganados vacunos faenados en Candarave, Tacna-2025.</p> <p>Describir las características sociodemográficas y de alimentación de los pobladores evaluados de la provincia de Candarave, Tacna-2025.</p> <p>Determinar las concentraciones de arsénico en orina de los pobladores evaluados de la provincia de Candarave, Tacna-2025.</p> <p>Evaluar el riesgo toxicológico de arsénico y boro en función de las características sociodemográficas, de alimentación y de las concentraciones de arsénico en orina de los pobladores evaluados de la provincia de Candarave, Tacna-2025.</p>	<p><b>Hipótesis nula</b></p> <p>No existe riesgo toxicológico significativo para la salud de los pobladores de Candarave por el consumo de hígado de ganado vacuno con presencia de Arsénico y Boro.</p>	<p><b>Variable independiente</b></p> <p>Concentración de metales tóxicos (arsénico y boro) en hígado de ganado vacuno.</p> <p><b>Indicador:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Concentración de arsénico</li> <li>- Concentración de boro.</li> </ul>	<p><b>Población</b></p> <p>Población animal: Ganado vacuno faenado en mataderos de la provincia de Candarave.</p> <p>Población humana: Pobladores adultos residentes en la provincia de Candarave que consumen hígado bovino.</p> <p><b>Muestra</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>-Muestra animal (n = 40) de hígado de ganado vacuno.</li> <li>-Muestra humana (n = 41) muestra de orina.</li> </ul>	<p><b>Instrumento</b></p> <p>Protocolo estandarizado de recolección de muestras, formulario de registro de datos del animal, material quirúrgico estéril, recipientes de transporte adecuados.</p>

## Anexo 2. Ficha de recolección de datos



UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE GROHMANN  
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA SALUD  
ESCUELA PROFESIONAL DE FARMACIA Y BIOQUIMICA



### FICHA DE RECOLECCION DE DATOS

TITULO: DETERMINACION DE METALES TOXICOS (ARSENICO Y BORO)  
EN HIGADO DE GANADO VACUNO Y EVALUACION DEL RIESGO  
TOXICOLOGICO EN LOS POBLADORES DE LA PROVINCIA DE  
CANDARAVE, TACNA-2025

Lugar: Provincia de Candarave, Tacna

Año: 2025

Encuestador: \_\_\_\_\_

Fecha: \_\_\_ / \_\_\_ / 2025

#### I. DATOS SOCIODEMOGRÁFICOS

1. Edad: \_\_\_\_\_ años
  2. Sexo:
    - a. Masculino
    - b. Femenino
  3. Ocupación principal:
    - a. Agricultor/a
    - b. Ganadero/a
    - c. Comerciante
    - d. Ama de casa
    - e. Estudiante
    - f. Otro: \_\_\_\_\_
  4. Nivel educativo:
    - a. Sin educación formal
    - b. Primaria incompleta
    - c. Primaria completa
    - d. Secundaria incompleta
    - e. Secundaria completa
    - f. Estudios técnicos o universitarios
  5. Comunidad o localidad donde reside:  
\_\_\_\_\_
  6. ¿Cuántos años ha vivido en esta localidad? \_\_\_\_\_
  7. Peso Corporal \_\_\_\_\_
- a. Sí  
b. No
9. Si respondió "Sí", ¿con qué frecuencia?
    - a. 1 vez por semana
    - b. 2-3 veces por mes
    - c. Al Menos de 1 vez al mes
  10. ¿Cuánto aproximadamente consume de porción de hígado?
    - a. 100 g (1 filete)
    - b. 300g (3 filetes)
    - c. Mas de 300g

#### III. FUENTES DE ALIMENTACION

11. ¿De dónde proviene la víscera que consume?
  - a. Mercado local o feria
  - b. Camales (mataderos)
  - c. Crianza propia

#### IV. ANTECEDENTES DE SALUD

#### II. HÁBITOS DE CONSUMO DE VISCERAS

8. ¿Consume hígado o vísceras de ganado vacuno?
12. ¿Usted o alguien de su familia ha presentado alguno de los siguientes signos y síntomas de manera

frecuente? (Marque los que correspondan)

- a. Cansancio crónico o debilidad
- b. Náuseas o vómitos frecuentes
- c. Dolor abdominal
- d. Lesiones en la piel o cambios en la pigmentación
- e. Caída de cabello
- f. Problemas renales
- g. Dolor de cabeza persistente
- h. Trastornos digestivos frecuentes
- i. Ninguna de los anteriores

13. Signos y síntomas crónicos. (Marque los que correspondan)

- a. Hiperqueratosis
- b. Líneas de Mees
- c. Neuropatía periférica
- d. Hipertensión arterial
- e. Anemia
- f. Gastritis
- g. Hígado graso
- h. Bronquitis
- i. Diabetes mellitus
- j. Erupción cutánea
- k. Alopecia
- l. Convulsiones
- m. Hipotensión
- n. Anorexia

- o. Insuficiencia renal
- p. Infertilidad
- q. Ninguna de las anteriores

#### V. CONOCIMIENTO Y PERCEPCIÓN DEL RIESGO

14. ¿Ha escuchado hablar sobre el arsénico?

- a. Sí
- b. No

15. ¿Qué información tiene de arsénico?

---

---

---

16. ¿Ha escuchado hablar sobre el boro?

- a. Sí
- b. No

17. ¿Qué información tiene de boro?

---

---

---

18. ¿Considera que el agua en su zona es segura para el consumo humano?

- a. Sí
- b. No
- c. No sabe

Fuente: Elaboración propia

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

#### 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 "DETERMINACION DE METALES TÓXICOS (ARSÉNICO Y BORO) EN HIGADO DE GANADO VACUNO Y EVALUACION DEL RIESGO TOXICOLOGICO EN LOS POBLADORES DE LA PROVINCIA DE CANDARAVE, TACNA -2025", 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.

Ximena Ester Alferez Aguilar

---

Nombres y Apellidos de Bach.

Flor De Maria Lima Chancuaña

---

Nombres y Apellidos de Asesora

Dra. Yemile Del Carmen Berrios Espejo

Adjunto.

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

VALIDACIÓN DE INSTRUMENTO POR JUICIO DE EXPERTOS

TÍTULO: DETERMINACIÓN DE METALES TÓXICOS (ARSÉNICO Y BORO) EN HÍGADO DE GANADO VACUNO Y EVALUACIÓN DEL RIESGO TOXICOLÓGICO EN LOS POBLADORES DE LA PROVINCIA DE CANDARAVE, TACNA-2025

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>DATOS SOCIODEMOGRÁFICOS</b>							
1.	Edad	✓		✓		✓		
2.	Sexo	✓		✓		✓		
3.	Ocupación Principal	✓		✓		✓		
4.	Nivel educativo	✓		✓		✓		
5.	Comunidad o localidad donde reside	✓		✓		✓		
6.	¿Cuántos años ha vivido en esta localidad?	✓		✓		✓		
7.	Peso corporal	✓		✓		✓		
II.	<b>HÁBITOS DE CONSUMO DE VÍSCERAS</b>	SI	NO	SI	NO	SI	NO	
8.	¿Consume hígado o vísceras de ganado vacuno?	✓		✓		✓		
9.	Si respondió "SI" ¿con que frecuencia?	✓		✓		✓		
10.	¿Cuánto aproximadamente consume de porción de hígado?	✓		✓		✓		
III.	<b>FUENTES DE ALIMENTACIÓN</b>	SI	NO	SI	NO	SI	NO	
11.	¿De dónde proviene la víscera que consume?	✓		✓		✓		
IV.	<b>ANTECEDENTES DE SALUD</b>	SI	NO	SI	NO	SI	NO	
12.	¿Usted o alguien de su familia ha presentado alguno de los siguientes signos y síntomas de manera frecuente? (Marque los que correspondan)	✓		✓		✓		
13.	Signos y síntomas crónicos. (Marque los que correspondan)	✓		✓		✓		
V.	<b>CONOCIMIENTO Y PERCEPCIÓN DEL RIESGO</b>	SI	NO	SI	NO	SI	NO	
14.	¿Ha escuchado hablar sobre el arsénico?	✓		✓		✓		
15.	¿Qué información tiene de arsénico?	✓		✓		✓		

16.	¿Ha escuchado hablar sobre el boro?	✓	✓	✓		
17.	¿Qué información tiene de boro?	✓	✓	✓		
18.	¿Considera que el agua en su zona es segura para el consumo humano?	✓	✓	✓		

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

Apellidos y nombres del juez validador: Dr.(c). Mg. Esp. Roger Castro H. DNI 45081233

Especialidad del juez validador: Químico Farmacéutico, Especialista en Farmacología, Master en Calidad Farmacéutica y Seguridad del Paciente, Doctorado en Farmacia y Organización.



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 METALES TÓXICOS (ARSÉNICO Y BORO) EN HÍGADO DE GANADO VACUNO Y EVALUACIÓN DEL RIESGO TOXICOLÓGICO EN LOS POBLADORES DE LA PROVINCIA DE CANDARAVE, TACNA-2025

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>DATOS SOCIODEMOGRÁFICOS</b>							
1.	Edad	✓		✓		✓		
2.	Sexo	✓		✓		✓		
3.	Ocupación Principal	✓		✓		✓		
4.	Nivel educativo	✓		✓		✓		
5.	Comunidad o localidad donde reside	✓		✓		✓		
6.	¿Cuántos años ha vivido en esta localidad?	✓		✓		✓		
7.	Peso corporal	✓		✓		✓		
II.	<b>HÁBITOS DE CONSUMO DE VÍSCERAS</b>	SI	NO	SI	NO	SI	NO	
8.	¿Consume hígado o vísceras de ganado vacuno?	✓		✓		✓		
9.	Si respondió "Si" ¿con que frecuencia?	✓		✓		✓		
10.	¿Cuánto aproximadamente consume de porción de hígado?	✓		✓		✓		
III.	<b>FUENTES DE ALIMENTACIÓN</b>	SI	NO	SI	NO	SI	NO	
11.	¿De dónde proviene la víscera que consume?	✓		✓		✓		
IV.	<b>ANTECEDENTES DE SALUD</b>	SI	NO	SI	NO	SI	NO	
12.	¿Usted o alguien de su familia ha presentado alguno de los siguientes signos y síntomas de manera frecuente? (Marque los que correspondan)	✓		✓		✓		
13.	Signos y síntomas crónicos. (Marque los que correspondan)	✓		✓		✓		
V.	<b>CONOCIMIENTO Y PERCEPCIÓN DEL RIESGO</b>	SI	NO	SI	NO	SI	NO	
14.	¿Ha escuchado hablar sobre el arsénico?	✓		✓		✓		
15.	¿Qué información tiene de arsénico?	✓		✓		✓		

16.	¿Ha escuchado hablar sobre el boro?	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		
17.	¿Qué información tiene de boro?	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		
18.	¿Considera que el agua en su zona es segura para el consumo humano?	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		

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

Apellidos y nombres del juez validador: Bellido Angulo, Luz DNI 29170652

Especialidad del juez validador: Química Farmacéutica Hospitalaria

Firma y sello del juez validador

\*Claridad: Se entiende sin dificultad los ítems de manera concisa, precisa y directa.

\*Pertinencia: El ítem pertenece a la dimensión.

\*Relevancia: El ítem es adecuado para representar la dimensión del constructo.

VALIDACIÓN DE INSTRUMENTO POR JUICIO DE EXPERTOS

TÍTULO: DETERMINACIÓN DE METALES TÓXICOS (ARSÉNICO Y BORO) EN HÍGADO DE GANADO VACUNO Y EVALUACIÓN DEL RIESGO TOXICOLÓGICO EN LOS POBLADORES DE LA PROVINCIA DE CANDARAVE, TACNA-2025

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>DATOS SOCIODEMOGRÁFICOS</b>							
1.	Edad	X		X		X		
2.	Sexo	X		X		X		
3.	Ocupación Principal	X		X		X		
4.	Nivel educativo	X		X		X		
5.	Comunidad o localidad donde reside	X		X		X		
6.	¿Cuántos años ha vivido en esta localidad?	X		X		X		
7.	Peso corporal	X		X		X		
II.	<b>HÁBITOS DE CONSUMO DE VISCERAS</b>	SI	NO	SI	NO	SI	NO	
8.	¿Consumes hígado o vísceras de ganado vacuno?	X		X		X		
9.	Si respondió "Si" ¿con que frecuencia?	X		X		X		
10.	¿Cuánto aproximadamente consume de porción de hígado?	X		X		X		
III.	<b>FUENTES DE ALIMENTACIÓN</b>	SI	NO	SI	NO	SI	NO	
11.	¿De dónde proviene la víscera que consume?	X		X		X		
IV.	<b>ANTECEDENTES DE SALUD</b>	SI	NO	SI	NO	SI	NO	
12.	¿Usted o alguien de su familia ha presentado alguno de los siguientes signos y síntomas de manera frecuente? (Marque los que correspondan)	X		X		X		
13.	Signos y síntomas crónicos. (Marque los que correspondan)	X		X		X		
V.	<b>CONOCIMIENTO Y PERCEPCIÓN DEL RIESGO</b>	SI	NO	SI	NO	SI	NO	
14.	¿Ha escuchado hablar sobre el arsénico?	X		X		X		
15.	¿Qué información tiene de arsénico?	X		X		X		

16.	¿Ha escuchado hablar sobre el boro?	X		X		X	
17.	¿Qué información tiene de boro?	X		X		X	
18.	¿Considera que el agua en su zona es segura para el consumo humano?	X		X		X	

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

Apellidos y nombres del juez validador: TILSON SERRANO, EDWIN DNI 40180413

Especialidad del juez validador: MEDICO CIRUJANO

Edwin P. Tilson Serrano  
 MEDICO CIRUJANO  
 C.O.P. 7334

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. Validación de la encuesta por coeficientes de acuerdo inter-expertos

Validación por juicio de expertos — Claridad								
Ítem	Enunciado	Experto 1	Experto 2	Experto 3	n Sí	n No	A <sub>i</sub> (acuerdo)	% Sí
1	Edad.	Sí	Sí	Sí	3	0	1,000	100,0 %
2	Sexo.	Sí	Sí	Sí	3	0	1,000	100,0 %
3	Ocupación principal.	Sí	Sí	Sí	3	0	1,000	100,0 %
4	Nivel educativo.	Sí	Sí	Sí	3	0	1,000	100,0 %
5	Comunidad o localidad donde reside.	Sí	Sí	Sí	3	0	1,000	100,0 %
6	¿Cuántos años ha vivo en esta localidad?	Sí	Sí	Sí	3	0	1,000	100,0 %
7	Peso corporal.	Sí	Sí	Sí	3	0	1,000	100,0 %
8	¿Consume hígado o vísceras de ganado vacuno?	Sí	Sí	Sí	3	0	1,000	100,0 %
9	Si respondió "Sí", ¿Con qué frecuencia?	Sí	Sí	Sí	3	0	1,000	100,0 %
10	¿Cuánto aproximadamente consume de porción de hígado?	Sí	Sí	Sí	3	0	1,000	100,0 %
11	¿De dónde proviene la víscera que consume?	Sí	Sí	Sí	3	0	1,000	100,0 %
12	¿Usted o alguien de su familia ha presentado alguno de los siguientes signos y síntomas de manera frecuente?	Sí	Sí	Sí	3	0	1,000	100,0 %
13	Signos y síntomas crónicos	Sí	Sí	Sí	3	0	1,000	100,0 %
14	¿Ha escuchado sobre el arsénico?	Sí	Sí	Sí	3	0	1,000	100,0 %
15	¿Qué información tiene sobre el arsénico?	Sí	Sí	Sí	3	0	1,000	100,0 %
16	¿Ha escuchado sobre el boro?	Sí	Sí	Sí	3	0	1,000	100,0 %
17	¿Qué información tiene sobre el boro?	Sí	Sí	Sí	3	0	1,000	100,0 %
18	¿Considera que el agua en su zona es segura para el consumo humano?	Sí	Sí	Sí	3	0	1,000	100,0 %

Indicadores globales	
Ítems completos	18
Acuerdo observado (Po)	1,000
Prevalencia de "Sí" (p)	1,000
Pe = 2·p·(1-p)	0,000
Gwet's AC1	1,000
Krippendorff $\alpha$ (nominal)	1,000

Interpretación:
AC1/ $\alpha$ $\geq$ 0.80 = muy buen acuerdo
AC1/ $\alpha$ 0.60 – 0.79 = bueno
AC1/ $\alpha$ 0.40 – 0.59 = moderado
AC1/ $\alpha$ <0.40 = bajo.

Validación por juicio de expertos — Pertinencia								
Ítem	Enunciado	Experto 1	Experto 2	Experto 3	n Sí	n No	A <sub>i</sub> (acuerdo)	% Sí
1	Edad.	Sí	Sí	Sí	3	0	1,000	100,0 %
2	Sexo.	Sí	Sí	Sí	3	0	1,000	100,0 %
3	Ocupación principal.	Sí	Sí	Sí	3	0	1,000	100,0 %
4	Nivel educativo.	Sí	Sí	Sí	3	0	1,000	100,0 %
5	Comunidad o localidad donde reside.	Sí	Sí	Sí	3	0	1,000	100,0 %
6	¿Cuántos años ha vivo en esta localidad?	Sí	Sí	Sí	3	0	1,000	100,0 %
7	Peso corporal.	Sí	Sí	Sí	3	0	1,000	100,0 %
8	¿Consume hígado o vísceras de ganado vacuno?	Sí	Sí	Sí	3	0	1,000	100,0 %
9	Si respondió "Sí", ¿Con qué frecuencia?	Sí	Sí	Sí	3	0	1,000	100,0 %
10	¿Cuánto aproximadamente consume de porción de hígado?	Sí	Sí	Sí	3	0	1,000	100,0 %
11	¿De donde proviene la víscera que consume?	Sí	Sí	Sí	3	0	1,000	100,0 %
12	¿Usted o alguien de su familia ha presentado alguno de los siguientes signos y síntomas de manera frecuente?	Sí	Sí	Sí	3	0	1,000	100,0 %
13	Signos y síntomas crónicos	Sí	Sí	Sí	3	0	1,000	100,0 %
14	¿Ha escuchado sobre el arsénico?	Sí	Sí	Sí	3	0	1,000	100,0 %
15	¿Qué información tiene sobre el arsénico?	Sí	Sí	Sí	3	0	1,000	100,0 %
16	¿Ha escuchado sobre el boro?	Sí	Sí	Sí	3	0	1,000	100,0 %
17	¿Qué información tiene sobre el boro?	Sí	Sí	Sí	3	0	1,000	100,0 %
18	¿Considera que el agua en su zona es segura para el consumo humano?	Sí	Sí	Sí	3	0	1,000	100,0 %

Indicadores globales	
Ítems completos	18
Acuerdo observado (Po)	1,000
Prevalencia de "Sí" (p)	1,000
Pe = 2·p·(1-p)	0,000
Gwet's AC1	1,000
Krippendorff $\alpha$ (nominal)	1,000

Interpretación:
AC1/ $\alpha$ $\geq$ 0,80 = muy buen acuerdo
AC1/ $\alpha$ 0,60 – 0,79 = bueno
AC1/ $\alpha$ 0,40 – 0,59 = moderado
AC1/ $\alpha$ < 0,40 = bajo.

Validación por juicio de expertos — Relevancia								
Ítem	Enunciado	Experto 1	Experto 2	Experto 3	n Sí	n No	A <sub>i</sub> (acuerdo)	% Sí
1	Edad.	Sí	Sí	Sí	3	0	1,000	100,0 %
2	Sexo.	Sí	Sí	Sí	3	0	1,000	100,0 %
3	Ocupación principal.	Sí	Sí	Sí	3	0	1,000	100,0 %
4	Nivel educativo.	Sí	Sí	Sí	3	0	1,000	100,0 %
5	Comunidad o localidad donde reside.	Sí	Sí	Sí	3	0	1,000	100,0 %
6	¿Cuántos años ha vivo en esta localidad?	Sí	Sí	Sí	3	0	1,000	100,0 %
7	Peso corporal.	Sí	Sí	Sí	3	0	1,000	100,0 %
8	¿Consumo hígado o vísceras de ganado vacuno?	Sí	Sí	Sí	3	0	1,000	100,0 %
9	Si respondió "Sí", ¿Con qué frecuencia?	Sí	Sí	Sí	3	0	1,000	100,0 %
10	¿Cuánto aproximadamente consume de porción de hígado?	Sí	Sí	Sí	3	0	1,000	100,0 %
11	¿De dónde proviene la víscera que consume?	Sí	Sí	Sí	3	0	1,000	100,0 %
12	¿Usted o alguien de su familia ha presentado alguno de los siguientes signos y síntomas de manera frecuente?	Sí	Sí	Sí	3	0	1,000	100,0 %
13	Signos y síntomas crónicos	Sí	Sí	Sí	3	0	1,000	100,0 %
14	¿Ha escuchado sobre el arsénico?	Sí	Sí	Sí	3	0	1,000	100,0 %
15	¿Qué información tiene sobre el arsénico?	Sí	Sí	Sí	3	0	1,000	100,0 %
16	¿Ha escuchado sobre el boro?	Sí	Sí	Sí	3	0	1,000	100,0 %
17	¿Qué información tiene sobre el boro?	Sí	Sí	Sí	3	0	1,000	100,0 %
18	¿Considera que el agua en su zona es segura para el consumo humano?	Sí	Sí	Sí	3	0	1,000	100,0 %

Indicadores globales	
Ítems completos	18
Acuerdo observado (Po)	1,000
Prevalencia de "Sí" (p)	1,000
Pe = 2·p·(1-p)	0,000
Gwet's AC1	1,000
Krippendorff $\alpha$ (nominal)	1,000

Interpretación:
AC1/ $\alpha$ $\geq$ 0,80 = muy buen acuerdo
AC1/ $\alpha$ 0,60 – 0,79 = bueno
AC1/ $\alpha$ 0,40 – 0,59 = moderado
AC1/ $\alpha$ < 0,40 = bajo.

## Anexo 5. Consentimiento informado

**FORMATO DE CONSENTIMIENTO INFORMADO**  
**UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE GROHMANN**  
**FACULTAD DE CIENCIAS DE LA SALUD**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE FARMACIA Y BIOQUIMICA**  
**Determinación de Metales Tóxicos (Arsénico y Boro) en Hígado de**  
**Ganado Vacuno y Evaluación del Riesgo Toxicológico en los**  
**pobladores de la Provincia de Candarave, Tacna – 2025**

FECHA: (día / mes / año) \_\_\_ / \_\_\_ / \_\_\_

**A QUIEN CORRESPONDA:**

Declaro libre y voluntariamente que mi nombre es \_\_\_\_\_  
con DNI N° \_\_\_\_\_ y que acepto participar en el presente proyecto de  
investigación, cuyo objetivo es evaluar el riesgo toxicológico por exposición a  
Arsénico y Boro en los pobladores de la provincia de Candarave a través del  
consumo de hígado de ganado vacuno en el año 2025. Se me ha indicado que  
la presente investigación no significa riesgo alguno para mi integridad personal  
y que se mantendrá en reserva mi identidad; además de que daré una muestra  
de orina de 24 horas. Se me ha informado explícitamente que soy libre de  
retirarme del estudio en el momento en que así lo decida y estoy consciente de  
que puedo solicitar mayor información acerca del presente estudio si así lo  
deseo.

**DATOS DEL PACIENTE:**

CODIGO: \_\_\_\_\_.

TELEFONO: \_\_\_\_\_.

FIRMA: \_\_\_\_\_.

**Huella digital**



**Anexo 6.** Programa conjunto de la FAO/OMS sobre normas alimentarias  
comité del Codex sobre contaminantes de los alimentos.

5º reunión La Haya (Países Bajos), 21 – 25 de marzo de 2011

Concentraciones de arsénico permitido en productos alimenticios.

Categorías de alimentos	n	n < LOR <sup>a</sup>	Margen (mg/kg)
<b>Productos lácteos y sucedáneos</b>			
Leche y leche en polvo	284	65	0,001-0,15
Productos lácteos	92	61	0,010-0,35
<b>Grasas y aceites</b>	39	0	0,003-0,18
<b>Carne y productos cárnicos</b>			
Carne	4 977	4 124	0,004-0,78
Despojos	2 074	1 096	0,009-0,45
Productos cárnicos	50	20	0,003-3,25
<b>Huevos y ovoproductos</b>	171	111	0,003-0,04
<b>Productos de pastelería</b>	186	61	0,002-1,13
<b>Dulces</b>	138	21	0,003-0,26
<b>Productos de panadería</b>	71	49	0,002-0,25
<b>Bebidas</b>			
Bebidas alcohólicas (excepto las bebidas espirituosas destiladas de arroz)	462	64	0,001-0,05 <sup>b</sup>
Bebidas espirituosas destiladas de arroz	8	2	0,050-1,64 <sup>b</sup>
Bebidas no alcohólicas	120	16	0,001-0,26 <sup>b</sup>
<b>Hortalizas/frutas/nueces/algas marinas</b>			
Frutas	966	800	0,005-2,20
Hortalizas (excepto setas y hongos)	2 503	2 164	0,001-1,27
Setas y hongos	302	60	0,011-5,79
Nueces y semillas oleaginosas	70	15	0,005-0,88
Algas marinas desecadas	953	3	0,114-236
<b>Cereales y productos de cereales</b>			
Cereales (excepto arroz)	410	325	0,007-0,43
Arroz	1 693	0	0,002-1,83
Cereales para el desayuno	17	10	0,017-0,27
Pasta	19	9	0,003-0,18
<b>Pescado y productos pesqueros</b>			
Pescado marino	1 409	0	0,10-62
Marisco	171	0	0,090-66
Pescado de agua dulce	238	0	0,060-4,72
<b>Productos alimenticios para bebés</b>	75	5	0,001-4,66

LOR límite de información (límite de detección o cuantificación)

Fuente: Códex Alimentario.

**Anexo 7.** Mercosur/GMC/Res. N°12/11 de contaminantes inorgánicos en alimentos.

(Derogación De Las Res. GMC N° 102/94 Y N°35/96)

**PARTE II**

**Límites máximos de contaminantes inorgánicos**

**ARSÉNICO**

<b>Categorías</b>	<b>Límite máximo (mg/kg)</b>
Aceites y grasas comestibles de origen vegetal y/o animal (incluye margarina)	0,10
Azúcares	0,10
Miel	0,30
Caramelos duros y blandos y similares incluidos goma de mascar	0,10
Pasta de cacao	0,50
Chocolates y productos de cacao con menos de 40 % de cacao	0,20
Chocolates y productos a base de cacao con más de 40 % de cacao	0,40
Bebidas analcohólicas (excluidos los jugos)	0,05
Zumos (Jugos) y néctares de frutas	0,10
Bebidas alcohólicas fermentadas y fermento-destiladas, excepto vino	0,10
Vino	0,20 mg/L
Cereales y productos de y a base de cereales, excluidos trigo, arroz y sus productos derivados y aceites	0,30
Trigo y sus derivados excepto aceite	0,20
Arroz y sus derivados excepto aceite	0,30
Hortalizas del género Brassica (excluidas las de hojas sueltas)	0,30
Hortalizas de hoja (incluidas las Brassicas de hoja suelta) y hierbas aromáticas frescas	0,30
Hortalizas de bulbo y hojas envainadoras	0,10
Hortalizas de fruto de la familia <i>Curcubitaceae</i>	0,10
Hortalizas de fruto, distintas de las de la familia <i>Curcubitaceae</i>	0,10
Setas (hongos) excepto las del género <i>Agaricus</i> , <i>Pleurotus</i> y <i>Lentinula</i> o <i>Lentinus</i>	0,10
Hortalizas leguminosa	0,10
Legumbres (semillas secas de las leguminosas) excepto soja	0,10
Setas (hongos) del género <i>Agaricus</i> , <i>Pleurotus</i> y <i>Lentinula</i> o <i>Lentinus</i>	0,30

<b>Categorías</b>	<b>Límite máximo (mg/kg)</b>
Raíces y tubérculos	0,20
Tallos jóvenes y peciolos	0,20
Frutas secas	0,80
Frutas frescas, excluidas las bayas y frutas pequeñas	0,30
Frutas frescas de bayas y frutas pequeñas	0,30
Aceitunas de mesa	0,30
Concentrados de tomate	0,50
Compotas, jaleas, mermeladas y otros dulces a base de frutas y hortalizas	0,30
Té, yerba mate, y otros vegetales para infusión	0,60
Café torrado en granos y polvo	0,20
Café soluble en polvo o granulado	0,50
Hielos comestibles	0,01
Helados de agua saborizados	0,05
Helados de leche o de crema	0,10
Helados a base de fruta	0,10
Leche fluida lista para el consumo y productos lácteos sin adición sin diluir ni concentrar	0,05
Crema de leche	0,10
Leche condensada y dulce de leche	0,10
Quesos	0,50
Sal, calidad alimentaria	0,50
Carnes de bovinos, ovinos, porcinos, caprinos y aves de corral, derivados crudos, congelados o refrigerados, embutidos y empanados crudos	0,50
Menudencias comestibles excepto hígado y riñones	1,00
Hígado de bovinos, ovinos, porcinos, caprinos y aves de corral	1,00
Riñones de bovinos, ovinos, porcinos, caprinos	1,00
Huevos y productos de huevo	0,50
Pescados crudos, congelados o refrigerados	1,00
Moluscos cefalópodos	1,00
Moluscos bivalvos	1,00
Crustáceos	1,00

Fuente: Mercosur.

**Anexo 8.** Perfil Toxicológico del Boro Agencia para el Registro de Sustancias Tóxicas y Enfermedades (ATSDR) (EE.UU.) noviembre 2010

**Niveles de boro en los alimentos**

<b>alimento</b>	<b>Nivel (µg/100 g) <sup>a</sup></b>
Frutas y verduras	
Manzanas crudas	360
Puré de manzana sin azúcar	280
Aguacate, guacamole	1.222 mil <a href="#">millones de habitantes</a>
Plátanos crudos	135
Judías verdes, cocidas	120
Brócoli hervido	250
Melón cantalupo crudo	180
Zanahorias, crudas o congeladas	140
Ensalada de col con aderezo	120
Maíz amarillo cocido	46
Cóctel de frutas enlatado en almíbar espeso	240
Fruta, seca	1.870
Uvas crudas	490
Lechuga cruda	105
Cebollas crudas	190
Naranjas crudas	260
Melocotones crudos	530
Peras crudas	280
Guisantes verdes cocidos	130
Patatas, no fritas	62 <sup>b</sup>
Pasas	2.200
Espinacas hervidas	180
Tomates crudos	63

Bebidas	
Zumo de manzana	180
Cerveza	12
Café, a partir de granos molidos	29
Bebida con sabor a fruta a partir de polvo	16
Zumo de uva sin azúcar	300
Leche entera	18
zum de naranja	72
Refresco, tipo cola	13
Té, en hojas, infusionado	9
Vino, mesa, seco	610
Productos cárnicos/pescados	
Estofado de ternera y verduras	120
Carne de res, hamburguesas	23 <sup>b</sup>
Sopa de verduras con carne y patatas, tipo estofado	140
Pechuga de pollo a la plancha, sin piel	27
Chili con carne, con frijoles	170
Hamburguesa con tomate y/o ketchup	51
Atún enlatado en agua	54
Otro	
Frijoles lima, cocidos en seco, con grasa añadida	370
Frijoles refritos	400
Copos de salvado con pasas	450
Pan blanco	46
Pasteles	100 <sup>b</sup>
Cereal listo para comer	128 <sup>b</sup>
Galletas, brownies	112 <sup>b</sup>
Papas fritas, congeladas, fritas	110
Donas, bollos dulces, etc.	69

Fuente: Perfil toxicológico de boro (ATSDR)

**Anexo 9.** Mapa de hidrología y topografía de la Provincia de Candarave,  
región Tacna



<b>Provincia de Candarave – Región Tacna 2025</b>	
<b>Ubicación</b>	<b>Región Tacna, Sur Del Perú.</b>
<b>Latitud</b>	<b>- 17,29</b>
<b>Longitud</b>	<b>- 70,35</b>
<b>Altitud promedio</b>	<b>3,415 m.s.n.m</b>
<b>Clima</b>	<b>Frio de altura y seco, con lluvias escasas.</b>
<b>Población</b>	<b>Aprox.8.000 habitantes.</b>
<b>Bloque de riego</b>	<b>Callazas.</b>
<b>Caudal Rio Callazas</b>	<b>3 231 m<sup>3</sup>/s</b>

Fuente: Observatorio Nacional del Agua - ANA

## Anexo 10. Evidencias fotográficas en la recolección de muestras

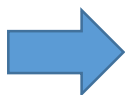
### Recolección de muestras de hígado de ganado vacuno

El camal “Municipal de Candarave” cuenta con las siguientes áreas visibles durante la visita.

#### - Área de ingreso y corral de animal

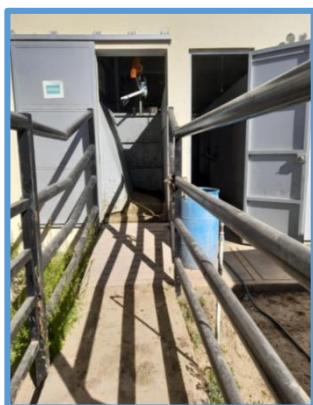


**Ilustración 1:** Ingreso al camal.



**Ilustración 2:** Zona de descanso pre – faena.

#### - Área de faenado y evisceración



**Ilustración 3:** Zona de insensibilización.



**Ilustración 4:** Zona de faenado, destinada específicamente a la sacrificio, desangrado, pelado y corte de los animales.



**Ilustración 5:** Mesa o superficie dónde se colocan las vísceras.

## 1. Proceso de recolección de muestras

- Se utilizó una bolsa estéril tipo “ziploc” y guantes para evitar contaminación.
- Se identificaron con códigos (Muestra 1, Muestra 2 Hasta Muestra 20 Para Arsénico Y 20 Para Boro).
- Posteriormente, se conservaron en gel pack frio en un conservador “cooler” térmica para su traslado.



**Ilustración 6:** Proceso de identificación individual y el rotulado externo de las bolsas ziploc con marcador permanente. (Código, fecha de recolección y lugar de procedencia).



**Ilustración 7:** Junto con personal del camal, debidamente uniformados y listos para el inicio del proceso de faenado.



**Ilustración 8:** Inicio del proceso de recolección de muestras de hígado ganado vacuno.



**Ilustración 9:** Recepción de víscera de hígado para proceder a colocar en la mesa de inspección.



**Ilustración 10.** Verificación del hígado para proceso de corte directo.



**Ilustración 10:** Corte directo del tejido aproximadamente 100 g de lóbulo izquierdo medio del hígado ganado vacuno.

## 2. Conservación portátil con bolsas ziploc, identificadas y Gel pack frio.



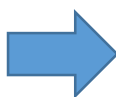
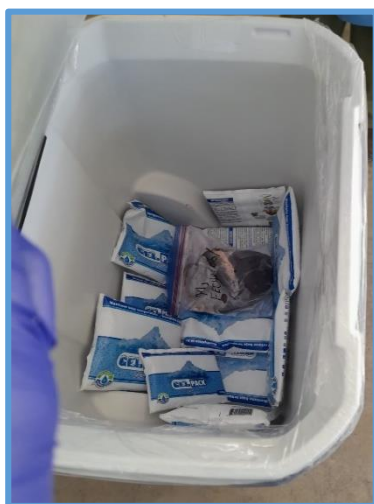
**Ilustración 11:** La muestra se coloca inmediatamente en una bolsa hermética tipo ziploc, limpia y previamente rotulada.



**Ilustración 12:** Rotulación de cada bolsa con su respectivo código de muestra, fecha y



**Ilustración 13:** Cooler acondicionado con gel pack refrigerante para mantener la cadena de frío.



**Ilustración 14:** Las muestras recolectadas (en bolsas Ziploc rotulada) fueron colocadas dentro de cooler a una  $T^{\circ}$  interna de  $2^{\circ}\text{C}$  y  $4^{\circ}\text{C}$ , para conservar la integridad y estabilidad de las muestras biológicas hasta su llegada al laboratorio para su posterior análisis.

### 3. Imágenes del proceso de análisis de muestras de hígado vacuno para arsénico y boro.

Imagen 1.



Imagen 2.

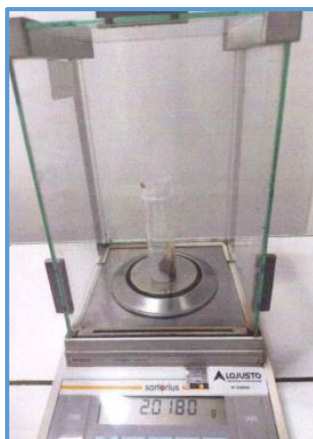


Imagen 3.



Fuente: Imagen del informe de proceso Laboratorio BHIOS

### Recolección de muestra de orina

- Los participantes fueron informados previamente sobre el procedimiento, asimismo se realizó la encuesta presencialmente a los pobladores seleccionados, la participación fue voluntaria, sin presión, garantizando la confiabilidad y respeto a la privacidad.



**Ilustración 1:** Explicación clara del propósito de la investigación.



**Ilustración 2:** Aplicación de la encuesta de forma individual.

- Se entregaron envases estériles, rotulados con su respectivo código, junto con instrucciones claras para la obtención de la muestra de orina.
- Se registro la fecha y hora de recepción, bajo las normas de



**Ilustración 3:** Recojo y recepción de muestras.



**Ilustración 4:** Las muestras fueron colocadas dentro de cooler a una T° interna de 2°C y 8°C, para conservar la integridad y estabilidad de las muestras biológicas hasta su llega al laboratorio para su posterior análisis.

## 1. Envío de las muestras al laboratorio.



**Ilustración 5:** Se envió las muestras en cadena de frío (gel pack), en condiciones estables, respetando la temperatura requerida.



**Ilustración 6:** Entrega de las muestras al laboratorio Cetox.



**Ilustración 7:** Frontis del Centro Toxicológico S.A.C.- CETOX

2. Imágenes del proceso de análisis de muestras de orina para arsénico.

Imagen 1.



Imagen 2.



Imagen 3.



*Fuente: Informe del proceso del Centro Toxicológico CETOX.*

## Anexo 11. Resultados De Laboratorio BHIOS



### ANEXO

#### Resumen de Resultados de Boro y Arsénico correspondientes a los Informes de Ensayos 7083-2025-B a 7122-2025-B (BHIOS LABORATORIOS S.R.L)

Nº DE INFORME	PRODUCTO DECLARADO	MARCA	DETERMINACIÓN	RESULTADO	UNIDADES
7083-2025-B	HIGADO DE GANADO VACUNO	Muestra 1 (T).	Elemento B	5.28	mg/Kg
7084-2025-B	HIGADO DE GANADO VACUNO	Muestra 2 (T).	Elemento B	7.58	mg/Kg
7085-2025-B	HIGADO DE GANADO VACUNO	Muestra 3 (V).	Elemento B	6.79	mg/Kg
7086-2025-B	HIGADO DE GANADO VACUNO	Muestra 4 (V).	Elemento B	5.89	mg/Kg
7087-2025-B	HIGADO DE GANADO VACUNO	Muestra 5 (V).	Elemento B	7.89	mg/Kg
7088-2025-B	HIGADO DE GANADO VACUNO	Muestra 6 (V).	Elemento B	5.80	mg/Kg
7089-2025-B	HIGADO DE GANADO VACUNO	Muestra 7 (V).	Elemento B	6.92	mg/Kg
7090-2025-B	HIGADO DE GANADO VACUNO	Muestra 8 (V).	Elemento B	6.85	mg/Kg
7091-2025-B	HIGADO DE GANADO VACUNO	Muestra 9 (T).	Elemento B	8.33	mg/Kg
7092-2025-B	HIGADO DE GANADO VACUNO	Muestra 10 (V).	Elemento B	8.50	mg/Kg
7093-2025-B	HIGADO DE GANADO VACUNO	Muestra 11 (T).	Elemento B	6.69	mg/Kg
7094-2025-B	HIGADO DE GANADO VACUNO	Muestra 12 (V).	Elemento B	6.04	mg/Kg
7095-2025-B	HIGADO DE GANADO VACUNO	Muestra 13 (V).	Elemento B	7.13	mg/Kg
7096-2025-B	HIGADO DE GANADO VACUNO	Muestra 14 (T).	Elemento B	8.25	mg/Kg
7097-2025-B	HIGADO DE GANADO VACUNO	Muestra 15 (V).	Elemento B	8.57	mg/Kg
7098-2025-B	HIGADO DE GANADO VACUNO	Muestra 16 (T).	Elemento B	7.11	mg/Kg
7099-2025-B	HIGADO DE GANADO VACUNO	Muestra 17 (T).	Elemento B	6.28	mg/Kg
7100-2025-B	HIGADO DE GANADO VACUNO	Muestra 18 (T).	Elemento B	6.23	mg/Kg
7101-2025-B	HIGADO DE GANADO VACUNO	Muestra 19 (V).	Elemento B	7.91	mg/Kg
7102-2025-B	HIGADO DE GANADO VACUNO	Muestra 20 (V).	Elemento B	7.59	mg/Kg
7103-2025-B	HIGADO DE GANADO VACUNO	Muestra 1 (T).	Elemento As	0.88	mg/Kg
7104-2025-B	HIGADO DE GANADO VACUNO	Muestra 2 (T).	Elemento As	0.20	mg/Kg
7105-2025-B	HIGADO DE GANADO VACUNO	Muestra 3 (V).	Elemento As	0.64	mg/Kg
7106-2025-B	HIGADO DE GANADO VACUNO	Muestra 4 (V).	Elemento As	0.66	mg/Kg
7107-2025-B	HIGADO DE GANADO VACUNO	Muestra 5 (V).	Elemento As	2.42	mg/Kg
7108-2025-B	HIGADO DE GANADO VACUNO	Muestra 6 (V).	Elemento As	1.21	mg/Kg
7109-2025-B	HIGADO DE GANADO VACUNO	Muestra 7 (T).	Elemento As	0.38	mg/Kg
7110-2025-B	HIGADO DE GANADO VACUNO	Muestra 8 (V).	Elemento As	0.18	mg/Kg
7111-2025-B	HIGADO DE GANADO VACUNO	Muestra 9 (T).	Elemento As	0.57	mg/Kg
7112-2025-B	HIGADO DE GANADO VACUNO	Muestra 10 (V).	Elemento As	0.85	mg/Kg
7113-2025-B	HIGADO DE GANADO VACUNO	Muestra 11 (T).	Elemento As	0.55	mg/Kg

Av. Quiñones B-6 (2do. Piso) - Urb. Magisterial II Etapa - Yanahuara - Arequipa - Perú  
 Teléfono: ++51(0)54 273320 / 274515 Celular: 983768883 / 954068110  
 e-mail: bhios@bhioslabs.com y operaciones@bhioslabs.com



BHIOS LABORATORIOS ...calidad a su servicio

Nº DE INFORME	PRODUCTO DECLARADO	MARCA	DETERMINACIÓN	RESULTADO	UNIDADES
7114-2025-B	HIGADO DE GANADO VACUNO	Muestra 12 (V).	Elemento As	1.20	mg/Kg
7115-2025-B	HIGADO DE GANADO VACUNO	Muestra 13 (V).	Elemento As	0.53	mg/Kg
7116-2025-B	HIGADO DE GANADO VACUNO	Muestra 14 (T).	Elemento As	0.56	mg/Kg
7117-2025-B	HIGADO DE GANADO VACUNO	Muestra 15 (T).	Elemento As	0.37	mg/Kg
7118-2025-B	HIGADO DE GANADO VACUNO	Muestra 16 (V).	Elemento As	0.92	mg/Kg
7119-2025-B	HIGADO DE GANADO VACUNO	Muestra 17 (T).	Elemento As	0.50	mg/Kg
7120-2025-B	HIGADO DE GANADO VACUNO	Muestra 18 (T).	Elemento As	0.59	mg/Kg
7121-2025-B	HIGADO DE GANADO VACUNO	Muestra 19 (V).	Elemento As	0.36	mg/Kg
7122-2025-B	HIGADO DE GANADO VACUNO	Muestra 20 (V).	Elemento As	1.59	mg/Kg

**Método utilizado:** BHIOS-FQ-008. Determinación de Metales por Espectrofotometría de Absorción Atómica, Hidruros y Vapor Frio. (Aluminio, Antimonio, Arsénico, Bario, Cadmio, Calcio, Cobalto, Cromo, Cobre, Estaño, Hierro, Magnesio, Manganeso, Mercurio, Molibdeno, Niquel, Plomo, Potasio, Selenio, Sodio, Zinc). Versión 02-2011

**Fecha de recepción de la muestra:** 04/09/2025

**Fecha de emisión de Informe de Ensayos:** 22/09/2025



**Miguel Valdivia Martínez**  
Gerente Técnico

## Anexo 12. Resultados De Laboratorio CETOX.



**CENTRO TOXICOLÓGICO S.A.C. - CETOX**  
SENASA - Ministerio de Agricultura - SENAVE - Dirección General de Agroquímicos /  
Dirección de Control de insumos Agrícolas. LR N° 00146  
MINSA - Ministerio de Salud. Resolución N° 165-2021-DMYGS-DIRIS-LS/MINSA

---

Av. Angamos Este N° 2668-2670 – Urb. La Calera - Surquillo  
Teléfono: (511) 920008680      www.cetox.com.pe      servicios@cetox.com.pe

**MET-25-23408**

### **INFORME DE ENSAYO**

- 1. Solicitante\*** : UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE G.  
**Dirección** : Av. Miraflores Nro. Sn Cercado (Ciudad Universitaria) Tacna - Tacna - Tacna
- 2. Identificación de la muestra\*:**  
**Análisis solicitado** : Dosaje de Arsénico  
**Fecha recepción** : 01. 10. 2025  
**Ejecución del ensayo** : Del 02.10.25 al 14.10.25  
**Periodo de custodia** : 07 días  
**Código interno** : 27022  
**Fecha de Emisión** : 14. 10. 2025

### **RESULTADOS**

#### **Parámetros de la prueba:**

- Condiciones ambientales** : Temperatura ambiental: 20,4°C  
Humedad relativa: 64,0%
- Límite de Cuantificación (LCM)** : 5,0 ug/L  
**Límite de Detección (LDM)** : 1,5 ug/L

<b>CODIGO</b>	<b>MUESTRA</b>	<b>ANALISIS CUANTITATIVO</b>	<b>RESULTADO</b>
M001	Orina	Dosaje de Arsénico	<b>637,6 ug/L</b>
M002	Orina	Dosaje de Arsénico	<b>463,0 ug/L</b>
M003	Orina	Dosaje de Arsénico	<b>52,3 ug/L</b>
M004	Orina	Dosaje de Arsénico	<b>482,9 ug/L</b>
M005	Orina	Dosaje de Arsénico	<b>71,5 ug/L</b>
M006	Orina	Dosaje de Arsénico	<b>461,1 ug/L</b>
M007	Orina	Dosaje de Arsénico	<b>304,2 ug/L</b>
M008	Orina	Dosaje de Arsénico	<b>453,2 ug/L</b>
M009	Orina	Dosaje de Arsénico	<b>154,0 ug/L</b>
M010	Orina	Dosaje de Arsénico	<b>738,2 ug/L</b>
M011	Orina	Dosaje de Arsénico	<b>557,9 ug/L</b>
M012	Orina	Dosaje de Arsénico	<b>279,9 ug/L</b>
M013	Orina	Dosaje de Arsénico	<b>229,0 ug/L</b>
M014	Orina	Dosaje de Arsénico	<b>757,1 ug/L</b>
M015	Orina	Dosaje de Arsénico	<b>583,8 ug/L</b>
M016	Orina	Dosaje de Arsénico	<b>598,3 ug/L</b>

*\*Datos proporcionados por el cliente  
Prohibida su reproducción total o parcial. Si se requiere copias solicitarlas por escrito al ente emisor*

1/2



## CENTRO TOXICOLÓGICO S.A.C. - CETOX

SENASA - Ministerio de Agricultura - SENAVE - Dirección General de Agroquímicos /  
Dirección de Control de insumos Agrícolas. LR N° 00146  
MINSA - Ministerio de Salud. Resolución N° 165-2021-DMYGS-DIRIS-LS/MINSA

Av. Angamos Este N° 2668-2670 – Urb. La Calera - Surquillo  
Teléfono: (511) 920008680 www.cetox.com.pe servicios@cetox.com.pe

**MET-25-23408**

CODIGO	MUESTRA	ANALISIS CUANTITATIVO	RESULTADO
M017	Orina	Dosaje de Arsénico	462,6 ug/L
M018	Orina	Dosaje de Arsénico	83,3 ug/L
M019	Orina	Dosaje de Arsénico	165,7 ug/L
M020	Orina	Dosaje de Arsénico	873,9 ug/L
M021	Orina	Dosaje de Arsénico	451,7 ug/L
M022	Orina	Dosaje de Arsénico	480,6 ug/L
M023	Orina	Dosaje de Arsénico	384,4 ug/L
M024	Orina	Dosaje de Arsénico	354,2 ug/L
M025	Orina	Dosaje de Arsénico	218,5 ug/L
M026	Orina	Dosaje de Arsénico	338,8 ug/L
M027	Orina	Dosaje de Arsénico	341,5 ug/L
M028	Orina	Dosaje de Arsénico	198,2 ug/L
M029	Orina	Dosaje de Arsénico	490,7 ug/L
M030	Orina	Dosaje de Arsénico	442,6 ug/L
M031	Orina	Dosaje de Arsénico	228,2 ug/L
M032	Orina	Dosaje de Arsénico	222,6 ug/L
M033	Orina	Dosaje de Arsénico	151,3 ug/L
M034	Orina	Dosaje de Arsénico	403,1 ug/L
M035	Orina	Dosaje de Arsénico	342,8 ug/L
M036	Orina	Dosaje de Arsénico	448,8 ug/L
M037	Orina	Dosaje de Arsénico	428,5 ug/L
M038	Orina	Dosaje de Arsénico	235,3 ug/L
M039	Orina	Dosaje de Arsénico	64,1 ug/L
M040	Orina	Dosaje de Arsénico	385,8 ug/L
M041	Orina	Dosaje de Arsénico	293,9 ug/L

\*\*Los resultados son válidos SOLO para la muestra ensayada

  
Dra. Rosalía Anaya Pajuelo  
Gerente Técnico CETOX S.A.C.  
Colegiatura N° 0015



*\*Datos proporcionados por el cliente*

*Prohibida su reproducción total o parcial. Si se requiere copias solicitarlas por escrito al ente emisor*

2/2

## **Anexo 13. Cálculo del riesgo toxicológico de arsénico y boro**

### **a. Cálculo de la Ingesta diaria estimada (IDE)**

Esta es la cantidad del metal que una persona está ingiriendo diariamente a través del hígado de vacuno:

$$IDE = \frac{C \times IR}{BW}$$

**Donde:**

- IDE: Ingesta diaria estimada (mg/peso corporal [kg]/día)
- C: Concentración del metal en hígado (mg/kg)
- IR: Ingesta del alimento (kg/día) = *porción en kg por cada ocasión x frecuencia (ocasión al mes/30)*
- BW: Peso corporal del individuo (kg).

**Ejemplo para un poblador, teniendo los siguientes datos:**

- C: 0,758 mg/kg de As, promedio obtenido de las 20 muestras de hígado de res.
- IR: Ingesta del alimento (kg/día):
  - Porción de consumo por cada ocasión: 100 g = 0,1 kg
  - Frecuencia de consumo: 1 vez al mes
  - $IR = \frac{0,1 \text{ Kg}}{30 \text{ días}} = 0,00333 \frac{\text{Kg}}{\text{día}}$
- BW: Peso corporal del individuo (kg): 72 Kg.

**Por tanto:**

$$IDE = \frac{0,758 \frac{mg}{Kg} \times 0,00333 \frac{Kg}{día}}{72 Kg}$$
$$IDE = 3,51 \times 10^{-5} \frac{mg}{Kg} \cdot día$$

### **b. Cálculo del riesgo toxicológico (HQ)**

Es una medida utilizada en la valoración de riesgos ambientales y de salud que contrasta la cantidad de exposición a una sustancia con la dosis de referencia, la cual no debería provocar efectos negativos.

$$HQ = \frac{IDE}{RfD}$$

**Donde:**

- IDE: Ingesta diaria estimada (mg/peso corporal [kg]/día)
- RfD: dosis de referencia para el contaminante (mg/kg. día)

**Siguiendo el ejemplo del poblador anterior, teniendo los siguientes**

**datos:**

- IDE:  $3,51 \times 10^{-5}$  mg/kg. día
- RfD: 0,00006 mg/kg.día, establecido por la USEPA, 2025 (88)
- RfD: 0,2 mg/kg/día (EPA)

**Por tanto:**

$$HQ = \frac{3,51 \times 10^{-5} \frac{mg}{Kg} \cdot día}{6 \times 10^{-5} \frac{mg}{Kg} \cdot día} = 0,585$$