

**UNIVERSIDAD PRIVADA ANTONIO GUILLERMO URRELO**



**FACULTAD DE CIENCIAS DE LA SALUD**

**“DR. WILMAN RUÍZ VIGO”**

**CARRERA PROFESIONAL DE FARMACIA Y BIOQUÍMICA**

**CUANTIFICACIÓN DE ARSÉNICO EN AGUA ENTUBADA  
DE CONSUMO HUMANO Y SUELO EN EL DISTRITO DE LA  
ENCAÑADA – CAJAMARCA**

**Bach. Bolaños Vargas, Wilder**

**Bach. Mendoza Fernández, Paquito Daniel**

**Asesor:**

**Mg. Q.F. Alex Silva Araujo**

**Cajamarca – Perú**

**Abril – 2019**

**UNIVERSIDAD PRIVADA ANTONIO GUILLERMO URRELO**



**FACULTAD DE CIENCIAS DE LA SALUD**

**“DR. WILMAN RUÍZ VIGO”**

**CARRERA PROFESIONAL DE FARMACIA Y BIOQUÍMICA**

**CUANTIFICACIÓN DE ARSÉNICO EN AGUA ENTUBADA  
DE CONSUMO HUMANO Y SUELO EN EL DISTRITO DE LA  
ENCAÑADA – CAJAMARCA**

Tesis presentada en cumplimiento parcial de los requerimientos para optar el  
Título Profesional de Químico Farmacéutico

**Bach. Bolaños Vargas, Wilder**

**Bach. Mendoza Fernández, Paquito Daniel**

**Asesor: Mg. Q.F. Alex Silva Araujo**

**Cajamarca – Perú**

**Abril – 2019**

COPYRIGHT © 2019 by

WILDER BOLAÑOS VARGAS

PAQUITO DANIEL MENDOZA FERNÁNDEZ

Todos los derechos reservados

## PRESENTACIÓN

### SEÑORES MIEMBROS DEL JURADO DICTAMINADOR

Dando cumplimiento a lo establecido por el Reglamento de Grados y Títulos de la Universidad Privada Antonio Guillermo Urrelo, sometemos a vuestra consideración y elevado criterio profesional el presente trabajo de investigación intitulado **“Cuantificación de arsénico en agua entubada de consumo humano y suelo en el distrito de la Encañada – Cajamarca”** para poder optar el Título Profesional de Químico Farmacéutico.

Es propicia la oportunidad para expresar un cordial agradecimiento a nuestra Alma mater la “Universidad Privada Antonio Guillermo Urrelo”, y a su plana docente que con su aptitud y buen interés cooperaron a nuestra formación profesional.

Señores miembros del Jurado, dejamos a su disposición la presente tesis para su evaluación.

Cajamarca, abril del 2019

---

Wilder Bolaños Vargas  
Bachiller en Farmacia y Bioquímica

---

Paquito Daniel Mendoza Fernández  
Bachiller en Farmacia y Bioquímica

**UNIVERSIDAD PRIVADA ANTONIO GUILLERMO URRELO**

**FACULTAD DE CIENCIAS DE LA SALUD**

**“DR. WILMAN RUÍZ VIGO”**

**CARRERA PROFESIONAL DE FARMACIA Y BIOQUÍMICA**

APROBACIÓN DE TESIS PARA OPTAR TÍTULO PROFESIONAL DE  
QUÍMICO FARMACÉUTICO

**Cuantificación de arsénico en agua entubada de consumo humano  
y suelo en el distrito de la Encañada – Cajamarca**

---

Mg. Blgo. Héctor Emilio Garay Montañez  
**(PRESIDENTE)**

---

Mg. Q.F. Alexander Jair Rios Ñontol  
**(MIEMBRO)**

---

Mg. Q.F. Alex Silva Araujo  
**(MIEMBRO)**

## DEDICATORIA

A mi madre porque en su vientre me ha forjado, quien, comprometiendo su vida, me dio la oportunidad de vivir.

Al hombre que me dio la vida, el cual, a pesar de haberlo perdido a muy temprana edad, ha estado siempre cuidándome y guiándome desde el cielo.

A mis hermanos, que siempre han estado junto a mí, brindándome su apoyo incondicional.

A mi novia, porque me ha acompañado en la apasionante aventura diaria de vivir y me ha dado fortaleza para seguir adelante.

A mi hijo, porque me dio la oportunidad de expresarle la parte más bella, de mi ser; la generosidad y ejercitar la más sublime expresión del amor.

A mi nación que permitió realizarme, me concedió el don de la libertad para buscar mi propio existir.

Al Mg. Q.F. Alex Silva Araujo, al mostrarme el camino para lograr mi plena realización.

**Wilder Bolaños Vargas**

## DEDICATORIA

A Dios. Por haberme permitido llegar hasta este punto, brindándome salud, vida, sabiduría, infinita bondad y amor. Cuidándome en todo momento ya que, gracias a Él, todo tenemos, nada es por nuestra propia fuerza.

A mi madre y a mi padre. Que han pasado muchos años desde que nací, desde ese momento e incluso antes que eso, ya estaban buscando maneras de ofrecerme lo mejor. Han trabajado duro y sin importar, llegar cansados de su trabajo, siempre tenían una sonrisa para la familia. Los consejos, que me han brindado han servido de base de gran importancia para ser la mejor persona y así cambiar al mundo tan indiferente. Lo mejor que pudo pasarme es haber nacido en esta familia llena de obstáculos, problemas, sufrimientos, alegrías, aventuras, sacrificios sin medida y de nunca rendirse cuando tenían todo para hacerlo.

A mis maestros, por su gran apoyo, motivación importante en la culminación de nuestros estudios profesionales, así como, para la elaboración de nuestra tesis; al Mg. Q.F. Alex Silva Araujo, Mg. Q.F. Alexander Rios Ñontol y al Mg. Blgo. Héctor Garay Montañez: por el apoyo, su tiempo compartido y por impulsar el desarrollo de nuestra formación profesional.

Finalmente, a todos los profesionales, que marcaron cada etapa de nuestro camino universitario.

**Paquito Daniel Mendoza Fernández**

## AGRADECIMIENTO

Nuestro sincero agradecimiento:

A Dios por habernos acompañado y guiado a lo largo de nuestra carrera, por ser nuestra fortaleza en los momentos de debilidad.

A nuestro asesor Mg. Q.F. Alex Silva Araujo, por su incondicional apoyo y enseñanza durante el desarrollo de nuestra tesis.

A los Señores miembros del Jurado:

Al Mg. Blgo. Héctor Emilio Garay Montañez, por la revisión cuidadosa que ha realizado de este texto y sus valiosas sugerencias.

Al Mg. Q.F. Alexander Jair Rios Ñontol, por su orientación y atención a nuestras consultas sobre metodología.

**Wilder & Paquito Daniel**

## RESUMEN

La presencia de arsénico en agua de consumo humano y suelo representa una problemática para la salud pública en muchas regiones del Perú. Por ello, la presente investigación tuvo como objetivo principal cuantificar la concentración de arsénico en agua entubada de consumo humano y suelo en el distrito de la Encañada, mediante el método espectrofotométrico ultravioleta – visible del dietilditiocarbamato de plata. Para ello, se tomó 20 muestras de agua entubada de consumo humano (200 mL por cada muestra) y 20 muestras de suelo (200 gramos por cada muestra).

Los resultados fueron analizados, mediante la prueba estadística paramétrica T de Student de dos colas, para establecer la comparación de concentración de arsénico encontrado entre muestras de agua de consumo humano y suelo con los datos establecidos por la Organización Mundial de la Salud (OMS). Observándose, que la concentración promedio de arsénico en el agua entubada de consumo humano fue de 2,2  $\mu\text{g/L}$ , encontrándose que el 10% de muestras supera los límites permisibles establecidos por la OMS; la concentración promedio de arsénico en suelo fue de 25,9  $\text{mg/Kg}$ , hallándose que el 55 % de muestras supera los límites permisibles establecidos por la OMS; Estos resultados significan riesgo de intoxicación crónica a largo plazo, así como un grave problema de salud para la población de la Encañada.

**Palabras claves:** Arsénico, Agua entubada, Suelo, Organización Mundial de la Salud, Encañada, Cajamarca.

## ABSTRACT

The presence of arsenic in water for human consumption and soil represents a problem for public health in many regions of Peru. Therefore, the main objective of this research was to quantify the concentration of arsenic in piped water for human consumption and soil in the district of La Encañada, using the ultraviolet - visible spectrophotometric method of silver diethyldithiocarbamate. For this, 20 samples of piped water for human consumption (200 mL for each sample) and 20 soil samples (200 grams for each sample) were taken.

The results were analyzed using the two-tailed Student parametric statistical test to establish the comparison of the arsenic concentration found between water samples for human consumption and soil with the data established by the World Health Organization (WHO). Taking into account that the average concentration of arsenic in piped water for human consumption was 2,2 µg/L, it was found that 10% of the samples exceeded the permissible limits established by WHO; the average concentration of arsenic in the soil was 25,9 mg/kg, with 55% of samples exceeding the permissible limits established by WHO; These results mean a long-term risk of chronic intoxication, as well as a serious health problem for the population of La Encañada.

**Keywords:** Arsenic, Piped water, Soil, World Health Organization, Encañada, Cajamarca.

## ÍNDICE

<b>PRESENTACIÓN.....</b>	<b>IV</b>
<b>DEDICATORIA.....</b>	<b>VI</b>
<b>AGRADECIMIENTO.....</b>	<b>VIII</b>
<b>RESUMEN.....</b>	<b>IX</b>
<b>ABSTRACT.....</b>	<b>X</b>
<b>ÍNDICE.....</b>	<b>XI</b>
<b>LISTA DE FIGURAS.....</b>	<b>XIV</b>
<b>LISTA DE TABLAS.....</b>	<b>XV</b>
<b>LISTA DE GRÁFICOS.....</b>	<b>XVII</b>
<b>LISTA DE ANEXOS.....</b>	<b>XVIII</b>
<b>ABREVIATURAS.....</b>	<b>XX</b>
<b>I. INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>1</b>
<b>II. MARCO TEÓRICO.....</b>	<b>5</b>
2.1. Teorías que sustentan la investigación.....	5
2.2. Bases Teóricas.....	9
2.2.1. Arsénico (As).....	9
2.2.2. Arsénico en agua y suelo.....	15
2.2.3. Situación a nivel mundial y nacional.....	17

2.2.4.	Toxicidad del arsénico.....	20
2.2.5.	Espectroscopía ultravioleta visible (UV - Vis).....	23
2.2.6.	Fundamento teórico del método.....	27
<b>III. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN.....</b>		<b>29</b>
3.1.	Unidad de análisis, universo y muestra.....	29
3.1.1.	Unidad de análisis.....	29
3.1.2.	Universo.....	29
3.1.3.	Muestra.....	29
3.2.	Métodos de investigación.....	31
3.2.1.	Tipo de investigación de acuerdo a su finalidad.....	31
3.2.2.	Tipo de investigación de acuerdo a la técnica de contrastación.....	31
3.3.	Técnicas de investigación.....	31
3.3.1.	Ubicación de la zona de estudio.....	31
3.3.2.	Preparación de los frascos para la recolección de muestra.... Obtención de las muestras de agua.....	32
3.3.4.	Preparación del blanco de reactivos.....	33
3.3.5.	Determinación de arsénico en las muestras de agua.....	33
3.3.6.	Obtención de las muestras de suelo.....	34
3.3.7.	Determinación de arsénico en muestras de suelo.....	35
3.3.8.	Calibración del método.....	37
3.4.	Instrumentos, equipos y materiales.....	39
3.4.1.	Instrumentos.....	39

3.4.2. Equipos.....	39
3.4.3. Materiales.....	40
3.4.4. Reactivos.....	40
3.5. Análisis estadístico.....	42
3.6. Aspectos éticos de la investigación.....	42
<b>IV. RESULTADOS.....</b>	<b>43</b>
<b>V. DISCUSIÓN.....</b>	<b>54</b>
<b>VI. CONCLUSIONES.....</b>	<b>60</b>
<b>VII. RECOMENDACIONES.....</b>	<b>61</b>
<b>VIII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>62</b>
<b>X. ANEXOS.....</b>	<b>73</b>

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura N° 1.</b> Localización del arsénico en la tabla periódica.....	9
<b>Figura N° 2.</b> Diagrama de Pourbaix de las especies acuosas de arsénico.....	11
<b>Figura N° 3.</b> Especies de arsenito en función del pH.....	12
<b>Figura N° 4.</b> Especies de arsenato en función del pH.....	13
<b>Figura N° 5.</b> Toxicodinamia del arsénico.....	23
<b>Figura N° 6.</b> Espectro electromagnético.....	24

## LISTA DE TABLAS

<b>Tabla N° 1.</b> Volúmenes de la solución estándar de arsénico.....	37
<b>Tabla N° 2.</b> Concentración ( $\mu\text{g/L}$ ) versus absorbancia para la curva de calibración.....	43
<b>Tabla N° 3.</b> Comparación de concentraciones de arsénico determinados en muestras de agua entubada de consumo humano y suelo según su procedencia.....	44
<b>Tabla N° 4.</b> Media, desviación estándar, mínimo y máximo de la concentración de arsénico en muestras de agua entubada de consumo humano y muestras de suelo provenientes del distrito de la Encañada.....	48
<b>Tabla N° 5.</b> T de Student de los valores de arsénico según procedencia comparado con la OMS.....	49
<b>Tabla N° 6.</b> Comparación de concentraciones de arsénico en agua entubada de consumo humano y suelo del distrito de la Encañada – Cajamarca, con los límites establecidos por la Organización Mundial de la Salud.....	50
<b>Tabla N° 7.</b> Distribución de frecuencias de la concentración de arsénico en muestras de agua entubada de consumo humano, del distrito de la Encañada – Cajamarca.....	51

**Tabla N° 8.** Distribución de frecuencias de la concentración de  
arsénico en muestras de suelo que rodean las captaciones  
de agua, del distrito de la Encañada–Cajamarca..... 52

## LISTA DE GRÁFICOS

<b>Gráfico N° 1.</b> Curva de calibración para arsénico.....	43
<b>Gráfico N° 2.</b> Concentraciones de arsénico ( $\mu\text{g/L}$ ) encontrados en muestras de agua entubada de consumo humano del distrito de la Encañada – Cajamarca y los límites permisibles por la OMS.....	50
<b>Gráfico N° 3.</b> Concentración de arsénico ( $\text{mg/Kg}$ ) encontrados en muestras de suelo que rodean las captaciones de agua de consumo humano del distrito de la Encañada – Cajamarca.....	54
<b>Gráfico N° 4.</b> Comparación de concentración de arsénico observadas en muestras agua entubada de consumo humano y suelo, del distrito de la Encañada – Cajamarca.....	52
<b>Gráfico N° 5.</b> Distribución de frecuencias de la concentración de arsénico en muestras de suelo, del distrito de la Encañada – Cajamarca.....	52
<b>Gráfico N° 6.</b> Distribución de frecuencias de la concentración de arsénico en muestras de agua de consumo humano, del distrito de la Encañada – Cajamarca.....	53

## LISTA DE ANEXOS

<b>Anexo N° 1.</b> Protocolo de preservación, almacenamiento y análisis de muestra para especiación de arsénico.....	73
<b>Anexo N° 2.</b> Esquema de instalación para la determinación de arsénico en agua naturales según (NOM-AA-46-1981).....	74
<b>Anexo N° 3.</b> Esquema instalado para generación de arsina en muestras de agua y suelo, adaptado según el modelo de (NOM-AA-46-1981).....	75
<b>Anexo N° 4.</b> Preparación de los reactivos.....	76
<b>Anexo N° 5.</b> Ficha de recolección de muestras de agua, según su procedencia.....	77
<b>Anexo N° 6.</b> Ficha de recolección de muestras de suelo según su procedencia.....	78
<b>Anexo N° 7.</b> Absorbancias promedias de muestras de suelo del distrito de la Encañada.....	79
<b>Anexo N° 8.</b> Absorbancias promedias de muestras de agua de consumo humano del distrito de la Encañada.....	80
<b>Anexo N° 9.</b> Fórmula para el cálculo de la concentración de arsénico.....	81
<b>Anexo N° 10.</b> Ecuación de la incertidumbre para el reporte	

de resultados.....	82
<b>Anexo N° 11. Zona de muestreo.....</b>	<b>83</b>
<b>Anexo N° 12. Galería fotográfica.....</b>	<b>84</b>

## ABREVIATURAS

AB	Arsenobetaína
AC	Arsenocolina
ADN	Ácido desoxirribonucleico
As	Arsénico
AsAz	Trimetilarseniorribósido
ATP	Adenosín trifosfato
DDTC- Ag	Dietil ditiocarbamato de plata
DEA	Dietanolamina
DIGESA	Dirección General de Salud Ambiental
DMA	Ácido dimetilarsínico
ECA	Estándares Nacionales de Calidad de Agua
HG-AAS	Generación de Hidruro de Absorción Atómica Espectrométrica
HsAs	Arsina
INDECOPI	Instituto Nacional de Defensa de la Competencia y de la Protección de la Propiedad Intelectual
MMA	Ácido monometilarsinoso
NIST	Instituto Nacional de Estándares y Tecnología
NOM	Norma Oficial Mexicana
OMS	Organización Mundial de la Salud
SEDAPAL	Servicio de Agua Potable y Alcantarillado de Lima
TMO	Óxido de trimetilarsina

USEPA            Agencia de Protección Ambiental

UV/Vis            Ultra Violeta/ Visible

## I. INTRODUCCIÓN

El agua abarca aproximadamente el 71 % de la superficie terrestre, pero tan solo un 2,5 % es agua catalogada como apta para consumo humano<sup>16</sup>. Tanto la organización mundial de la salud (OMS)<sup>44</sup>, a nivel mundial; como la dirección general de salud ambiental (DIGESA)<sup>50</sup>, a nivel nacional, son las que establecen que los límites máximos permisibles de arsénico (As) deben ser de 10 µg/L.

Por otro lado, los acuíferos subterráneos de más de 20 países de todo el mundo se encuentran contaminados por arsénico, dicha agua es usada para el consumo humano. Es preocupante la contaminación natural de arsénico que presentan países como Argentina, Bangladesh, Chile, China y Estados Unidos<sup>43</sup>, cerca de 140 millones de personas, principalmente de los países en vías de desarrollo, están siendo envenenadas lentamente con arsénico diluido en el agua.

En varios países de América Latina como: Argentina, Chile, Perú, México, El Salvador; por lo menos cuatro millones de personas beben en forma permanente agua con niveles de arsénico que ponen en riesgo su salud. Así lo creen los científicos que analizaron este hecho y que lo dieron a conocer en la conferencia anual de la Sociedad Geográfica Real, donde advirtieron que supondrá un incremento en los casos de cáncer en el futuro<sup>24</sup>. Dicho de otra manera, la exposición prolongada de arsénico produce alteraciones de la piel, irritación de los

órganos del aparato respiratorio, gastrointestinal, hematopoyético; también se acumula en los huesos, músculos, piel y en menor grado en el hígado.

En Perú, la presencia de arsénico en agua de consumo humano se puede deber a factores naturales de origen geológico y a la explotación minera<sup>36,37</sup>. “Se han reportado niveles de arsénico en agua de consumo humano por encima del actual límite máximo permisible recomendado por la OMS en agua potable de 10  $\mu\text{g/L}$ ”<sup>37</sup>. Por ejemplo, en el año 2002 se encontraron niveles de arsénico en el río Rímac, de hasta 780  $\mu\text{g/L}$ <sup>28,37</sup>. Esto tiene mucho impacto considerando que este río abastece de agua a la ciudad de Lima. En la zona sur, se determinó que el agua de los ríos Callazas y Salado, tiene niveles tan altos como 640 y 1 680  $\mu\text{g/L}$ , respectivamente, también se detectó arsénico en agua subterránea en zonas de Puno, Tacna y Moquegua<sup>36,37</sup>.

En Cajamarca, la presencia de arsénico en agua superficial y subterránea, se debe a la erosión de carreteras, minas activas e inactivas y relaves en el área minera a cielo abierto<sup>1</sup>. Debido a estos antecedentes, se tuvo la inquietud de analizar la concentración de arsénico en agua entubada de consumo humano y suelo del distrito de la Encañada y comparar con los límites permisibles de arsénico establecidos por la Organización Mundial de la Salud.

Teniendo en cuenta lo anterior es evidente controlar los niveles de arsénico en el agua de consumo humano y suelo con el fin de prevenir las posibles intoxicaciones de los seres vivos.

Por esto se planteó la siguiente interrogante:

**¿Cuál será la concentración de arsénico en agua entubada de consumo humano y suelo en el distrito de la Encañada?**

Planteándose así, como **objetivo general** de este estudio:

Cuantificar la concentración de arsénico en agua entubada de consumo humano y suelo en el distrito de la Encañada, mediante el método espectrofotométrico Uv – visible del dietilditiocarbamato de plata.

Y como **objetivos específicos**:

- Determinar la concentración de arsénico en muestras de agua entubada de consumo humano en el distrito de la Encañada – Cajamarca.
- Determinar la concentración de arsénico en muestras de suelo provenientes del distrito de la Encañada – Cajamarca.

- Establecer si la concentración de arsénico en agua entubada de consumo humano y suelo en el distrito de la Encañada, se encuentran dentro de los límites permisibles establecidos por la Organización Mundial de la Salud.

En base a los antecedentes conocidos del arsénico, se formuló la siguiente hipótesis:  
La concentración de arsénico en agua entubada de consumo humano y suelo del distrito de la Encañada – Cajamarca, no se encuentra dentro de los límites establecidos por la Organización Mundial de la Salud.

## II. MARCO TEÓRICO

### 2.1. Teorías que sustentan la investigación

#### a) Internacionales

- En la investigación de Pariani A *et al* (2014)<sup>45</sup> publicaron su estudio donde determinaron la concentración de arsénico en agua de red que llega a los habitantes de la ciudad Pico (Argentina). La concentración de arsénico se determinó mediante la técnica de reducción a arsina y determinación espectrofotométrica con dietilditiocarbamato de plata en efedrina/cloroformo. En esta investigación la concentración promedio de arsénico en agua (59 µg/L), superó el límite permisible establecido por la Organización Mundial de la Salud.
- En la investigación de Navoni J *et al* (2012)<sup>42</sup> cuantificaron la concentración de arsénico en 152 muestras provenientes de 52 localidades de Buenos Aires (Argentina) durante el periodo 2003 - 2008 mediante la técnica de generación de hidruros acoplada a espectrofotometría de absorción atómica. La concentración de arsénico se ubicó en un rango amplio, desde 0,3 hasta 187 µg/L, con una mediana de 40 µg/L. El 82% de las muestras presentó niveles de arsénico superiores al valor límite aceptable de 10 µg/L, y más de la mitad de ellas provenían de agua de red.

- En la investigación de Garba N, Hamza S, Galadima A (2010)<sup>25</sup>, titulada “Arsenic level speciation in fresh water from karaye, local government area, Kano State, Nigeria” tomaron veinte muestras de agua dulce y determinaron arsénico usando un método estándar de laboratorio, encontrándose concentraciones de 0,10 a 0,60 mg/L de arsénico, con lo cual se evidenció que están por encima de la guía de agua potable de la Organización Mundial de la Salud.
- En la investigación titulada “Optimización del método de determinación de arsénico en agua potable por espectrofotometría UV – Vis con dietilditiocarbamato de plata” desarrollado por Pérez M et al (2002)<sup>46</sup> en México, llevaron a cabo la optimización de la actual Norma Oficial Mexicana NOM-AA-46-1981, que establece el método espectrofotométrico para la determinación de arsénico con dietilditiocarbamato de plata, con un límite de detección establecido en 0,028 mg/L para agua naturales, residuales, estuarias y costeras.

#### **b) Nacionales**

- En la investigación titulada “Determinación por absorción atómica de plomo y arsénico en agua potable de viviendas del distrito Hualgayoc, Cajamarca” desarrollado por Afan K y Flores V (2018)<sup>1</sup>, en Lima, Perú, se cuantificó plomo y arsénico mediante la

metodología analítica de absorción atómica con horno de grafito en el laboratorio de la Facultad de Ingeniería Química, de la Universidad Nacional Mayor de San Marcos. La cantidad de arsénico encontrado fue de 0,0060 mg/L en agua potable, esto evidenció un riesgo de intoxicación crónica y un grave problema de salud para la población de Hualgayoc.

- En la investigación titulada “Determinación de la concentración de arsénico en grano de *Oryza sativa* pilado procedente de los distritos de Pacasmayo, enero – junio 2017” ejecutado por Ramirez A (2017)<sup>48</sup>, en Trujillo, Perú, el investigador tomó 9 muestras de grano de *Oryza sativa* pilado, 3 muestras de agua de riego y 3 muestras de suelo de cultivo, empleando para el análisis el método de espectrometría de absorción atómica con generación de hidruros (HG-AAS) y como resultado obtuvo para las muestras de grano *Oryza sativa* pilado, agua y suelo de cultivo, un promedio de 0,16 mg/kg, 0,008 mg/L y 5,29 mg/kg de arsénico respectivamente.
- En el estudio titulado “Determinación de arsénico y cadmio en aguas del río Rímac y habas cultivadas en el distrito de San Mateo de Huánchor de la región de Lima” realizado por Basualdo G y Yacila J (2015)<sup>7</sup>, en Lima, Perú, los investigadores encontraron la concentración media de arsénico de 18,35 ppb, con cifras extremas de 16,34 ppb – 21,34 ppb en aguas del río Rímac, lo cual supera los

límites máximos permisibles establecidos por los Estándares Nacionales de Calidad de Agua (ECA) y de la Organización Mundial de la Salud (OMS).

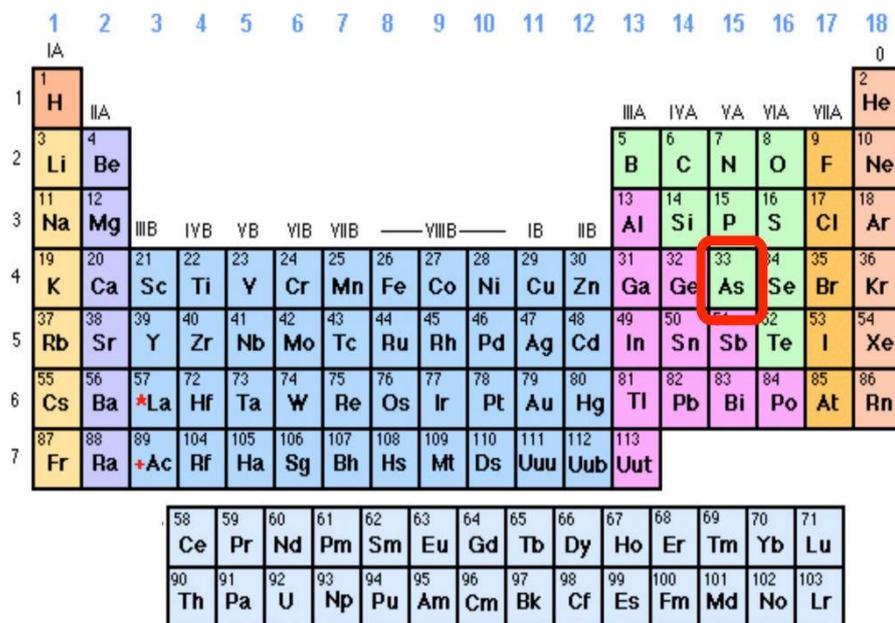
- En la investigación titulada “Determinación espectrofotométrica por absorción atómica, el grado de contaminación con arsénico y cadmio en agua de consumo humano provenientes del reservorio central de agua potable del Servicio de Agua Potable y Alcantarillado de Lima (SEDAPAL) en la Comunidad Urbana de Chuquitanta – distrito de San Martín de Porres”, realizada por Gonzales L y Osorio J (2014)<sup>29</sup> en Lima, Perú, los investigadores encontraron 0,00127 mg/L de arsénico para las muestras de agua provenientes del reservorio central SEDAPAL; en muestras provenientes de los camiones cisternas se obtuvieron 0,00121 mg/L de As y en muestras provenientes de los cilindros plásticos de las viviendas se determinó 0,00167 mg/L de As.
- En el estudio titulado “Contaminación natural de aguas subterráneas por arsénico en la zona de Carancas y Huata, Puno”, realizado por Apaza R y Calcina M (2014)<sup>6</sup> en Puno, Perú. Encontraron concentraciones de arsénico que alcanzan hasta 500 µg/L, lo cual está por encima de los límites aceptables considerados por la USEPA y de las normas nacionales que son de 10 µg/L de arsénico.

## 2.2. Bases teóricas

### 2.2.1. Arsénico (As)

Es un metaloide de color gris, cristalino y muy frágil, ya que muestra particularidades intermedias entre los metales de transición y los no metales<sup>15</sup>.

El arsénico se localiza en la mitad del bloque p y además, pertenece al grupo VA de la tabla periódica: es el elemento “más intermedio” de todos<sup>27</sup>.



	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18														
1	H																	He														
2	Li	Be											B	C	N	O	F	Ne														
3	Na	Mg	Al	Si	P	S	Cl	Ar																								
4	K	Ca	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr														
5	Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te	I	Xe														
6	Cs	Ba	*La	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn														
7	Fr	Ra	+Ac	Rf	Ha	Sg	Bh	Hs	Mt	Ds	Uuu	Uub	Uut																			
																			58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71
																			Ce	Pr	Nd	Pm	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu
																			90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100	101	102	103
																			Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Md	No	Lr

Figura N° 1. Localización del arsénico en la tabla periódica.

Fuente: Gaspe L. Arsénico, el elemento inclasificable. Rev. Educ. quim. 2013; 24 (2): 495-500<sup>27</sup>.

El arsénico se puede obtener a partir de minerales como la arsenopirita [FeAsS], además puede hallarse en regiones termales volcánicas, zonas mineras donde hay remoción de suelos <sup>15</sup>.

#### **Propiedades físicas<sup>15</sup>:**

- Número atómico: 33
- Masa atómica: 74,92160 g/mol
- Símbolo atómico: As
- Punto de fusión: 817 °C
- Punto de ebullición: 603°C.

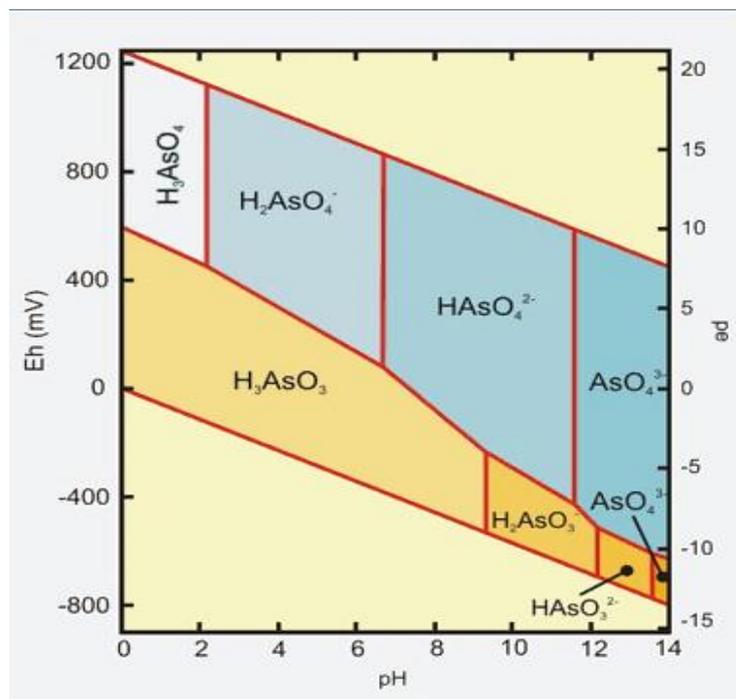
“El arsénico es extremadamente tóxico para los seres humano, no solo en concentraciones altas, donde la exposición causa efectos agudos que pueden llegar a ser letales, también la exposición durante un largo período a bajas concentraciones relativas tiene efectos negativos crónicos para la salud, tal es el caso del hidroarsenismo crónico regional endémico”<sup>43</sup>. De acuerdo a la teoría se puede clasificar en: arsénico inorgánico y orgánico.

#### **2.2.1.1. Formas inorgánicas de arsénico**

El arsénico se encuentra disuelto en aguas naturales, formando especies químicas de oxianiones  $[A_xO_y^{z-}]$ . Los estados de oxidación predominantes son el arsenito  $[As^{3+}]$

y el arseniato [ $\text{As}^{5+}$ ], siendo el arseniato [ $\text{As}(\text{V})$ ] la especie arsenical más difundida en agua y suelos<sup>14,33,52</sup>.

Su estado de oxidación y su movilidad, están controlados fundamentalmente por las condiciones del potencial de reducción y el pH. El As (III) es el estado más móvil y de mayor toxicidad<sup>33</sup>.

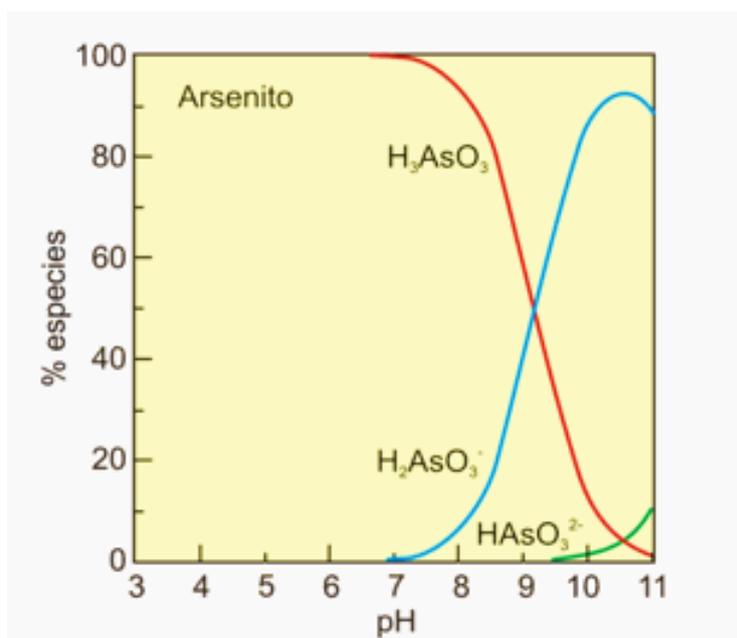


**Figura N° 2. Diagrama de Pourbaix de las especies acuosas de arsénico.**

**Fuente:** Litter, M, Eugenia Morgada, M. Formas arsenicales en agua y suelos. En: IBEROARSEN. Metodologías analíticas para la determinación y especiación de arsénico en aguas y suelos. 1a ed. Argentina. CYTEC; 2009. 19-28<sup>33</sup>.

En términos generales, bajo condiciones aeróbicas, el estado de  $\text{As}^{5+}$  predomina sobre el  $\text{As}^{3+}$ . En condiciones de extrema alcalinidad, la especie dominante será el ión

arseniato  $[\text{AsO}_4^{3-}]^{14}$ . El ácido arsenioso aparece a bajo pH y condiciones reducidas suaves, pero se transforma en ácido arsenioso  $[\text{H}_2\text{AsO}_3^-]$  a medida que aumenta el pH<sup>9,52,54</sup>.



**Figura N° 3. Especies de arsenito en función del pH.**

**Fuente:** Litter. M, Eugenia Morgada, M. Formas arsenicales en agua y suelos. En: IBEROARSEN. Metodologías analíticas para la determinación y especiación de arsénico en aguas y suelos. 1a ed. Argentina. CYTEC; 2009. 19-28<sup>33</sup>.

Dado que forma aniones en solución, pero es un metaloide, el arsénico no forma complejos con aniones simples como  $\text{Cl}^-$  y  $\text{SO}_4^{2-}$  como sí lo hacen los metales catiónicos<sup>14</sup>. Por otra parte, el arsénico forma enlaces con azufre, nitrógeno y carbono orgánico<sup>33</sup>.

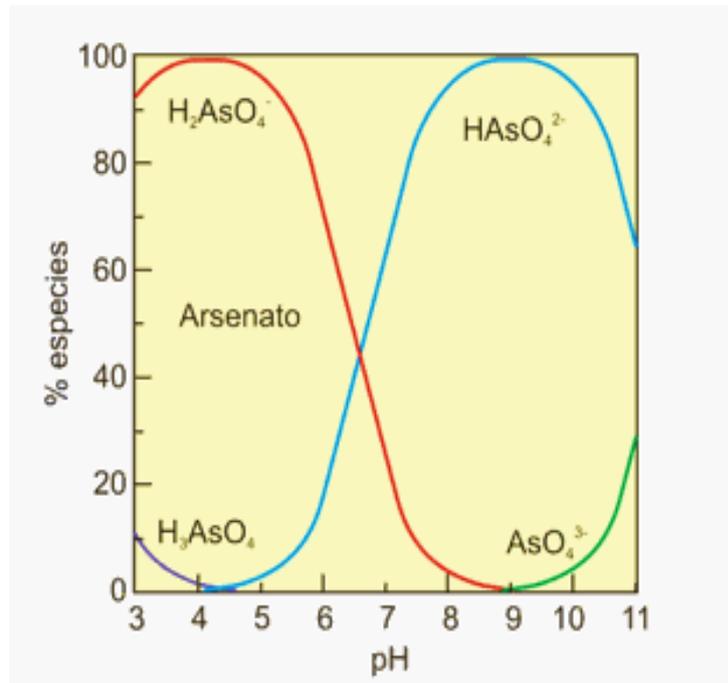


Figura N° 4. Especies de arsenato en función del pH.

**Fuente:** Litter, M, Eugenia Morgada, M. Formas arsenicales en agua y suelos. En: IBEROARSEN. Metodologías analíticas para la determinación y especiación de arsénico en aguas y suelos. 1a ed. Argentina. CYTEC; 2009. 19-28<sup>33</sup>.

La pirita [FeS<sub>2</sub>] es el compuesto arsenioso más frecuente en la naturaleza, se forma en medios sedimentarios bajo condiciones reductoras. Así también la apatita [Ca<sub>5</sub>(PO<sub>4</sub>)<sub>3</sub>] es otro minerales que tiene alto contenido de arsénico<sup>8,14,33</sup>.

#### 2.2.1.2. Formas orgánicas

Las moléculas orgánicas de arsénico se encuentran acoplados a un átomo de carbono por medio de enlaces covalentes; las formas trivalente y pentavalente de arsénico

están ampliamente distribuidas en la atmósfera, en sistemas acuáticos, suelos, sedimentos y tejidos biológicos<sup>14</sup>. Así pues, un número elevado de alquil- y arilderivados son sintetizados para uso comercial como biocidas en agricultura. Los compuestos orgánicos producidos dentro del ciclo biogeoquímico son los de mayor relevancia<sup>14,33</sup>.

En los seres vivos fotosintéticos se encuentran altas concentraciones de arsénico inorgánico y en menor medida, arsénico orgánico como el ácido monometilarsonioso [MMA], el ácido dimetilarsonioso [DMA], el óxido de trimetilarsonio [TMAO], la arsenobetaína [AB], la arsenocolina [AC] y los trimetilarsoniorribósidos [AsAz]<sup>14</sup>. Las plantas absorben el arsénico por las raíces, en un proceso influenciado por las características del suelo y de la propia planta. El As (V) es absorbido del suelo utilizando el transportador de membrana del fósforo, mientras que para el As (III) se utiliza un canal transportador de glicerol (acuoporinas)<sup>20,33</sup>.

En cuanto a los invertebrados terrestres, la capacidad de supervivencia en suelos con elevados contenidos de arsénico depende de las metalotioneínas que posean. El

arsénico ingerido o absorbido por vía dérmica en su estado trivalente se une a proteínas ricas en grupos tiol, siendo luego metilado a sus formas orgánicas, para su posterior eliminación<sup>33</sup>.

## **2.2.2. Arsénico en agua y suelo**

### **2.2.2.1. Distribución de arsénico en agua superficial**

Los porcentajes de arsénico, en ríos son respectivamente bajos, frecuentemente inferiores a 0,8 µg/L sin embargo se pueden alterar dependiendo de las causas como: recarga (superficial y subterránea), litología de la cuenca, drenaje de zonas mineralizadas, clima, actividad minera y disposición de residuos urbanos y/o industriales<sup>2</sup>.

En el agua de mar, la cantidad promedio de arsénico es de 1,5 a 4 g/L. Las cantidades en zonas de desembocaduras son variables, debido las contribuciones de agua continentales, sedimentos continentales, transiciones locales de salinidad y gradientes redox. Las corrientes fluviales en zonas mineras o con mineralizaciones presentan contenidos altos de arsénico con valores que van desde 200 - 400 µg/L<sup>2,42</sup>.

#### **2.2.2.2. Arsénico en agua subterránea<sup>2</sup>**

Gran parte de los acuíferos con altos contenidos de arsénico tienen un inicio ligado a procesos geoquímicos naturales. Una de las particularidades más importantes del problema del arsénico de origen natural en agua subterránea, es que no constantemente hay una concordancia espontánea entre el alto contenido de arsénico en agua y un alto contenido de arsénico en los materiales que establecen el acuífero.

El porcentaje de casos de “contaminación” natural de agua subterránea por arsénico que coexisten en el mundo están conexos con ambientes geológicos muy diferentes: metasedimentos con filones mineralizados, filas volcánicas, columnas volcano – sedimentarias, distritos mineros, procedimientos hidrotermales, cuencas aluviales terciarias y cuaternarias. La cantidad de arsénico en agua subterránea está principalmente reconocida por las interacciones agua – roca en el seno del acuífero.

#### **2.2.2.3. Dinámica del arsénico en el suelo<sup>2</sup>**

La representación de diferentes especies de arsénico en suelos es apto de implicar su calidad y por tanto cambiará todas estas medidas en función del grado de riesgo que presente para el suelo. La existencia de arsénico en suelo,

debida a su cantidad en la corteza terrestre suele ser detectable por varias técnicas analíticas.

Varios autores han planteado concentraciones de As en suelo de 10 - 40 mg/kg en zonas sin rarezas litológicas, considerándose una concentración media en la pedosfera de 5 hasta 8 mg/kg. Cabe subrayar en este punto que es abundante que los suelos contaminados por As contengan otros contaminantes inorgánicos como orgánicos.

### **2.2.3. Situación a nivel mundial y nacional**

#### **2.2.3.1. Situación a nivel mundial**

El arsénico está inherente de carácter natural en niveles altos en agua subterránea de diversos países. Su principal amenaza para la salud pública está en el uso de agua contaminada para beber, disponer alimentos y regar cultivos alimentarios. La manifestación extendida al arsénico a través de la utilización de agua y alimentos contaminados puede causar cáncer y lesiones cutáneas. Además se ha incorporado a problemas de desarrollo, enfermedades cardiovasculares, neurotoxicidad y diabetes<sup>6,23</sup>.

En varios lugares se han reconocido un gran número de áreas con agua subterráneas que muestran contenidos de arsénico superiores a 50 µg/L. Las dificultades más trascendentales citados en la literatura se ubican en: Asia, incluyendo Bangladesh, India (Bengala Oeste), Nepal, China, Taiwán, Vietnam, Argentina, Chile, Japón, Nueva Zelanda, EE.UU, Islandia, Francia y Kamchatka. Sitios con complicaciones de arsénico en relación a depósitos minerales y minería han sido registradas en muchas partes del mundo, estando los casos más sobresalientes en Ghana, Grecia, Tailandia, Chile, Perú, Bolivia, Brasil, México y EE.UU<sup>4,6</sup>.

La existencia de arsénico en el agua es un tema de gran utilidad a nivel mundial debido a la aparición de enfermedades afines a este elemento, identificándose el nivel del problema a partir de los análisis de intoxicación en la población y de enfermedades hídricas<sup>14</sup>.

#### **2.2.3.2. Situación en el Perú**

En 1994 se hizo un estudio sobre la cantidad de arsénico en la vertiente del río Rímac y se estudiaron

53 muestras de agua potable, de río, pozo y manantiales; se halló que el 84,9% de las muestras excedían el límite dado por la OMS. A excepción de que, no se han registrado casos de intoxicación con arsénico<sup>21,24</sup>.

En la quebrada del río Locumba, en el año 2002, se forjó una apreciación que mostró concentraciones de arsénico entre 0,4 a 0,2 mg/L. La población de este valle toma esta agua desde hace mucho tiempo, a excepción de que se reporten casos de arsenicismo. En la ciudad de Puno se han reportado cantidad de arsénico en pozos últimamente colocados (hasta 0,18 mg/L) y se hara un estudio para evaluar las opciones de la eliminación de arsénico<sup>9,24</sup>.

La Dirección General de Salud Ambiental (DIGESA) en el año 2005 realizó un monitoreo de metales pesados en 85 muestras de todo Lima Metropolitana, donde hallaron cantidades de arsénico por debajo del límite superior permitido (0,05 Mg/L) del reglamento de calidad de agua vigente<sup>24</sup>.

#### 2.2.4. Toxicidad del arsénico

La toxicidad del arsénico depende: del estado de oxidación, estructura química del compuesto y la solubilidad en el medio biológico. El nivel de toxicidad varía con el derivado de arsénico en cuestión. La arsina (HsAs) es el compuesto más dañino, seguidamente del arsénico trivalente. La toxicidad del arsenito es 10 veces superior a la del arseniato<sup>10,15,19</sup>.

##### 2.2.4.1. Toxicocinética

Las vías de acceso del arsénico al cuerpo humano son: oral, respiratoria y cutánea. La mayor fuente de arsénico para el hombre lo componen: el agua contaminada, los vegetales y mariscos. La retención del arsénico en el cuerpo depende de su biodisponibilidad. En síntesis los compuestos de  $As^{3+}$  son cerca de 60 veces más dañinos que los de  $As^{5+}$  y los compuestos inorgánicos son cerca de 100 veces más tóxicos que los orgánicos<sup>19,30</sup>.

**Absorción:** En los humanos y en la totalidad de las especies animales, la permeabilidad de compuestos arsenicales a través del tracto gastrointestinal es alta (95%) cuando se administran en solución acuosa. La permeabilidad de As por vía respiratoria depende del volumen de las partículas inhaladas, de su solubilidad y

del carácter químico del compuesto. La importante forma química presente en el aire es el  $As^{3+}$ , el cual es de origen antropogénico. Las partículas grandes se sitúan en las vías superiores, son movidas por el movimiento ciliar y trasladadas al tracto gastro intestinal, en donde son absorbidas dependiendo de su solubilidad. Las partículas menores de  $7 \mu m$  se absorben en un 75% a 85%<sup>1,3</sup>.

**Distribución:** Los compuestos arsenicales tienden a acumularse especialmente en el hígado, riñón, pulmón y bazo. El  $As^{3+}$  se acopla primordialmente a los grupos sulfhidrilo de proteínas como la queratina, por lo que se almacenan en pelo y uñas<sup>3</sup>.

**Biotransformación:** El metabolismo del As se realiza especialmente en el hígado, si bien su mecanismo no está bien determinado, se plantea que en él actúan dos procesos: reacciones de reducción que cambian el  $As^{5+}$  en  $As^{3+}$  y reacciones de metilación oxidativa que convierte el As (III) en especies metiladas<sup>1,3</sup>.

**Excreción:** El arsénico se elimina especialmente por el riñón en forma de ácido dimetilarsínico (50 a 70%). Una

parte (20%) se excreta sin metilar, en la orina <sup>22</sup>. Hay que recalcar, que durante los procesos de destoxificación del arsénico en el organismo, disminuye el nivel de S-adenosilmetionina, que es también cofactor para ADN-metiltransferasas comprometidos por la metilación de ADN<sup>55</sup>.

#### **2.2.4.2. Toxicodinamia**

El arsénico causa intoxicación por mezcla con los grupos sulfhidrilo de las enzimas, interfiriendo de esta forma con el metabolismo celular al desacoplar la fosforilación oxidativa. Como pertenece al mismo grupo que el fósforo, lo sucede en el proceso de formación de Trifosfato de Adenosina (ATP), debido a que el compuesto consiguiente es inestable, se restaura logrando un efecto desacoplante muy efectivo<sup>41</sup>.

Así que el arsénico, luchando con el ADN por el presente del grupo metílico, induce hipometilación de ADN. La inaudita metilación de ADN facilita la expresión de los genes conduciendo a la evolución de la célula, lo que indica un potencial mecanismo de carcinogénesis provocado por el arsénico<sup>41</sup>.

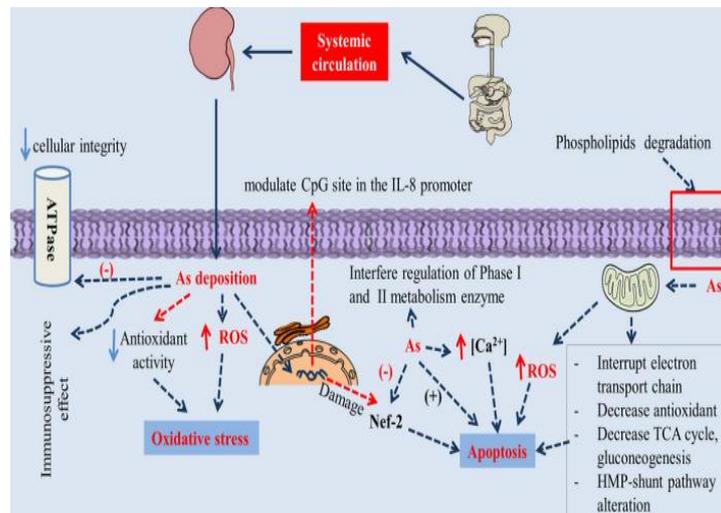


Figura N° 5. Toxicodinamia del arsénico.

**Fuente:** Nasiruddin M, Tangpong J, Masudur M. Toxicodynamics of Lead, Cadmium, Mercury and Arsenic- induced kidney toxicity and treatment strategy: A mini review. Rev Toxicology Reports.[en internet]. 2018; 5: 704-713. [Citado el 16 de noviembre del 2018]<sup>41</sup>.

La manifestación a largo plazo de los compuestos del arsénico pueden originar una toxicidad crónica, que se presenta con el síndrome de pie negro, hidroarsenismo crónico regional endémico, que puede llevar a cáncer de piel, pulmón, riñon, estómago, próstata, enfermedades cardiovasculares, enfermedades del sistema nervioso y vascular periférico<sup>19</sup>.

### 2.2.5. Espectroscopia ultravioleta visible (UV - Vis)

La espectroscopia UV-Vis maneja la iluminación del espectro electromagnético, cuya amplitud de onda está percibida entre

los 100 y los 800 nm (energía comprendida entre las 286 y 36 kcal/mol), y su resultado sobre la materia es causar transiciones electrónicas entre los orbitales atómicos y moleculares de la sustancia<sup>14</sup>.

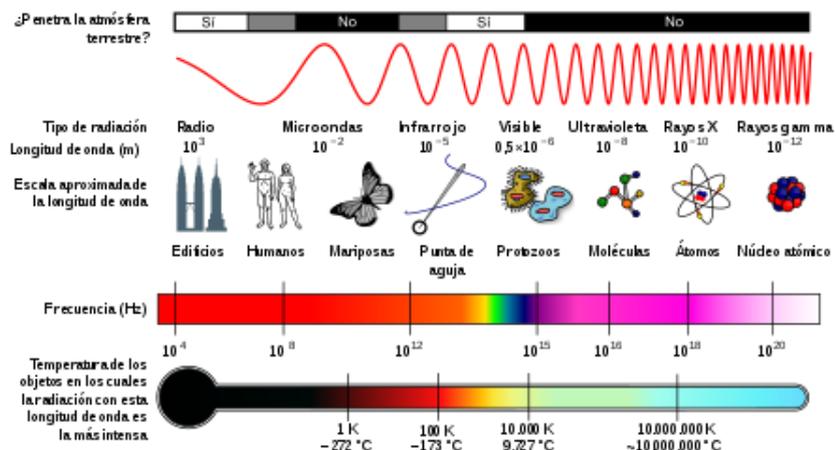


Figura N° 6. Espectro electromagnético.

**Fuente:** Castro M, Litter M, Gong M, Mori V. Métodos espectrofotométricos UV-Vis. En: IBEROARSEN. Metodologías analíticas para la determinación y especiación de arsénico en aguas y suelos. 1a ed. Argentina. CYTEC; 2009<sup>14</sup>.

La energía de la evolución está conexas con la amplitud de onda de la radiación a través de la ecuación de Planck. La espectrometría UV-Vis se usa habitualmente en la determinación cuantitativa de la concentración en solución de especies químicas, como iones metálicos de transición y compuestos orgánicos muy conjugados<sup>14</sup>.

La espectroscopía detalla la interacción entre la emisión, esencialmente electromagnética y la materia. Toda emisión electromagnética viene diferenciada por una amplitud de onda ( $\lambda$ ), una frecuencia ( $\nu$ ) o una energía (E); la concordancia cierta entre ellas está dada por la ecuación de Planck<sup>12,14</sup>:

$$E = h\nu = hc/\lambda$$

donde:

**E** = Energía transportada por cuanto de radiación o fotón.

**h** = Constante de Planck.

**c** = Velocidad de la luz.

**$\lambda$**  = Longitud de onda.

**$\nu$**  = Frecuencia de la radiación.

### **2.2.5.1. El espectrofotómetro ultravioleta – visible**

La herramienta usada en la espectrofotometría ultravioleta – visible, admite medir la emisión absorbida o transferida por una solución que contiene una cantidad anónima de soluto, con una que contiene una cantidad conocida de la similar sustancia. Se evalúa la transmitancia de la muestra que se expresa normalmente como porcentaje (%T), o bien la absorbancia (A)<sup>14,18</sup>.

### 2.2.5.2. Ley de Lambert – Beer<sup>14</sup>

La piedra angular de la espectrofotometría de absorción UV – Vis y su uso en el análisis cuantitativo residen por la famosa ley de Lambert – Beer, que insta que la absorbancia de una solución es directamente proporcional a la concentración del analito en solución. Sin embargo, se puede utilizar para establecer la concentración de un compuesto en una solución. La amplitud de onda ( $\lambda$ ) de absorción de iluminación es específica para cada cromóforo<sup>14</sup>.

Cuando un haz de iluminación UV – Vis traspasa una solución que contiene un analito absorbente, la intensidad (I) que traspasa la muestra es menor que la del haz incidente ( $I_0$ ). La fracción de iluminación que se ha transferido a la muestra se llama transmitancia ( $T = I/I_0$ ). La transmitancia T está conexas con la absorbancia (A) de acuerdo a la siguiente expresión<sup>33</sup>:

$$A = -\log T = -\log (I/I_0)$$

Por aspectos prácticos, para las medidas se utiliza la absorbancia (A) en lugar de la transmitancia (T), de acuerdo a la ley Lambert – Beer<sup>14</sup>:

$$A = -\log_{10} (I/I_0)$$

Donde:

A: Absorbancia medida

I: Intensidad de la luz transmitida

I<sub>0</sub>: Intensidad de la luz incidente

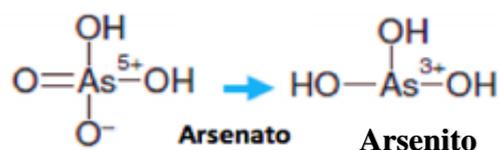
### 2.2.6. Fundamento teórico del método

La generalidad de los métodos colorimétricos para la medición de arsénico se apoyan en el viejo método de Gutzeit. Este técnica genera gas arsina por reducción de As en situaciones ácidas por adición de polvo de Zinc y cuantificación de la arsina por atrapamiento, en solución de dietilditiocarbamato de plata<sup>14,31</sup>.

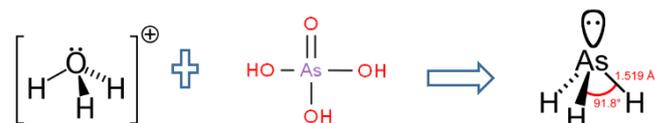
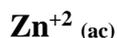
Este técnica es adaptable a la determinación de arsénico en muestras de agua potable, superficial, subterránea y residual. Se puede comprobar el arsénico en un rango de 5 a 200 µg/L, por dilución<sup>14</sup>.

El proceso de medida involucra 3 operaciones<sup>14</sup>:

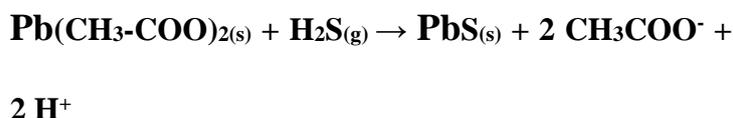
- a) Acondicionamiento de la muestra: reducción de As (v) a As (III).



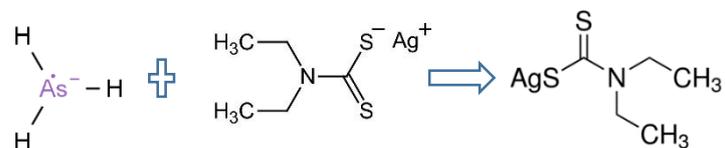
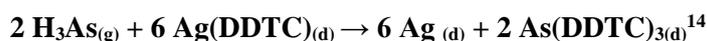
- b) Liberación de arsénico en forma de arsina en medio acuoso (ac).



Este paso también encierra el control de interferencias que podría ejercer el sulfuro, interceptando el paso de la arsina con lana de vidrio impregnada con acetato de plomo.



- c) Generación de color



La arsina es absorbida por una solución de dietilditiocarbamato de plata en cloroformo. La sal de plata reacciona con la arsina y se produce un complejo rojo con absorción máxima alrededor de 520 nm<sup>14,34</sup>.

### **III. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN**

#### **3.1. Unidad de análisis, universo y muestra**

##### **3.1.1. Unidad de análisis**

- Muestras de agua.
- Muestras de suelo.

##### **3.1.2. Universo**

Conformado por muestras de agua entubada de consumo humano y muestras de suelo del distrito de la Encañada – Cajamarca.

##### **3.1.3. Muestra**

###### **a) Muestra de agua entubada de consumo humano**

Se recogió 1 muestra de cada una de las 20 captaciones de agua entubada de consumo humano, del distrito de la Encañada – Cajamarca; cada muestra en un volumen de 200 mL, a una altitud de 3098 m.s.n.m.

- **Criterios de inclusión**

Muestras de agua de consumo humano pertenecientes al distrito de la Encañada, sin desechos, hojas, ni impurezas y que cumplan con un muestreo adecuado.

- **Criterios de exclusión:**

Muestras de agua que incluyen partículas grandes, desechos, hojas u otro tipo de material accidental, y las que no son tomadas adecuadamente según muestreo.

**b) Muestras de suelo**

Se recogió 1 muestra de cada uno de los 20 lugares que rodean a las captaciones de agua de consumo humano, del distrito de la Encañada – Cajamarca, cada muestra de 200 gramos, a una altitud de 3098 m.s.n.m.

- **Criterios de inclusión**

Las muestras de suelo pertenecientes al distrito de la Encañada, partículas pequeñas, sin desechos y que cumplan con un muestreo adecuado.

- **Criterios de exclusión:**

Las muestras de suelo que incluyen partículas grandes, desechos, hojas u otro tipo de material accidental, y las que no son tomadas adecuadamente según muestreo.

### **3.2. Métodos de investigación**

#### **3.2.1. Tipo de investigación de acuerdo a su finalidad**

Es básica ya que tiene como finalidad formular nuevas teorías y con ello adquirir, enriquecer el conocimiento científico, más allá de solo una posible aplicación<sup>32</sup>.

#### **3.2.2. Tipo de investigación de acuerdo a la técnica de contrastación**

Es experimental, dado que se encuentra encaminada a modificar la realidad con el propósito de crear el fenómeno mismo que se investiga, y así poder observarlo, con el fin de hacer las comparaciones necesarias para comprobar las hipótesis<sup>47</sup>.

### **3.3. Técnicas de investigación**

#### **3.3.1. Ubicación de la zona de estudio**

La zona de estudio se llevó acabo en el distrito de la Encañada, ubicada en la región de Cajamarca, la cual cuenta con

9 centros poblados, está a 3098 m.s.n.m. Su población es de 19175 habitantes, todos ellos consumen agua entubada.

### **3.3.2. Preparación de los frascos para la recolección de muestra<sup>14</sup>**

- Se utilizó 40 frascos de polietileno de color ámbar, de los cuales 20 fueron para muestras de agua y 20 para muestras de suelo. En la descontaminación de los frascos se usó ácido nítrico 10% v/v dejándolo en inmersión durante 24 horas, posteriormente se enjuagó, cinco veces con agua destilada. Los frascos permanecieron estériles durante todo el proceso de investigación.

### **3.3.3. Obtención de las muestras de agua<sup>14</sup>**

Para la recolección de la muestras de agua se empleó el tipo de muestreo aleatorio simple<sup>13</sup>.

Durante el mes de octubre del 2018, se recolectaron 20 muestras de agua de consumo humano (200 mL por cada muestra) en frascos de polietileno estériles debidamente rotulados, provenientes de las 20 captaciones de los manantiales del distrito de la Encañada. Las muestras se mantuvieron fuera del alcance de la luz solar durante el transporte.

Las muestras de agua fueron preservadas con 2 mL de ácido nítrico y se conservaron en refrigeración a 4 °C hasta su proceso analítico en el Laboratorio.

#### **3.3.4. Preparación del blanco de reactivos<sup>14</sup>**

Se tomó 50 mL de agua destilada en un matraz Erlenmeyer, se añadió 10 mL de ácido nítrico concentrado, se adicionó 5 mL de ácido sulfúrico concentrado y se guardó hasta su lectura en el espectrofotómetro junto con las muestras.

#### **3.3.5. Procedimiento para la determinación de arsénico en las muestras de agua<sup>14</sup>**

Las muestras de agua se filtraron en el equipo de bomba al vacío, luego se acidificaron con ácido nítrico diluido 1:1 hasta obtener el pH < 2. Después, se agitaron vigorosamente, se tomó de cada una 50 mL, en probeta graduada, se transfirió a un balón de fondo plano de 250 mL. Inmediatamente se añadió 10 mL de ácido nítrico concentrado, 5 mL de ácido sulfúrico concentrado, por cada muestra. Seguidamente se colocó el balón con la solución sobre una cocina eléctrica por 30 minutos, hasta la eliminación de vapores nitrosos, luego se dejó enfriar. Posteriormente, se agregó 20 mL de agua destilada a cada balón, enjuagando las paredes, luego, se adicionó 20 mL de ácido clorhídrico concentrado más

2 mL de solución de yoduro de potasio, se mezcló, se dejó reposar cinco minutos. Luego se agregó 1 mL de solución de  $\text{SnCl}_2$ , se mezcló, se dejó reposar 10 minutos.

Durante el reposo de la solución se aprovechó para colocar 3 mL del reactivo dietilditiocarbamato de plata en cada generador de arsina, así como un tapón suave de algodón con acetato de plomo en la burbuja del generador. (Esquema de instalación para la determinación de arsénico en aguas naturales según (NOM-AA-46-1981))

Concluido el tiempo de reposo de la solución se adicionó 3 g de granallas de zinc y una barra magnética octagonal a cada balón, inmediatamente se conectó al equipo generador de arsina y se selló con cinta adhesiva para evitar la fuga de gas. Luego se colocó sobre una cocina calefactora con agitación magnética a  $75\text{ }^\circ\text{C}$  durante 30 minutos para un desprendimiento completo de la arsina y la formación del complejo rojo. Finalmente, se vertió el complejo coloreado a la cubeta estándar de 1 cm y se realizó las lecturas por triplicado en el espectrofotómetro a 520 nm.

### 3.3.6. Obtención de las muestras de suelo<sup>14</sup>

Para la obtención de las muestras de suelo se usó el tipo de muestreo aleatorio simple<sup>13</sup>.

Durante el mes de octubre del 2018, se recolectaron 20 muestras de suelo (200 g por cada muestra) con espátulas en frascos de polietileno estériles debidamente rotulados, las muestras fueron recogidas de los alrededores de las 20 captaciones de los manantiales de agua del distrito de la Encañada. Las muestras se mantuvieron fuera del alcance de la luz solar durante el transporte y se preservaron en refrigeración a 4 °C hasta su proceso en el Laboratorio.

### **3.3.7. Procedimiento para la determinación de arsénico en muestras de suelo<sup>14</sup>**

Las muestras de suelo fueron secadas a temperatura ambiente bajo techo para eliminar el exceso de humedad. Después del secado se prosiguió a retirar materiales indeseados, como rocas, ramas, hojas y otros, luego se trituró en molino de mano, para luego ser tamizado. De la muestra tamizada se pesó 100 g y se vertió a un beacker de 250 mL al cual se adicionó 2 mL de HNO<sub>3</sub> q.p, 2 mL de HCl q.p, se colocó en la estufa por 5 minutos a 110 °C.

Posteriormente se dejó enfriar, se agregó 1 mL de HCl q.p, se volvió colocar en la estufa por 5 minutos más a 110 °C. Después del enfriamiento se agregó 500 mg de ácido bórico, se continuo con la digestión en la estufa por 5 minutos a 110 °C.

Continuando con el procedimiento se agregó 50 mL de agua destilada, se filtró cada muestra en equipo de bomba al vacío. Al filtrado se añadió 10 mL de ácido nítrico concentrado, 5 mL de ácido sulfúrico concentrado, por cada muestra. Seguidamente se colocó el balón con la solución sobre una cocina eléctrica por 30 minutos, hasta la eliminación de vapores nitrosos, luego se dejó enfriar. Posteriormente se agregó 20 mL de agua destilada a cada balón, enjuagando las paredes, también se adicionó 20 mL de ácido clorhídrico concentrado más 2 mL de solución de yoduro de potasio, se mezcló, se dejó reposar cinco minutos. Luego se agregó 1 mL de solución de  $\text{SnCl}_2$ , se mezcló, se dejó reposar 10 minutos.

Durante el reposo de la solución se aprovechó para colocar 3 mL del reactivo dietilditiocarbamato de plata en cada generador de arsina, así como un tapón suave de algodón con acetato de plomo en la burbuja del generador. (Esquema de instalación para la determinación de arsénico en aguas naturales según (NOM-AA-46-1981)).

Concluido el tiempo de reposo de la solución se adicionó 3 g de granallas de zinc y una barra magnética octagonal a cada balón, inmediatamente se conectó al equipo generador de arsina, se selló con cinta adhesiva para evitar la fuga de gas. Luego se colocó sobre una cocina calefactora con agitación magnética a 75 °C durante 30

minutos para un desprendimiento completo de la arsina y la formación del complejo rojo. Finalmente se vertió el complejo coloreado a la cubeta estándar de 1 cm, se realizó las lecturas por triplicado en el espectrofotómetro a 520 nm.

### 3.3.8. Calibración del método<sup>14</sup>

Los estándares de arsénico se prepararon añadiendo con pipeta volumétrica a una fiola, los volúmenes de la solución estándar, que se indican en la siguiente tabla.

**Tabla N° 1. Volúmenes de la solución estándar de arsénico**

Volumen a adicionar (mL)	Concentración de As ( µg/L)	Concentración de As (mg/L)
1,0	1,0	0,020
2,0	2,0	0,040
3,0	3,0	0,060
5,0	5,0	0,100
10,0	10,0	0,200

**Fuente:** Castro L, Litter M, Wong M, Mori V. Métodos espectrofotométricos UV-Vis. IBEROARSEN: Argentina 2009<sup>14</sup>.

Las soluciones estándar se prepararon con agua destilada hasta un volumen de 50 mL. Luego se agregó 10 mL de ácido nítrico concentrado, se adicionó 5 mL de ácido sulfúrico concentrado por cada muestra. Seguidamente se colocó el balón con la solución

sobre una cocina eléctrica por 30 minutos, hasta la eliminación de vapores nitrosos, luego se dejó enfriar. Posteriormente se agregó 20 mL de agua destilada a cada balón, enjuagando las paredes, también se adicionó 20 mL de ácido clorhídrico concentrado más 2 mL de solución de yoduro de potasio, se mezcló, se dejó reposar cinco minutos. Luego se agregó 1 mL de solución de  $\text{SnCl}_2$ , se mezcló y se dejó reposar 10 minutos.

Durante el reposo de la solución se aprovechó para colocar 3 mL del reactivo dietilditiocarbamato de plata en cada generador de arsina, así como un tapón suave de algodón con acetato de plomo en la burbuja del generador. (Esquema de instalación para la determinación de arsénico en aguas naturales según (NOM-AA-46-1981)).

Concluido el tiempo de reposo de la solución se adicionó 3 g de granallas de zinc y una barra magnética octagonal a cada balón, inmediatamente se conectó al equipo generador de arsina y se selló con cinta adhesiva para evitar la fuga de gas. Luego se colocó sobre una cocina calefactora con agitación magnética a  $75\text{ }^\circ\text{C}$  durante 30 minutos para un desprendimiento completo de la arsina y la formación del complejo rojo. Finalmente se vertió el complejo coloreado a la cubeta estándar de 1 cm y se realizó las lecturas por triplicado en el espectrofotómetro a 520 nm.

### 3.4. Instrumentos, equipos y materiales

#### 3.4.1. Instrumentos

- Fichas para recolección de datos de las muestras de agua y suelo.
- Software estadístico Excel (Versión 2016).

#### 3.4.2. Equipos

- Estufa:  
Marca: Memmert.  
Modelo: UM400 oven
- Espectrofotómetro:  
Modelo: Spectronic© 20 Genesys™
- Refrigeradora:  
Marca: General Electric
- Balanza analítica:  
Marca: Ohaus Explorer  
Modelo: Pro Ep64
- Ph-metro:  
Mettler Toledo (MP 220)
- Agitador magnético:  
Marca: IKA™ 0004240400  
ModeloC-MAG HS 7

### 3.4.3. Materiales

Materiales de vidrio y otros de uso común en el Laboratorio de Química y en el Laboratorio de Tecnología Farmacéutica.

### 3.4.4. Reactivos

- Ácido nítrico ( $\text{HNO}_3$ )  
Concentración: Químicamente puro.  
Distribuidor: Merck
- Dietilditiocarbamato de plata [ $(\text{C}_2\text{H}_5)_2\text{NCS}_2\text{Ag}$ ]  
Concentración: Químicamente puro.  
Distribuidor: Mallinckrodt
- Yoduro de potasio (KI)  
Concentración: Químicamente puro.  
Distribuidor: Merck
- Cloruro de estaño ( $\text{SnCl}_2$ )  
Concentración: Químicamente puro.  
Distribuidor: Quimiclub
- Granallas de Zinc (Zn)  
Concentración: Químicamente puro.  
Distribuidor: Quimiclub
- Ácido sulfúrico ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ )  
Concentración: Químicamente puro.

Distribuidor: Merck

- Ácido clorhídrico q.p (HCl)

Concentración: Químicamente puro.

Distribuidor: Merck

- Ácido bórico ( $H_3BO_3$ )

Concentración: Químicamente puro.

Distribuidor: Merck

- Acetato de plomo ( $(CH_3COOH)_2Pb$ )

Concentración: Químicamente puro.

Distribuidor: Gew USA

- Dietanolamina

Concentración: 105. 14 Mol

Distribuidor: Gew USA.

- Estándar de As

Concentración: 1000 ppb

Distribuidor: Merck. USA

- Cloroformo

Concentración: Químicamente puro.

Distribuidor: Quimiclub

### **3.5. Análisis estadístico**

Los datos fueron analizados utilizando el Software estadístico Excel. Se utilizó el T de Student de dos colas, para estudiar los datos y establecer la comparación de concentración de arsénico encontrados en las muestras con los datos de la OMS. Un valor de  $P < 0,05$ , fue considerado como una diferencia estadística significativa a un intervalo de confianza de 95%.

### **3.6. Aspectos éticos de la investigación**

El presente trabajo de investigación está sujeto a las normas, códigos éticos y morales de los seres humanos y de la naturaleza. En esta investigación declaramos bajo palabra de honor que no se ha causado daño a seres humanos, animales ni a la naturaleza, por el contrario, se trata de contribuir en el desarrollo del pueblo de la Encañada.

## IV. RESULTADOS

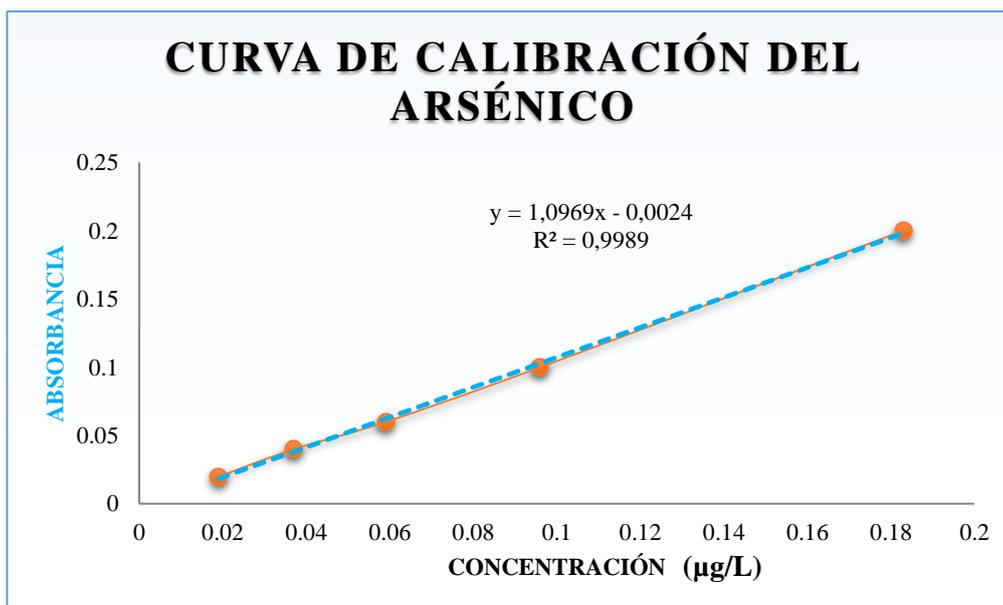
**Tabla N° 2.** Concentración versus absorbancia para la curva de calibración.

CONCENTRACIÓN ( $\mu\text{g/L}$ )	ABSORBANCIA
0,020	0,019
0,040	0,037
0,060	0,059
0,100	0,096
0,200	0,188

**Ecuación:  $y = mx + b$**

Coefficiente de correlación: 0,999451383

El coeficiente de correlación permite medir el grado de asociación de las 2 variables cuantitativas; mientras más se aproxime a 1, es más perfecta la correlación entre las variables<sup>14</sup>.



**Gráfico N° 1 .** Curva de calibración para arsénico

**Tabla N° 3.** Comparación de las concentraciones de arsénico determinados en muestras de agua entubada de consumo humano y suelo según su procedencia.

N° de muestra	Tipo de muestra		Origen de la muestra	Concentración de arsénico	
	Agua	Suelo		Agua (µg/L)	Suelo (mg/Kg)
1	Agua	Suelo	Laguna	0,516	12,041
2	Agua	Suelo	Michiquillay Bajo	6,400	47,757
3	Agua	Suelo	San Francisco	0,182	30,843
4	Agua	Suelo	Quinuamayo Bajo	0,727	49,566
5	Agua	Suelo	Progreso la Toma	0,293	34,312
6	Agua	Suelo	Pampa Grande Cap Totorá	2,608	31,280
7	Agua	Suelo	Pampa Grande Cap Sec Sec	1,076	43,304
8	Agua	Suelo	Chim Chim	0,511	6,410
9	Agua	Suelo	Quinuamayo Alto Cap Lumina Cooper	14,519	32,477
10	Agua	Suelo	Michiquillay Alto	15,706	37,028
11	Agua	Suelo	Juanchopuquio	0,185	46,201
12	Agua	Suelo	Chaquil Alto	0,113	3,165
13	Agua	Suelo	Encañada Centro	1,545	12,880
14	Agua	Suelo	Hualtipata	0,090	35,957
15	Agua	Suelo	Gallorco	0,069	15,671
16	Agua	Suelo	Quinuayoc	8,008	8,278
17	Agua	Suelo	Sogoron Alto	6,008	36,017
18	Agua	Suelo	Sogoron Bajo	1,570	14,554
19	Agua	Suelo	Tuyupampa	1,779	5,030
20	Agua	Suelo	Rodacocha	4,098	14,478

**Interpretación:** En la tabla N° 3 se muestran las comparaciones entre las 20 muestras de agua entubada de consumo humano con las 20 muestras de suelo, de distintos caseríos de la Encañada y sus respectivas concentraciones. La concentración máxima de arsénico en agua se determinó en Michiquillay Alto con un valor de 15,706  $\mu\text{g/L}$ , seguido por Quinuamayo Alto con valor de 14,519  $\mu\text{g/L}$ , así como también se encontró concentraciones mínimas en Gallorco de 0,069  $\mu\text{g/L}$  y en Hualtipata de 0,090  $\mu\text{g/L}$ . Asimismo, se determinó las concentraciones de arsénico en suelo encontrándose valores máximos en Quinuamayo Bajo con una concentración de 49,566  $\text{mg/Kg}$  y en Michiquillay Bajo de 47,757  $\text{mg/Kg}$ , del mismo modo, se observa los valores mínimos de arsénico en Chaquil Alto de 3,165  $\text{mg/Kg}$  y en Tuyupampa de 5,030  $\text{mg/Kg}$ .

**Tabla N° 4.** Media, Desviación estándar, mínimo y máximo de concentración de arsénico en muestras de agua entubada de consumo humano y muestras de suelo provenientes del distrito de la Encañada.

Tipo de Muestra	Media	Desviación Estándar	Mínimo	Máximo
Agua	2,2 $\mu\text{g/L}$	3,554 $\mu\text{g/L}$	0,069 $\mu\text{g/L}$	15,706 $\mu\text{g/L}$
Suelo	25,9 $\text{mg/Kg}$	15,192 $\text{mg/Kg}$	3,165 $\text{mg/Kg}$	49,566 $\text{mg/Kg}$

**Interpretación:** En la tabla N° 4, se puede apreciar que la concentración media de Arsénico ( $\mu\text{g/L}$ ) en agua entubada consumida por la población del distrito de Encañada es de 2,2  $\mu\text{g/L}$ , con una desviación estándar de 3,554  $\mu\text{g/L}$ ; encontrándose

un rango entre 0,069 y 15,706  $\mu\text{g/L}$ . Además, se observa, que la concentración media de Arsénico en suelo de distintos lugares del distrito de Encañada es de 25,9 mg/Kg, con una desviación estándar de 15,192 mg/Kg; encontrándose los valores mínimos y máximos observados en la muestra entre 3,165 y 49,566 mg/Kg.

**Tabla N° 5.** T de Student de los valores de arsénico según procedencia comparado con la OMS.

		Desv.			
Arsénico ( $\mu\text{g/L}$ )	N°	Media	Típica	T de Student	
<b>Arsénico</b>	20	2,2	3,6		
<b>Agua</b>	<b>(<math>\mu\text{g/L}</math>)</b>				P = 0,000000009*
<b>OMS</b>	20	10	0,0		
<b>Arsénico</b>	20	25,9	15,6		
<b>Suelo</b>	<b>(mg/Kg)</b>				P = 0,0000093*
<b>OMS</b>	20	5	0,00		

**Interpretación:** En la tabla N° 5, se observa la significancia de la prueba T de Student de dos colas, donde se aprecia que el valor de P es menor a 0,05, por lo tanto, rechazamos la hipótesis nula, afirmando que si existe evidencia estadística significativa.

**Tabla N° 6.** Comparación de concentraciones de arsénico en agua entubada de consumo humano y suelo del distrito de la Encañada – Cajamarca, con los límites establecidos por la Organización Mundial de la salud.

<b>Tipo de Muestra</b>	<b>Análisis</b>	<b>Límite máximo permisible según la OMS</b>	<b>N° de muestras de agua y suelo que superan el límite</b>
<b>Agua</b>	Concentración		
	de arsénico ( $\mu\text{g/L}$ )	10 $\mu\text{g/L}$	02/20 = 10 %
<b>Suelo</b>	Concentración		
	de arsénico ( $\text{mg/Kg}$ )	25 $\text{mg/Kg}$	11/20 = 55 %

**Interpretación:** En la tabla N° 6, se observa que del 100% de muestras de agua entubada de consumo humano, el 10% supera los 10  $\mu\text{g/L}$  fijados por la OMS. También, se observa que del 100 % de muestras de suelo obtenidas del distrito de la encañada, el 55 % supera los 25  $\text{mg/Kg}$ , establecido por la OMS.

**Tabla N° 7.** Distribución de frecuencias de la concentración de arsénico en muestras de agua entubada de consumo humano, del distrito de la Encañada – Cajamarca.

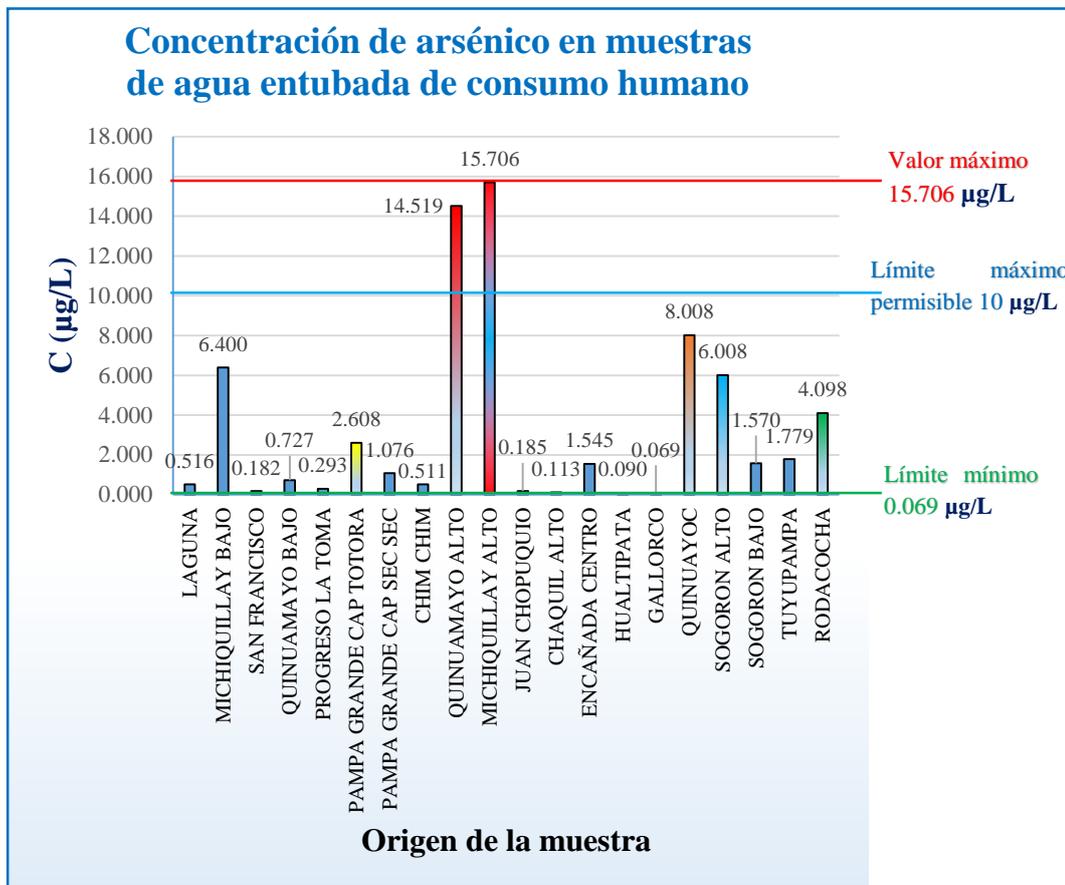
Concentración de arsénico ( $\mu\text{g/L}$ )	Frecuencia	Porcentaje
0,069 – 2,675 $\mu\text{g/L}$	13	65%
2,675 – 5,281 $\mu\text{g/L}$	1	5%
5,281 – 7,888 $\mu\text{g/L}$	2	10%
7,888 – 10,494 $\mu\text{g/L}$	1	5%
10,494 – 13,100 $\mu\text{g/L}$	1	5%
13,100 – 15,706 $\mu\text{g/L}$	2	10%
<b>TOTAL</b>		100%

**Interpretación:** En la tabla N° 8, se observa las concentraciones de arsénico en agua entubada de consumo humano, determinados en 6 grupos, los cinco primeros equivale al 90% con valores permisibles y el último que equivale al 10 % con valores superiores a la concentración máxima, permitido por la Organización Mundial de la Salud.

**Tabla N° 8.** Distribución de frecuencias de la concentración de arsénico en muestras de suelo que rodean las captaciones de agua, del distrito de la Encañada – Cajamarca.

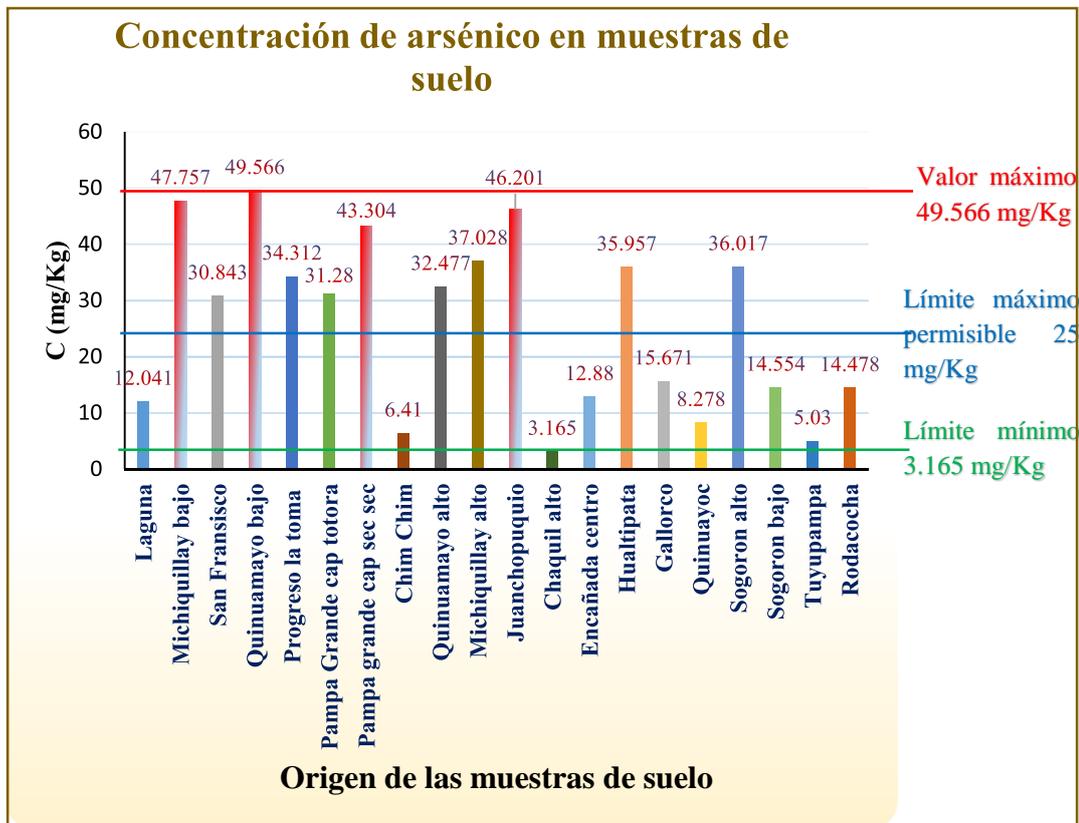
Concentración de arsénico (mg/Kg)	Frecuencia	Porcentaje
3,165 – 10,8985 mg/Kg	4	20%
10,8985 – 18,632 mg/Kg	4	20%
18,632 – 26,3655 mg/Kg	1	5%
26,3655 – 34,099 mg/Kg	3	15%
34,099 – 41,8325 mg/Kg	4	20%
41,8325 – 49,566 mg/Kg	4	20%
<b>TOTAL</b>		100%

**Interpretación:** En la tabla N° 7, se observan las concentraciones de arsénico en suelo, determinados en 6 grupos, los tres primeros corresponden al 45 % con valores permisibles y los tres últimos equivalen al 55 % con valores superiores a la concentración máxima, permitido por la Organización Mundial de la Salud.



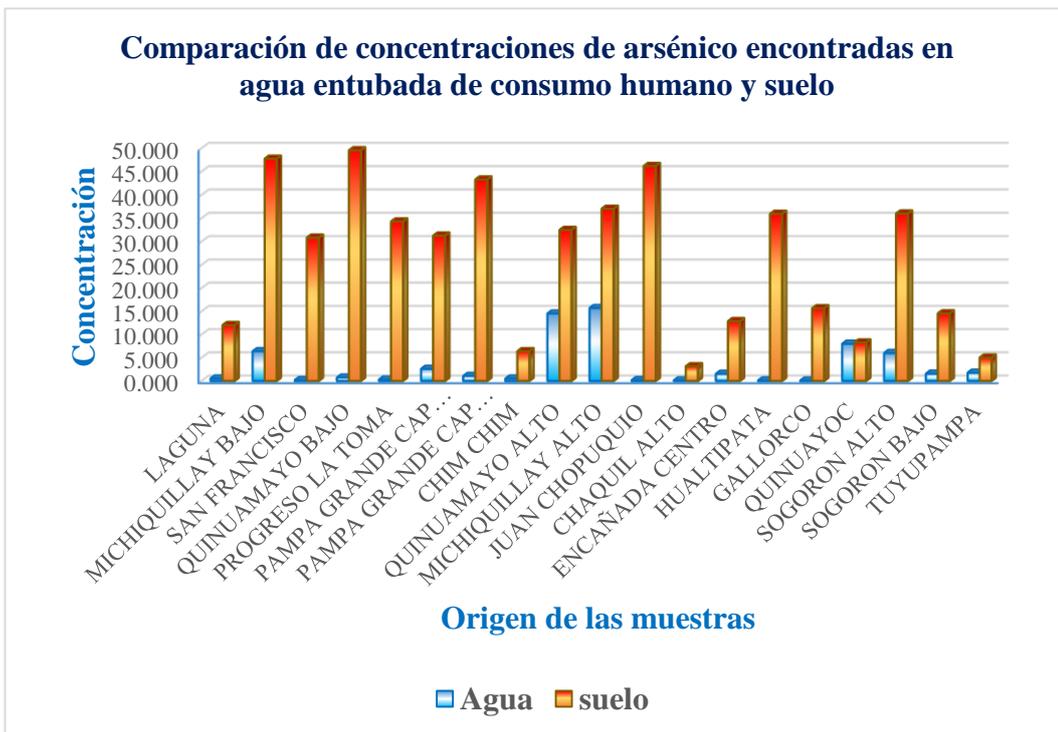
**Gráfico N° 2.** Concentraciones de arsénico ( $\mu\text{g/L}$ ) encontrados en muestras de agua entubada de consumo humano del distrito de la Encañada – Cajamarca y los límites permisibles por la OMS.

**Interpretación:** En el gráfico N° 2, se observa las 20 muestras de agua de los diferentes lugares y sus concentraciones donde Michiquillay Alto tiene una concentración máxima de  $15,706 \mu\text{g/L}$  y en Gallorco se encontró la menor concentración que fue de  $0,069 \mu\text{g/L}$ . Además, se observa muestras de agua con concentraciones superiores a los límites establecidos por la Organización Mundial de la Salud ( $10 \mu\text{g/L}$ ).

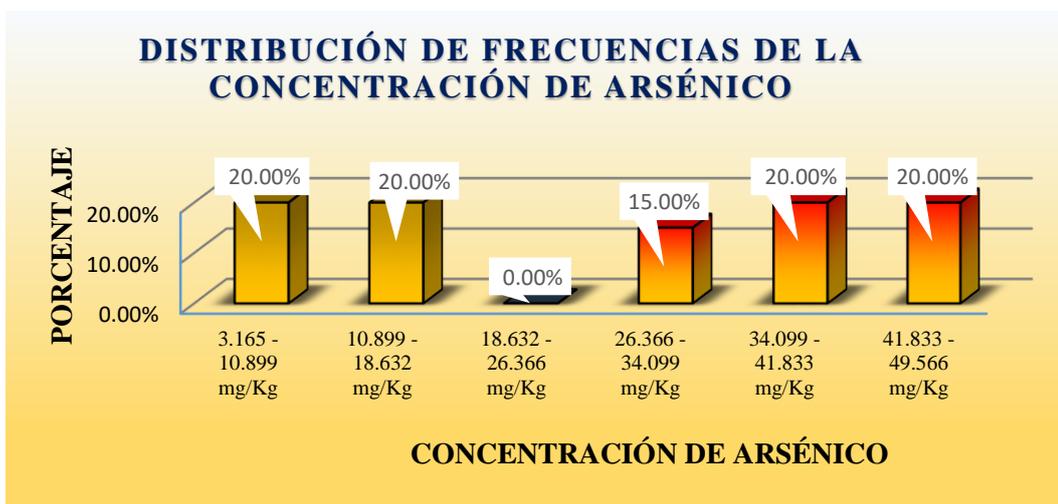


**Gráfico N° 3.** Concentración de arsénico (mg/Kg) encontrados en muestras de suelo que rodean las captaciones de agua de consumo humano del distrito de la Encañada – Cajamarca.

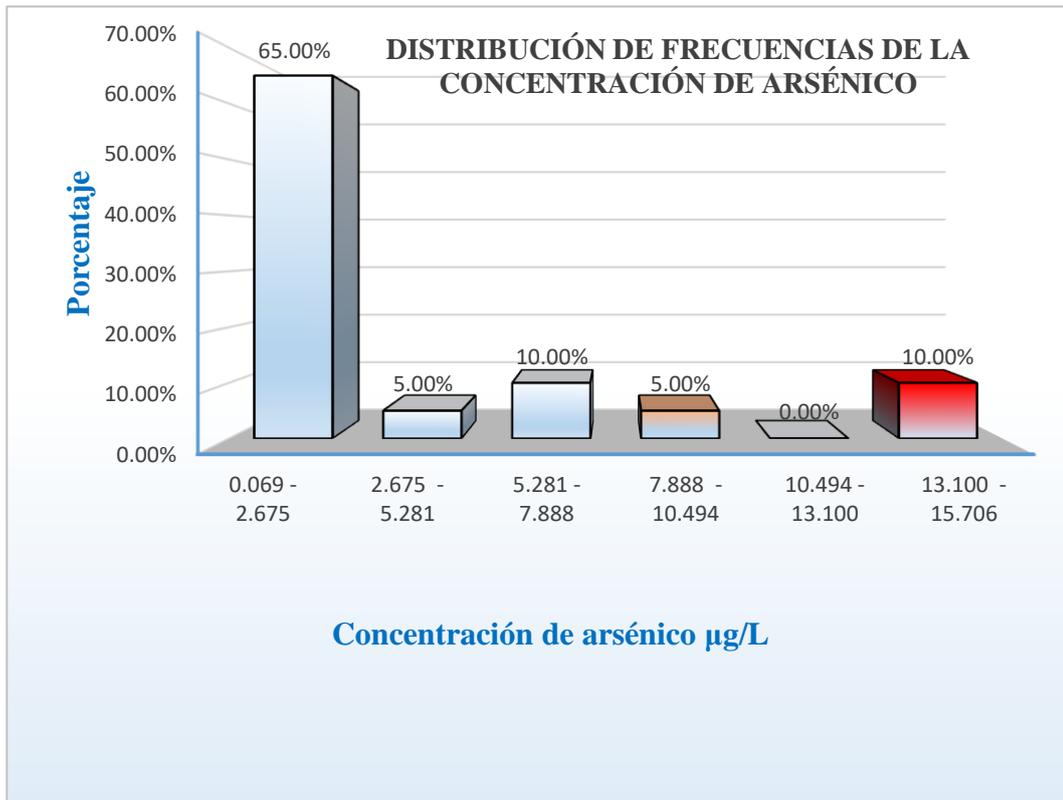
**Interpretación:** En el gráfico N° 3, se observa las 20 muestras de suelo y sus concentraciones donde Quinuamayo Bajo tiene una concentración máxima de 49,566 mg/Kg y Chaquil Alto presenta la concentración menor de 3,165 mg/Kg. Además, se observa muestras de suelo con concentraciones superiores a los límites establecidos por la Organización Mundial de la Salud (25 mg/Kg)..



**Gráfico N° 4.** Comparación de concentración de arsénico observadas en muestras agua entubada de consumo humano y suelo, del distrito de la Encañada – Cajamarca.



**Gráfico N° 5.** Distribución de frecuencias de concentraciones de arsénico en muestras de suelo, del distrito de la Encañada – Cajamarca.



**Gráfico N° 6.** Distribución de frecuencias de la concentración de arsénico en muestras de agua de consumo humano, del distrito de la Encañada – Cajamarca.

## V. DISCUSIÓN

El agua es elemental para la vida humana, de tal manera que, el uso inadecuado del agua plantean una creciente y seria amenaza para para la protección del medio ambiente. La salud humana, la seguridad alimenticia y el medio ambiente del que dependen se hallan en peligro, a no ser que la gestión del caudal hídricos y del suelo se efectuó en la actualidad de forma más eficaz que en el pasado<sup>29,49</sup>.

La presencia de agua contaminada por arsénico adquirió mayor importancia tras lo sucedido en Bangladesh (1993) donde hubo intoxicaciones por arsénico. El agua potable de Bangladesh llegó a tener 200 veces más de lo que admite la OMS. En 1998, el Banco Mundial calificó la situación como “el mayor envenenamiento de población en la historia”<sup>29,49</sup>.

En la tabla N° 3, gráficos N° 2 y 4, con respecto a la concentración de arsénico en muestras de agua entubada de consumo humano, se observa que en tanto Michiquillay Alto como en Quinuamayo Alto los valores encontrados fueron de 15,706 µg/L y 14,519 µg/L, estos valores superan el límite establecido por la OMS (10 µg/L). Estos valores coinciden con la investigación realizada por Afan K y Flores V (2018)<sup>1</sup>, quienes realizaron la cuantificación de arsénico en agua potable de viviendas del distrito Hualgayoc, donde encontraron una concentración de 18,127 µg/L. Probablemente estos resultados se deben a la erosión de carreteras, minas activas en la región Cajamarca, relaves en la minera a cielo abierto. Los

resultados encontrados en estos dos lugares podrían representar un riesgo potencial en la proliferación de enfermedades, ya que la ingesta de pequeñas cantidades de arsénico puede causar efectos crónicos por su acumulación en el organismo como irritación de estómago, intestino y pulmones, disminución de la producción de glóbulos rojos y blancos, lesiones en la piel, diabetes, posibilidades de cáncer (piel, pulmón, riñones e hígado); mientras que en exposiciones muy altas causa infertilidad y aborto en mujeres, daño del cerebro y problemas cardiacos, estos valores elevados también impactan negativamente sobre la vida acuática, la biodiversidad de las especies terrestres, aumento de la mortalidad o problemas reproductivos y una reducción en el número de especies presentes.

En la tabla N° 4, se encontró que la concentración media fue 2,2 µg/L de arsénico, cantidad que no superó el límite máximo permitido, sin embargo 2 de las 20 muestras si superaron el límite máximo establecido por la OMS, como se puede apreciar en la tabla N° 6, con un valor máximo observado de 15,706 µg/L. Además, se encontró en nuestra investigación que 18 muestras están por debajo del límite establecido por la OMS, lo cual coincide con el estudio de Meza M (2018)<sup>39</sup>, que realizó la cuantificación de arsénico en agua de caño de consumo humano, donde encontró un valor promedio de 3,39 µg/L. Los resultados en ambas investigaciones, es debido a que los lugares de donde se tomaron las muestras están lejanos a yacimientos mineros. Sin embargo, La OMS advirtió que por más mínima que sea la concentración de arsénico es perjudicial para la salud de las personas, animales y plantas.

En la tabla N° 5, se realizó el análisis de la significancia de la prueba T de Student, donde se encontró que  $P < 0,05$  (0,000000009), por lo tanto, rechazamos la hipótesis nula y deducimos que si existe evidencia estadística significativa para afirmar que la concentración de arsénico en agua entubada de consumo humano y suelo del distrito de Encañada supera el límite máximo permisible según la Organización Mundial de la Salud.

En la tabla N° 6, tabla N° 7 y gráfico N° 6, se observó, que del 100% de las muestras, el 10 % superaron el límite máximo establecido por la OMS. Estos resultados concuerdan con la investigación de Meza M (2018)<sup>39</sup>, que realizó la cuantificación de arsénico en agua de caño de consumo humano en el distrito de Chocos – Yauyos, donde encontró que solo el 5% de las muestras superaron los límites máximos permisibles dados por la OMS. Mientras que un estudio realizado Navoni (2012)<sup>42</sup> en Buenos Aires - Argentina en un periodo de 5 años, 82% de las muestras superaron los valores de 10 µg/L, estos resultados encontrados se deben a las particularidades de cada zona de estudio como las fuentes de contaminación y la composición química del suelo. Es de conocimiento que la contaminación de agua por la minería representa un grave problema, debido a la eliminación de los efluentes provenientes de los procesos químicos para la obtención de minerales, estos efluentes contienen arsénico, que es un enemigo silencioso que causa cáncer. Con respecto al arsénico en muestras de suelo provenientes del distrito de la Encañada se observó lo siguiente: En la tabla N° 3, gráfico N° 3 y gráfico N° 4, se encontró que las concentraciones máximas que superaron los 25 mg/kg establecido por la OMS, se encontraron en Quinumayo Bajo, Michiquillay bajo, Juanchopuquio

y Pampa Grande con valores de 49,566 mg/Kg; 47.757 mg/kg; 46,201 mg/K y 43,304 mg/kg respectivamente. Dichos valores encontrados en las muestras de suelo, según Mas A y Azcue J (1993)<sup>34</sup>, pueden contaminar el medio ambiente, ya que altas concentraciones de arsénico intervienen en los procesos metabólicos de las plantas, las cuales son acumuladas principalmente en raíz, tallo y hojas, lo cual conlleva a una contaminación de la agricultura, siendo esta una fuente de alimentación para todo la región de Cajamarca y por ende puede afectar la salud de las personas.

Asimismo, en la tabla N° 4, se aprecia que la media de arsénico en muestras de suelo provenientes del distrito de la Encañada es de 25,9 mg/Kg, lo cual está por encima del límite máximo permisible (25 mg/Kg) propuesto por la OMS y la Agencia Ambiental Holandesa<sup>34</sup>. Además, Chung B (2008)<sup>17</sup> describió que, la minería es responsable de generar contaminación permanente del ambiente, con productos químicos, que producen contaminación de los suelos afectando principalmente a las zonas rurales agrícolas como es el caso del distrito de la Encañada, en consecuencia de la expansión de ciertas técnicas agrícolas y yacimientos mineros. Adicionalmente a esto los fertilizantes químicos, plaguicidas y herbicidas contienen arsénico, su uso repetido conduce a la contaminación de los suelos. Estos resultados coinciden con la investigación de Mercado et al<sup>38</sup>, realizada en suelos y productos agrícolas procedentes de la región cercana al complejo metalúrgico Vinto, quien encontró valores entre 1675 mg/kg – 1900 mg/kg, corroborando el problema de suelos cercanos a centros mineros.

En la tabla N° 6, tabla N° 7 y gráfico N° 5, se encontró que el 55% de las muestras superaron el límite máximo permisible establecido por Organización Mundial de la Salud (25 mg/Kg), como es el caso de Quinumayo Bajo (49,566 mg/Kg), Michiquillay Bajo (47,757 mg/Kg) y Juanchopunquio (46,201 mg/Kg) que superan el límite de As establecido por la OMS (25 mg/Kg), lo cual implica un alto riesgo biológico debido al incremento en la probabilidad de mortalidad y posible bioacumulación de As en los diferentes niveles tróficos; presentando una elevada contaminación que supera el nivel de alerta establecido, por lo cual los puntos donde se tomaron estas muestras de suelos, se consideran zonas contaminadas que requieren una intervención inmediata, ya que podrían afectar negativamente a los organismos acuáticos que habitan este ecosistema. Lo cual coincide con los estudios realizados por Garau *et al* (2011)<sup>25</sup> en suelos contaminados por actividades mineras.

El grave riesgo ambiental estimado, permite predecir que de presentarse cambios extremos de pH y/o potencial redox en la zona estudiada, porcentajes elevados de As pueden liberarse al medio y movilizarse a través de las captaciones de agua (parte alta), aumentándose la probabilidad de afectar negativamente los reservorios de agua y por ende, el riesgo de ingresar a la cadena trófica humana. Ante este riesgo potencial, es necesario tomar medidas urgentes de prevención para evitar la ocurrencia de posibles desastres ecológicos, como los ya ocurridos a nivel mundial por la liberación de residuos mineros al ambiente con altos contenidos de metales pesados. Vidal *et al* 1999<sup>53</sup>; y Rodríguez *et al* 2009<sup>51</sup> describen que entre las características químicas el nivel mayor de pH, aumenta la disponibilidad del arsénico (III) que es el más tóxico para la salud humana<sup>48</sup>.

El alto contenido de arsénico en agua y suelo del distrito de la Encañada en lugares de Michiquillay alto, Michiquillay Bajo, Quinuamayo alto y Quinuamayo Bajo, que superan el límite establecido por la OMS, probablemente se deba a la relación directa con la minería Anglo American y Lumina Cooper que se encuentran en la zona alta de la población. Las compañías de exploración minera buscan agua y suelo con alto contenido de arsénico, para localizar yacimientos de oro. El impacto causado por los residuos y explotación minera (Michiquillay y Lumina Cooper), representa un potencial problema ambiental y una motivación para el desarrollo de investigaciones posteriores, por lo cual este trabajo abre un nuevo panorama de investigación multidisciplinario para el desarrollo de una evaluación de la ecotoxicidad del arsénico en esta importante zona minera del país.

## VI. CONCLUSIONES

Se logró cuantificar la concentración de arsénico en agua entubada de consumo humano y suelo en el distrito de la Encañada, mediante el método espectrofotométrico Uv – visible del dietilditiocarbamato de plata.

Se logró cuantificar la concentración de arsénico en el agua entubada de consumo humano del distrito de Encañada, en la región de Cajamarca, obteniendo como resultado para la media de 2,2  $\mu\text{g/L}$ , un valor mínimo de 0,069  $\mu\text{g/L}$  y un valor máximo de 15,706  $\mu\text{g/L}$ .

Se logró cuantificar las concentraciones de arsénico en muestras de suelo del distrito de Encañada, en la región de Cajamarca, obteniendo como resultado para la media de 25,9  $\text{mg/L}$ , un valor mínimo de 3,165  $\text{mg/Kg}$  y el máximo de 49,566  $\text{mg/Kg L}$ .

El 10 % de las muestras analizadas de agua entubada de consumo humano, el 55% de las muestras de suelo del distrito de Encañada, departamento de Cajamarca, superan el límite permisible de la concentración de arsénico, dado por la Organización Mundial de la Salud.

## VII. RECOMENDACIONES

- ✘ Realizar dosaje de arsénico en sangre a toda la población de la encañada, sobre todo en Michiquillay Alto, Michiquillay Bajo, Quinuamayo Alto y Quinuamayo Bajo donde se encontró concentraciones elevadas de arsénico y tomar medidas preventivas para evitar la intoxicación a largo plazo con este metal en la población.
- ✘ Alertar al Ministerio de Salud y Gobiernos Regionales del impacto negativo sobre la salud de la población y la naturaleza que está generando la minería en el distrito de la Encañada para que tome las medidas correctivas necesarias.
- ✘ Realizar un estudio similar en los centros poblados adyacentes (Combayo, Polloc, San Juan de Yerbabuena, Chanta y Yanacancha), posiblemente presenten el mismo problema por pertenecer a una zona minera.
- ✘ Realizar estudios epidemiológicos en los lugares donde se consume agua con valores de concentración de arsénico que sobrepasan el límite recomendado por la Organización Mundial de la Salud (10  $\mu\text{g/L}$ ), para establecer posibles riesgos de morbi-mortalidad por los diferentes tipos de cáncer asociados al arsénico, ello permitirá adoptar criterios normativos ajustados a la realidad local.
- ✘ Exigir a las empresas mineras que eviten la contaminación masiva mediante técnicas modernas, y promover el desarrollo sostenible en la región de Cajamarca.

## VIII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Afan K. Determinación por absorción atómica de plomo y arsénico en agua potable de viviendas del distrito Hualgayoc, Cajamarca – octubre 2017. [Tesis para optar el Título Profesional de Químico Farmacéutico]. Lima, Perú. Universidad Norbert Wiener, Facultad de Farmacia y Bioquímica.[Tesis en internet]. 2018. [Acceso el 15 de noviembre del 2018]. Disponible en: <http://repositorio.uwiener.edu.pe/handle/123456789/1854>.
2. Alarcón M, Domínguez I, Miranda S, Benavides A. Arsénico en agua. 1a ed. Mexico: Centro de Investigaciones en Materiales Avanzados; 2013.
3. Albores A, Quintanilla B, Del Razo L, Cebrián M. Introducción a la toxicología Ambiental-Arsénico. México: Metepec. [Acceso el 16 de noviembre del 2018]: Disponible en: <http://bvs.per.paho.org/bvstox/fulltext/toxico/toxico03a15.pdf>.
4. American Public Health Association: Standard methods for the examination of water and wastewater. 2002 (Acceso el 25 de julio de 2018). 20. Disponible en. [https://www.mwa.co.th/download/file\\_upload/SMWW\\_1000-3000.pdf](https://www.mwa.co.th/download/file_upload/SMWW_1000-3000.pdf).
5. Anh J, Kim K. Environmental assessment of contamination soil around abandoned mines using the current soil quality standards. Japon: Journal environment policy; 2004.
6. Apaza R, Calcina M. Contaminación natural de aguas subterráneas por arsénico en la zona de Carancas y Huata, Puno. Rev. Investig. Altoandin.[Revista en internet]. 2014; 16 (1): 51-58. [Acceso el 15 de

- noviembre del 2018]. Disponible en:  
<http://huajsapata.unap.edu.pe/ria/index.php/ria/article/view/35/30>.
7. Basualdo G, Yacila J. Determinación de arsénico y cadmio en aguas del río Rímac y habas cultivadas en el distrito de San Mateo de Huánchor de la región de Lima. [Tesis para optar el Título profesional de Químico Farmacéutico]. Lima, Perú. Universidad Nacional Mayor De San Marcos, Facultad de Farmacia y Bioquímica. [Tesis en internet]. 2015. [Acceso el 15 de noviembre del 2018]. Disponible en:  
[http://cybertesis.unmsm.edu.pe/bitstream/handle/cybertesis/4155/Basualdo\\_lg.pdf?sequence=1](http://cybertesis.unmsm.edu.pe/bitstream/handle/cybertesis/4155/Basualdo_lg.pdf?sequence=1).
  8. Baur W, Onishi B. Arsenic. En: K.H. Wedepohl (ed): Handbook of geochemistry. Springer- verlag, berlín, Alemania, 1969: 33-60.
  9. Bookins D. Eh-pH diagrams for geochemistry. En: C.R. 1a ed: Arsenic exposure and health. Science and Technology Letters. Springer-Verlag, Berlín, Alemania, 1988: 91–100.
  10. Bowell J, Alpers N, Jamieson E, Kirk D, Majzlan J. The Environmental Geochemistry of Arsenic. Mineralogy & Geochemistry. 2014; 79(1): 1-16. doi: 10.2138/rmg.2014.79.1.
  11. Canadian Council of Ministers of the Environment. Canadian sediment quality guidelines for the protection of aquatic life - Arsenic. Environment Canada Guidelines and Standards Division, Winnipeg, 1999.
  12. Carbonell A, Burló F, Mataix J. Arsénico en el Sistema Suelo Planta. España: Espagrafic; 1995.

13. Castillero D. “Actualización en las técnicas de muestreo de aguas y sedimentos”. [internet]. AquatecLaboratories. 2012. [Acceso 30 de noviembre del 2018]. Disponible en: <http://www.itsconsultores.com/site/files/4congreso2012/1.pdf>.
14. Castro L, Litter M, Gong M, Mori V. Métodos espectrofotométricos UV-Vis. En: IBEROARSEN. Metodologías analíticas para la determinación y especiación de arsénico en aguas y suelos. 1a ed. Argentina. CYTEC; 2009. pp. 43-63.
15. Catacora R, Marin C. Modelamiento y evaluación del proceso de remoción de arsénico en aguas superficiales de la zona Leticia - distrito de Uchumayo utilizando el metodo de adsorcion con zeolitas. [Tesis de Grado]. Arequipa, Perú. Universidad Nacional De San Agustín, Facultad de Ingeniería de Procesos Escuela Profesional De Ingeniería Química. [Tesis en internet]. 2015. [Acceso el 16 de noviembre del 2018]. Disponible en: <http://repositorio.unsa.edu.pe/handle/unsa/65>.
16. Central Intelligence Agency. The world factbook. [en línea] CIA Washington, D.C.(USA). 2008. (Acceso el 15 de noviembre del 2018). Disponible en: <https://www.cia.gov/library/publications/resources/the-world-factbook/>.
17. Chung B. Control de los contaminantes químicos en Perú. Rev Perú Med Exp Salud Publica. 2008; 25 (4): 413-18.
18. Cohn D, Cox M. Beger P. Aspectos de la Calidad del Agua, Salud y Estética, Mc Graw- Hill. Madrid 2002.

19. Colunga E. Empleo de estándar interno en la determinación de arsénico a nivel de trazas por espectrofotometría uv/vis. [Tesis de Grado]. Chile. Universidad Autónoma de Nuevo León, facultad de Ciencias Químicas. [Tesis en internet]. 1999. [Acceso el 15 de noviembre del 2018]. Disponible en; <http://eprints.uanl.mx/6185/1/1080092526.pdf>.
20. Cullen W, Reimer K. Arsenic speciation in the environment. Chem. Rev. 1989; 89: 713–764.
21. Equipo Técnico de Agua y Saneamiento. Calidad del Agua para consumo humano en Lima Metropolitana. Metales Pesados. DIGESA. Lima. 2006.
22. Estructplan. Toxicological profile for arsenic for arsenic. Arsénico. [En línea]. Atlanta; 2000 [Acceso el 16 de noviembre del 2018]; Disponible en: <http://www.estrucplan.com.ar/Producciones/entrega.asp?IdEntrega=37>.
23. Flanagan S, Johnston R, Zheng Y. Arsenic in tube well water in Bangladesh: health and economic impacts and implications for arsenic mitigation. Bull World Health Organ [Internet]. 2012 (Acceso el 08 de junio de 2018); 10-5. Disponible en: [http://www.who.int/bulletin/online\\_first/11-101253.pdf](http://www.who.int/bulletin/online_first/11-101253.pdf).
24. Flores E, Pérez J. Determinación de arsénico, por absorción atómica, en agua de consumo humano proveniente de SEDAPAL, de cisterna y de pozo del distrito de Puente Piedra [Tesis para obtener el título profesional de Farmacia y Bioquímica]. Lima, Perú: Universidad Nacional de San Marcos, facultad de Farmacia y Bioquímica. [Tesis en internet]. 2009. [Acceso el 8 de junio de 2018). Disponible en:

[http://cybertesis.unmsm.edu.pe/bitstream/handle/cybertesis/1638/Flores\\_ee.pdf?sequence=1](http://cybertesis.unmsm.edu.pe/bitstream/handle/cybertesis/1638/Flores_ee.pdf?sequence=1).

25. Garau G, Silvetti M, Deiana S, Deiana P, Castaldi P. Long-term influence of red mud on As mobility and soil physicochemical and microbial parameters in a polluted sub-acidic soil. *J Hazard Mater*. 2011; 185: 1241-1248.
26. Garba Z, Hamza S, Galadima A. Arsenic level speciation in fresh water from karaye, local government area, kano state, Nigeria. *Rev International jour. Chem*. [Revista en internet]. 2010; 20 (02): 113-117. [Acceso 20 de Julio de 2018]; Disponible en: [https://www.researchgate.net/publication/267824789\\_arsenic\\_level\\_speciation\\_in\\_fresh\\_water\\_from\\_karaye\\_local\\_government\\_area\\_kano\\_state\\_nigeria](https://www.researchgate.net/publication/267824789_arsenic_level_speciation_in_fresh_water_from_karaye_local_government_area_kano_state_nigeria).
27. Gaspe L. Arsénico, el elemento inclasificable. *Rev. Educ. quim*. [Internet]. 2013; 24 (2): 495-500. (Acceso el 06 de julio de 2018). Disponible en: [https://doi.org/10.1016/S0187-893X\(13\)72519-9](https://doi.org/10.1016/S0187-893X(13)72519-9).
28. Gonzales G, Zevallos A, Gonzales-Castaneda C, Nunez D, Gastanaga C, Cabezas C, et al. Environmental pollution, climate variability and climate change: a review of health impacts on the Peruvian population. *Rev Peru Med Exp Salud Publica*. 2014; 31 (3): 547–56.
29. Gonzales L, Osorio J. Determinación espectrofotométrica por absorción atómica de la concentración de cadmio y arsénico en aguas de consumo humano de la comunidad urbana de Chuquitanta-distrito de San Martín de Porres [tesis para optar el título profesional de Farmacia y Bioquímica]. Lima, Perú, Universidad Nacional de San Marcos, facultad de Farmacia y

- Bioquímica. [Tesis en internet]. 2013. [Acceso el 20 de junio de 2018].  
Disponibile en: <http://cybertesis.unmsm.edu.pe/handle/cybertesis/3844>.
30. Goodman and Gilman's, The Pharmacological Basis of Therapeutics, 9<sup>a</sup>, 1996: 1659.
31. Gutzeit H. The Quantitative Determination of Arsenic by the Gutzeit Method. Rev Pharm. 1907; 43 (8): 748–756.
32. Hernandez R, Fernandez C, Baptista M. Metodología de la investigación. 5<sup>a</sup>. ed. México: McGrawHill; 2010.
33. Litter M, Morgada M. Formas arsenicales en agua y suelos. En: IBEROARSEN. Metodologías analíticas para la determinación y especiación de arsénico en aguas y suelos. 1a ed. Argentina. CYTEC; 2009: 19-28.
34. Lourdes J, Vladimir O, Amalia N. Evaluación de la presencia de metales pesados y arsénico en suelos agrícolas y cultivos en tres micro-cuencas del municipio de poopó. [tesis en internet]. La paz. Bolivia: 2012. [Acceso el 06 de diciembre del 2018]. Disponible en: [http://www.scielo.org.bo/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0250-54602012000100012](http://www.scielo.org.bo/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0250-54602012000100012).
35. Mas A, Azcue J. Metales en Sistemas Biológicos. 1993: Ed. PPU. 324 p. [en internet]. [Acceso el 06 de diciembre del 2018]. Disponible en: [https://www.todostuslibros.com/libros/metales-en-sistemas-biologicos\\_978-84-477-0175-9](https://www.todostuslibros.com/libros/metales-en-sistemas-biologicos_978-84-477-0175-9).

36. McClintock T, Chen Y, Bundschuh J, Oliver J, Navoni J, Olmos V, et al. Arsenic exposure in Latin America: biomarkers, risk assessments and related health effects. *Sci Total Environ.* 2012; 429: 76–91.
37. Medina M, Robles P, Mendoza M, Torres C. Ingesta de arsénico: El impacto en la alimentación y salud Humana. *Rev Peru Med Exp Salud Publica.* 2018; 35 (1): 93-102.
38. Mercado M, García M, Quintanilla J. Evaluación de los Niveles de Contaminación por Plomo y Arsénico en muestras de Suelos y productos Agrícolas Procedentes de la región cercana al Complejo metalúrgico Vinto. *Revista Boliviana de Química* 2009; 26(2):101-110.
39. Meza M. Determinación de plomo y arsénico por absorción atómica en aguas de río para consumo humano provenientes de caños y reservorio en el anexo de Huancapuquio, distrito de Chocos provincia de Yauyos. [Tesis para optar el Título Profesional de Químico Farmacéutico]. Lima, Perú. Universidad Norbert Wiener, Facultad de Farmacia y Bioquímica. [Tesis en internet]. 2018. [Acceso el 13 de enero del 2019]. Disponible en: <http://repositorio.uwiener.edu.pe/bitstream/handle/123456789/1789/TITULO%20%20Meza%20Poma%2C%20Milagros%20Zenobia.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.
40. Moreno E. Recuperación de Suelos Mineros Contaminados con Arsénico mediante Fitotecnologías. [Tesis Doctoral]. Madrid: Universidad Autónoma de Madrid: Departamento de Química Agrícola; 2010.

41. Nasiruddin M, Tangpong J, Masudur M. Toxicodynamics of Lead, Cadmium, Mercury and Arsenic- induced kidney toxicity and treatment strategy: A mini review. *Rev Toxicology Reports*. [Revista en internet]. 2018; 5: 704-713. [Acceso el 16 de noviembre del 2018]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.toxrep.2018.05.012>.
42. Navoni J, De Pietri D, Garcia S, Villaamil C. Riesgo sanitario de la población vulnerable expuesta al arsénico en la provincia de Buenos Aires - Argentina. *Rev Panam Salud Pública*. 2012; 31(1):1–8.
43. Organización mundial de la salud (OMS): Arsénico. [internet]. 2018 (Acceso el 08 de junio de 2018). Disponible en: <http://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/arsenic>.
44. Organización Mundial de la Salud. [Guías para la calidad del agua potable]. 2006 [Acceso el 28 de julio de 2018. Disponible en: [http://www.who.int/water\\_sanitation\\_health/dwq/gdwq3\\_es\\_full\\_lowres.pdf](http://www.who.int/water_sanitation_health/dwq/gdwq3_es_full_lowres.pdf).
45. Pariani A, et al. Concentración de Flúor y Arsénico en el agua de red de General Pico (Argentina) durante el periodo 2007-2013. *Rev Ciencias Veterinarias*. 2014; 16: 101-112.
46. Pérez F, et al. Optimización del método de determinación de arsénico en aguas potables por espectrofotometría UV-Vis del dimetilditiocarbamato de plata. *Rev. Soc. Quím. Méx.* [Revista en internet]. 2002; 46(2); 175-179. Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=47546216>.
47. Pimienta J, De la Orden A. Metodología de la investigación. 3a. Ed. México: Pearson; 2017.

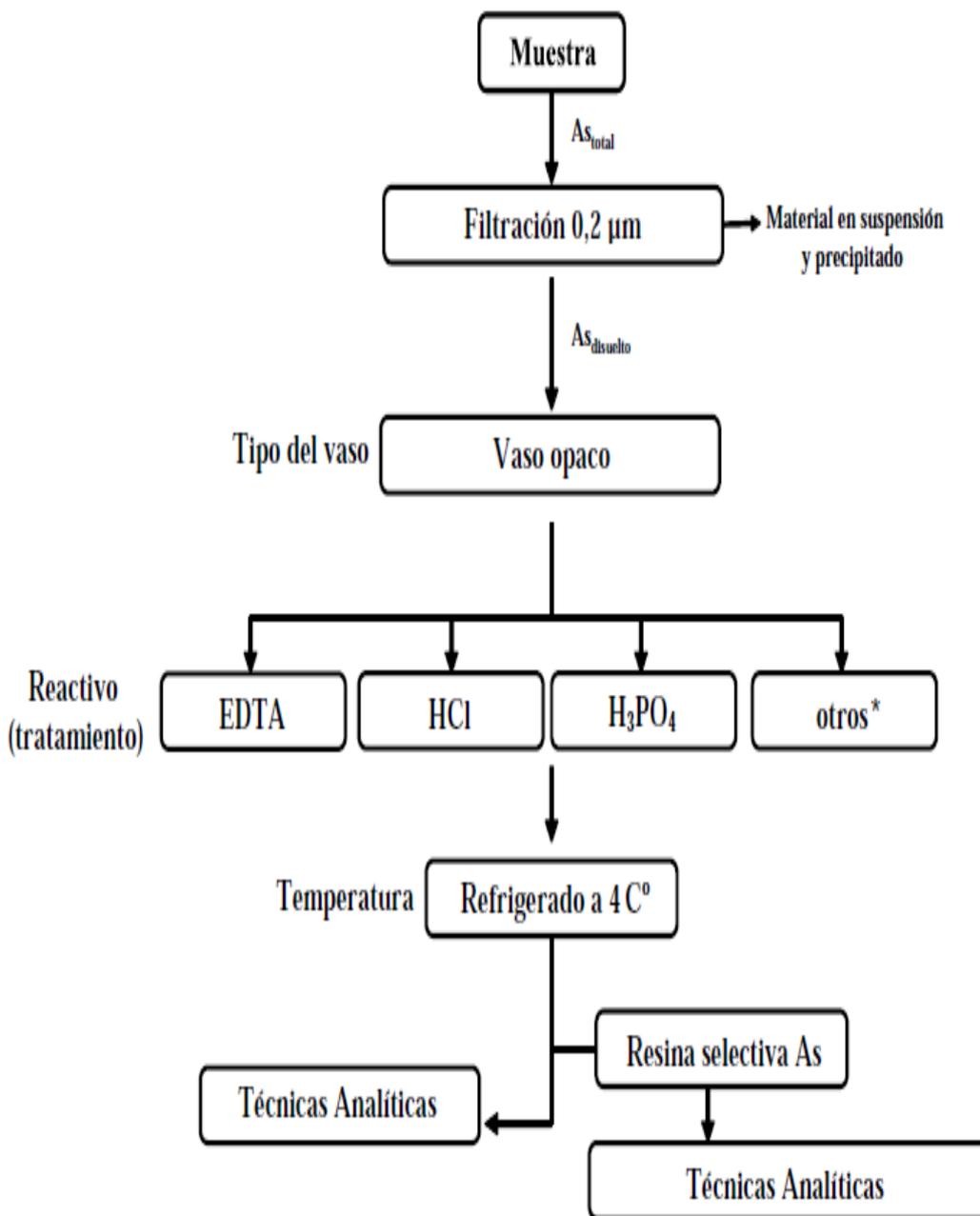
48. Ramirez A. Determinación de la concentración de arsénico en grano de oryza sativa pilado procedente de los distritos de Pacasmayo, enero - junio 2017. [Tesis para obtener el título profesional]. Trujillo, Perú. Universidad Cesar Vallejo, Facultad de ciencias médicas. [Tesis en internet]. 2017. [Acceso el 15 de noviembre del 2018]. Disponible en: <http://repositorio.ucv.edu.pe/handle/UCV/11392>.
49. Real Academia Nacional de Farmacia. El arsénico y la salud. [artículo en línea]. Anales ranf 2012. [Acceso 06 de diciembre del 2018]. Disponible en: <http://www.analesranf.com/index.php/mono/article/viewFile/600/17>.
50. Reglamento de la calidad de Agua para Consumo Humano: D. S. N° 031-2010-SA. Ministerio de Salud. Dirección General de Salud Ambiental. [Internet]. Lima, Perú: 2011. (Acceso el 15 de noviembre del 2018). Disponible en: [http://www.digesa.minsa.gob.pe/publicaciones/descargas/Reglamento\\_Calidad\\_Agua.pdf](http://www.digesa.minsa.gob.pe/publicaciones/descargas/Reglamento_Calidad_Agua.pdf).
51. Rodríguez R, Oldecop L, Linares R, Salvadó V. Los grandes desastres medioambientales producidos por la actividad minero-metalúrgica a nivel mundial: causas y consecuencias ecológicas y sociales. Rev Inst Invest FIGMMG 2009: 12: 7-25.
52. Rojas K, Flores E. Determinación por absorción atómica de plomo y arsénico en agua potable de viviendas del distrito Hualgayoc, Cajamarca – octubre 2017. [tesis en internet]. Cajamarca, Perú: 2017. [Acceso el 06 de diciembre del 2018]. Disponible en: <http://repositorio.uwiener.edu.pe/handle/123456789/1854>.

53. Vidal M, López J, Sastre J, Jiménez G, Dagnac T, Rubio R, Rauret G. Prediction of the impact of the Aznalcóllar toxic spill on the trace element contamination of agricultural soils. *Sci Total Environ.* 1999; 242: 131-148.
54. Yan X, Kerrich R, Hendry M. Distribution of arsenic(III), arsenic(v) and total inorganic arsenic in pore-waters from a thick till and clay-rich aquitard sequence, Saskatchewan, Canada. *Geochim. Cosmochim. Acta* 64. 2000: 2637–2648.
55. Zhao C, Young M, Diwan B, Coogan T, Waalkes M. Association of arsenic-induced malignant transformation with DNA hypomethylation and aberrant gene expression. *Rev. Proc Natl Acad Sci U S A.* 1997; 94 (20):10907-12.

# ANEXOS

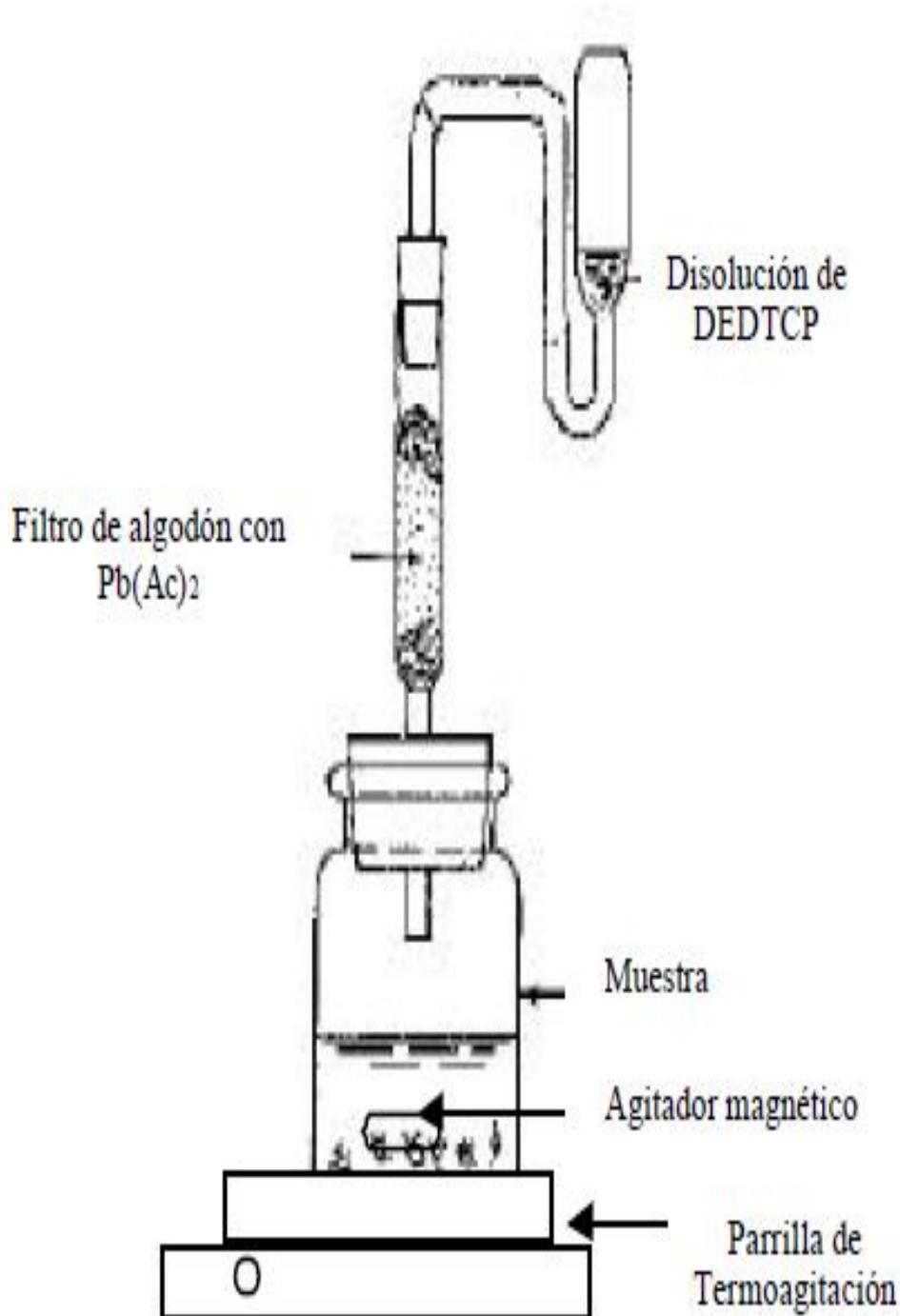
## IX. ANEXOS

**Anexo N° 1.** Protocolo de preservación, almacenamiento y análisis de muestra para especiación de arsénico.



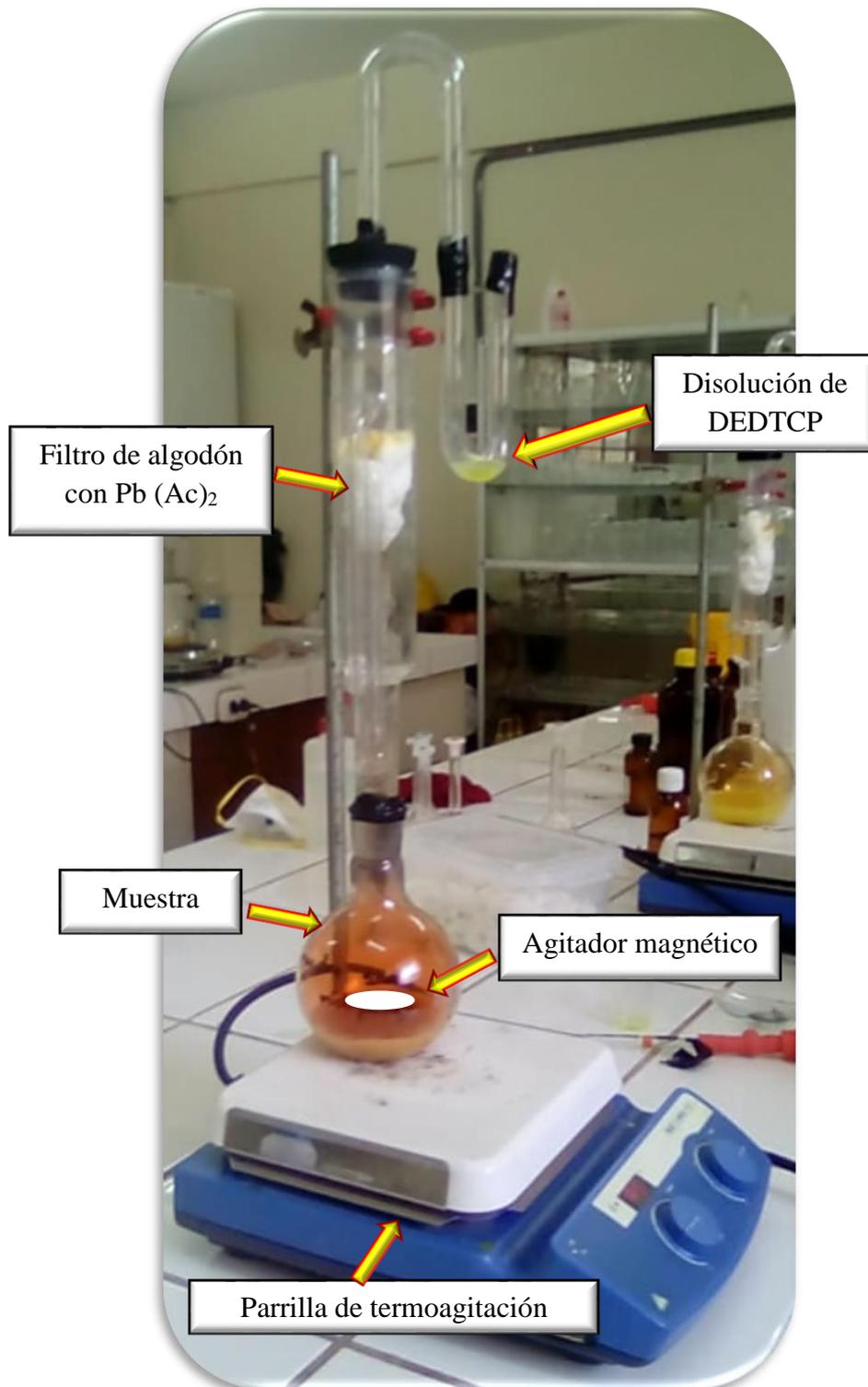
**Fuente:** Castro L, Litter M, Gong M, Mori V. Métodos espectrofotométricos UV-Vis. En: IBEROARSEN. Metodologías analíticas para la determinación y especiación de arsénico en aguas y suelos. 1a ed. Argentina. CYTEC; 2009. pp. 43-63<sup>14</sup>.

**Anexo N° 2.** Esquema de instalación para la determinación de arsénico en agua naturales según (NOM-AA-46-1981).



**Fuente:** Castro L, Litter M, Gong M, Mori V. Métodos espectrofotométricos UV-Vis. En: IBEROARSEN. Metodologías analíticas para la determinación y especiación de arsénico en aguas y suelos. 1a ed. Argentina. CYTEC; 2009. pp. 43-63<sup>14</sup>.

Anexo N° 3. Esquema instalado para generación de arsina en muestras de agua y suelo, adaptado según el modelo de (NOM-AA-46-1981).



#### Anexo N° 4. Preparación de los reactivos

Los reactivos que a continuación se mencionan fueron de grado analítico<sup>14</sup>.

- La solución de Yoduro de Potasio (KI) se preparó de la siguiente manera: 15 g de KI en 100 mL de agua y se guardó la solución en frascos de color ámbar, con tapón esmerilado.
- Para la solución de cloruro estañoso ( $\text{SnCl}_2$ ) se disolvió 40 g de  $\text{SnCl}_2$  en 10 mL de ácido clorhídrico concentrado y se aforó a 100 mL con agua destilada.
- Para la solución de acetato de plomo, se disolvió 30 g de  $(\text{CH}_3\text{COOH})_2\text{Pb}$  en 100 mL de agua destilada, posteriormente se impregnó 50 gramos de algodón hidrofílicos y se secó en estufa a  $40^\circ$  durante 4 horas.
- El reactivo de dietilditiocarbamato de plata se preparó de la siguiente manera: se disolvió 625 mg de  $\text{AgSCSn}(\text{C}_2\text{H}_5)_2$  en 200 mL de cloroformo y en 376  $\mu\text{L}$  de dietanolamina y se preservó en frasco ámbar<sup>14,19</sup>.
- Para la solución patrón de arsénico se diluyó 10 mL de la solución madre y se aforó a 100 mL con agua destilada.

**Anexo N° 5.** Ficha de recolección de las muestras de agua, según su procedencia

Tipo de muestra	Punto de muestreo			Número de muestras
	Captación	Origen	Vol. Muestra	
Agua	Laguna	Laguna	200 mL	1
Agua	Michiquillay Bajo	Michiquillay Bajo	200 mL	1
Agua	San Francisco	San Francisco	200 mL	1
Agua	Quinuamayo bajo	Quinuamayo Bajo	200 mL	1
Agua	Progreso la Toma	Progreso la Toma	200 mL	1
Agua	Sec Sec	Pampa Grande	200 mL	1
Agua	Totora	Pampa Grande	200 mL	1
Agua	Chim Chim	Chim Chim	200 mL	1
Agua	Quinuamayo Alto	Quinuamayo Alto	200 mL	1
Agua	Michiquillay Alto	Michiquillay Alto	200 mL	1
Agua	Juanchopuquio	Juanchopuquio	200 mL	1
Agua	Chaquil Alto	Chaquil Alto	200 mL	1
Agua	Encañada Centro	Encañada Centro	200 mL	1
Agua	Hualtipata	Hualtipata	200 mL	1
Agua	Gallorco	Gallorco	200 mL	1
Agua	Quinuayoc	Quinuayoc	200 mL	1
Agua	Sogoron Alto	Sogoron Alto	200 mL	1
Agua	Sogoron Bajo	Sogoron Bajo	200 mL	1
Agua	Tuyupampa	Tuyupampa	200 mL	1
Agua	Rodacocho	Rodacocho	200 mL	1
<b>TOTAL</b>				<b>20</b>

**Anexo N° 6.** Ficha de recolección de las muestras de suelo según su procedencia

Tipo de muestra	Punto de muestreo			Número de muestras
	Captación	Lugar	Vol. Muestra	
Suelo	Laguna	Laguna	200 g	1
Suelo	Michiquillay Bajo	Michiquillay Bajo	200 g	1
Suelo	San Francisco	San Francisco	200 g	1
Suelo	Quinuamayo Bajo	Quinuamayo Bajo	200 g	1
Suelo	Progreso la Toma	Progreso la Toma	200 g	1
Suelo	Sec Sec	Pampa Grande	200 g	1
Suelo	Tотора	Pampa Grande	200 g	1
Suelo	Chim Chim	Chim Chim	200 g	1
Suelo	Quinuamayo Alto	Quinuamayo Alto	200 g	1
Suelo	Michiquillay Alto	Michiquillay Alto	200 g	1
Suelo	Juanchopuquio	Juanchopuquio	200 g	1
Suelo	Chaquil Alto	Chaquil Alto	200 g	1
Suelo	Encañada Centro	Encañada Centro	200 g	1
Suelo	Hualtipata	Hualtipata	200 g	1
Suelo	Gallorco	Gallorco	200 g	1
Suelo	Quinuayoc	Quinuayoc	200 g	1
Suelo	Sogoron Alto	Sogoron Alto	200 g	1
Suelo	Sogoron Bajo	Sogoron Bajo	200 g	1
Suelo	Tuyupampa	Tuyupampa	200 g	1
Suelo	Rodacocho	Rodacocho	200 g	1
<b>TOTAL</b>				<b>20</b>

**Anexo N° 7.** Absorbancias promedias de las muestras de suelo del distrito de la Encañada.

Origen de la muestra	Tipo de muestra	Longitud de onda	Promedio de absorbancia
Laguna	suelo	520 nm	0,565
Michiquillay Bajo	Suelo	520 nm	2,202
San Francisco	Suelo	520 nm	1,432
Quinuamayo Bajo	Suelo	520 nm	2,282
Progreso la Toma	Suelo	520 nm	1,584
Pampa Grande cap Sec	Suelo	520 nm	1,988
Pampa Grande cap. Totorá	Suelo	520 nm	1,441
Chim chim	Suelo	520 nm	0,308
Quinuamayo Alto	Suelo	520 nm	1,511
Michiquillay Alto	Suelo	520 nm	1,706
Juanchopuquio	Suelo	520 nm	2,126
Chaquil Alto	Suelo	520 nm	0,160
Encañada Centro	Suelo	520 nm	0,612
Hualtipata	Suelo	520 nm	1,663
Gallorco	Suelo	520 nm	0,733
Quinuayoc	Suelo	520 nm	0,395
Sogoron Alto	Suelo	520 nm	1,659
Sogoron Bajo	Suelo	520 nm	0,686
Tuyupampa	Suelo	520 nm	0,251
Rodacocha	Suelo	520 nm	0,676

**Anexo N° 8.** Absorbancias promedias de las muestras de agua de consumo humano del distrito de la Encañada.

Origen de la muestra	Tipo de muestra	Longitud de onda	Promedio de absorbancia
Laguna	Agua	520 nm	0,041
Michiquillay Bajo	Agua	520 nm	0,311
San Francisco	Agua	520 nm	0,024
Quinuamayo Bajo	Agua	520 nm	0,048
Progreso la Toma	Agua	520 nm	0,029
Pampa Grande cap Sec	Agua	520 nm	0,140
Pampa Grande cap. Titora	Agua	520 nm	0,068
Chim chim	Agua	520 nm	0,040
Quinuamayo Alto	Agua	520 nm	0,684
Michiquillay Alto	Agua	520 nm	0,730
Juanchopuquio	Agua	520 nm	0,023
Chaquil Alto	Agua	520 nm	0,021
Encañada Centro	Agua	520 nm	0,085
Hualtipata	Agua	520 nm	0,019
Gallorco	Agua	520 nm	0,018
Quinuayoc	Agua	520 nm	0,384
Sogoron Alto	Agua	520 nm	0,293
Sogoron Bajo	Agua	520 nm	0,089
Tuyupampa	Agua	520 nm	0,096
Rodacocha	Agua	520 nm	0,202

**Anexo N° 9.** Fórmulas para cálculo de la concentración de arsénico

$$C = \frac{W_{As}}{V_m}$$

donde:

**C** = Concentración de arsénico en la muestra.

**W<sub>As</sub>** = Cantidad de arsénico obtenida de la curva de calibración en  $\mu\text{g}$

[(Absorbancia – intersección) / pendiente].

**V<sub>m</sub>** = Volumen de la muestra en L (0,050 L).

**Anexo N° 10.** Ecuación de la incertidumbre para el reporte de resultados.

$$I = \frac{K * Sd_{ci}}{\sqrt{n}}$$

$$Sd_{ci} = \sqrt{Sd_{ad} + Sd_{mc} + Sd_{dup}}$$

Donde:

**I** = Incertidumbre del resultado analítico

**K** = Distribución T de Student de 2 colas para (n-1) grados de libertad con un  
intervalo de confianza de 95% (si  $n \geq 30$ ,  $k = 2$ )

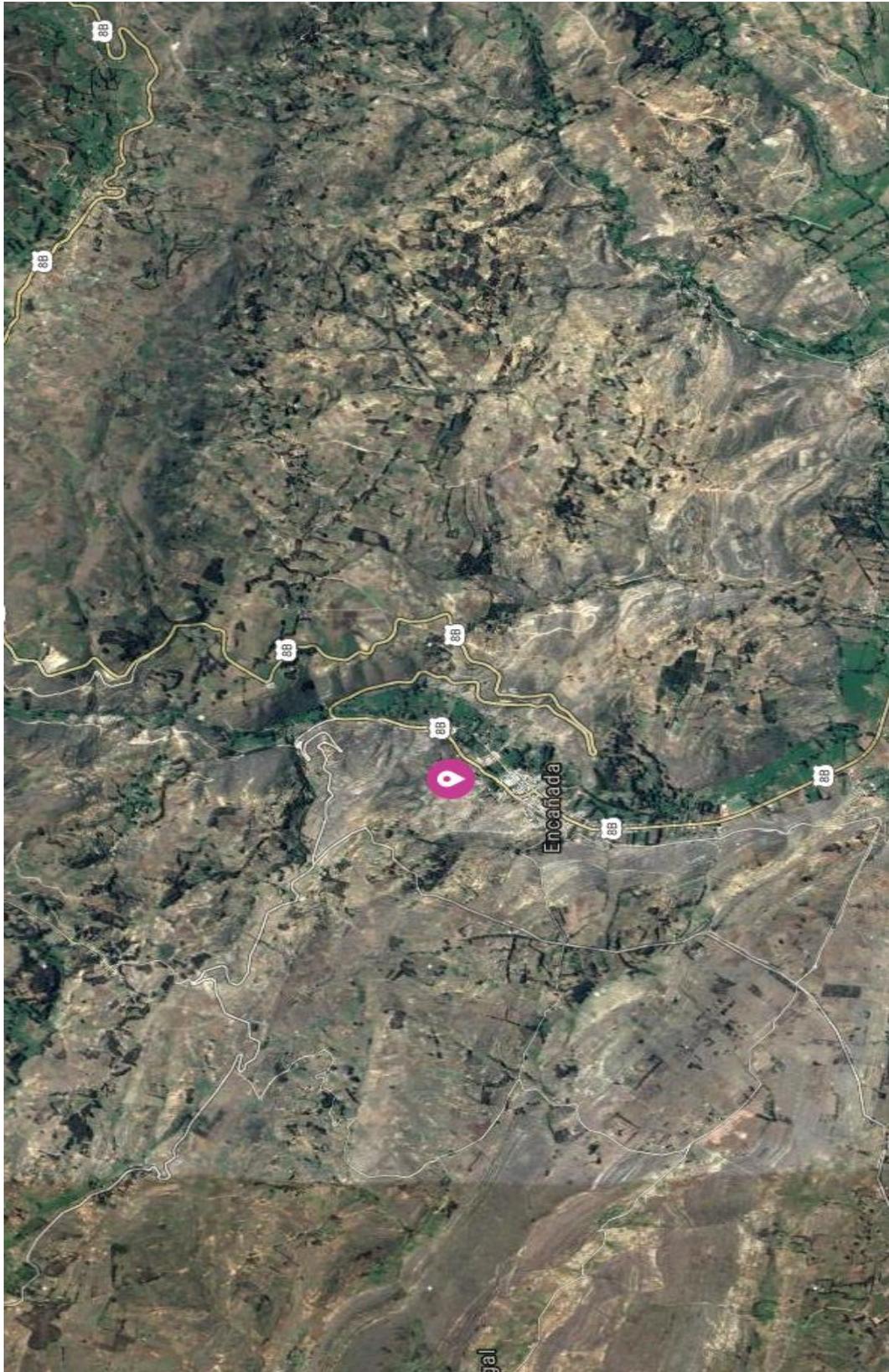
**Sd<sub>ci</sub>** = Incertidumbre estándar combinada para un nivel i

**Sd<sub>mc</sub>** = Desviación estándar de muestra de control para un nivel i

**Sd<sub>ad</sub>** = Desviación estándar de muestra de fortificada para un nivel i

**Sd<sub>dup</sub>** = Desviación estándar de muestras duplicadas para un nivel i

### Anexo N° 11. Zona de muestreo



Anexo N° 12. Galería fotográfica



Decontaminación de frascos de polietileno con ácido nítrico al 10% v/v y se seco en estufa a 45°C durante 24 horas.



Preparación de los reactivos y almacenamiento en frascos ámbar de vidrio:



Impregnación del algodón hidrofílico con solución de acetato de plomo



Ubicación de las captaciones de agua de consumo humano y recolección de muestras del distrito de la Encañada.



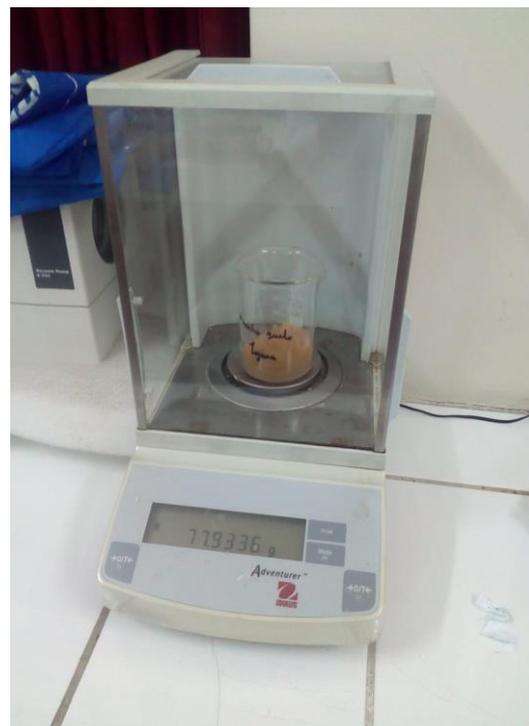
Ubicación del suelo cercano a la captación de agua y recolección de muestras del distrito de la Encañada.



Transporte y almacenamiento de las muestras de agua y suelo en cajas con barras de hielo.



Eliminación de humedad de muestras de suelo sobre papel kraft: secado bajo techo por 24 horas.



Trituración en molino de mano, pulverización en mortero, tamización y pesado de las muestras de suelo en el Laboratorio de la Universidad Privada Antonio Guillermo Urrelo (UPAGU), obtenidas del distrito de la Encañada.



Adición de ácido nítrico más ácido clorhídrico, más ácido bórico a cada muestra de suelo para extraer el arsénico a medio acuoso.



Filtración de las muestras de agua con equipo de bomba al vacío



Acidificación de las muestras de agua a  $\text{pH} < 2$  con ácido nítrico.



Proceso de generación de arsina (color rojo presencia de arsénico) en cada muestra de suelo y agua



Coloración rojo intenso indica la presencia de arsénico en la muestra (reducción del arsénico VII al arsénico III o arsina).



Preparación de los estándares de arsénico a diferentes concentraciones para la calibración del método.



Medición de las absorbancia por triplicado de cada muestra de agua entubada y suelo a 520 nm, además de los estándares de arsénico.