



**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO**  
**FACULTAD DE MEDICINA VETERINARIA Y**  
**ZOOTECNIA**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE MEDICINA VETERINARIA Y**  
**ZOOTECNIA**



**DETERMINACIÓN DE ARSÉNICO Y MERCURIO EN**  
**POBLADORES RURALES DE LOS DISTRITOS DE HUATA –**  
**COATA REGIÓN PUNO**

**TESIS**

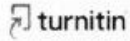
**PRESENTADA POR:**

**DINA ADELAIDA FLORES MAMANI**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:**  
**MÉDICO VETERINARIO Y ZOOTECNISTA**

**PUNO – PERÚ**

**2024**



# DINA ADELAIDA FLORES MAMANI

## ETERMINACION DE ARSENICO Y MERCURIO EN POBLADORES RURALES DE LOS DISTRITOS DE HUATA - COATA REGION P

 Universidad Nacional del Altiplano

### Detalles del documento

Identificador de la entrega

trn:oid::8254:408392358

Fecha de entrega

22 nov 2024, 12:41 p.m. GMT-5

Fecha de descarga

22 nov 2024, 12:44 p.m. GMT-5

Nombre de archivo

TESIS - DINA ADELAIDA FLORES MAMANI..pdf

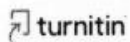
Tamaño de archivo

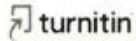
2.1 MB

84 Páginas

16,034 Palabras

86,425 Caracteres





## 9% Similitud general

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

### Filtrado desde el informe

- Bibliografía
- Texto citado
- Texto mencionado
- Coincidencias menores (menos de 20 palabras)

### Fuentes principales

- 9% Fuentes de Internet
- 2% Publicaciones
- 5% Trabajos entregados (trabajos del estudiante)

### Marcas de integridad

#### N.º de alerta de integridad para revisión

- Caracteres reemplazados**  
65 caracteres sospechosos en N.º de páginas  
Las letras son intercambiadas por caracteres similares de otro alfabeto.

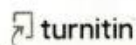
Los algoritmos de nuestro sistema analizan un documento en profundidad para buscar inconsistencias que permitirían distinguirlo de una entrega normal. Si advertimos algo extraño, lo marcamos como una alerta para que pueda revisarlo.

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

Hugo Vilcaqui MARAÑÓN  
CNI 01882854



**Domingo Ruelas Calloap**  
MEDICO VETERINARIO Y ZOOTECNISTA  
C.M.V.P. 2021  
MAGISTER EN SALUD ANIMAL  
DOCTOR EN CIENCIAS DE LA SALUD





## DEDICATORIA

*Este trabajo de investigación se lo dedico con mucho cariño a mis padres. Gracias a su amor, su apoyo incondicional y los esfuerzos que han realizado a lo largo de mi vida. Su ejemplo de perseverancia y superación ha sido una fuente constante de motivación para mí.*

*Papá y mamá, este logro también les pertenece. Sin ustedes a mi lado, nada de esto hubiera sido posible. Les dedico este triunfo como un humilde reconocimiento a todo su sacrificio y a la confianza que siempre han depositado en mí.*

*A mi Amada hermana, KELLY se lo dedicó con todo mi cariño. Tú has sido mi inspiración y apoyo a lo largo de esta etapa. Tu constante motivación y fe en mí fueron fundamentales para alcanzar este logro. Te agradezco infinitamente por creer en mí y por impulsarme a seguir adelante.*

**DINA ADELAIDA**



## AGRADECIMIENTOS

*Quiero expresar mi más profundo agradecimiento a mi asesor, el MSc. Hugo Vilcanqui Mamani y al Doctor Julio Málaga Apaza Q.E.P.D. por su dedicación, orientación y retroalimentación constante a lo largo del desarrollo de esta tesis. Sus conocimientos y valiosos aportes fueron fundamentales para guiar el rumbo de esta investigación.*

*De la misma manera, agradezco a los miembros del jurado evaluador, por sus acertadas observaciones y sugerencias que enriquecieron significativamente este trabajo.*

*Agradezco profundamente a la Red de Salud Puno por brindarme la oportunidad de llevar a cabo mi investigación en sus instalaciones. Extiendo mi más sincero agradecimiento a la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia de la Universidad Nacional del Altiplano, por brindarme la oportunidad de formarme académicamente en este prestigioso centro de estudios.*

*Por último, agradezco a mi familia y a mis amigos más cercanos por su comprensión, paciencia y motivación durante todo este proceso. Su constante aliento y respaldo fueron fundamentales para culminar esta etapa con éxito.*

**DINA ADELAIDA**



# ÍNDICE GENERAL

	Pág.
<b>DEDICATORIA</b>	
<b>AGRADECIMIENTOS</b>	
<b>ÍNDICE GENERAL</b>	
<b>ÍNDICE DE FIGURAS</b>	
<b>ÍNDICE DE TABLAS</b>	
<b>ACRÓNIMOS</b>	
<b>RESUMEN .....</b>	<b>14</b>
<b>ABSTRACT.....</b>	<b>15</b>
<b>CAPÍTULO I</b>	
<b>INTRODUCCIÓN</b>	
<b>1.1. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN.....</b>	<b>17</b>
1.1.1. Objetivo general.....	17
1.1.2. Objetivos específicos .....	18
<b>CAPÍTULO II</b>	
<b>REVISIÓN DE LITERATURA</b>	
<b>2.1. ANTECEDENTES.....</b>	<b>19</b>
<b>2.2. MARCO TEÓRICO .....</b>	<b>21</b>
2.2.1. Arsénico .....	21
2.2.1.1. Propiedades fisicoquímicas del Arsénico .....	22
2.2.1.2. Fuentes naturales y antropogénicas del Arsénico .....	23
2.2.1.3. Toxicidad y efectos para la salud.....	26
2.2.1.4. Regulaciones y Estándares de calidad .....	28
2.2.1.5. Métodos de Detección y Análisis de Arsénico .....	30



2.2.1.6. Tratamiento y remoción de Arsénico.....	31
2.2.2. Mercurio.....	32
2.2.2.1. Propiedades fisicoquímicas del mercurio.....	32
2.2.2.2. El mercurio en el medio ambiente .....	33
2.2.2.3. Toxicidad y efectos para la salud .....	36
2.2.2.4. Regulaciones y Estándares de Calidad .....	38
2.2.2.5. Métodos de detección y análisis de mercurio .....	40
2.2.2.6. Tratamiento y Remoción del Mercurio .....	41

### **CAPÍTULO III**

#### **MATERIALES Y MÉTODOS**

<b>3.1. LUGAR DE ESTUDIO.....</b>	<b>42</b>
<b>3.2. MATERIAL DE ESTUDIO .....</b>	<b>43</b>
<b>3.3. MATERIALES Y EQUIPO .....</b>	<b>43</b>
<b>3.4. METODOLOGÍA .....</b>	<b>44</b>
3.4.1. Recolección y transporte de muestras.....	44
3.4.2. Análisis de muestras de orina: .....	45
<b>3.5. ANÁLISIS ESTADÍSTICO .....</b>	<b>47</b>
a) Estadística Descriptiva .....	47
b) Análisis de datos .....	48

### **CAPÍTULO IV**

#### **RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

<b>4.1. NIVELES DE ARSÉNICO EN ORINA.....</b>	<b>50</b>
4.1.1. Concentración de arsénico en orina según sexo y edad.....	50
<b>4.2. NIVELES DE MERCURIO EN ORINA .....</b>	<b>56</b>
<b>V. CONCLUSIONES .....</b>	<b>62</b>



<b>VI. RECOMENDACIONES .....</b>	<b>63</b>
<b>VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>64</b>
<b>ANEXOS.....</b>	<b>71</b>

**Área: Salud publica**

**Tema: Determinación de arsénico y mercurio en pobladores rurales**

**FECHA DE SUSTENTACIÓN: 05 de diciembre de 2024**





## ÍNDICE DE FIGURAS

	<b>Pág.</b>
<b>Figura 1</b> Propiedades Fisicoquímicas del Arsénico. ....	23
<b>Figura 2</b> Diagrama esquemático de los efectos de la exposición crónica al arsénico	28
<b>Figura 3</b> Modelo toxico-génico de la eliminación del Mercurio.....	37
<b>Figura 4</b> Descripción de proceso .....	47
<b>Figura 5</b> Vista Satelital de Huata y Coata. ....	71
<b>Figura 6</b> Cuenca Coata. ....	72
<b>Figura 7</b> Cuencas e Inter cuencas Intermedias de la Región de Puno .....	73



## ÍNDICE DE TABLAS

	<b>Pág.</b>
<b>Tabla 1</b> Distribución por edad y sexo de las muestras obtenidas y distribución de habitantes de los centros poblados de Huata y Coata según sexo.....	42
<b>Tabla 2</b> Niveles de concentración de Arsénico (ug As/L) en muestra de Orina según sexo en pobladores de Huata y Coata - Puno.....	50
<b>Tabla 3</b> Niveles de concentración de Arsénico (ug/L) en muestras de orina según edad en pobladores de Huata y Coata - Puno .....	52
<b>Tabla 4</b> Niveles de concentración de Mercurio (ug/L) en la muestra de Orina según Sexo de pobladores de Huata y Coata - Puno.....	56
<b>Tabla 5</b> Niveles de concentración de mercurio (ug Hg/L) en las muestras de Orina según Edad de pobladores de Huata y Coata - Puno .....	60
<b>Tabla 6</b> Prueba de normalidad de Shapiro - Wilks modificada .....	78



## ÍNDICE DE ANEXOS

	<b>Pág.</b>
<b>ANEXO 1:</b> Visuales del sitio de investigación .....	71
<b>ANEXO 2:</b> Informe de resultados n° 585g-2022-censopas .....	74
<b>ANEXO 3:</b> Resultado de análisis estadístico de los niveles de concentración en arsénico .....	78
<b>ANEXO 4:</b> Panel Fotográfico De: obtención de permisos, registro de toma de muestra y obtención de muestra de arsénico y mercurio en pobladores de Huata y Coata. ....	79
<b>ANEXO 5:</b> Declaracion Jurada de Autenticidad de Tesis .....	83
<b>ANEXO 6:</b> Autorizacion para el Deposito de Tesis o Trabajo de Investigacion en el Repositorio Institucionna .....	84



## ACRÓNIMOS

<b>CENSOPAS:</b>	Centro Nacional de Salud Ocupacional y Protección del Ambiente para la Salud.
<b>OMS:</b>	Organización Mundial de la Salud
<b>DIGESA:</b>	Dirección General de Salud Ambiental e Inocuidad Alimentaria
<b>MINSA:</b>	Ministerio de Salud
<b>MIDIS:</b>	Ministerio de Desarrollo e Inclusión Social
<b>MINAM:</b>	Ministerio de Ambiente
<b>ECA:</b>	Estándar de Calidad Ambiental
<b>PNUMA:</b>	Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente
<b>PNUD:</b>	Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo
<b>ATSDR:</b>	Agencia para Sustancia Toxicas y El Registro de Enfermedades
<b>IARC:</b>	Agencia Internacional para la investigación sobre el Cáncer
<b>NTC:</b>	Norma Técnica de Calidad
<b>DMPS:</b>	Ácido dimercapto-Propano-sulfónico
<b>DMSA:</b>	Ácido Dimercapto-Succínico
<b>INEI:</b>	Instituto Nacional de Estadística e Informática
<b>INS:</b>	Instituto Nacional de Salud
<b>LPM:</b>	Límites Máximos Permisibles
<b>LMR:</b>	Límite Máximo de Residuos
<b>DCA:</b>	Diseño Completo al Azar
<b>EPA:</b>	Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos.
<b>N:</b>	Numero.
<b><math>\bar{X}</math>:</b>	Promedio.



<b>DS:</b>	Desviación Estándar.
<b>Valor <math>\rho</math>:</b>	Valor de Probabilidad.
<b>ICP – MS:</b>	Espectrometría de Masas con Plasma Acoplado Inductivamente
<b>ICP – OES:</b>	Espectrometría de Emisión Óptica con Plasma Acoplado Inductivamente
<b>EAA:</b>	Espectrometría de Absorción Atómica
<b>HG-AAS:</b>	Espectroscopia de Absorción Atómica con Generación de Hidruros
<b>LCM:</b>	Límite de Cuantificación del Método
<b>PTT:</b>	Partes Por Trillón
<b>PPM:</b>	Partes Por Millón
<b>ANOVA:</b>	Análisis de Varianza
<b>As:</b>	Arsénico
<b>As III:</b>	Arsénico trivalente.
<b>As V:</b>	Arsénico pentavalente.
<b>Hg:</b>	Mercurio
<b><math>\mu\text{g/g}</math>:</b>	microgramos por gramo
<b><math>\mu\text{g/L}</math>:</b>	microgramo por litro



## RESUMEN

El presente trabajo de investigación se realizó en pobladores de los distritos de Huata y Coata, de la región de Puno, con el objetivo de determinar los niveles de arsénico y mercurio en orina según sexo y edad. Para esto se recolectaron 55 muestras de orina; femenino 33, masculino 22, adultos 36, jóvenes 19; las muestras fueron procesadas por la técnica de espectrometría de masas con plasma acoplado inductivamente, en el laboratorio (CENSOPAS) del Instituto Nacional de Salud. Para determinar la normalidad de los datos, se utilizó la prueba de Shapiro-Wilk, el cual indica que los datos no tienen una distribución normal. Por lo que, se utilizó la prueba no paramétrica de Wilcoxon con el objeto de comparar las concentraciones de arsénico según sexo y edad. Los resultados obtenidos para pobladores del sexo masculino y femenino son: 26.15 ug As/L y 27.51 ug As/L respectivamente; para los pobladores adultos y jóvenes 27.5 ug As /L y 25.16 ugAs/L respectivamente; mostrando que no hay diferencia significativa entre la variable de sexo ni en la edad. En Mercurio el 93.54% de los pobladores femeninos se encuentran por debajo del LCM (1.67 ug/L), solo dos pobladores presentaron 1.7 ug/L y 4.42 ug/L de mercurio en muestras de orina. En pobladores del sexo masculino el 95.45%, se encuentra por debajo del LCM, solo un caso presento un nivel muy alto, que fue de 47.16 ug/L, valor que supera el límite máximo permitido (<5 ug/L).

**Palabras clave:** Arsénico, Mercurio, Muestras de orina, Pobladores rurales.



## ABSTRACT

This research work was conducted among residents of the districts of Huata and Coata in the Puno region, with the aim of determining the levels of arsenic and mercury in urine according to sex and age. A total of 55 urine samples were collected: 33 from females and 22 from males, with 36 adults and 19 youths. The samples were processed using inductively coupled plasma mass spectrometry at the CENSOPAS laboratory of the National Health Institute. To assess the normality of the data, the Shapiro-Wilk test was used, indicating that the data do not follow a normal distribution. Therefore, the non-parametric Wilcoxon test was employed to compare arsenic concentrations by sex and age. The results obtained for male and female residents are 26.15  $\mu\text{g As/L}$  and 27.51  $\mu\text{g As/L}$ , respectively; for adult and youth residents, the levels were 27.5  $\mu\text{g As/L}$  and 25.16  $\mu\text{g As/L}$ , respectively, showing no significant difference between the variables of sex or age. For mercury, 93.54% of female residents were below the LCM (1.67  $\mu\text{g/L}$ ), with only two individuals presenting levels of 1.7  $\mu\text{g/L}$  and 4.42  $\mu\text{g/L}$  in urine samples. Among male residents, 95.45% were below the LCM, with only one case showing a very high level of 47.16  $\mu\text{g/L}$ , which exceeds the maximum allowable limit (<5  $\mu\text{g/L}$ ).

**Keywords:** Arsenic, Mercury, Urine samples, Rural residents.



# CAPÍTULO I

## INTRODUCCIÓN

La exposición a metales como el arsénico y mercurio en lugares de trabajo y en el medio ambiente, así como el uso de suministros del hogar como alimentos, uso de cosméticos o remedio de origen incierto, pueden llevar a una intoxicación por estos metales. Esta intoxicación puede desarrollarse con el tiempo y en ocasiones los síntomas no son suficientemente notorias para llegar a relacionarlas directamente con una exposición por metales (Fallas et al., 2023).

En los últimos años, se ha incrementado de manera significativa la preocupación por los riesgos para la salud que representan los metales pesados como el mercurio, el arsénico, el cobre, etc., ya que se ha demostrado que tienen efectos neurotóxicos, cancerígenos y mutagénicos. La presencia de metales en el medio ambiente puede representar un peligro para la salud, especialmente para los grupos de población más vulnerables, incluidos niños, personas de la tercera edad y mujeres embarazadas (Huaman, 2018).

La información recopilada acerca de los impactos en la salud por la exposición a metales pesados resalta la necesidad de desarrollar un conjunto de políticas que faciliten la prevención, atención y tratamiento especializado. Los constantes informes sobre la presencia de metales pesados vinculados a la industria, la producción agrícola y las fuente de agua han generado riesgos potenciales tanto en el medio ambiente como en la comunidad, ya que causan graves problemas de salud tanto en personas y en animales (Londoño Franco et al., 2016).





El estudio de la detección de arsénico y mercurio en muestras biológicas resalta la necesidad urgente de abordar la exposición a metales pesados en poblaciones vulnerables. Sin embargo, falta guías clínicas actualizadas que informen sobre los efectos nutricionales y tóxicos de estos metales, lo cual dificulta una gestión efectiva de la salud pública. Además el aumento de los riesgos relacionados con la exposición a arsénico y mercurio, sugiere la necesidad de reforzar los programas de salud que busquen aumentar la concientización sobre los peligros de los metales pesados y así mitigar su impacto en la salud (Cooper-Acción, 2016).

El presente trabajo de investigación, tiene como objetivo determinar las concentraciones de arsénico y mercurio en los pobladores de Huata y Coata, con relación a la edad y el sexo de los pobladores mediante muestras de orina; los resultados obtenidos permitirán disponer de información de las concentraciones de arsénico y mercurio; con las cuales las entidades correspondientes podrán tomar medidas para prevenir e identificar las fuentes de contaminación, fomentando una vida saludable para los pobladores de los distritos de Huata y Coata.

## **1.1. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN**

### **1.1.1. Objetivo general**

Determinar el nivel de concentración por metales pesados (arsénico y mercurio) en muestras de orina, en pobladores de las comunidades del distrito de Huata y Coata de la provincia de Puno.



### 1.1.2. Objetivos específicos

- Determinar los niveles de arsénico en muestras de orina de los pobladores rurales de las comunidades del distrito de Huata y Coata, según sexo y edad.
- Determinar los niveles de mercurio en muestras de orina de los pobladores rurales de las comunidades del distrito de Huata y Coata, según sexo y edad.



## CAPÍTULO II

### REVISIÓN DE LITERATURA

#### 2.1. ANTECEDENTES

Un estudio realizado por Grassi (2018), da como resultado la diferencia de concentración de arsénico, el cual puede variar bastante entre género; niñas entre 5-8 años presentan altas concentraciones de este elemento respecto a niños de la misma edad y la brecha es aún más grande si se compara con el otro grupo de edad de preadolescentes entre 9-14 años. Asimismo, la exposición crónica al mercurio de sus diversas fuentes, se ha enfatizado la importancia de abordar los problemas de salud mental, así como el uso de alcohol y a la violencia en el hogar; especialmente por la alta prevalencia de depresión en jóvenes preadolescentes y en adultos.

Para apoyar el tratamiento de la intoxicación por metales pesados Bravo (2019), indica que las dietas de desintoxicación son sobre todo vegetarianas y reducen o evitan los alimentos que pueden suponer un estrés para el sistema inmunitario, se recomiendan alimentos orgánicos para evitar la exposición a pesticidas y otros productos químicos. Las dietas de desintoxicación incluyen una gran cantidad de productos ricos en fibras. Algunas plantas que tienen efectos de desintoxicación son el cardo mariano y la bardana.

En un estudio CENSOPAS evaluó el contenido de arsénico, plomo, mercurio, cadmio y cromo en los alimentos más consumidos por la población, así como en el aire, el agua y el suelo (CooperAcción, 2016). Además, evaluó la presencia de estos metales en sangre y orina. Se encontraron concentraciones mínimas de cadmio, cromo y plomo en todos los cuerpos de agua potable humana evaluados. También se informó que la concentración de mercurio superó el nivel establecido para el agua doméstica y se



encontraron niveles significativos de arsénico en el agua de dos municipios; estándares relacionados con el D.S. N°002- 2008 MINAM – Perú DIGESA; En el aire todos los valores estuvieron por debajo de los límites de determinación del método de laboratorio y en el suelo las concentraciones de plomo, cadmio, arsénico y mercurio estuvieron dentro de los límites de referencia.

La descripción que hace el INS (2013) sobre la exposición crónica al arsénico en el medio ambiente, principalmente a través del agua potable, se asocia con efectos como aborto espontáneo, trastornos mentales, neurotoxicidad, cáncer de pulmón y vejiga y enfermedades de la piel. Se ha descubierto que los metales pesados son elementos químicos tóxicos para la salud y pueden ingresar al cuerpo humano a través de los alimentos, el agua, el aire o absorberse a través de la piel. En nuestro país, la diversidad geográfica, geológica, política y cultural nacional permite el desarrollo de diversas actividades económicas formales e informales que generan contaminación ambiental. Entre los metales pesados de creciente importancia para la salud pública se encuentran el plomo, el mercurio, el cadmio, el arsénico, el talio y el manganeso.

Juárez (2012) describe; que estos contaminantes se pueden dividir en dos grupos según sus efectos potenciales. Los efectos agudos ocurren dentro de horas o días de la ingestión de la contaminación. Casi todos los contaminantes pueden tener efectos agudos cuando se ingieren en cantidades muy grandes en el agua potable y en este caso, los contaminantes con mayor probabilidad de causar efectos agudos son las bacterias y los virus. El organismo humano puede combatir los contaminantes microbianos, así como las bacterias; además, estos contaminantes agudos generalmente no tienen efectos permanentes. Los efectos crónicos pueden ocurrir años después cuando las personas consumen contaminantes que exceden los estándares de seguridad de la EPA. Los efectos



crónicos de los contaminantes del agua potable incluyen cáncer, problemas hepáticos o renales y problemas reproductivos.

Las muestras biológicas en sangre, orina y pelo son más empleadas para medir una exposición o dosis. Las primeras dos son para determinar una exposición reciente y la última para determinar una exposición anterior y su evolución en el tiempo (Ferrer, 2003).

Para Sampieri (1995) las actividades agrícolas pueden contaminar el suelo con metales pesados mediante el uso de fertilizantes que contienen residuos de metales pesados como los fosfatos que son pesticidas que contienen metales pesados; estiércol, lodos y compost. Se han observado depósitos atmosféricos de plomo y cantidades moderadas de cobre y zinc a partir de pesticidas y aguas residuales o lodos de aguas residuales.

## **2.2. MARCO TEÓRICO**

### **2.2.1. Arsénico**

El arsénico (As) es un elemento químico presente naturalmente y se encuentra ampliamente distribuido en el medio ambiente, presente en el aire, agua, suelo, así como, por actividades causadas por el ser humano. Puede existir en varios estados de oxidación, siendo los más frecuentes el arsénico trivalente (As III) y el arsénico pentavalente (As V) (Montoya et al., 2015). Dado que el arsénico es un contaminante relevante y tiene importantes implicaciones para la salud pública, es crucial seguir investigando sus niveles en diversas matrices ambientales y biológicas, así como evaluar los riesgos asociados a la exposición a este elemento (Rodríguez et al., 2017).



En otras palabras, debido a la importancia del arsénico como contaminante y a sus efectos sobre la salud de la población, es necesario continuar estudiando sus concentraciones en diferentes componentes del medio ambiente y organismos vivos, además de evaluar los riesgos relacionados con la exposición a este metal. El arsénico inorgánico es un carcinógeno comprobado y constituye el contaminante químico más significativo en el agua potable a nivel mundial. También puede existir en forma orgánica; los compuestos inorgánicos de arsénico presentes en el agua son altamente tóxicos, mientras que los orgánicos, presentes en los mariscos, son menos dañinos para la salud (OMS, 2018)

#### **2.2.1.1. Propiedades fisicoquímicas del Arsénico**

El arsénico (As) con número atómico 33, es un componente de color gris plateado brillante, quebradizo, amorfo. Sus elementos tienen una conductividad baja; por eso se comporta como metal o como no metal y de ahí su denominación de metaloide. Al combinarse con oxígeno, cloro o azufre forma compuestos inorgánicos; y al interactuar con carbón o hidrógeno forma compuestos orgánicos. Se oxida fácilmente en contacto con el aire húmedo y produce trióxido. Siempre se le descubre como impureza de otros metales, cobre, plomo, zinc u oro y es poco común hallarlo puro en la naturaleza. Es muy tóxico, aunque algunas de sus formas orgánicas intervienen en los procesos metabólicos de varias especies. Su nombre deriva del griego *arsenikos*, que significa “potente” (Ramírez, 1995).

**Figura 1***Propiedades Fisicoquímicas del Arsénico*

Compuesto	Fórmula	Punto de Fusión (°C)	Punto de ebullición (°C)
Arsénico	As	613	-
Trióxido de arsénico	As <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	312.3	465
Pentóxido de arsénico	As <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	315	-
Sulfuro de arsénico	As <sub>2</sub> S <sub>3</sub>	300*	300*
Ácido Dimetilarsénico	(CH <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> AsO (OH)	200	-
Arsenato de Plomo	PbHAsO <sub>4</sub>	720	-
Arsenato de Potasio	KH <sub>2</sub> AsO <sub>4</sub>	288	-
Arsenito de Potasio	KH <sub>2</sub> AsO <sub>3</sub>	-	-

Fuente: (Calejo &amp; Concepcion, 2018).

**2.2.1.2. Fuentes naturales y antropogénicas del Arsénico**

- **El arsénico en el medio ambiente**

El arsénico no se puede destruir en el medio ambiente, solo puede cambiar de forma, o puede adherirse o desprenderse de las partículas. El arsénico puede cambiar de forma al reaccionar con el oxígeno u otras moléculas en el aire, el agua o el suelo, o con las bacterias que viven en el suelo o los sedimentos. El arsénico liberado por las centrales eléctricas y otros procesos de combustión generalmente se adhiere a partículas muy pequeñas (ATSDR, 2007).

El contenido de arsénico de la corteza terrestre está entre 1,5 y 2 mg/Kg, siendo el componente número 52 en la lista de los elementos más abundantes. Su principal fuente natural lo componen las rocas de origen volcánico cuyo transcurso de erosión libera este elemento, también se halla en rocas marítimas sedimentarias, yacimientos



hidrotermales y combustibles fósiles, incluyendo carbón y petróleo. La liberación y movilización de As en diversas formas a partir de estas fuentes, provoca su presencia en el suelo, aire y agua.

Las fuentes más comunes de As ubicadas en el suelo son minerales como la cobaltina o esmaltina ( $\text{CoAsS}$ ), arsenopirita ( $\text{FeAs}_2$ ), mispiquel ( $\text{FeAsS}$ ), rejalgar o sulfuro rojo ( $\text{As}_2\text{S}_2$ ), oropimente o sulfuro amarillo ( $\text{As}_2\text{S}_3$ ), que son el punto de partida para la entrada de As a las vías fluviales. Aunque el As es estable en condiciones reductoras, a menudo no se encuentra en su estado fundamental (Maratta, 2019).

- **Comportamiento del Arsénico en el Agua**

Dependiendo de las condiciones ambientales, el arsénico se encuentra principalmente como arseniato ( $\text{AsO}_4^{3-}$ ) o arsenito ( $\text{AsO}_3^{3-}$ ) en el agua. En aguas superficiales con alto contenido de oxígeno, la especie más común es el arsénico pentavalente o arseniato ( $\text{As}^{5+}$ ). En Bajas condiciones de reducción, generalmente en los sedimentos de los lagos o aguas subterráneas, predomina el arsénico trivalente o arsenito ( $\text{As}^{3+}$ ) (Maratta, 2019).

El agua subterránea está sometida a altas presiones; esta presión puede introducir metales en su composición mediante disolución. La presencia de arsénico en las fuentes de agua subterránea es el resultado de la utilización de productos relacionados con actividades agrícolas, como son los fungicidas, insecticidas y pesticidas; muchas veces





excesiva y sin control, además, de su uso en la horticultura y control de malezas (Calejo & Concepcion, 2018).

El arsénico se puede encontrar de forma natural en la corteza terrestre y puede contaminar las aguas subterráneas a través de procesos geológicos; presentando riesgos para la salud de la población rural que residen en las cuencas bajas, ya que dependen del agua subterránea para su consumo. Esta contaminación puede estar asociada con zonas nacientes de cuencas formadas por terrenos volcánicos en la cordillera occidental de los andes. En el departamento de Puno, aunque no se especifica el lugar exacto, se ha registrado la presencia de arsénico en pozos con concentraciones de hasta 0,18 mg/L (Apaza & Calcina, 2014).

- **Actividades humanas que liberan arsénico**

En los ámbitos académicos, técnicos y científicos, ha surgido un debate sobre la importancia de avanzar en la ciencia ambiental y en la tecnológica de la sostenibilidad. Esto se considera esencial para abordar diversos problemas causados por las actividades productivas, el aumento de la población y el cambio climático. Este último es un claro ejemplo del impacto de las actividades humanas en la naturaleza y se prevé que provocará una serie de efectos globales que afectaran tanto a los seres humanos como a otras especies del planeta (Diaz, 2020).

Investigaciones recientes han identificado la presencia de metaloides y metales pesados, como arsénico, cromo, zinc, plomo y cadmio, en diversos vegetales, incluyendo lechuga y papa. Una de las



principales fuentes de contaminación es el uso de aguas de riego contaminadas. Además, se ha encontrado bioacumulación de estos metales en varios tipos de carne animal y en la leche de vaca. En muchas regiones del mundo, los alimentos han mostrado un aumento significativo en la concentración de metales pesados, superando los límites permitidos. Los estudios también han demostrado que los relaves mineros abandonados durante años contribuyen a la contaminación por arsénico, lo que representa un grave riesgo para el medio ambiente y la salud de las comunidades cercanas, debido al manejo inadecuado de sustancias contaminantes (Mansilla, 2019).

### **2.2.1.3. Toxicidad y efectos para la salud**

Al ingerir arsénico mediante agua, tierra o alimentos, la mayor parte del arsénico puede pasar rápidamente a la corriente sanguínea. La cantidad que pasa a la sangre precisará de la cantidad y del tipo de arsénico que se ingiera. De esta manera es más probable que la exposición cerca de un sitio de residuos sea más nocivo para la salud. Si se respira aire que contiene polvos de arsénico, la mayoría de las partículas de polvo se depositarán dentro de los pulmones. La cantidad excesiva de arsénico en estas partículas pasa de los pulmones a la sangre. Este tipo de exposición puede ocurrir cerca de un sitio de desechos donde se permite que las tierras contaminadas con arsénico sean elevadas al aire por el viento, o si trabaja con suelo o productos que contienen arsénico. Si la piel entra en contacto con suelo o agua contaminada con arsénico, solamente una mínima cantidad ingresará al cuerpo a través de la piel, por eso, este tipo de exposición no es muy significativa. Tanto la forma inorgánica como la



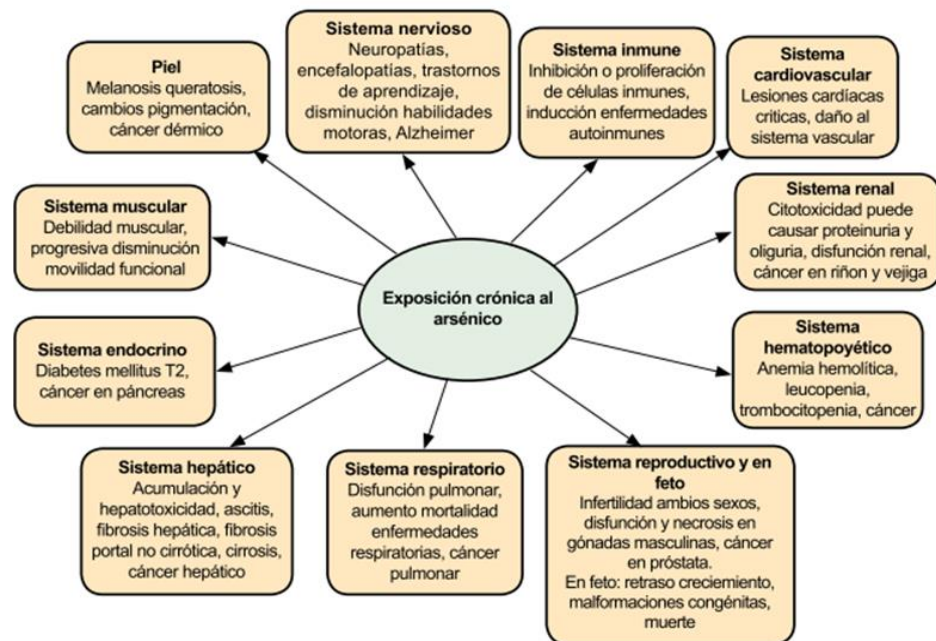
orgánica de arsénico son expulsadas del cuerpo en la orina. La mayor parte del arsénico abandona el cuerpo en unos días, pero la exposición prolongada permanecerá en el cuerpo durante meses o más tiempo (ATSDR, 2007).

Londoño et al. (2016) Describe que en humanos la toxicidad crónica con arsénico provoca lesiones en piel como la queratosis, hiperqueratosis e hiperpigmentación, así como lesiones vasculares en sistema nervioso e hígado. Las complicaciones agudas de la exposición a dosis altas pueden ser muy letales; los primeros efectos suelen ser fiebre, hepatomegalia, melanosis, arritmia cardíaca, neuropatía periférica, anemia y leucopenia.

La agencia internacional para la investigación sobre el cáncer (IARC), ha clasificado el arsénico en el grupo I de sustancias cancerígenas. Los tipos de cáncer afectan a la piel (basilioma y carcinoma de células escamosas), pulmón (carcinoma broncogénico), hemangiosarcoma de hígado, linfoma y cáncer de vejiga, riñón y nasofaringe; la exposición crónica al arsénico muestra una infinidad de efectos sobre la salud, afectando a casi todos los órganos y principales sistemas del cuerpo.

**Figura 2**

*Diagrama esquemático de los efectos de la exposición crónica al arsénico*



Fuente: (Medina-Pizzali et al., 2018)

#### 2.2.1.4. Regulaciones y Estándares de calidad

- **Límites Máximos Permisibles de Arsénico**

Los niveles promedio de arsénico en los ríos suelen ser relativamente bajos, generalmente inferiores a 0.8 ug /L, aunque pueden variar según factores como las recargas superficiales y subterráneas, la litología de la cuenca, el drenaje de zonas mineralizadas, el clima, la actividad minera y los vertidos urbanos o industriales. Por lo general, las concentraciones de arsénico en aguas subterráneas son en la mayoría de los casos inferiores a 10 ug /L. no obstante, los valores en condiciones naturales pueden oscilar ampliamente desde menos de 0.5 hasta 5.000 ug/L. el agua de estos ríos se utiliza para lavar ropa y para la higiene personal en ausencia de agua potable, lo que aumenta la frecuencia de



exposición al arsénico a través del contacto con la piel (Cabrera et al., 2016).

Los productos alimenticios de origen marino, en general, presentan bajas concentraciones de arsénico, comúnmente por debajo de 0.2 mg de arsénico por kilogramo en peso seco. No obstante, algunos organismos marinos como los moluscos bivalvos, tales como los mejillones, tienden a acumular niveles relativamente altos de arsénico, con valores que pueden oscilar entre 0.001 y 4.5 mg de arsénico por kilogramo. Por otra parte, se ha observado que los peces grasos y sus aceites suelen contener mayores concentraciones de arsénico en comparación con otros productos marinos. Esto se debe a que el arsénico tiende a acumularse en mayor medida en los tejidos grasos de los organismos acuáticos. Se estima que el contenido de arsénico en el arroz y sus derivados puede ser hasta 100 veces mayor que en frutas, mariscos o carne, con el 10-50% del arroz consumido mundialmente presentando concentraciones de arsénico superiores a 200  $\mu\text{g}/\text{kg}$ . Es posible reducir la concentración de arsénico en el arroz mediante repetidos lavados y cocción en abundante agua, eliminando el exceso de agua al final del proceso (Medina-Pizzali et al., 2018).

- **Normativas y Políticas a Nivel Nacional e Internacional para Control de Arsénico**

La salud ocupacional se considera un pilar fundamental en el desarrollo; las normas que define los lineamientos y criterios técnicos para la evaluación médica ocupacional, incluyendo el monitoreo biológico de sustancias químicas como el arsénico en orina, se establece que el valor de



referencia para la población expuesta ocupacionalmente es de 50 ug/L. además, valores superiores a 100 ug/L en orina deben considerarse un hallazgo que requiere la implementación de medidas de control y seguimiento NTS N°068 – MINSA/DGSP – V.01 (MINSA, 2018).

La Ley General de Salud; ley N° 26842; establece que el estado debe dictar medidas para minimizar y controlar los riesgos para la salud por factores como el arsénico; así como el Decreto Supremo N° 007 – 98-SA, establece el reglamento de vigilancia y control sanitario de alimentos y bebidas, regulando los límites máximos de residuo (LMR) de arsénico en diversos alimentos (MINSA, 2023).

Frente a la base legal internacional más relevante en relación al control del arsénico esta la organización mundial de la salud (OMS) estableciendo un límite máximo de 10 ug/L de arsénico en el agua para el consumo humano y los límites máximos de residuos (LMR) de arsénico en alimentos del Codex Alimentarius (World Health Organization, 1997).

#### **2.2.1.5. Métodos de Detección y Análisis de Arsénico**

La exposición al arsénico se evalúa comúnmente mediante el análisis de orina, permitiendo la detección de arsénico en formas inorgánicas y orgánicas mediante las técnicas de Espectroscopia de Absorción Atómica con Generación de Hidruros (HG-AAS) y la Espectrometría de Masas con Plasma de Acoplamiento Inductivo (ICP-MS). El análisis de sangre refleja la exposición a corto plazo y la carga corporal total, utilizando métodos como (ICP-MS). El cabello y las uñas, que son tejidos queratinosos, permiten evaluar la exposición a largo plazo



con técnicas como Espectroscopia de Absorción Atómica (AAS), (ICP-MS) y análisis por activación de neutrones. En casos de intoxicación severa, se pueden analizar biopsias de piel o uñas para determinar la especiación del arsénico. Además, las pruebas de provocación con agentes quelantes, como el Ácido dimercaptosuccínico (DMSA), ayudan a cuantificar el arsénico acumulado en el organismo, reflejando la carga corporal total mediante los niveles de arsénico en orina después de la provocación. La elección del método de análisis depende de los objetivos, la disponibilidad de equipos y la experiencia del laboratorio (Ramírez, 2013a).

#### **2.2.1.6. Tratamiento y remoción de Arsénico**

En Perú el tratamiento más utilizado, es con quelantes, como el DMSA (ácido 2,3-dimercaptosuccínico) y el DMPS (ácido 2,3-dimercapto-1-propanosulfónico). Estos agentes se emplean para tratar intoxicaciones agudas o crónicas por arsénico. Diversos estudios en Perú han evaluado la eficacia de estos tratamientos para disminuir los niveles de arsénico en la población afectada (Ramírez, 1995); Así como los tratamientos con hemodiálisis y hemofiltración en los hospitales de Perú, especialmente en centros especializados, se utiliza para eliminar rápidamente el arsénico de la sangre en casos graves de intoxicación. El tratamiento con antioxidantes y nutrientes en Perú han demostrado que la suplementación con vitaminas C y E, así como con ácido  $\alpha$ -lipoico, puede ayudar a mitigar los efectos tóxicos del arsénico. Estos antioxidantes naturales se han incorporado en algunos protocolos de tratamiento para las comunidades expuestas al arsénico (Soediono, 1989).



## 2.2.2. Mercurio

### 2.2.2.1. Propiedades fisicoquímicas del mercurio

El mercurio es un metal pesado, plateado, ubicuo y líquido cuando está a una temperatura de ambiente. En su forma pura se lo conoce como mercurio elemental ( $\text{Hg}^0$ ). Éste se volatiliza fácilmente formando vapores incoloros e inodoros (Gaioli et al., 2012).

Es un metal, que a temperatura ambiente se encuentra en estado líquido: su temperatura de fusión es de  $-38,9^\circ\text{C}$  y su temperatura de hervor es de  $357,3^\circ\text{C}$ . Su peso representativo es de  $13,6 \text{ g/cm}^3$  ( $0^\circ\text{C}$ ). El mercurio metálico debido a su alta presión de vapor ( $163 \times 10^{-3} \text{ Pa}$ ), se volatiliza fácilmente a temperatura ambiental de  $20^\circ\text{C}$  su concentración en el aire puede alcanzar hasta  $0,014 \text{ g/m}^3$ , y a  $100^\circ\text{C}$  hasta  $2,4 \text{ g/m}^3$ . Regularmente se habla de vapor de mercurio cuando el mercurio elemental se halla presente en la atmósfera o de mercurio metálico cuando se encuentra en su forma líquida (Priester., 2000).

El gran número de metales y mayormente oro y plata, conforman aleaciones con el mercurio metálico, que se distinguen como amalgamas. Esta propiedad lo hace atractivo para la recuperación de oro en la pequeña minería aurífera.

La solubilidad del mercurio en agua varía significativamente según la temperatura del agua, aumentando de  $60 \text{ mg/l}$  a  $20^\circ\text{C}$  hasta  $1100 \text{ mg/l}$  a  $90^\circ\text{C}$ . Además, el mercurio presenta una solubilidad moderada a elevada en medios lipófilos, oscilando entre  $5 - 50 \text{ mg/l}$ . Esto indica una mayor





afinidad del mercurio por entornos grasos, facilitando su bioacumulación y biomagnificación (Priester, 2000).

#### **2.2.2.2. El mercurio en el medio ambiente**

Las fuentes naturales de mayor cantidad de mercurio son las emisiones de los volcanes, la erosión de las rocas y la evaporación desde los cuerpos de agua. Las primeras fuentes antrópicas provienen de actividades relacionadas con:

- Extracción de recursos naturales; como la recuperación de metales preciosos, de yacimientos de petróleo y carbón. Sin embargo, es crucial tener en cuenta que muchos de estos recursos contienen compuestos de mercurio como impurezas, lo que representa riesgos significativos para el medio ambiente y la salud de las comunidades cercanas.
- Los desechos y la disposición de los residuos (procesos de incineración de residuos principalmente de fuentes médicas, disposición de pilas, lámparas, termómetros, equipo obsoleto descartado, etc.).
- Centrales termoeléctricas y combustión de derivados de petróleo y de carbón.
- Efluentes y emisiones de industrias (Clorosoda, farmacéutica, manufacturera, plaguicidas) y de servicios: unidades médicas y odontológicas a partir de prácticas o accidentes; los residuos líquidos no tratados de la práctica odontológica, se han mensurado



como en un tercio del volumen total de mercurio volcado a la red de drenaje urbano de agua (Programa Nacional de Riesgos Químicos, 2007).

La atmósfera, el agua y el suelo son los receptores de las liberaciones de mercurio en el medio ambiente. Existen interacciones persistentes entre estos compartimentos ambientales. Los ríos y océanos también actúan como medios de transporte del mercurio a grandes distancias. Por ejemplo, se han notado mayores niveles de mercurio en el Ártico, muy lejos de las fuentes importantes de liberación (Gaioli et al., 2012).

- **Fuentes intencionales**

Las fuentes intencionales de contaminación por mercurio surgen cuando se toma la decisión consiente de fabricar productos o realizar procesos que lo incorporan. Un claro ejemplo de estos productos que contienen mercurio incluye lámparas fluorescentes, termómetros, baterías e interruptores. En el ámbito de la minería en pequeña escala, se utiliza mercurio elemental para extraer oro de mezclas de rocas trituradas, sedimentos y otros materiales; estas prácticas de minería e industria contribuyen significativamente a la contaminación ambiental por mercurio, afectando tanto a la salud de la población como a los ecosistemas (Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente., 2002).



- **Fuentes no intencionales**

Estas fuentes resultan de la quema o procesamiento de combustibles fósiles, minas o minerales que contienen mercurio como contaminante no deseado. Ejemplos de esto incluyen las centrales eléctricas de carbón, los hornos de cemento, la extracción y el procesamiento de minerales metálicos y la extracción de combustibles fósiles, como carbón, petróleo, esquisto bituminoso y arenas bituminosas. El mercurio también se libera al medio ambiente a través de los incineradores y los rellenos sanitarios que se utilizan para eliminar productos y residuos con mercurio al término de su uso, algunos los clasifican como una fuente no intencional (Weinberg, 2007).

- **El Mercurio en aguas terrestres**

Existen una serie de vías a partir de las cuales el mercurio puede entrar en el dominio de las aguas terrestres. Hg (II) y metilmercurio pueden ser depositados directamente desde la atmósfera por vía húmeda o seca sobre cuerpos de agua terrestre; el metilmercurio también puede ser incorporado a las aguas terrestres por acción de la lluvia (Hg complejado a suelo/humus en suspensión); por otro lado, este lavado y arrastre de mercurio desde el suelo a las aguas terrestres puede realizarse a partir de corrientes de agua subterránea (Martínez, 2004).



### 2.2.2.3. Toxicidad y efectos para la salud

La toxicidad de estas sustancias orgánicas depende de la composición, la vía de exposición y la edad de la persona expuesta. Los signos de toxicidad en la exposición aguda en el tracto digestivo progresan desde parestesias hasta ataxia y debilidad general y luego discapacidad visual y auditiva, espasmos musculares, coma y hasta la muerte.

La exposición humana al mercurio se evalúa utilizando biomarcadores que actúan como sustitutos de la dosis interna biológicamente relevante. (Raimann et al., 2014). Los tres biomarcadores más importantes son: mercurio en sangre, en cabello y en uñas. También se puede utilizar sangre de cordón umbilical, orina y leche.

El Programa Nacional de Riesgos Químicos (2007), menciona que la exposición al mercurio se ha asociado con diversas consecuencias como infarto de miocardio, autismo, fibromialgia, síndrome de fatiga crónica, lupus eritematoso sistémico, demencia, Parkinson, Alzheimer, esclerosis múltiple, otros cuadros neurológicos, metabólicos, hormonales, renales, dermatológicos. Aunque el debate científico no está completo para varios de estos efectos, el tipo y grado de asociación todavía no está establecida. La variedad y la gravedad de los cuadros explican la preocupación de profesionales y población general respecto a la exposición a compuestos de mercurio.

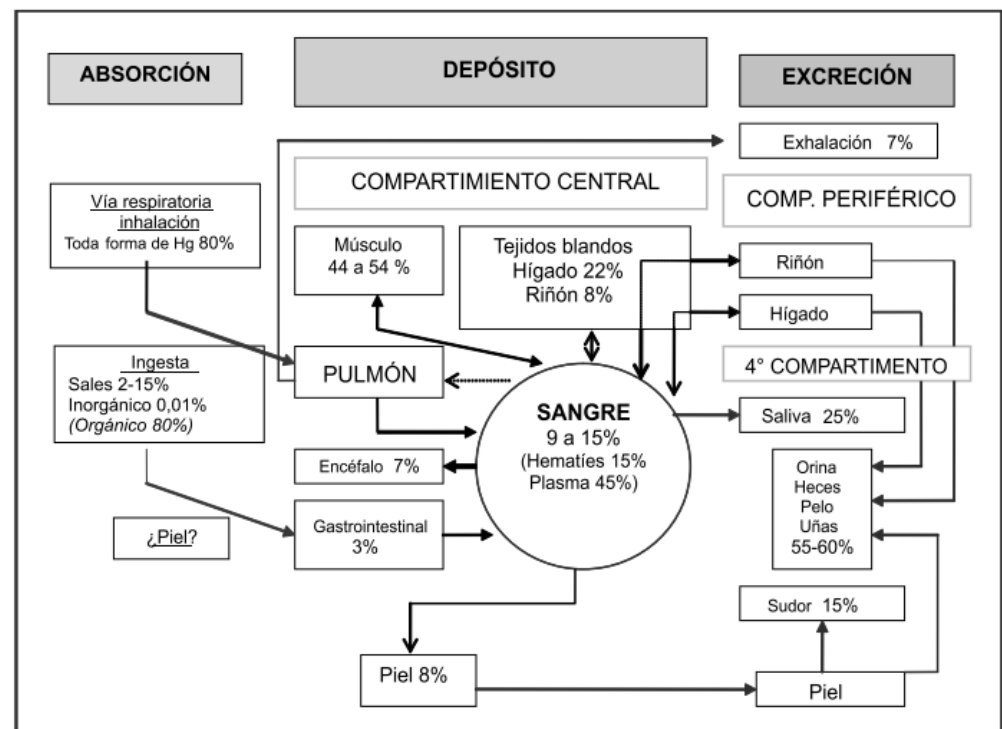
Las personas que sufren intoxicación por mercurio tienen una amplia variedad de síntomas, como son náuseas, vómitos y mareos. Las personas presentan diversas alteraciones entre las cuales destacan las

neurológicas, renales e hiperlipidemias que provocan enfermedades cardiovasculares (Yana & Quispe, 2018).

En investigaciones clínica realizada por la Agency for Toxic Substances and Disease Registry, ATSDR (2022), han evaluado la eliminación de mercurio tras la inhalación de Hg.; alrededor del 10% de la dosis inhalada se excreta en el aire exhalado poco después de la exposición, mientras que un 2.4% se excreta en la orina durante los primeros días, y un 9.2% en heces.; a largo plazo, una mayor fracción de la dosis inhalada se excreta en orina. En el estudio, se encontró que entre el 8% y el 40% se excretó en orina después de 30 días.

### Figura 3

Modelo toxico-génico de la eliminación del Mercurio.



Fuente: (Ramírez, 2013b)

En estado iónico, se fija a los grupos celulares abundante en radicales -SH, se modifica varios sistemas metabólicos y enzimáticos de



la célula y su pared e inhibe la síntesis de proteínas en la mitocondria, su función energética (Ramírez, 2013b).

El compartimento central está constituido por todos los órganos y tejidos excepto riñón e hígado. Los periféricos son el riñón, como compartimento de mayor tiempo de almacenamiento de donde el mercurio es aclarado lentamente, y el hígado donde se acumula a corto plazo; un cuarto compartimento “depósito de excreción”, donde se deposita el mercurio excretado, integrado principalmente por orina y heces, más pelo y uñas.

Según esto el mercurio abandona el compartimento central por tres caminos paralelos: vía riñón, hígado y directamente al depósito de excreción. En el último están incluidos los procesos de filtración, secreción biliar y secreción de la mucosa intestinal (Santiago, 2001).

#### **2.2.2.4. Regulaciones y Estándares de Calidad**

- **Límites Máximos permisibles para el Mercurio**

Los niveles de exposición al mercurio en seres humanos se han convertido en un tema de preocupación a nivel global, debido a los efectos nocivos que pueden tener este metal pesados en la salud. Diversos organismos internacionales y nacionales han establecido regulaciones y estándares de calidad para los niveles permitidos de mercurio en las personas. La Organización Mundial de la Salud ha determinado que los niveles de mercurio en sangre no deben superar los 5 µg/L, y en orina, el límite es de 5-20 µg/L; y en tanto, los límites



máximos de mercurio en agua la organización de la salud indica que es 6 ug/L (OMS, 2021).

Las regulaciones y Estándares Nacionales en el Perú están en concentraciones sanguíneas de mercurio por debajo de 10-20  $\mu\text{g/L}$  y niveles urinarios menores de 50  $\mu\text{g/L}$  se consideran dentro de los rangos referenciales. No obstante, la relación entre la cantidad de mercurio y su toxicidad puede variar. En general, niveles en sangre superiores a 35  $\mu\text{g/L}$  o en orina superiores a 100  $\mu\text{g/L}$  requieren terapia (Ministerio de Salud, 2015).

Para MINAM (2017) indica que los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para agua es de 0.001 mg/L; así como para suelos es de 6.6 mg/Kg. Para alimentos y piensos como el pescado y productos de pesca es de 0.5 – 1.0 mg/L (MIDIS, 2021).

- **Normativas y políticas a nivel nacional e internacional para el control del mercurio.**

Las principales bases legales en el Perú relacionada al control y regulación del mercurio son: Decreto Supremo N° 011-2017-MINAM, que establece un límite máximo permisible de mercurio en suelos. Decreto Supremo N° 004-2017-MINAM, fija un límite permisible para agua y disposiciones complementarias. Resolución Ministerial N° 591-2008/MINSA, establece los LMR de mercurio en alimentos como el pescado, productos de la pesca y otros alimentos de consumo humano (MIDIS, 2021).



Para las bases legales internacionales que regulan y controlan el mercurio está el Convenio de Minamata, es un tratado internacional que tiene como objetivo proteger la salud humana y el medio ambiente de las emisiones y liberaciones antropogénicas de mercurio y sus compuestos (ONU, 2019); La agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (EPA), establece límites máximo de 2ug/L de mercurio en aguas potable bajo de la ley de agua potable segura, fijando también límites en pescado y otros alimentos. Así como la Unión Europea indica mediante la Directiva 98/89/CE sobre la calidad de aguas destinadas al consumo humano y reglamentos (CE) N° 1881/2006 fija los niveles máximos de determinados contaminantes en los productos alimenticios, incluyendo límites de mercurio (Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente, 2002) PNUMA.

#### **2.2.2.5. Métodos de detección y análisis de mercurio**

Los métodos de detección de mercurio incluyen el análisis de muestras de sangre para determinar el mercurio total, mercurio inorgánico y metilmercurio. Las técnicas analíticas utilizadas son la espectroscopía de absorción atómica (EAA), la espectroscopía de emisión óptica con plasma acoplado inductivamente (ICP-OES) y la espectrometría de masas con plasma acoplado inductivamente (ICP-MS); la EAA es sensible y precisa, detectando mercurio en niveles tan bajos como 0.1 ug/L, mientras que la ICP-MS permite detectar múltiples metales y proporciona información sobre la forma química del mercurio. La orina es una matriz común para para medir el mercurio inorgánico y el total de mercurio; el cabello se usa para determinar el metilmercurio y el mercurio total. Además, se pueden





analizar muestras de uñas. La elección del método depende de factores como la concentración esperada de mercurio, el tipo de muestra y los recursos disponibles en el laboratorio. Es crucial seguir protocolos analíticos estandarizados para asegurar la precisión de los resultados (Ramírez, 2013a).

#### **2.2.2.6. Tratamiento y Remoción del Mercurio**

Los tratamientos disponibles para la intoxicación por mercurio incluyen la quelación, que es efectiva para todas las formas de toxicidad por mercurio (Ministerio de Salud, 2015). Además, se puede utilizar la suplementación con selenio y la terapia alternativa. En cuanto a la terapia con antioxidantes, esta incluye el uso de vitamina C, vitamina E y selenio, los cuales se pueden combinar con agentes quelantes para mejorar la eficacia del tratamiento (Cabrera & Arango, 2022).

La eliminación del mercurio se puede lograr mediante la vía digestiva y la vía renal. Para la eliminación digestiva, se utiliza arcilla de montmorillonita, la cual ayuda a evitar la perforación de la mucosa gastrointestinal. En cuanto a la eliminación renal, la hemodiálisis debe realizarse dentro de las primeras 24 a 36 horas después del diagnóstico y solo en situaciones críticas en las que el compuesto sea hidrosoluble y la diálisis sea factible (PNUD, 2023).

## CAPÍTULO III

### MATERIALES Y MÉTODOS

#### 3.1. LUGAR DE ESTUDIO

El presente trabajo de investigación se llevó a cabo durante la temporada de lluvias en el sector de Huata y Coata, ubicadas en la región de Puno, Perú. Huata se sitúa a una altitud de 3,863 msnm a 15°36'50" de latitud sur, 69°58'25" de longitud oeste. Coata se sitúa a una altitud de 3,839 msnm a 15°34'17" de latitud sur, 69°57'02" de longitud oeste. La cuenca del río Coata limita con el Norte con la cuenca del río Ramis, por el Sur con la Cuenca del río Illpa, con el Este con el lago Titicaca y por el Oeste con las cuencas de los ríos Lampa y Cabanillas. El área es susceptible a peligros geohidrológicos de tipo inundación y erosión fluvial detonados por la presencia de lluvias intensas. Se encuentra en la región de la sierra, al noroeste de la ciudad de Puno, su clima es frío y seco ventoso, caen fuertes lluvias en verano y heladas en invierno, su superficie tiene aproximadamente 130.37 km<sup>2</sup> (SENAMHI, 2023).

**Tabla 1**

*Distribución por edad y sexo de las muestras obtenidas y distribución de habitantes de los centros poblados de Huata y Coata según sexo.*

Edad	Sexo	N° de muestras	Población total del sector Huata	Población total del sector Coata
<b>Femenino</b>	Joven	13	174	199
	Adulto	20		
<b>Masculino</b>	Joven	6	198	196
	Adulto	16		
<b>Total</b>		55	372	395

Fuente: elaboración propia



### **3.2. MATERIAL DE ESTUDIO**

El presente estudio se realizó en 55 pobladores entre jóvenes, adultos, de sexo femenino y masculino, de los distritos de Huata y Coata, de la provincia de Puno. Para el tamaño de muestra se utilizó el muestreo por conveniencia, donde indica que en situaciones donde hay limitaciones en poder acceder a toda o gran parte de la población para la toma de muestras se utiliza el tipo de muestreo por conveniencia. Esta es una técnica no probabilística y no aleatoria utilizada para crear muestras de acuerdo a la facilidad de acceso, la disponibilidad de las personas de formar parte de la muestra, en un intervalo de tiempo dado o cualquier otra especificación práctica de un elemento particular (Tamara & Monterola, 2017). Por lo cual este estudio se realizó, mediante la Dirección Regional de Salud Puno, conjuntamente con el programa de vigilancia sanitaria de esta institución, realizando la coordinación y sensibilización previa a los pobladores de estos distritos. Posteriormente el 25 de febrero del 2020, se procedió con la toma de muestras de orina a 55 pobladores de estos distritos (tabla 1).

### **3.3. MATERIALES Y EQUIPO**

#### **a) De Campo**

- Frascos estériles
- Caja conservadora de frío
- Material de escritorio
- Equipo de protección personal
- Guantes
- Gel antibacterial
- Jabón líquido
- Tableros



- Formatos permisivos para la toma de muestra

#### **b) Equipos**

- Cámara fotográfica.
- Impresora
- Laptop
- Espectrómetro de masas con plasma acoplado inductivamente.

### **3.4. METODOLOGÍA**

#### **3.4.1. Recolección y transporte de muestras**

Se recolectaron 55 muestras de orina, cada muestra fue de 100 ml, para esto, a cada paciente se entregó un recipiente de polietileno estéril, indicando con antelación sobre el proceso adecuado para la recolección de la muestra.

Procedimiento de la recolección de muestra:

1. Se informó al paciente y familia sobre el procedimiento.
2. Se le indicó que debe realizar la higiene de las manos con un jabón antiséptico.
3. Preparamos al paciente con el equipo de protección (mandilón, cofia y protector de zapatos).
4. Trasladamos al consultorio al paciente y entregamos el frasco estéril ya rotulado para la toma de muestra de orina.
5. Indicamos al paciente que ingrese al servicio higiénico y recoja la orina en el frasco que se le proporcione, desechando el primer chorro de orina y recogiendo el siguiente; tapando el frasco sin tocar el interior.
6. Almacenamos las muestras, correctamente rotuladas.



Las muestras se almacenaron a  $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$  en una caja conservadora de frío con paquetes de gel congelado alrededor. El transporte de las muestras desde Puno hasta el laboratorio en Lima, se realizó por vía aérea, considerando las medidas de bioseguridad y la refrigeración de las muestras.

Para la recolección de muestras, se definieron criterios de inclusión y exclusión con el fin de asegurar la validez del estudio. Los criterios de inclusión consideraron a participantes de todas las edades que dieran su consentimiento informado para la toma de muestra. Se excluyeron aquellos pacientes que estuvieran tomando medicamentos que pudieran afectar los análisis; y se tomó muestra de uno o dos miembros de cada familia para evitar la sobre representación de un mismo hogar.

#### **3.4.2. Análisis de muestras de orina:**

Las muestras de orina se analizaron en el laboratorio del Centro Nacional de Salud Ocupacional y Protección del Ambiente para la Salud (CENSOPAS), institución que está adscrita al Instituto Nacional de Salud (INS), la misma que está ubicada en el distrito de Lince en la ciudad de Lima.

La técnica de laboratorio con la cual se analizó las muestras de orina fue Espectrometría de Masas con Plasma Acoplado Inductivamente (ICP – MS).

- **Descripción de la Espectrometría de Masas con Plasma Acoplado Inductivamente (ICP-MS).**

Esta técnica (Espectrometría de Masas con Plasma Acoplado Inductivamente (ICP-MS) posee una alta sensibilidad y rapidez en el análisis multielemental, lo cual posibilita la capacidad de cuantificar las concentraciones



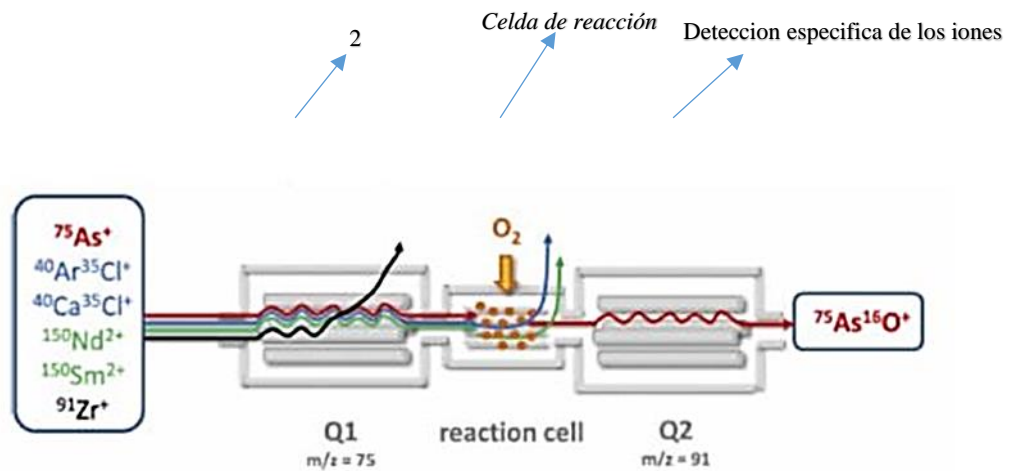
(0.3 a 1.5 ug/L) de un rango mínimo de 5 órdenes de magnitud, es decir desde unos limitados PPT a cantidades mayores de PPM). Permitiendo analizar más elementos (arsénico, mercurio, plomo, cadmio, cobre, zinc, selenio, bario, calcio, magnesio, hierro y aluminio), a un menor número de muestra y en menor tiempo. En consecuencia, se pueden analizar más elementos con menos número de muestra y en menor tiempo. Este método se basa en la obtención de iones a partir de moléculas orgánicas en fase gaseosa; Una vez obtenidos estos iones, se separan según su masa y carga, finalmente se detectan por medio de un instrumento adecuado, el cual es capaz de determinar y cuantificar la mayoría de los elementos de la tabla periódica.

#### Procedimiento de la ICP-MS:

1. La muestra se introduce y se lleva un proceso de atomización del analito.
2. Este argón ionizado es inducido por una corriente de muy alta frecuencia.
3. La muestra del analito se calienta a 5.000 hasta 10.000 °C.
4. La ionización completa es crucial para asegurar una detección efectiva.
5. Los iones generados son extraídos hacia el analizador de masas.
6. Se cuantifica los iones en función de su intensidad, lo que permite determinar la concentración de cada metal pesado en la muestra.
7. Los datos se procesan y se compara con estándares de calibración para determinar las concentraciones de metales pesados en la muestra.
8. Los resultados se presentan en unidades de ug/L.

## Figura 4

### Descripción de proceso



Fuente: Harvey (2024).

## 3.5. ANÁLISIS ESTADÍSTICO

### a) Estadística Descriptiva

Las características generales de las concentraciones de arsénico y mercurio en la población estudiada, se analizaron dos variables principales; concentración de arsénico ( $\mu\text{g/L}$ ) y concentración de mercurio ( $\mu\text{g/L}$ ), en muestras de orina de los pobladores de las comunidades de Huata y Coata, clasificadas según sexo (masculino y femenino) y un grupo de etario (jóvenes y adultos) para ambos metales.

Las técnicas utilizadas para describir estas variables se utilizaron las siguientes medias estadísticas descriptivas como:

N: Numero de datos

$\bar{X}$ : Promedio

$\sigma^2$ : desviación estándar; también se representa con la letra Ds.

## b) Análisis de datos

En el análisis estadístico de los niveles de mercurio y arsénico en muestras de orina en los pobladores de Huata y Coata, se realizó la prueba de la normalidad de Shapiro-Wilks modificada, y se aplicó la prueba no paramétrica de Wilcoxon para el análisis de los datos. Por otro lado, el análisis de los niveles de mercurio se expresó en términos porcentuales, lo que permite una interpretación más clara de la distribución y frecuencias de la exposición en la población estudiada.

### Shapiro-Wilks

$$H_0: X \sim N(\mu, \sigma^2)$$

$$H_1: X \not\sim N(\mu, \sigma^2)$$

Donde:

$H_0$ : la distribución es normal

$H_1$ : la distribución no es normal

### Prueba de Wilcoxon

$$Z = \frac{R - \mu_R}{\sigma_R}$$

$$\mu_R = \frac{n_1(n_1 + n_2 + 1)}{2}$$

$$\sigma_R = \sqrt{\frac{n_1 n_2 (n_1 + n_2 + 1)}{12}}$$





Donde:

$n_1$ : tamaño de la muestra 1, a partir de la cual se calcula la suma de rangos  $R$ .

$n_2$ : tamaño de la muestra 2.

$R_1$ : suma de rangos de la muestra 1.

$R_2$ : suma de rangos de la muestra 2.

$R$ : lo mismo que  $R_1$  (suma de rangos de muestra 1).

$\mu_R$ : media de los valores muestrales  $R$  esperados cuando las dos poblaciones son idénticas.

$\sigma^2_R$ : desviación estándar de los valores muestrales  $R$  esperados cuando las dos poblaciones son idénticas.



## CAPÍTULO IV

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 4.1. NIVELES DE ARSÉNICO EN ORINA

Los resultados de los análisis de las muestras de orina, para determinar la concentración de arsénico; se sometieron a la prueba de Shapiro – Wilks modificada, con el objeto de poder evaluar si seguían una distribución normal. Los resultados se muestran en el anexo 3 y la tabla 6.

El valor de  $W^*$  obtenido fue de 0.83, con un valor  $P$  unilateral menor a 0.0001. Estos resultados indican que los datos de concentración de arsénico no se ajustan a una distribución normal ( $p < 0.05$ ). Por lo que, debido a la falta de normalidad de los datos, se aplicó la prueba no paramétrica de Wilcoxon, con el objetivo de comparar las concentraciones de arsénico según sexo y edad.

##### 4.1.1. Concentración de arsénico en orina según sexo y edad

En la tabla 2 y 3, se muestran las estadísticas descriptivas de los niveles de Arsénico según sexo y edad respectivamente.

**Tabla 2**

*Niveles de concentración de Arsénico (ug As/L) en muestra de Orina según sexo en pobladores de Huata y Coata - Puno.*

ARSÉNICO				
Sexo	N	Media ug/L	D.E	P 0.8907
Femenino	33	26.15	19.78	A *
Masculino	22	27.51	24.3	A *

\*Letras iguales indican que no hay diferencia estadística.

Fuente: Elaboración propia.



En la tabla 2, se presenta las concentraciones de arsénico, según el sexo, diferenciados entre pobladores femeninos y masculinos. Donde se observa que para los treinta y tres (33) pobladores de sexo femenino la media de concentración de Arsénico en orina es de 26.15 ug /L, este valor es ligeramente inferior a los veinte dos (22) pobladores de sexo masculino que tiene una concentración de 27.51 ug/L. Sin embargo, al análisis estadístico entre las medias de ambos sexos (P valor 0.8907) sugiere que no hay diferencias estadísticamente significativas para los niveles de Arsénico, entre pobladores del sexo femenino y masculino ( $p < 0.05$ ). Además, la mayor desviación estándar en el grupo se observó en los pobladores del sexo masculino con  $\pm 24.3$  en comparación con los pobladores del sexo femenino con  $\pm 19.78$ ; esto indica que hay una mayor variabilidad en los niveles de exposición entre pobladores del sexo masculino. Estos resultados sugieren que, hay una tendencia hacia niveles más altos de arsénico en pobladores del sexo masculino, lo que podría significar que algunos están expuestos a concentraciones significativamente más altas; subrayando la importancia de considerar los distintos factores que pueden variar; según la dieta, la exposición ambiental y otros.

Al comparar los datos de Arsénico en muestras de orina con los valores referenciales establecidos por CENSOPAS (Anexo 2), para personas no expuestas; ambos valores (26.15 ug As/L y 27.51 ug As/L) para pobladores del sexo femenino y masculino, se encuentran dentro del rango de referencia (10 – 50 ug As/L), lo que nos indica que, los pobladores no están en riesgo de contaminación. Sin embargo, están cerca del límite superior de este rango, lo que podría ser motivo de preocupación.

Estos resultados son diferentes a lo reportado por Grassi (2018), quien, en un estudio realizado en el poblado de Paragasha, Cerro de Pasco, señala que la diferencia de concentración del Arsénico varía bastante entre género; las niñas presentan altas concentraciones de este elemento respecto a los niños.

Sixto & Gómez (2012) reportó valores similares a nuestros resultados, con una media de 25.7 ug/L para pobladores masculinos; este estudio indica que tanto el ámbito ocupacional como el ambiental son factores determinantes para elevar los niveles de Arsénico en orina.

Por otro lado, el Decreto Supremo N° 1009- 2023 – SA – MINSA (2023) y las normas de la OMS (2018), establecen que el límite máximo permisible de Arsénico en el agua potable es de 0.01 mg/L (10 ug/L). Sin embargo, los datos del estudio muestran que los niveles de Arsénico son alarmantemente más altos, con una media de 26.15 ug/L y 27.51 ug/L en pobladores de sexo femenino y masculino respectivamente; (tabla 3). Ambos valores superan significativamente al límite establecido, lo que indica que la población estudiada enfrenta una exposición preocupante a Arsénico, que podría tener graves implicaciones para la salud pública.

### Tabla 3

*Niveles de concentración de Arsénico (ug/L) en muestras de orina según edad en pobladores de Huata y Coata - Puno*

ARSÉNICO				
Edad	N	Media	D.E	P 0.2882
Adulto	36	27.5	20.66	A*
Joven	19	25.16	23.5	A*

\*Letras iguales indican que no hay diferencia estadística.

Fuente: Elaboración propia



En la tabla 3 se presenta los niveles de Arsénico en muestras de orina en dos grupos de edad (adultos y jóvenes). En el grupo de adultos, se observa una media de 27.5 ug/L con una desviación estándar de  $\pm 20.66$ , mientras que, en el grupo de jóvenes, la media es de 25.16 ug/L, con una desviación estándar es de  $\pm 23.5$ ; el valor P es de 0.2882 indicando que no hay diferencia estadísticamente significativa para los niveles de Arsénico entre adultos y jóvenes.

Al comparar estos datos con los valores de referencia de CENSOPAS, que indica que, para personas no expuestas, los niveles de arsénico en orina deben estar en el rango de 10 – 50 ug/L, se puede concluir que ambos grupos se encuentran dentro del rango considerado para personas no expuestas. Por otro lado, la mayor desviación estándar en el grupo de jóvenes indica una mayor variabilidad en los niveles de Arsénico entre los individuos de este grupo, lo que podría implicar que algunos jóvenes están expuestos a niveles significativamente más altos.

Al comparar nuestros resultados con un estudio realizado en la región de Tacna por Gastañaga (2018), quien encontró que la concentración media de arsénico en la orina de personas adultos fue de 32 ug/L, con una desviación estándar de 15.2 ug/L, podemos indicar que, en general, los niveles de Arsénico tanto en adultos y jóvenes (tabla 3) son inferiores a los encontrados por Gastañaga. Sin embargo, la desviación estándar de nuestro estudio que es de  $\pm 20.66$  para adultos y  $\pm 23.5$  para jóvenes, sugiere una mayor variabilidad en los niveles de Arsénico en comparación con la desviación estándar de  $\pm 15.2$  en Tacna. Esto implica que, aunque las medias de nuestro estudio son más bajas (tabla 3) comparados con los hallados por Gastañaga, hay una mayor dispersión de datos para los niveles de Arsénico, lo que sugiere que, algunos individuos de nuestro



estudio están expuestos a concentraciones considerablemente más altas de arsénico.

La diferencia en los niveles de arsénico en orina, puede atribuirse a diversos factores de riesgo, como la contaminación del río Coata y las prácticas agrícolas en la región (Capacoila, 2017); La población de Huata y Coata podrían estar expuesta a Arsénico a través del agua contaminada del río, que se utiliza para el riego y otros afines, así como el uso de fertilizantes o pesticidas que contienen este metal (As).

Los datos de la tabla 2 y 3 son consistentes con los valores referenciales de CENSOPAS, aunque los datos no muestran diferencias estadísticas significativas, la consistencia en los patrones de exposición al arsénico sugiere que las fuentes de agua contaminada son factores críticos que contribuyen a esta exposición. La comparación con estudios similares refuerza la necesidad de intervenciones en el área de salud pública para mitigar los riesgos asociados con la exposición al arsénico en la población.

A pesar que los resultados muestran que, entre los factores de edad y sexo no existen diferencias estadísticas significativas (tabla 3 y 4), no se puede descartar que existe un riesgo considerable para la presencia de diversas enfermedades graves. Estos hallazgos son consistentes con otros estudios realizados en el Perú, resaltando la necesidad de medidas de intervención y políticas públicas efectivas para reducir la exposición al arsénico y proteger la salud de la población (ATSDR, 2007).

Los pobladores del Distrito de Huata y Coata presentan diferentes niveles de Arsénico en las muestras de Orina, lo que refleja la presencia de metales en el



ambiente. Los niveles de arsénico en orina suelen estar por debajo de 10- 15 ug/L en personas no expuestas, los niveles superiores a 50 ug/l (CENSOPAS), generalmente indica una exposición significativa, ya sea por el consumo de agua contaminada, alimentos con nivel elevado de arsénico o actividades laborales. Los valores por encima de los límites de tolerancia se asocian a efectos adversos a la salud, como problemas dermatológicos, neurológicos y cancerígenos (Morales et al., 2022).

Los pobladores de sexo masculino y adultos presentan mayor concentración respecto a los pobladores de sexo femenino y jóvenes; reflejando la existencia de diversos factores que pueden influir en los niveles de Arsénico encontrados en las muestras de orina, los cuales pueden ser el consumo de alimentos contaminados con dichos metales, la exposición ocupacional, como la minería, fundiciones o compuestos químicos en la agricultura, la proximidad a sitios contaminados o vertidos de estos metales. Entre los factores individuales que elevan la concentración de arsénico son: los factores nutricionales y el tiempo transcurrido desde la última exposición (Chata, 2015)

La interacción entre los factores de edad y sexo de los pobladores relacionada a los niveles de arsénico no se encontraron diferencias estadísticas significativas, sin embargo, destaca que los pobladores del sexo masculino pueden estar más expuestos debido a sus ocupaciones o actividades agrícolas que impliquen el manejo de productos contaminados. Además, la diferencia por edad es igualmente relevante. Los jóvenes, por su desarrollo físico y metabólico, pueden ser más vulnerables a los efectos tóxicos del Arsénico, lo que sugiere que su exposición podría provenir de fuentes como la contaminación ambiental, especialmente en áreas agrícolas. Por otro lado, los adultos podrían experimentar

mayores niveles de exposición a través de sus trabajos. Esto se alinea con los hallazgos de otros estudios que indican la exposición al arsénico en el agua por Capacoila (2017), el suelo y leche por Chata (2015); puede tener un impacto diferenciado en pobladores del sexo masculino y femenino, así como en diferentes grupos de edad.

#### 4.2. NIVELES DE MERCURIO EN ORINA

Al analizar las concentraciones de mercurio en las muestras de orina de los pobladores de Huata y Coata según sexo y edad, se encontró que el 94.54 % de la población en estudio (52 de 55) presentaron niveles de mercurio por debajo del límite de cuantificación del método (LCM=1.67ug/L), esto implica que la técnica espectrometría de masas con plasma acoplado inductivamente (ICP-MS) no tiene la sensibilidad para poder cuantificar la presencia de mercurio en orina, cuando los niveles de mercurio son inferiores a LCM. Al tener solamente el 5.46 % (3 de 55) del total de la población en estudio con niveles por encima del LCM, imposibilita realizar un análisis estadístico, por lo que se procedió con la descripción de frecuencias de los resultados obtenidos, además, se realizó la comparación con los resultados reportados por otros autores.

**Tabla 4**

*Niveles de concentración de Mercurio (ug/L) en la muestra de Orina según Sexo de pobladores de Huata y Coata - Puno.*

<b>MERCURIO</b>		
<b>Sexo</b>	<b>N</b>	<b>OBS. Niveles superiores a 1.67 ug Hg/L</b>
<b>Femenino</b>	33	1.7 ug/L 4.42 ug/L
<b>Masculino</b>	22	47.16 ug/L

Fuente: Elaboración propia





En la tabla 4 se muestra que, en el grupo de pobladoras femeninas, solamente dos pacientes registraron niveles de mercurio por encima al LCM (1.67 ug/L); 1.7 ug /L y 4.42 ug/L respectivamente, esto representa el 6.06 % del total del grupo de pobladoras femeninas. El resto de las muestras 93.94 % están por debajo del LCM.

Sin embargo, ambos pacientes femeninos que tienen valores superiores al LCM, se encuentran por debajo del límite referencial de CENSOPAS (< 5 ug Hg/L). Por lo tanto, se encuentran dentro del rango seguro para mercurio. Por otro lado, el 93.94% de los pobladores de sexo femenino tienen niveles bajos de mercurio las cuales están por debajo del LCM ((1.67 ug/L), también se encuentran por debajo del límite referencial de CENSOPAS (< 5 ug Hg/L), por lo tanto, se encuentran dentro del rango seguro para mercurio. El 100% de la población femenina estudiada se encuentra por debajo del límite referencia de CENSOPAS, Sugiriendo que este grupo de estudio se encuentra en un estado no expuesto a los factores de riesgo.

En el grupo de pobladores masculinos, solo un paciente registró niveles de mercurio por encima al LCM (1.67 ug/L), esto representa el 4.54 % del total del grupo de pobladores masculinos. El resto de las muestras 95.45 % están por debajo del LCM.

Este único caso positivo del grupo de pobladores masculinos, presentó un nivel de 47.16 ug Hg/L, valor que excede de manera alarmante al límite referencial de CENSOPAS (< 5 ug Hg/L). Esto implica que el 4.54% de los pobladores de sexo masculino muestra un nivel preocupante de mercurio en orina. A diferencia del grupo de pobladoras femeninas, donde el 100% están dentro de un rango seguro, el caso aislado de 47.16 ug Hg/L en el poblador masculino sugiere una exposición significativa al mercurio.

Clemenza et al. (2010), en un estudio donde tomó muestras de orina al personal de odontología, reportó que, el 62% de los pacientes presentan niveles de mercurio en



orina inferiores a 0.6 ug/L. Además, indica que un 17% de los participantes tenían niveles que estaban entre 0.7 y 1.4 ug/L. Estos resultados son inferiores a los encontrados en el presente estudio (tabla 4), donde se encontró valores de 1.70 y 4.42 ug/L en pobladores del sexo femenino y un único caso de 47.16 ug/L en un poblador del sexo masculino. Los pacientes del grupo de estudio reportados por Clemenza, se encuentra en un rango seguro, sin embargo, en el presente trabajo el único caso con niveles elevados de mercurio en orina supera ampliamente el límite de referencia de CENSOPAS (<5 ug Hg/L), lo que indica un riesgo significativo de exposición.

En otro estudio llevado a cabo en el Municipio San Diego, Carabobo, realizado por Agreda et al. (2008), analizó a un total de 108 pacientes, distribuidos equitativamente en 54 hombres y 54 mujeres. Los resultados revelaron una media de 1.18 ug/L de mercurio en muestras de orina; sin diferencias significativas en los niveles de Mercurio entre sexos. Estos hallazgos sugieren que, en general, los niveles de mercurio en la población estudiada son relativamente bajos y que no presentan variaciones notables entre varones y mujeres en cuanto a la exposición a este metal pesado (Hg). Esto podría indicar que las fuentes de exposición al mercurio afectan de manera similar a ambos géneros en este grupo específico.

Al comparar los resultados del presente estudio, (1.7 ug /L y 4.42 ug/L) en muestras de orina de los pobladores de sexo femenino con un estudio realizado en Madre de Dios por Plenge (2012), quien reportó que, la media de mercurio en orina es de 3.2 ug Hg/L, podemos observar que es mayor a uno de los niveles reportados para las pobladoras del sexo femenino, pero inferior a 4.42 ug/L.

Sin embargo, aunque se observa diferencia de medias de mercurio, ninguna de estas cifras supera los datos establecidos por CENSOPAS, que indica inferiores a 5uh



Hg/L. Las diferencias en las concentraciones pueden estar influenciadas por factores socioeconómico, como el acceso a fuentes de agua potable y servicios de salud, que pueden mitigar la exposición al mercurio (Plenge, 2012).

En el caso del poblador del sexo masculino del presente estudio, que presentó un nivel de mercurio en la orina de 46.16 ug/L. se puede observar que, se asemeja a los resultados reportados por Monteagudo (2001), quien reporto que en un estudio realizado en la comunidad de santa filomena, Ayacucho; el 65.22% de los hombres presento niveles elevados de mercurio en el mismo rango (41 a 90 ug/L) a diferencia de este estudio el presente trabajo se realizó en pobladores no expuestos a actividades mineras como el de Monteagudo.

De manera similar al estudio previo de Monteagudo (2001), el análisis realizado por Plenge (2012) encontró una media de 2.5 ug Hg/L en pobladores varones que residen en pueblos cercanos a la minería. En contraste, a los datos de la tabla 4 en pobladores del sexo masculino reporta un nivel considerablemente más alto de 47.16 ug Hg/L en un poblado rural. Lo que sugiere que la contaminación podría provenir de las fuentes ambientales, sea en agua, leche (Chata, 2015) u otros factores externos.

Uno de los factores que Villalobos (2019) menciona, que la minería actúa como un motivo de migración al ofrecer empleo y mejor su situación económica, que atraen a personas de áreas rurales. Son embargo, las malas condiciones laborales y los riesgos para la salud, como la exposición al mercurio.

**Tabla 5**

*Niveles de concentración de mercurio (ug Hg/L) en las muestras de Orina según Edad de pobladores de Huata y Coata - Puno*

<b>MERCURIO</b>		
<b>Edad</b>	<b>N</b>	<b>OBS. Niveles superiores a 1.67 ug Hg/L</b>
<b>Adulto</b>	36	1.7 ug/L 4.42 ug/L 47.16 ug/L
<b>Joven</b>	19	

*Fuente: Elaboración propia*

En la tabla 5, se muestra que, en el grupo de treinta y seis pobladores adultos, tres pacientes registraron niveles de mercurio por encima al LCM (1.67 ug/L); 1.7 ug/L, 4.42 ug/L y 47.16 ug/L respectivamente; esto representa el 8.33 % del total del grupo de pobladores adultos. El resto de las muestras del grupo de adultos 91.67 % están por debajo del límite de cuantificación del método LCM.

En contraste, con el grupo de diecinueve pobladores jóvenes, el 100 % de los datos de este grupo se encuentran por debajo del límite de cuantificación del método (1.67 ug/L); estos resultados sugieren que no hubo una exposición superior a los límites permisibles en el grupo de pobladores jóvenes.

Al comparar estos resultados con los datos de CENSOPAS, donde el valor en personas no expuestas es de  $< 5$  ug Hg/L, se evidencia que, aunque un 8.33% de los pobladores adultos presentan niveles de mercurio superiores al LCM e inferior a lo



establecido por CENSOPAS; en particular uno de los datos con 47.16 ug Hg/L es preocupante, ya que supera significativamente el umbral de exposición establecido.

En un estudio realizado en la ciudad de Juliaca por Hasdiana (2018), reportó que los pobladores jóvenes presentan una media de 2.1 ug/L, valor que es superior al LCM (1.67 ug/L ) pero inferior a los datos referenciales de CENSOPAS.

La diferencia en la concentración de mercurio podría indicar una fuente común de exposición o un entorno con controles más estrictos para reducir la exposición al mercurio (Chata, 2015); así como la contaminación de fuentes de agua y suelo con mercurio puede llevar a una exposición indirecta, también se puede realizar mediante el consumo de pescado contaminado con mercurio que es otra fuente de exposición especialmente en poblaciones que dependen en medida del consumo de peces (OMS, 2021).

La alta exposición al mercurio tiene serias implicaciones para la salud especialmente en términos de efectos renales, cardiovasculares y neurológicos, así como puede causar retraso cognitivo y motor en niños; las cifras más bajas en comparación con otros estudios pueden deberse a factores como la diferencia en la ubicación geográfica y actividades económicas de la población, variaciones en las dietas y hábitos de consumo (Tejada et al., 2024).



## V. CONCLUSIONES

- La concentración de arsénico en muestras de orina de los pobladores Huata y Coata, del sexo femenino fue de: 26.15 ug/L, en los de sexo masculino fue de 27.51ug/L; al análisis estadístico, no hay diferencia significativa entre las dos variables. Según edad, para adultos fue de 27.5 ug/L; para jóvenes fue de 25.16 ug/L, tampoco existe diferencia significativa entre las dos variables.
- Respecto a la concentración de mercurio en muestras de orina de los pobladores de Huata y Coata; en el 93.54 % de los pobladores del sexo femenino se encuentran por debajo del LCM (1.67 ug/L), dos pobladores presentan 1.7 ug/L y 4.42 ug/L de mercurio en orina. En pobladores del sexo masculino, el 95.45%; solamente un caso presenta un nivel muy alto de mercurio en orina, que fue de 47.16 ug/L.



## VI. RECOMENDACIONES

- Se recomienda establecer un programa de monitoreo de salud, implementando un seguimiento regular para los pobladores, mediante análisis clínico que permitan detectar la presencia de arsénico y mercurio, así como la valoración del bienestar de la población.
- Desarrollar campañas educativas sobre los riesgos de la exposición a metales pesados como arsénico y mercurio, enfocándose en la importancia de la prevención. Estas campañas deben ser accesibles y comprensibles para todos los miembros de la población.
- Identificar y realizar el control de sitios contaminados, especialmente aquellos relacionados con presencia de metales pesados, para reducir la carga en el medio ambiente.
- Estudios a futuro deberían considerar la inclusión de otros biomarcadores, como mediciones de Arsénico y Mercurio en sangre o cabello, los cuales pueden proporcionar información complementaria sobre la exposición a largo plazo a estos metales.
- Establecer un sistema de trazabilidad para el monitoreo del paciente con alto nivel de mercurio, que incluya pruebas periódicas con otros biomarcadores, con un registro claro del historial clínico y programas de educación sobre fuentes de exposición, con el fin de mejorar el cuidado de su salud.



## VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Agreda, O., Pieters, M., & Seijas, D. (2008). Niveles basales de mercurio en orina en escolares del Municipio San Diego, Edo. Carabobo. *Gaceta Medica de Caracas*, 116(3), 212–218.
- Apaza, R., & Calcina, M. (2014). Contaminación Natural De Aguas Subterranas Por Arsénico En. *Revista de Investigación Altoandina*, 16(1), 52.
- ATSDR. (2007). Resumen de Salud Pública Arsénico. *Agencia Para Sustancias Tóxicas y El Registro de Enfermedades*, 11. [https://www.atsdr.cdc.gov/es/phs/es\\_phs2.pdf](https://www.atsdr.cdc.gov/es/phs/es_phs2.pdf)
- ATSDR, A. for T. S. and D. R. (2022). Toxicological Profile for Mercury. *U.S. Department of Health and Human Services*, April, 476.
- Bravo, S. (2019). Metales Pesados: Fuentes Y Su Toxicidad Sobre La Salud Humana. *Ciencias*, 2(1), 20–36. <https://doi.org/10.33326/27066320.2018.1.842>
- Cabrera Jaramillo, A., & Arango Ruíz, Á. (2022). *Alimentos Aliados Para Evitar Los Daños Del Mercurio* (Issue December). <https://www.researchgate.net/publication/366230860>
- Cabrera, M., Pinos, D., & Pulla, M. (2016). Arsenico en el Agua. *Galileo*, 128–134. <https://publicaciones.ucuenca.edu.ec/ojs/index.php/galileo/article/view/173>
- Calejo Calixto, C. C., & Concepcion Motta, D. R. (2018). Detereminacion de la Concentacion de Arsenico y Mercurio por Espectometria de Absorcion Atomica en Peces Procedentes del Mar de Huacho y Chorrillos. *Universidad Inca Garcilaso de La Vega*, 1–105. <http://repositorio.uigv.edu.pe/handle/20.500.11818/344>
- Capacoila-Coila, J. (2017). Evaluación de la concentración de metales pesados en las aguas superficiales del río Coata. In *Repositorio institucional UNAP* (Vol. 4, Issue 1). <http://repositorio.unap.edu.pe/handle/UNAP/6639>
- Chata Quenta, A. (2015). Presencia de metales pesados (Hg, As, Pb y Cd) en agua y leche en la cuenca del rio Coata 2015. *Universidad Nacional Del Altiplano*, 5. [http://repositorio.unap.edu.pe/bitstream/handle/UNAP/1930/Chata\\_Quenta\\_Ayd](http://repositorio.unap.edu.pe/bitstream/handle/UNAP/1930/Chata_Quenta_Ayd)





e.pdf?sequence=1&isAllowed=y

- Clemenza, C., Gotera, A. y Araujo, R. (2010). *Exposicion Mercurial y Estado de Salud del Personal que Labora en el Servicio de Odontologia del IPASME Barquisimeto*. Técnica de La Facultad de Ingeniería Universidad Del Zulia. [http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0798-02642007000200002](http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0798-02642007000200002)
- CooperAcción. (2016). Metales pesados tóxicos y salud pública: el caso de Espinar. *Broederlijk Delen*, 1–44. <https://cooperaccion.org.pe/wp-content/uploads/2017/11/ESPINAR-Informe-sobre-salud-4-1.pdf>
- Diaz Cartagena, W. (2020). *Factores que determinan el origen de la contaminación de suelos por arsénico en la comunidad de Llacuabamba , Pataz , mediante procedimientos secuenciales y alternos ” TESIS Para optar el Grado de doctor; Universidad Nacional Mayor de San Marcos Unidad de*.
- Earth, G. (n.d.). [data=CiwiJgokCZMNS11PDS\\_AEX434ExB5S\\_AGergw34VXIHAIQkHg7-HgFHAQgIIAToDCgEwQgIIAEoNCP\\_\\_\\_\\_\\_wEQAA](https://earth.google.com/web/search/huata+y+coata/@-15.6146703,-69.97537515,3838.56576355a,14789.00832938d,35y,-0h,0t,0r/data=CiwiJgokCZMNS11PDS_AEX434ExB5S_AGergw34VXIHAIQkHg7-HgFHAQgIIAToDCgEwQgIIAEoNCP_____wEQAA) @earth.google.com. [https://earth.google.com/web/search/huata+y+coata/@-15.6146703,-69.97537515,3838.56576355a,14789.00832938d,35y,-0h,0t,0r/data=CiwiJgokCZMNS11PDS\\_AEX434ExB5S\\_AGergw34VXIHAIQkHg7-HgFHAQgIIAToDCgEwQgIIAEoNCP\\_\\_\\_\\_\\_wEQAA](https://earth.google.com/web/search/huata+y+coata/@-15.6146703,-69.97537515,3838.56576355a,14789.00832938d,35y,-0h,0t,0r/data=CiwiJgokCZMNS11PDS_AEX434ExB5S_AGergw34VXIHAIQkHg7-HgFHAQgIIAToDCgEwQgIIAEoNCP_____wEQAA)
- Espinoza, G. (2021). Geomorfología fluvial del Altiplano peruano:Cuenca del río Coata - Puno. In *Boletin de la Sociedad Geologica del Per* (Vol. 15, Issue 554). [www.sgp.org.pe](http://www.sgp.org.pe) ISSN 0079-109
- Fallas, M., Quesada, A., Fallas, C., & Porras, A. (2023). Intoxicación crónica por mercurio: reto diagnóstico Chronic mercury poisoning: diagnostic challenge. *Revista Médica Sinergia*, 8(4).
- Ferrer, A. (2003). Intoxicación por metales. *Anales Del Sistema Sanitario de Navarra*, 26(SUPPL. 1), 141–153. <https://doi.org/10.4321/s1137-66272003000200008>
- Gaioli, M., Amoedo, D., & González, D. (2012). Impacto del mercurio sobre la salud humana y el ambiente. *Archivos Argentinos de Pediatría*, 110(3), 259–264.



<https://doi.org/10.1590/S0325-00752012000300017>

- Gastañaga, D. A. A. M. G. villa; M. del C. (2018). CONCENTRACIONES DE ARSÉNICO URINARIO EN POBLADORES DE DOS DISTRITOS DE LA REGIÓN TACNA, PERÚ, 2017. *Revista Peruana de Medicina Experimental y Salud Publica*, 35(2), 183–189. <https://doi.org/10.17843/rpmesp.2018.352.3693>
- Grassi, F. B. L. (2018). *Biomonitoreo de Metales en Niños y Niñas del Centro Poblado de Paragsha Cerro de Pasco - Perú*. 31. <http://www.laborpascooperu.org.pe/images/adjuntos/Estudios Cerro de Pasco.pdf>
- Harvey, H. (2024). Espectrómetro de masas de plasma acoplado inductivamente. *LibreTexts Español*, 10–12.
- Hasdiana, U. (2018). ESTIMACIÓN DEL NIVEL DE ARSÉNICO EN ORINA COMO BIOMARCADOR EN POBLADORES DE 20 A 50 AÑOS DE EDAD DE LA URBANIZACION LOS INCAS, JULIACA-2018”. *Analytical Biochemistry*, 11(1), 1–5. <http://link.springer.com/10.1007/978-3-319-59379-1%0Ahttp://dx.doi.org/10.1016/B978-0-12-420070-8.00002-7%0Ahttp://dx.doi.org/10.1016/j.ab.2015.03.024%0Ahttps://doi.org/10.1080/07352689.2018.1441103%0Ahttp://www.chile.bmw-motorrad.cl/sync/showroom/lam/es/>
- Huaman Torres, L. J. (2018). Evaluacion del nivel de contaminacion por metales pesados en la población infantil del centro poblado de Paragsha para determinar la incidencia probable de la exposición ambiental frente a las sustancias producidas por la actividad minera - Distrito de Si. *Interciencia*, 1(1), 1–187. [http://repositorio.usanpedro.edu.pe/bitstream/handle/USANPEDRO/6050/Tesis\\_57389.pdf?sequence=1&isAllowed=y%0Ahttp://cybertesis.unmsm.edu.pe/handle/cybertesis/10302%0Ahttp://repositorio.undac.edu.pe/bitstream/undac/414/1/T026\\_70261078\\_T.pdf](http://repositorio.usanpedro.edu.pe/bitstream/handle/USANPEDRO/6050/Tesis_57389.pdf?sequence=1&isAllowed=y%0Ahttp://cybertesis.unmsm.edu.pe/handle/cybertesis/10302%0Ahttp://repositorio.undac.edu.pe/bitstream/undac/414/1/T026_70261078_T.pdf)
- INS. (2013). *Efectos de la exposición crónica a metales pesados y su manejo clínico : Revisión Rápida*. 18. <http://plataformagets.sis.gob.pe/bitstream/SIS/218/1/Nota Técnica 2013-6. Efectos de la exposición crónica a metales pesados y su manejo clínico.pdf>



- Juárez, H. (2012). *Contaminación del Río Rímac por metales pesados y efecto en la agricultura en el Cono Este de Lima Metropolitana*. 86.
- Londoño Franco, L. F., Londoño Muñoz, P. T., & Muñoz Garcia, F. G. (2016). Los Riesgos De Los Metales Pesados En La Salud Humana Y Animal. *Biotechnología En El Sector Agropecuario y Agroindustrial*, 14(2), 145. [https://doi.org/10.18684/bsaa\(14\)145-153](https://doi.org/10.18684/bsaa(14)145-153)
- Mansilla Chavez, G. N. (2019). Facultad de ciencias ambientales carrera profesional de ingeniería ambiental. *Universidad Científica Del Sur. Facultad de Ciencias Ambientales. Ingeniería Ambiental.*, 1–126. <https://hdl.handle.net/20.500.12805/806>
- Maratta, S. (2019). *Micropreconcentración y especiación de As y Sb empleando una aguja cargada con nanotubos de carbono en un sistema de microextracción en fase sólida*.
- Martínez, X. (2004). El mercurio como contaminante global: Desarrollo de metodologías para su determinación en suelos contaminados y estrategias para la reducción de su liberación al medio ambiente. *Universitat Autònoma de Barcelona*, 0, 246. <https://www.tdx.cat/bitstream/handle/10803/3174/xgm1de1.pdf>
- Medina-Pizzali, M., Robles, P., Mendoza, M., & Torres, C. (2018). Artículo de Revisión Arsenic : Impact in Human Nutrition and Health. *Rev Peru Med Exp Salud Publica*, 35(1), 93–102. <https://doi.org/10.17843/rpmesp.2018.351.3604.93>
- MIDIS. (2021). Resolucion De Direccion Ejecutiva N° D000233-2021-MIDIS/PNAEQW-DE. *Republica Del Perú*, 290. <https://www.gob.pe/institucion/qaliwarma/normas-legales/2157696-233-2021-midis-pnaeqw-de>
- MINAM. (2017). Aprueban Estandares de Calidad Ambiental (ECA) para Agua y establecen disposiciones complementarias. *El Peruano*, 6–9. <http://www.minam.gob.pe/wp-content/uploads/2017/06/DS-004-2017-MINAM.pdf>
- Ministerio de Salud. (2015). Guía de practica clinica para el diagnostico y tratamiento de la intoxicacion por mercurio RM N° 757- 2013 /MINSa. *Biblioteca Central Del*



*Ministerio de Salud - Peru, 34.*

- MINSA. (2018). Resolución directoral N° 048-2018-DG-INCN. *Ministerio de Salud*, 25.  
<https://www.incn.gob.pe/wp-content/uploads/2020/08/RD.-048-2018-Aprobar-Manual-de-salud-ocupacional.pdf>
- MINSA. (2023). Resolución Ministerial - 1009 - 2023 - Minsa. In *Ministerio de Salud*.
- Monteagudo, F. (2001). Evaluación de la contaminación por mercurio en la población de mineros artesanales de oro de la comunidad de Santa Filomena, Perú. *Unmsm*, 79.
- Montoya, E. A. R., Hernández, L. E. M., Escareño, M. P. L., & Balagurusamy, N. (2015). Impacto del arsénico en el ambiente y su transformación por microorganismos. *Terra Latinoamericana*, 103–118.  
<http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=57339210001>
- Morales Mora, E., Barrantes Jiménez, K., Beita Sandí, W., & Chacón Jiménez, L. (2022). Estudio de caso: Evaluación de riesgo por arsénico, en bajas concentraciones, para trabajadores agrícolas de Cartago, Costa Rica. *UNED Research Journal*, 14(2), e4070. <https://doi.org/10.22458/urj.v14i2.4070>
- OMS. (2018). Arsenic @ Www.Who.Int. In *Arsénico*. <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/arsenic>
- OMS. (2021). EXPOSICIÓN AL MERCURIO: UN ASUNTO IMPORTANTE PARA LA SALUD PÚBLICA Segunda edición. *Organizacion Mundial de La Salud*, 4, 1–6. <https://iris.who.int/bitstream/handle/10665/341450/9789240025134-spa.pdf>
- ONU. (2019). Convenio De Minamata Sobre El Mercurio. *ONU Programa Para El Medio Ambiente Convenio de Minamata Sobre El Mercurio*, 17–20.  
<http://www.mercuryconvention.org/Portals/11/documents/Booklets/COP3-version/Minamata-Convention-booklet-Sep2019-SP.pdf>
- Plenge, F. O. (2012). Minería informal e ilegal y contaminación con mercurio en Madre de Dios : Un problema de salud pública. *Acta Méd. Peruana*, 29(1), 38–42.
- PNUD. (2023). PROTOCOLO PARA LA ATENCIÓN INTEGRAL EN SALUD RELACIONADAS CON LA EXPOSICION A MERCURIO Y SUS COMPUESTOS, EN PROGRAMA DE LAS NACIONES UNIDAS PARA EL



DESARROLLO. *Universidad Nacional de Colombia*, 243.

- Priester., H. W. H. T. F. H. M. (2000). Características generales del mercurio y su impacto ambiental. In G.- COSUDE (Ed.), *Manejo Ambiental en la Pequeña Minera* (MEDMIN-C, p. capítulo 5). <http://www.gama-peru.org/libromedmin/>
- Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente. (2002). Evaluación mundial sobre el mercurio. *Panorama*, 1–303.
- Programa Nacional de Riesgos Químicos. (2007). B a N - H G. *Movimiento Mundial Para El Cuidado de La Salud Libre de Mercurio*, 31. <http://www.fmed.uba.ar/depto/toxico1/mercurio.pdf>
- Raimann, X., Lorena Rodríguez, O., Chávez, P., & Torrejón, C. (2014). Mercury in fish and its importance in health. *Revista Medica de Chile*, 142(9), 1174–1180. <https://doi.org/10.4067/s0034-98872014000900012>
- Ramírez, A. V. (2013a). Biomarcadores en monitoreo de exposición a metales pesados en metalurgia. *Anales de La Facultad de Medicina*, 67(1), 49. <https://doi.org/10.15381/anales.v67i1.1294>
- Ramírez, A. V. (1995). Exposición ocupacional y ambiental al arsénico. Actualización bibliográfica para investigación científica. *AIDS Policy & Law*, 10(4), 3.
- Ramírez, A. V. (2013b). Intoxicación ocupacional por mercurio. *Anales de La Facultad de Medicina*, 69(1), 46. <https://doi.org/10.15381/anales.v69i1.1184>
- Rodríguez Martínez, H. L., Peña Manjarrez, M., Gutiérrez Reyes, A. V., González Trevizo, C. L., Montes Fonseca, S. L., & López Avalos, G. G. (2017). Biorremediación de arsénico mediada por microorganismos genéticamente modificados. *Revista Terra Latinoamericana*, 35(4), 353. <https://doi.org/10.28940/terra.v35i4.220>
- Rojas Vargas, R. (2019). *Problemática ambiental regional*.
- Salud, M. De. (2013). *Guia de Practica Clinica para el Diagnostico y tratamiento de la intoxicacion por Mercurio R.M. 757 - 2013/MINSA*.
- Sampieri, R. H. (1995). METALES PESADOS EN EL SUELO. *Biblioteca Digital*, 634.



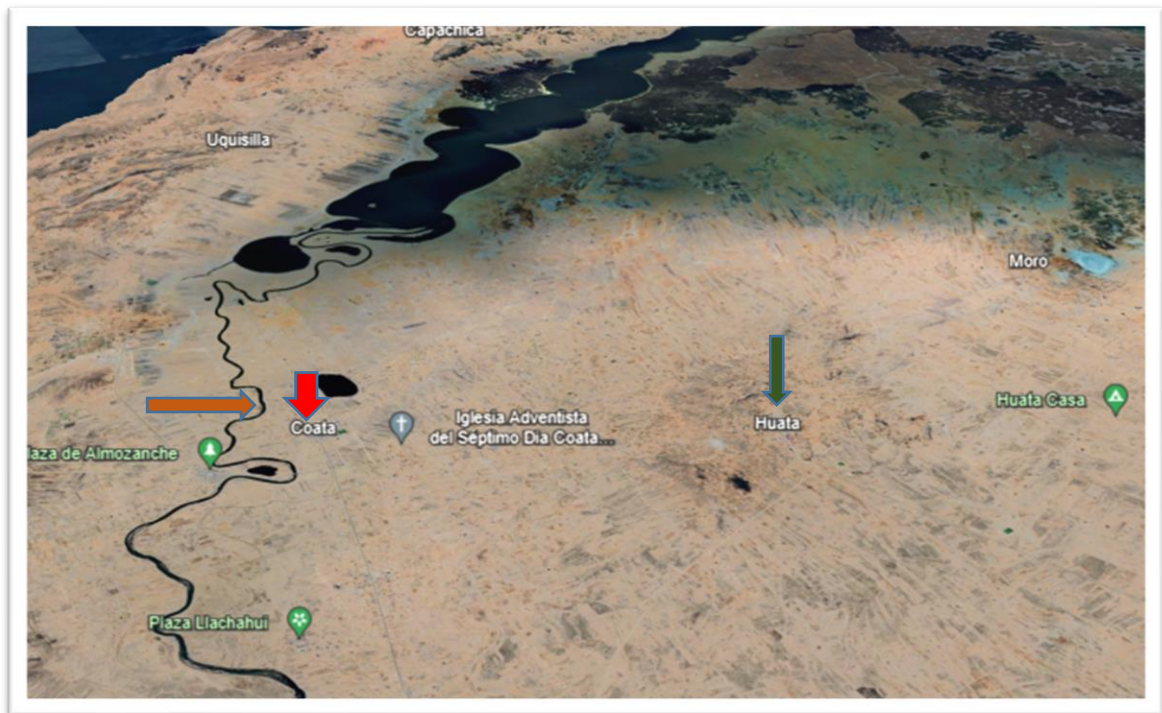
- Santiago, E. (2001). Toxicología del mercurio. actuaciones preventivas en sanidad laboral y ambiental. *Jornada Internacional Sobre El Impacto Ambiental Del Mercurio Utilizado Por La Minería Aurífera Artesanal En Iberoamérica*, 1–66. <http://www.gama-peru.org/jornada-hg/espanol.pdf>
- SENAMHI. (2023). *Boletín Mensual Hidroclimático*.
- Sixto, R., & Gómez, B. (2012). *Monitoreo Por Exposición a Metales Pesados. I*, 174–177.
- Soediono, B. (1989). Guía de práctica clínica para el diagnóstico y tratamiento de la intoxicación por arsénico. *Journal of Chemical Information and Modeling*, 53, 160.
- Tejada purizaca, T. R., García chevesich, P. A., Ticona-quea, J., Mart, G., Mart, K., Morales-paredes, L., Romero-mariscal, G., Arenazas-rodr, A., Vanzin, G., Sharp, J. O., & McCray, J. E. (2024). *Medicinal Products*.
- Villalobos, N. F. (2019). Exposure to mercury from people working in artisanal mining of gold, Costa Rica, 2015-2016. *Población y Salud En Mesoamérica*, 17(1), 2015–2016. <https://doi.org/10.15517/psm.v17i1.37789>
- Weinberg, J. (2007). Introducción a La Contaminación Las Ong. *Annual Review of Plant Biology*, 42(1), 35.
- World Health Organization. (1997). Guidelines for Drinking-water Quality. In *World Health* (Issue 3). <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/15806952>
- Yana, A. y, & Quispe, P. (2018). NIVELES DE MERCURIO ASOCIADO A RIESGO CARDIOVASCULAR EN POBLADORES DEL DISTRITO DE TARACO, PUNO 2019. *Tesis*, 105. [http://repositorio.unap.edu.pe/bitstream/handle/UNAP/12303/Yana\\_Aydee\\_Quispe\\_Patricia.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://repositorio.unap.edu.pe/bitstream/handle/UNAP/12303/Yana_Aydee_Quispe_Patricia.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

## ANEXOS

### ANEXO 1: Visuales del sitio de investigación




#### Figura 5

#### *Vista Satelital de Huata y Coata*



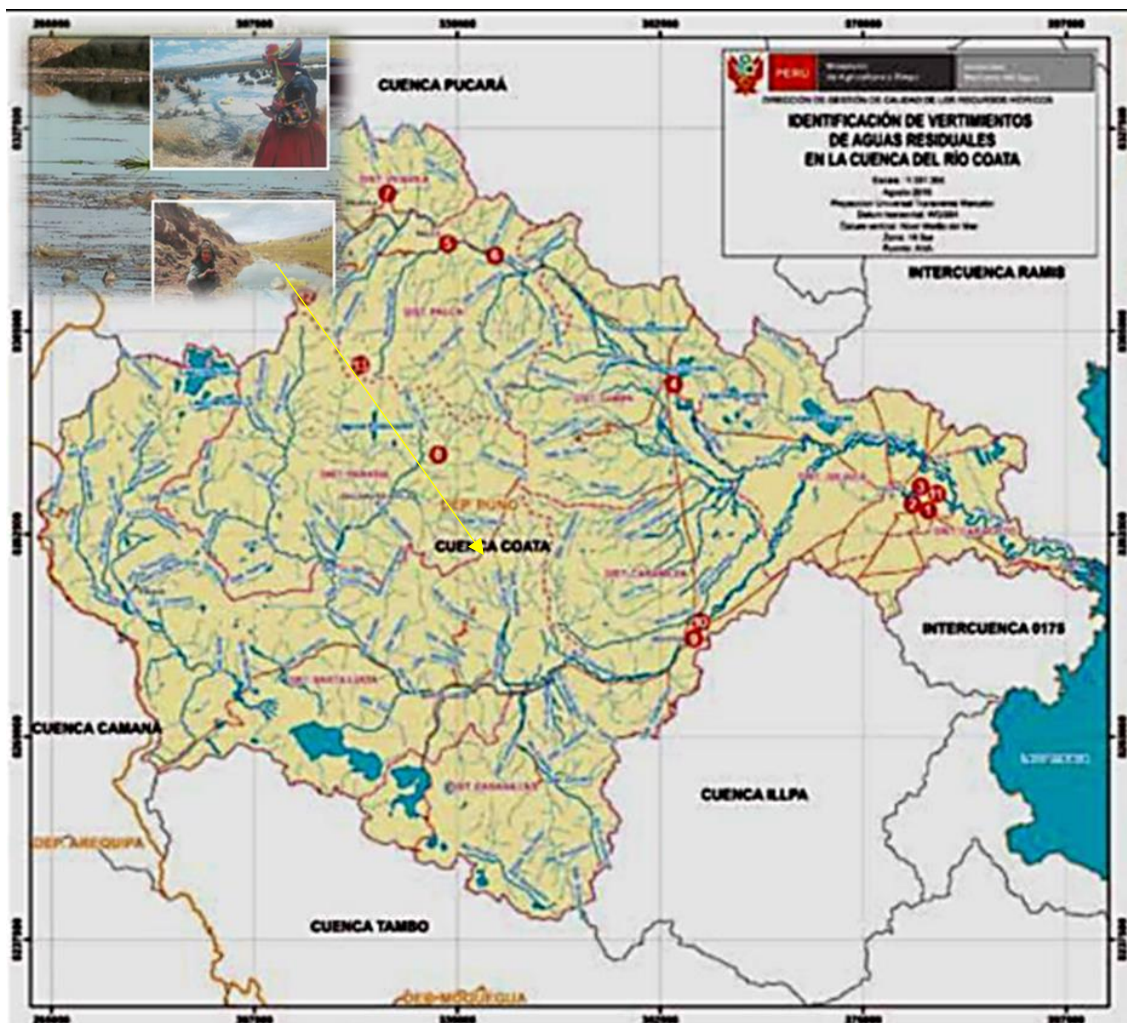
Fuente: (Google Earth)

Leyenda: vista satelital de Huata y Coata, mostrando la ubicación del río Coata. Esta imagen, tomada el 2020, resalta la importancia del río en el entorno local y su conexión con las actividades comunitarias, así como su relevancia en la salud ambiental de los pobladores.

-  Rio de Coata.
-  Centro poblado de Coata.
-  Centro poblado de Huata.

**Figura 6**

*Cuenca Coata*



Fuente (Rojas Vargas, 2019).

Legenda: mapa de identificación de vertimientos de aguas residuales en la cuenca del río Coata en la región de Puno. Este mapa fue elaborado en 2019 con:

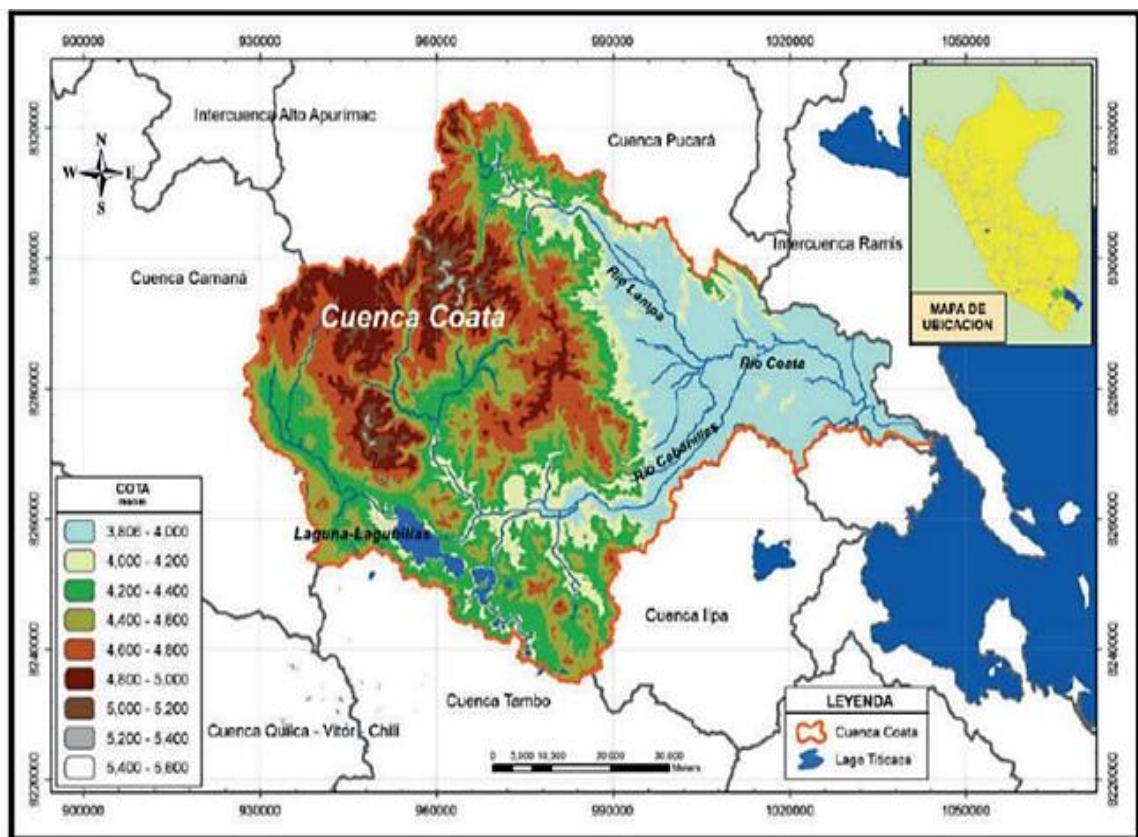
Aguas residuales: 10,777,994.5 m<sup>3</sup>/año, con el 94% generado por la ciudad de Juliaca y residuos sólidos con 54,685 TM/año, con el 93,6% generado por Juliaca.

Existen 8 puntos de vertimiento de aguas residuales municipales, con un caudal de 290 L/s, de los cuales el 88% proviene de lagunas de oxidación (Rojas Vargas, 2019).



**Figura 7**

*Cuencas e Inter cuencas Intermedias de la Región de Puno*



Este mapa ofrece una representación detallada de la cuenca del río Coata, su extensión y características topográficas, lo cual resulta esencial para analizar y abordar los desafíos relacionados con el manejo sostenible del agua en esta área (Espinoza, 2021).



**ANEXO 2:** Informe de resultados n° 585g-2022-censopas

IDENTIFICACIÓN PACIENTE / MUESTRA

**Nombre:** No corresponde

**Edad:** No corresponde

**Código de muestra:** LSO-073/001-B-22 al Iso-073/055-B-22

**Presentación / Cantidad de muestra:** 55 tubos cónicos con aproximadamente 45 mL de orina

**Lugar de muestreo:** **Huata – C.S. Huata**

**Coata – C.S. Coata**

**Fecha de muestreo:**

**Fecha de ingreso al laboratorio:**

**Fecha de inicio de análisis:**

**Fecha de término de análisis:**

**Cuadro De Resultados**

CÓDIGO DE MUESTRA	PROCEDENCIA	SEXO	EDAD	As (ug/L)	Hg (ug/L)	N° DE INFORME DE RESULTADO
LS0-073/001-B-22	Huata	F	49	13.19	<LCM	INFORME DE RESULTADOS N°0530-2022-CENSOPAS
LS0-073/002-B-22	Huata	F	9	12.92	<LCM	INFORME DE RESULTADOS N°0531-2022-CENSOPAS
LS0-073/003-B-22	Huata	F	4	95.07	<LCM	INFORME DE RESULTADOS N°0532-2022-CENSOPAS
LS0-073/004-B-22	Huata	F	26	32.06	<LCM	INFORME DE RESULTADOS N°0533-2022-CENSOPAS
LS0-073/005-B-22	Huata	M	7	20.37	<LCM	INFORME DE RESULTADOS N°0534-2022-CENSOPAS
LS0-073/006-B-22	Huata	F	31	20.04	<LCM	INFORME DE RESULTADOS N°0535-2022-CENSOPAS
LS0-073/007-B-22	Huata	F	35	13.29	<LCM	INFORME DE RESULTADOS N°0536-2022-CENSOPAS
LS0-073/008-B-22	Huata	F	7	33.05	<LCM	INFORME DE RESULTADOS N°0537-2022-CENSOPAS



LS0-073/009-B-22	Huata	F	27	27.21	<LCM	INFORME DE RESULTADOS N°0538-2022-CENSOPAS
LS0-073/010-B-22	Huata	F	53	33.41	<LCM	INFORME DE RESULTADOS N°0539-2022-CENSOPAS
LS0-073/011-B-22	Huata	M	75	72.02	<LCM	INFORME DE RESULTADOS N°0540-2022-CENSOPAS
LS0-073/012-B-22	Huata	M	7	41.84	<LCM	INFORME DE RESULTADOS N°0541-2022-CENSOPAS
LS0-073/013-B-22	Huata	F	11	54.49	<LCM	INFORME DE RESULTADOS N°0542-2022-CENSOPAS
LS0-073/014-B-22	Huata	F	16	10.65	<LCM	INFORME DE RESULTADOS N°0543-2022-CENSOPAS
LS0-073/015-B-22	Huata	F	29	11.41	<LCM	INFORME DE RESULTADOS N°0544-2022-CENSOPAS
LS0-073/016-B-22	Huata	F	80	57.95	1.7	INFORME DE RESULTADOS N°0545-2022-CENSOPAS
LS0-073/017-B-22	Huata	F	30	11.38	<LCM	INFORME DE RESULTADOS N°0546-2022-CENSOPAS
LS0-073/018-B-22	Huata	M	83	39.09	<LCM	INFORME DE RESULTADOS N°0547-2022-CENSOPAS
LS0-073/019-B-22	Huata	M	8	16.58	<LCM	INFORME DE RESULTADOS N°0548-2022-CENSOPAS
LS0-073/020-B-22	Huata	M	6	20.37	<LCM	INFORME DE RESULTADOS N°0549-2022-CENSOPAS
LS0-073/021-B-22	Huata	F	66	25.29	<LCM	INFORME DE RESULTADOS N°0550-2022-CENSOPAS
LS0-073/022-B-22	Huata	F	19	21.04	<LCM	INFORME DE RESULTADOS N°0551-2022-CENSOPAS
LS0-073/023-B-22	Huata	F	9	36.5	<LCM	INFORME DE RESULTADOS N°0552-2022-CENSOPAS
LS0-073/024-B-22	Huata	F	5	13.72	<LCM	INFORME DE RESULTADOS N°0553-2022-CENSOPAS
LS0-073/025-B-22	Huata	F	17	17.1	<LCM	INFORME DE RESULTADOS N°0554-2022-CENSOPAS



LS0-073/026-B-22	Coata	M	3	20.37	<LCM	INFORME DE RESULTADOS N°0555-2022-CENSOPAS
LS0-073/027-B-22	Coata	M	51	14.73	<LCM	INFORME DE RESULTADOS N°0556-2022-CENSOPAS
LS0-073/028-B-22	Coata	F	51	33.33	<LCM	INFORME DE RESULTADOS N°0557-2022-CENSOPAS
LS0-073/029-B-22	Coata	F	27	14.49	<LCM	INFORME DE RESULTADOS N°0558-2022-CENSOPAS
LS0-073/030-B-22	Coata	M	64	17.65	<LCM	INFORME DE RESULTADOS N°0559-2022-CENSOPAS
LS0-073/031-B-22	Coata	M	55	29.71	<LCM	INFORME DE RESULTADOS N°0560-2022-CENSOPAS
LS0-073/032-B-22	Coata	M	61	31.45	<LCM	INFORME DE RESULTADOS N°0561-2022-CENSOPAS
LS0-073/033-B-22	Coata	F	5	20.01	<LCM	INFORME DE RESULTADOS N°0562-2022-CENSOPAS
LS0-073/034-B-22	Coata	F	7	22.38	<LCM	INFORME DE RESULTADOS N°0563-2022-CENSOPAS
LS0-073/035-B-22	Coata	M	60	18.01	<LCM	INFORME DE RESULTADOS N°0564-2022-CENSOPAS
LS0-073/036-B-22	Coata	F	70	30.52	4.42	INFORME DE RESULTADOS N°0565-2022-CENSOPAS
LS0-073/037-B-22	Coata	M	78	15.98	<LCM	INFORME DE RESULTADOS N°0566-2022-CENSOPAS
LS0-073/038-B-22	Coata	M	67	63.9	47.16	INFORME DE RESULTADOS N°0567-2022-CENSOPAS
LS0-073/039-B-22	Coata	F	23	20.51	<LCM	INFORME DE RESULTADOS N°0568-2022-CENSOPAS
LS0-073/040-B-22	Coata	F	42	62.9	<LCM	INFORME DE RESULTADOS N°0569-2022-CENSOPAS
LS0-073/041-B-22	Coata	M	77	34.9	<LCM	INFORME DE RESULTADOS N°0570-2022-CENSOPAS
LS0-073/042-B-22	Coata	F	33	37.63	<LCM	INFORME DE RESULTADOS N°0571-2022-CENSOPAS



LS0-073/043-B-22	Coata	M	67	48.22	<LCM	INFORME DE RESULTADOS N°0572-2022-CENSOPAS
LS0-073/044-B-22	Coata	M	62	25.98	<LCM	INFORME DE RESULTADOS N°0573-2022-CENSOPAS
LS0-073/045-B-22	Coata	F	35	25.6	<LCM	INFORME DE RESULTADOS N°0574-2022-CENSOPAS
LS0-073/046-B-22	Coata	M	37	42.06	<LCM	INFORME DE RESULTADOS N°0575-2022-CENSOPAS
LS0-073/047-B-22	Coata	M	53	18.46	<LCM	INFORME DE RESULTADOS N°0576-2022-CENSOPAS
LS0-073/048-B-22	Coata	F	23	11.3	<LCM	INFORME DE RESULTADOS N°0577-2022-CENSOPAS
LS0-073/049-B-22	Coata	M	51	22.46	<LCM	INFORME DE RESULTADOS N°0578-2022-CENSOPAS
LS0-073/050-B-22	Coata	F	7	22.38	<LCM	INFORME DE RESULTADOS N°0579-2022-CENSOPAS
LS0-073/051-B-22	Coata	F	11	23.11	<LCM	INFORME DE RESULTADOS N°0580-2022-CENSOPAS
LS0-073/052-B-22	Coata	M	14	38.23	<LCM	INFORME DE RESULTADOS N°0581-2022-CENSOPAS
LS0-073/053-B-22	Coata	M	56	37.79	<LCM	INFORME DE RESULTADOS N°0582-2022-CENSOPAS
LS0-073/054-B-22	Coata	F	38	24.41	<LCM	INFORME DE RESULTADOS N°0583-2022-CENSOPAS
LS0-073/055-B-22	Coata	F	5	12.77	<LCM	INFORME DE RESULTADOS N°0584-2022-CENSOPAS

Límite de Cuantificación del Método (LCM) Mercurio: 1.67 ug. Hg/L

	VALOR REFERENCIAL	
	Personas no expuestas	
ARSÉNICO	10-50 ug As/L	
MERCURIO	< 5 ug Hg/L	

Guía de Práctica Clínica para el Diagnóstico y tratamiento de la intoxicación por

Mercurio R.M. N° 757 - 2013/MINSA (Salud, 2013)



### ANEXO 3: Resultado de análisis estadístico de los niveles de concentración en arsénico

Para la evaluación de los niveles de Arsénico en las muestras de los pobladores de Huata y Coata, se realizó la prueba de normalidad de Shapiro-Wilks modificada.

**Tabla 6**

*Prueba de normalidad de Shapiro - Wilks modificada*

Variable	N	Media	D.E	W	P (Unilateral D)
As (ug/L)	55	26.69	21.49	0.83	<0.0001

Esta tabla nos muestra los resultados de la prueba de normalidad de Shapiro-Wilks modificada; donde para los 55 pobladores rurales de los distritos de Huata y Coata en las muestras de Orina; el promedio es de 26.69, con una desviación estándar de  $\pm 21.49$  y el valor P que se ha obtenido fue menor a 0.0001, lo que nos indica que estos datos de concentración de Arsénico no se ajustan a una distribución normal ( $P < 0.05$ ). Este resultado sugiere la utilización de pruebas estadísticas no paramétricas, dado que los resultados no son normales y no se puede utilizar las pruebas estadísticas paramétricas que asumen la normalidad, como la prueba t o ANOVA; en su lugar de esa se debe emplear pruebas como la prueba de WILCOXON para el análisis estadístico de los datos.

**ANEXO 4:** Panel Fotográfico De: obtención de permisos, registro de toma de muestra y obtención de muestra de arsénico y mercurio en pobladores de Huata y Coata.

**Foto 1**

*Reunión informativa sobre la importancia de la toma de muestra para As y Hg en pobladores de Huata*



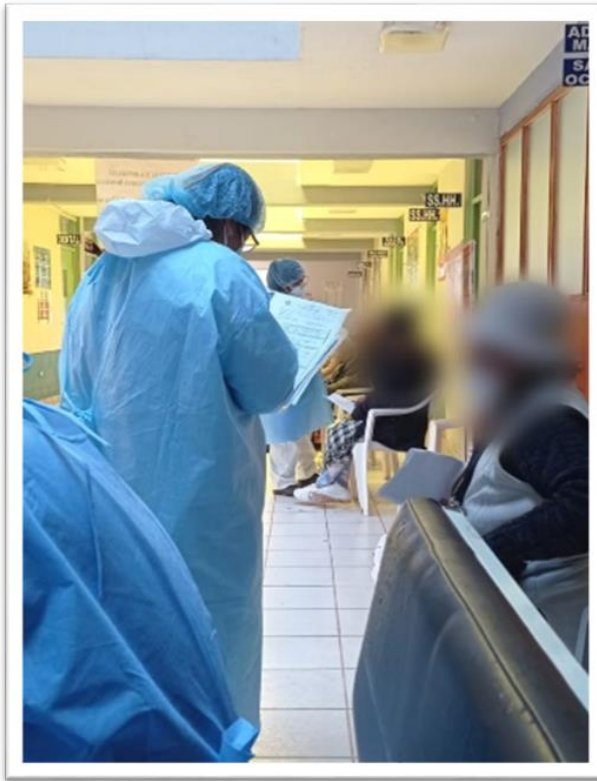
**Foto 2**

*Reunión informativa sobre la importancia de la toma de muestra para As y Hg en pobladores de Coata*



### Foto 3

*Obtención de permisos para la toma de muestra de orina – Huata.*



a.

### Foto 4

*Obtención de permisos para la toma de muestra de Orina - Coata.*





**Foto 5**

*Protocolo de vestimenta para la obtención de muestra – Huata.*



**Foto 6**

*Protocolo de vestimenta para la obtención de muestra - Coata.*



### Foto 7

*Recolección de muestra en Huata y rotulación para envío a CENSOPAS.*



### Foto 8

*Recolección de muestra en Coata y rotulación para envío a CENSOPAS.*





## ANEXO 5: Declaración Jurada de Autenticidad de Tesis



Universidad Nacional  
del Altiplano Puno



Vicerrectorado  
de Investigación



Repositorio  
Institucional

### DECLARACIÓN JURADA DE AUTENTICIDAD DE TESIS

Por el presente documento, Yo Dina Adelaida Flores Mamani,  
identificado con DNI 47656054 en mi condición de egresado de:

Escuela Profesional,  Programa de Segunda Especialidad,  Programa de Maestría o Doctorado

Medicina Veterinaria y Zootecnia

informo que he elaborado el/la  Tesis o  Trabajo de Investigación denominada:

“ DETERMINACIÓN DE ARSENICO Y MERCURIO EN  
POBLADORES RURALES DE LOS DISTRITOS DE  
HUATA-COATA REGIÓN PUNO ”

Es un tema original.

Declaro que el presente trabajo de tesis es elaborado por mi persona y **no existe plagio/copia** de ninguna naturaleza, en especial de otro documento de investigación (tesis, revista, texto, congreso, o similar) presentado por persona natural o jurídica alguna ante instituciones académicas, profesionales, de investigación o similares, en el país o en el extranjero.

Dejo constancia que las citas de otros autores han sido debidamente identificadas en el trabajo de investigación, por lo que no asumiré como tuyas las opiniones vertidas por terceros, ya sea de fuentes encontradas en medios escritos, digitales o Internet.

Asimismo, ratifico que soy plenamente consciente de todo el contenido de la tesis y asumo la responsabilidad de cualquier error u omisión en el documento, así como de las connotaciones éticas y legales involucradas.

En caso de incumplimiento de esta declaración, me someto a las disposiciones legales vigentes y a las sanciones correspondientes de igual forma me someto a las sanciones establecidas en las Directivas y otras normas internas, así como las que me alcancen del Código Civil y Normas Legales conexas por el incumplimiento del presente compromiso

Puno 18 de Noviembre del 2024

FIRMA (obligatoria)



Huella



## ANEXO 6: Autorización para el Deposito de Tesis o Trabajo de Investigación en el Repositorio Institucional



Universidad Nacional  
del Altiplano Puno



Vicerrectorado  
de Investigación



Repositorio  
Institucional

### AUTORIZACIÓN PARA EL DEPÓSITO DE TESIS O TRABAJO DE INVESTIGACIÓN EN EL REPOSITORIO INSTITUCIONAL

Por el presente documento, Yo Dina Adelaida Flores Mamani,  
identificado con DNI 47656054 en mi condición de egresado de:

Escuela Profesional,  Programa de Segunda Especialidad,  Programa de Maestría o Doctorado

Medicina Veterinaria y Zootecnia

informo que he elaborado el/la  Tesis o  Trabajo de Investigación denominada:

“ DETERMINACION DE ARSENICO Y MERCURIO EN POBLADORES RURALES DE LOS DISTRITOS DE HUATA - COSTA REGION PUNO ”

para la obtención de  Grado,  Título Profesional o  Segunda Especialidad.

Por medio del presente documento, afirmo y garantizo ser el legítimo, único y exclusivo titular de todos los derechos de propiedad intelectual sobre los documentos arriba mencionados, las obras, los contenidos, los productos y/o las creaciones en general (en adelante, los “Contenidos”) que serán incluidos en el repositorio institucional de la Universidad Nacional del Altiplano de Puno.

También, doy seguridad de que los contenidos entregados se encuentran libres de toda contraseña, restricción o medida tecnológica de protección, con la finalidad de permitir que se puedan leer, descargar, reproducir, distribuir, imprimir, buscar y enlazar los textos completos, sin limitación alguna.

Autorizo a la Universidad Nacional del Altiplano de Puno a publicar los Contenidos en el Repositorio Institucional y, en consecuencia, en el Repositorio Nacional Digital de Ciencia, Tecnología e Innovación de Acceso Abierto, sobre la base de lo establecido en la Ley N° 30035, sus normas reglamentarias, modificatorias, sustitutorias y conexas, y de acuerdo con las políticas de acceso abierto que la Universidad aplique en relación con sus Repositorios Institucionales. Autorizo expresamente toda consulta y uso de los Contenidos, por parte de cualquier persona, por el tiempo de duración de los derechos patrimoniales de autor y derechos conexos, a título gratuito y a nivel mundial.

En consecuencia, la Universidad tendrá la posibilidad de divulgar y difundir los Contenidos, de manera total o parcial, sin limitación alguna y sin derecho a pago de contraprestación, remuneración ni regalía alguna a favor mío; en los medios, canales y plataformas que la Universidad y/o el Estado de la República del Perú determinen, a nivel mundial, sin restricción geográfica alguna y de manera indefinida, pudiendo crear y/o extraer los metadatos sobre los Contenidos, e incluir los Contenidos en los índices y buscadores que estimen necesarios para promover su difusión.

Autorizo que los Contenidos sean puestos a disposición del público a través de la siguiente licencia:

Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional. Para ver una copia de esta licencia, visita: <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>

En señal de conformidad, suscribo el presente documento.

Puno 18 de Noviembre del 2024

FIRMA (obligatoria)



Huella