



**Universidad  
Norbert Wiener**

**UNIVERSIDAD PARTICULAR NORBERT WIENER  
FACULTAD DE FARMACIA Y BIOQUÍMICA**

**“DETERMINACION DE PLOMO Y ARSÉNICO POR ABSORCIÓN ATOMICA EN  
AGUAS DE RIO PARA CONSUMO HUMANO PROVENIENTES DE CAÑOS Y  
RESERVORIO EN EL ANEXO DE HUANCAPUQUIO, DISTRITO DE CHOCOS  
PROVINCIA DE YAUYOS. 2017”**

**TESIS**

**PRESENTADA POR:**

**Br: MILAGROS ZENOBIA MEZA POMA.**

**PARA OBTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:**

**QUÍMICO FARMACÉUTICO**

**ASESOR:**

**Mg. Q.F. Tóx JESÚS VÍCTOR LIZANO GUTIERREZ.**

**LIMA - PERÙ**

**2018**

# ÍNDICE

RESUMEN

SUMMARY

INTRODUCCIÓN

I.	PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....	1
1.1	FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.....	1
1.1.	OBJETIVOS: .....	1
1.1.1.	Objetivo General: .....	1
1.2.2	Objetivo Específicos: .....	2
1.2.	VARIABLES: .....	2
1.2.1.	Variables Dependientes: .....	2
1.2.2.	Variables Independientes:.....	3
1.4	JUSTIFICACIÓN .....	3
II.	GENERALIDADES.....	4
2.1.	PLOMO .....	4
2.1.1	Descripción .....	4
2.1.3	Aspecto General del Plomo .....	7
2.1.4	Toxicocinética .....	9
2.1.5	Toxicodinamia .....	12
2.1.6	Manifestaciones Clínicas .....	14
2.1.7.	Efectos sobre la Salud.....	16
2.2	ARSÉNICO .....	23
2.2.1	Descripción .....	23
2.2.2	Fuente y Vías de Exposición .....	26
2.2.3	Aspecto Legal del Arsénico.....	27
2.2.4	Toxicocinética .....	29
2.2.5	Toxicodinamia .....	33
2.2.6	Manifestaciones Clínicas .....	34
2.2.7	Efectos sobre la Salud.....	37
2.3	Descripción del Anexo de Huancapuquio .....	42
III.	PARTE EXPERIMENTAL.....	44

3.1	Diseño Experimental.....	44
3.2	Recolección, transporte y conservación de la muestra .....	48
3.3	Método analítico empleado .....	51
3.4	TÉCNICA OPERATORIA: .....	53
IV.	RESULTADOS.....	59
	DISCUSIÓN.....	71
VI.	CONCLUSIONES .....	73
VII.	RECOMENDACIONES .....	74
VIII.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS: .....	75
IX.	ANEXOS:.....	79

## RESUMEN

Se cuantificó Plomo y Arsénico, en agua de caño para consumo humano y del reservorio central provenientes del río Cañete en el anexo de Huancapuquio, distrito de Chocos, de la provincia de Yauyos.

Para ello se tomó 10 muestras de aguas de los caños ubicados en las diferentes calles y 10 muestras de diferentes puntos del reservorio central tanto para plomo y arsénico. Se usó el método de Espectrofotometría de Absorción Atómica con horno de grafito para la cuantificación de los metales. Se encontró que la concentración promedio de plomo, en las muestras proveniente de caño fue de 11,8  $\mu\text{gPb/L}$  con una concentración mínima de 2,44  $\mu\text{gPb/L}$  y una máxima de 26,31  $\mu\text{gPb/L}$ . El 50% de las muestras superan los parámetros permisibles dados por la OMS y la NTP (10  $\mu\text{gPb/L}$ ). Indicando un riesgo de intoxicación crónica y un problema de salud pública; en el reservorio central se encontró un promedio de 9,88  $\mu\text{gPb/L}$  con una concentración mínima de 2,54  $\mu\text{gPb/L}$  y una máxima de 23,63  $\mu\text{g Pb/L}$ . El 40% de las muestras superan los límites máximos permisibles dados por la OMS y la NTP. En el caso del arsénico la concentración promedio de las muestras proveniente de caño fue de 3,39  $\mu\text{g As/L}$ , con un valor mínimo de 1,03  $\mu\text{g As/L}$ , y un máximo de 10,53  $\mu\text{gAs/L}$  y solo el 5% de las muestras superaron los límites máximos permisibles dados por la OMS y el 100% no superan las NTP. En lo referente al agua del reservorio el promedio fue de 5,57  $\mu\text{g As/L}$ , con un valor mínimo de 0,72  $\mu\text{gAs/L}$ , y un máximo de 12,60  $\mu\text{gAs/L}$ , y solo el 10% de las muestras superaron los límites máximos permisibles dados por la OMS (10  $\mu\text{gAs/L}$ , y en ambos casos no excede las NTP (50  $\mu\text{g As/L}$ ).

**Palabras clave:** Plomo, Arsénico Espectrofotometría de Absorción Atómica OMS, NTP.

## Summary

Lead and Arsenic were quantified in tap water for human consumption and from the central reservoir from the Cañete River in the Huancapuquio Annex, Chocos district, in the province of Yauyos.

For this, 10 water samples were taken from the pipes located in the different streets and 10 samples from different points of the central reservoir for both lead and arsenic. The method of Atomic Absorption Spectrophotometry with graphite furnace was used for the quantification of metals. It was found that the average concentration of lead in the samples from the pipe was 11.8  $\mu\text{gPb} / \text{L}$  with a minimum concentration of 2.44  $\mu\text{gPb} / \text{L}$  and a maximum concentration of 26.31  $\mu\text{gPb} / \text{L}$ . 50% of the samples exceed the permissible parameters given by WHO and NTP (10 $\mu\text{gPb} / \text{L}$ ). Indicating a risk of chronic intoxication and a public health problem; in the central reservoir an average of 9.88  $\mu\text{gPb} / \text{L}$  was found with a minimum concentration of 2.54  $\mu\text{gPb} / \text{L}$  and a maximum concentration of 23.63  $\mu\text{gPb} / \text{L}$ . 40% of the samples exceed the maximum permissible limits given by WHO and NTP. In the case of arsenic, the average concentration of the samples from the spout was 3.39  $\mu\text{gAs} / \text{L}$ , with a minimum value of 1.03  $\mu\text{gAs} / \text{L}$ , and a maximum of 10.53  $\mu\text{gAs} / \text{L}$  and only the 5% of the samples exceeded the maximum permissible limits given by the WHO and 100% did not exceed the NTP. As regards reservoir water, the average was 5.57  $\mu\text{gAs} / \text{L}$ , with a minimum value of 0.72  $\mu\text{gAs} / \text{L}$ , and a maximum of 12.60  $\mu\text{gAs} / \text{L}$ , and only 10% of the samples exceeded the maximum permissible limits given by the WHO (10  $\mu\text{gAs} / \text{L}$ , and in both cases does not exceed the NTP (50  $\mu\text{gAs} / \text{L}$ ).

Key words: Lead, Arsenic Atomic Absorption Spectrophotometry WHO, NTP.

## INTRODUCCIÓN

El derecho humano al agua es fundamental e irrenunciable. El agua constituye Patrimonio nacional estratégico de uso público, inalienable, imprescriptible, inembargable y esencial para la vida. Así, como también se reconoce el derecho de la población a vivir en un ambiente sano y ecológicamente equilibrado, garantizando la sostenibilidad y el buen vivir. Por eso se declara de interés público la preservación del ambiente, la conservación de los ecosistemas, la biodiversidad y la integridad del patrimonio genético del país, la prevención del daño ambiental y la recuperación de los espacios naturales degradados. Dentro de ello la evaluación de la calidad de agua en ríos, es de suma importancia por los recursos hidrobiológicos que se manejan en ellos, es por eso que se realizan pruebas para la determinación de calidad de agua tanto para consumo humano como para la acuicultura.<sup>(1)</sup>

El río Cañete está expuesto a la contaminación por metales por la actividad minera de esa zona, como lo es la Empresa Celepsa. Es por ello que se escogió las muestras de agua de caño ubicados en las calles y del reservorio central del anexo de Huancapuquio (Yauyos), para determinar plomo y arsénico porque no cuentan con los servicios básicos y carecen de tratamiento del agua, por ello la consumen directamente del río Cañete. Por lo tanto, existe la posibilidad del consumo de agua con concentraciones altas de Pb y As por dicha actividad minera de esa zona, la cual elimina residuos mineros a las aguas del río Cañete. También porque el sistema de distribución podría contribuir a la contaminación por las conexiones cruzadas, tuberías en mal estados, reservorio con escases de salubridad y faltas de medidas de seguridad. Asimismo, en el sistema de almacenamiento del agua, (reservorio) no se realizan tratamientos y existe una mala conservación de su calidad, encontrándose expuesto al aire libre con la posibilidad de ser contaminados por diversos factores, como las partículas provenientes del aire las cuales van

directamente al reservorio. Por ello es necesario determinar la calidad del agua que se consume en el anexo de Huancapuquio (Yauyos).

Para la presente investigación se tomaron 10 muestras de agua provenientes de los caños de las calles que alimentan a las personas que habitan en dicho lugar, y 10 muestras del reservorio central en diferentes puntos. <sup>(2)</sup>

Se cuantificó plomo y arsénico mediante la metodología analítica de Espectrofotometría de absorción atómica por horno de grafito en febrero 2017, en la Unidad de Servicio de Análisis Químicos (USAQ) de la Facultad de Química e Ingeniería Química de la Universidad Nacional Mayor de San Marcos.

## **I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

La población del anexo de Huancapuquio, distrito de Chocos, provincia de Yauyos, no cuentan con agua potable desde su fundación en el año 1969, el abastecimiento de agua para consumo humano es por medio de agua proveniente del río Cañete sin tratamiento, la cual estaría contaminada con plomo y arsénico por la actividad minera de esa zona.

El agua de río es conducido por medio de unas tuberías de plástico desde el río hasta un reservorio central, y desde esta zona es trasladada sin ningún tratamiento a los diferentes caños ubicados en las calles de dicho anexo para consumo humano.

### **1.1 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA**

¿Tendrán las aguas de consumo humano del anexo de Huancapuquio, provenientes del río Cañete, los niveles de plomo y arsénico; por encima de los LMP dado por la OMS y la NTP?

#### **1.1. OBJETIVOS:**

##### **1.1.1. Objetivo General:**

- ❖ Determinar los niveles de plomo y arsénico por el método de absorción atómica, en aguas provenientes de los diferentes caños de las calles y reservorio central en el anexo de Huancapuquio (Yauyos), para indicar si superan los LMP dados por la OMS y la NTP.

### **1.2.2 Objetivo Específicos:**

- ❖ Determinar la concentración de plomo en agua de los caños ubicados en las calles del anexo de Huancapuquio distrito de Chocos provincia Yauyos.
- ❖ Determinar la concentración de arsénico en agua de los caños ubicados en las calles del anexo de Huancapuquio distrito de Chocos provincia Yauyos.
- ❖ Determinar la concentración de plomo en agua del reservorio central del anexo de Huancapuquio distrito de Chocos provincia Yauyos.
- ❖ Determinar la concentración de arsénico en agua del reservorio central del anexo de Huancapuquio distrito de Chocos provincia Yauyos.
- ❖ Determinar si las concentraciones de plomo en agua de los caños ubicados en las calles y el reservorio central del anexo de Huancapuquio, distrito de Chocos provincia Yauyos superan el límite máximo permisible dado por la OMS y la NTP, para aguas de consumo humano.
- ❖ Determinar si las concentraciones de arsénico en aguas de los caños ubicados en las calles y el reservorio central del anexo de Huancapuquio, distrito de Chocos provincia Yauyos superan el límite máximo permisible dado por la OMS y la NTP, para aguas de consumo humano.

## **1.2. VARIABLES:**

### **1.2.1. Variables Dependientes:**

- ❖ Concentración de plomo y arsénico en aguas de los caños ubicados en las diferentes calles y del reservorio central del anexo de Huancapuquio, distrito de Chocos provincia de Yauyos.

## 1.2.2. Variables Independientes:

- ❖ Puntos representativos: de los caños ubicados en las calles y del reservorio central del anexo de Huancapuquio distrito de Chocos provincia de Yauyos.

## 1.4 JUSTIFICACIÓN

El agua es de vital importancia para el ser humano ya que requiere tener calidades específicas para el uso personal, para el riego agrícola, para uso industrial y otros. Por ello muchas veces las personas optan por necesidad beber agua con carencia de salubridad, y por lo tanto pueden adquirir enfermedades.

Este es el caso del anexo de Huancapuquio, porque las personas que habitan allí consumen agua del mismo río Cañete sin tratar. Huancapuquio, es uno de los 7 anexos que conforman el distrito de Chocos provincia de Yauyos y tiene una población de 500 habitantes aproximadamente, donde existe una carencia total de los servicios básicos, a consecuencia del inicio de la Empresa Hidroeléctrica Platanal (Celepsa) hace 8 años atrás se podía observar la existencia de camarones, truchas y pejerrey u otros y el agua del río era más clara y cristalina, pero ahora en la actualidad se aprecia turbia y un olor fétido debido al drenaje de sus residuos la cual también extraen minerales y en tiempos de lluvia en las alturas (sierra) el agua de río se torna con barro y sucio. Es por ello mi preocupación en realizar este trabajo de Tesis, ya que, como propietaria de algunos bienes, sugiero a las autoridades competentes que canalicen mediante motobombas el desplazamiento del agua del puquial que existe en la zona a todas las viviendas.

Por tal motivo se seleccionó el anexo de Huancapuquio, para determinar si las concentraciones de plomo y arsénico están dentro de los LMP dados por las normas nacionales e internacionales y no estar causando intoxicaciones crónicas como el HACRE, y otros en la población, para así tomar medidas necesarias de prevención o tratamiento.

## II. GENERALIDADES

### 2.1. PLOMO

#### 2.1.1 Descripción

El plomo (Pb) viene del latín 'plumbum', es un metal brillante y pesado de color blanco azulado, con tendencia al gris plateado, de alta densidad (11.35 g/cm<sup>3</sup>). En estado puro es blando y maleable, poco dúctil y un buen conductor de la electricidad. El plomo es anfótero, ya que forma sales de plomo de los ácidos, así como sales metálicas del ácido plúmbico. Como muchos metales, en ambientes húmedos se recubre de una capa de óxido. Su número atómico es 82 y su peso atómico es 207.2, su punto de fusión es 327.4 °C y el de ebullición es 1740 °C. Las valencias químicas normales son +2 y +4. Es relativamente resistente al ataque de los ácidos sulfúrico y clorhídrico. Pero se disuelve con lentitud en ácido nítrico. <sup>(3)</sup>

El plomo (Pb) fue uno de los primeros metales que utilizó el hombre para trabajar. Existen evidencias de su uso en el este de Asia Menor desde el año 4mil AC. Lo emplearon tanto los Egipcios como los Babilonios y los Fenicios explotaron minas de plomo en España desde el año 2 mil AC. Los romanos usaron el plomo para la fabricación de ductos y utensilios diversos y, especialmente, para el almacenamiento del vino. Durante la edad media fue muy usado para techar edificios públicos y catedrales. Su uso amplio y prolongado es la causa de que la intoxicación por plomo se conozca desde hace 2 mil años. Perú es el primer productor de plomo en América Latina y el cuarto a nivel mundial con 313 mil toneladas producidas. La Organización Mundial de la Salud estima que la exposición al plomo durante la niñez contribuye con cerca de 600.000 nuevos casos de niños que desarrollan discapacidad intelectual cada año. Estos efectos físicos de la exposición al plomo durante la niñez son irreversibles. <sup>(4)</sup>

El mineral más rico es la galena (sulfuro de plomo) y constituye la fuente principal de producción comercial de este metal. Otros minerales de plomo son: la cerusita (carbonato), la anglesita (sulfato), la corcoita (cromato), la wulfenita (molibdato), la piromorfita (fosfato), la mutlockita (cloruro) y la vanadinita (vanadato). En muchos casos, los minerales de plomo pueden contener otros metales tóxicos. Los minerales de plomo se separan de la ganga y de otros elementos del mineral mediante el triturado en seco, la molturación en húmedo (para obtener una pasta), la clasificación gravimétrica y la flotación.

Los óxidos de plomo se utilizan en las placas de las baterías eléctricas y los acumuladores ( $\text{PbO}$  y  $\text{Pb}_3\text{O}_4$ ), como agentes de mezcla en la fabricación de caucho ( $\text{PbO}$ ) y en la fabricación de pinturas ( $\text{Pb}_3\text{O}_4$ ) y como componentes de barnices, esmaltes y vidrio. Las sales de plomo constituyen la base de muchas pinturas y pigmentos: el carbonato y el sulfato de plomo se utilizan como pigmentos blancos y los cromatos de plomo sirven para obtener amarillo, naranja, rojo y verde de cromo. El arseniato de plomo es un insecticida; el sulfato de plomo se utiliza en mezclas de caucho; el acetato de plomo tiene usos importantes en la industria química; el naftenato de plomo es un agente secante muy utilizado y el plomo tetraetilo se utiliza como agente antidetonante para la gasolina en aquellos países en que la legislación aún lo permite. <sup>(5)</sup> Su comportamiento redox indica que, en efecto, el estado de oxidación +2 es el más estable, intrínsecamente. Así, el cambio de Pb (IV) a Pb (II) es muy favorable, mientras que el paso de Pb (II) a Pb (0) es ligeramente negativo.

### **.2.1.2 Fuentes y vías de exposición**

El plomo se encuentra en el ambiente en forma natural. Sin embargo, la mayoría de los niveles altos que se encuentran en el ambiente se originan de actividades humanas. Los niveles de plomo han aumentado más de mil veces durante los tres últimos siglos como consecuencia de la actividad humana. El mayor incremento ocurrió entre los años 1950 y 2000. Y reflejó el aumento del uso de gasolina con plomo en todo el mundo. El metal se produce primariamente por fundición del mineral. Del 100% de plomo que se produce, un 65% se utiliza

como plomo metálico y el 35% como compuestos, ya sean óxidos y sales estas últimas de naturaleza orgánica e inorgánica. <sup>(3)</sup>

**Exposición ocupacional:** El plomo es considerado como un contaminante ocupacional y distribuido en todo el mundo. Se hace referencia a aquella que tiene lugar en los sitios de trabajo en los que se desarrollan procesos de producción o manejo con plomo como la metalurgia, fundición y refinado, la minería extractiva, la plomería, actividades de soldadura, construcción civil, industria cerámica y fabricación de pinturas, manufactura de caucho y vidrio, reparación de buques, procesos de cortado del metal, manufactura de plásticos, fabricación y reciclados de baterías y hasta hace poco, como antidetonante para aumentar el octanaje de la gasolina. <sup>(4)</sup>

**Exposición a nivel ambiental:** La población está expuesta al plomo por la ingestión de alimentos y líquidos contaminados, por inhalación de humos y polvos (la vía de absorción más importante) y por la absorción por vía dérmica (piel indemne) en el caso particular de los compuestos orgánicos. Los niños pueden ingerirlo además por su presencia en otros materiales, como es el caso de pinturas con contenido de plomo utilizadas en el recubrimiento de inmuebles. <sup>(4)</sup>

**Exposición doméstica:** Se atribuyen como fuentes de contaminación la pintura de paredes con compuestos de plomo, al igual que la pintura de juguetes, témperas y el uso de vasijas, utensilios de cocina de cerámica vidriada, hasta en el agua para consumo humano y en los alimentos e inclusive hasta en la leche materna. En las fuentes naturales el plomo es un elemento relativamente abundante que se encuentra en aire, agua, suelo, plantas y animales. Presentes en la erosión del suelo, el desgaste de los depósitos de los minerales de plomo y las emanaciones volcánicas. La galena es la principal fuente de producción del plomo. Y las fuentes antropogénicas en la actualidad, se utiliza principalmente en la producción de acumuladores y baterías, pigmentos, insecticidas, explosivos, reactivos químicos, soldaduras, aditivos antidetonantes para gasolina, alfarería decorativa vidriada en hoja metálica y en barro, cubiertas para proteger de los rayos x, tuberías, etc. <sup>(7)</sup> Ver gráfico N<sup>o</sup>1

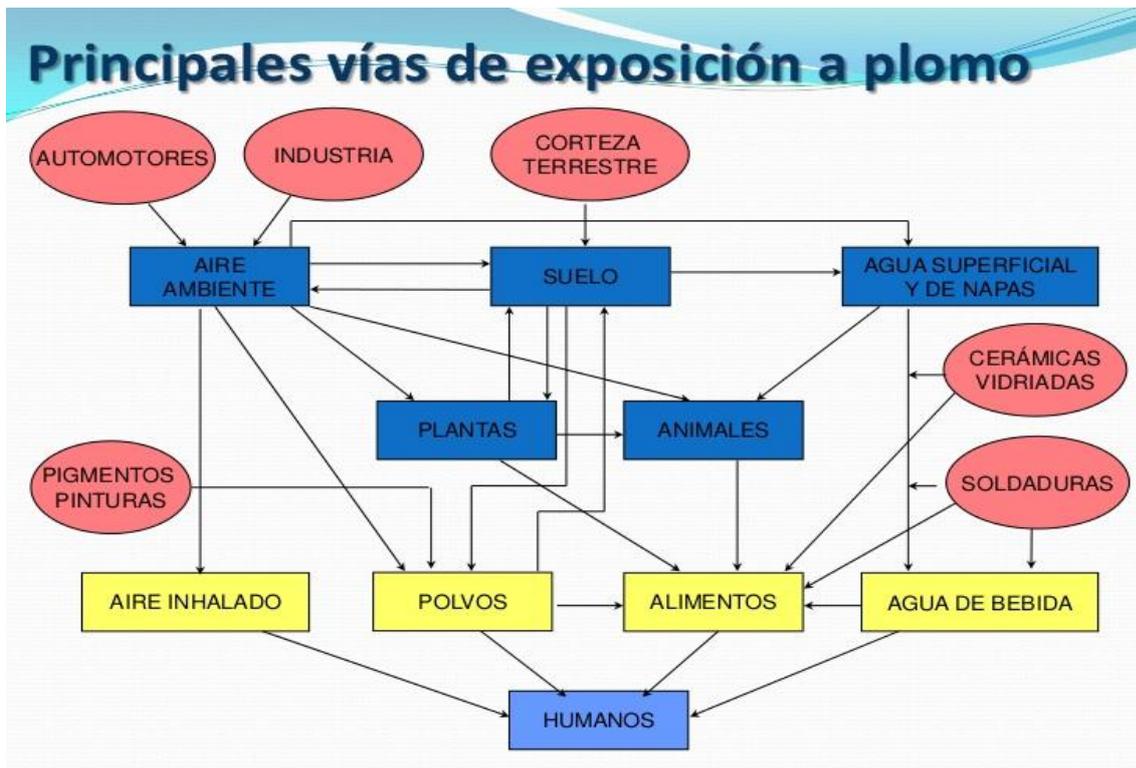


Gráfico N°1 Vías de exposición del Plomo. Univ. Centellas Coarte Edith Briseida Univ. Carrasco Tapia Mireya.

## 2.1.3 Aspecto General del Plomo

### 2.1.3.1 Antecedentes de la determinación del valor de referencia:

Las Normas internacionales para el agua potable según la OMS en 1958 recomendaron una concentración máxima admisible de plomo de 0,2 mg/L, basándose en sus posibles efectos perjudiciales para la salud. En las Normas internacionales de 1963 se redujo este valor a 0,05 mg/L, el cual se mantuvo como límite superior provisional de concentración en las Normas internacionales de 1971. El valor de referencia de 0,05 mg/L también se mantuvo en la primera edición de las Guías para la Calidad del Agua Potable, publicada en 1984. En las Guías de 1993 se fijó un valor de referencia provisional para el plomo en el límite práctico de cuantificación de 0,01 mg/L, basándose en la preocupación por su capacidad cancerígena en el ser humano. La evaluación de riesgos se realizó en 2003. <sup>(1)</sup>

Las Guías para la Calidad del Agua Potable explican los requisitos necesarios para garantizar la inocuidad del agua, incluidos los procedimientos mínimos y valores de

referencia específicos, y el modo en que deben aplicarse tales requisitos. Asimismo, describe los métodos utilizados para calcular los valores de referencia, e incluye hojas de información sobre peligros microbianos y químicos significativos. Las Guías se consideran reflejo de la opinión oficial del Sistema de las Naciones Unidas sobre cuestiones relativas a la calidad del agua y la salud. La finalidad principal de las Guías para la calidad del agua potable es la protección de la Salud Pública. El límite máximo permisible establecido para plomo en agua potable es: 0,01 mg/L.

En el Perú mediante Decreto Supremo N° 031-2010-SA (publicado en el Diario El Peruano el 26 de setiembre de 2010) se aprobó el “Reglamento sobre Calidad del Agua para Consumo Humano”. A través del cual se busca proteger y promover la salud y bienestar de la población. En dicho documento se proporciona al Ministerio de Salud los instrumentos de gestión para conducir la política y la vigilancia de la calidad del agua para consumo humano.

El objetivo del Reglamento es establecer el marco normativo de la gestión de la calidad del agua; en su vigilancia sanitaria; control y supervisión. También en la fiscalización, autorizaciones, registro y aprobaciones sanitarias respecto a los sistemas de abastecimiento de agua; así como los requisitos físicos, químicos, microbiológicos y parasitológicos del líquido elemento, y la difusión y acceso a la información sobre la calidad del agua para consumo humano. Se precisa además que los proveedores que estén operando sistemas de abastecimiento de agua para consumo humano deberán implementar un Programa de adecuación Sanitaria para cumplir con las normas técnicas y formales establecidas. El límite máximo permisible establecido para plomo en agua potable es: 0,01mg/L. <sup>(1)</sup> (Ver cuadro N° 1).

Cuadro N° 1 Comparación de Valores de Referencia para Plomo (OMS, UE vs. LMP)

<b>VALORES DE REFERENCIA PARA PLOMO</b>			
<b>Parámetro</b>	<b>Estándares de la OMS</b>	<b>Estándares Europeos</b>	<b>Límite Máximo Permisible en Perú</b>
Plomo (Pb)	0,01mg/L	0,01mg/L	0,01mg/L

<https://medlineplus.gov/spanish/ency/article/003360.htm>

## **2.1.4 Toxicocinética**

### **2.1.4.1 Absorción**

El plomo penetra en el organismo a través de la vía respiratoria, digestiva y cutánea. La vía respiratoria es la más frecuente en los adultos; se absorbe hasta el 50 % de la concentración respirada al inhalarse vapores de óxido de plomo y partículas de polvo que va a depender del tamaño de partículas, el tipo de compuesto de plomo y solubilidad de ellas. A demás depende de factores propios del organismo, tales como la edad, sexo, condición nutricional, estado fisiológico y la integridad de los tejidos. <sup>(6)</sup>

La vía digestiva presenta una absorción más baja debido a la baja solubilidad de la mayoría de compuestos de plomo; se absorbe en el intestino, y depende de la forma, tamaño, vaciado gástrico, motilidad gastrointestinal, pH gástrico, interacción del compuesto, con otros componentes del tracto gastrointestinal, estado nutricional y la edad. La absorción del plomo se ve incrementada, si la partícula, existe deficiencia de calcio, hierro, potasio y zinc, si presenta una dieta rica en vitamina D o en lípidos inadecuada ingesta de calorías, si el estómago está vacío y si es niño; ya que en ellos la absorción de plomo es de 30 a 50%, mientras que en adulto es de 10%. <sup>(8)</sup>

La vía cutánea es de menor importancia, pudiendo absorber algunos derivados orgánicos con elevada liposolubilidad como: el tetraetilo y tetrametilo, que se convierten en metabolitos trialquilos que provocan toxicidad, explicando así su acumulación en el Sistema Nervioso Central; estos compuestos alquilo se convierten finalmente en plomo inorgánico y son eliminados por la orina.

### **2.1.4.2 Distribución y Depósito**

La distribución del plomo, una vez absorbido, se realiza por medio de tres compartimentos en equilibrio: sangre, tejidos blandos y óseos. El plomo en la sangre representa el 2 % del contenido total; el 95 % es transportado por los eritrocitos, unido a la hemoglobina, con una vida media de 36 días; luego se distribuye en los tejidos blandos y posteriormente a los huesos, dientes y cabellos. <sup>(6)</sup>

El segundo compartimiento formado por tejidos blandos (riñón, hígado, Médula ósea, y sistema nervioso) representa aproximadamente el 10% del contenido total con una vida media de 38 días, solo una pequeña parte se acumula en el cerebro, principalmente en la materia gris y ganglios basales. El tercer compartimiento lo forma

el tejido óseo y dientes, que contiene el 90% de plomo almacenado, con una vida media de 10 y 30 años, debido a la formación de compuestos muy estables. <sup>(6)</sup>

Si las concentraciones en sangre son elevadas, el almacenamiento de plomo en los huesos se ve favorecido, pudiendo acumularse un 94% del plomo absorbido. La sangre transfiere lentamente el plomo a los huesos donde se fija siguiendo un metabolismo paralelo al calcio, pero el metal se deposita en la forma de fosfato de plomo terciario. <sup>(6)</sup>

Los factores que modifican la distribución del calcio tiene la misma acción en el plomo; de este modo, la ingestión abundante de fosfato permite el almacenamiento de plomo en el esqueleto y en menor concentración, en los tejidos blandos. Por el contrario, la ingestión de poco fosfato moviliza el plomo en los huesos y aumenta su contenido en tejidos blandos. La vitamina D tiende a estimular el depósito de plomo en los huesos si se cuenta con una cantidad suficiente de fosfato; de no ser así, el depósito de calcio tiene prioridad sobre el plomo. <sup>(9)</sup>

El plomo, en forma de fosfato va a formar complejos con los ácidos biliares y así aumenta su solubilidad. Se cree que las sales de plomo utilizan los mecanismos de transporte empleados por el calcio y el hierro. <sup>(7)</sup>

En determinadas circunstancias, como el embarazo, la lactancia, menopausia, hipertiroidismo, periodo de acidosis, una simple fractura, inmovilidad, edad avanzada, y osteoporosis, se lleva a cabo una importante movilización mineral ósea, el plomo puede abandonar los huesos y entrar nuevamente en la sangre, de modo que es una fuente importante de exposición interna al plomo.

El embarazo y la lactancia aumentan considerablemente la demanda de calcio. Al salir calcio de los huesos, también se libera plomo, el cual atraviesa libremente la barrera placentaria ocasionando que los recién nacidos tengan una concentración de plomo en sangre muy similar al de sus madres. Asimismo, la secreción de plomo y de otras sustancias tóxicas almacenadas en la leche materna, representan una fuente adicional de intoxicación de plomo para el niño. También tiene la capacidad de atravesar la barrera hematoencefálica y se ha asociado a índices altos de esterilidad, abortos y mortalidad infantil. <sup>(10)</sup>

### 2.1.4.3 Excreción

La eliminación es lenta y ocurre principalmente por el riñón a través de la orina (76%) y heces, otras vías de eliminación secundarias son las salivas, bilis, la leche, el sudor, pelo, uñas y exfoliación dérmica. A partir de la saliva se puede formar un depósito de sulfuro de plomo en el borde marginal de las encías que se conoce como ribete de Burton. La vida media del plomo es larga, y se estima en 5 a 10 años, que varía con la intensidad y duración de la exposición y la carga corporal final acumulada. Las enfermedades óseas (osteoporosis, fracturas), en el embarazo y el hipertiroidismo pueden originar mayor liberación del plomo almacenado y concentraciones sanguíneas elevadas. Ver figura N<sup>o</sup>1 y (Ver Gráfico N<sup>o</sup> 2).

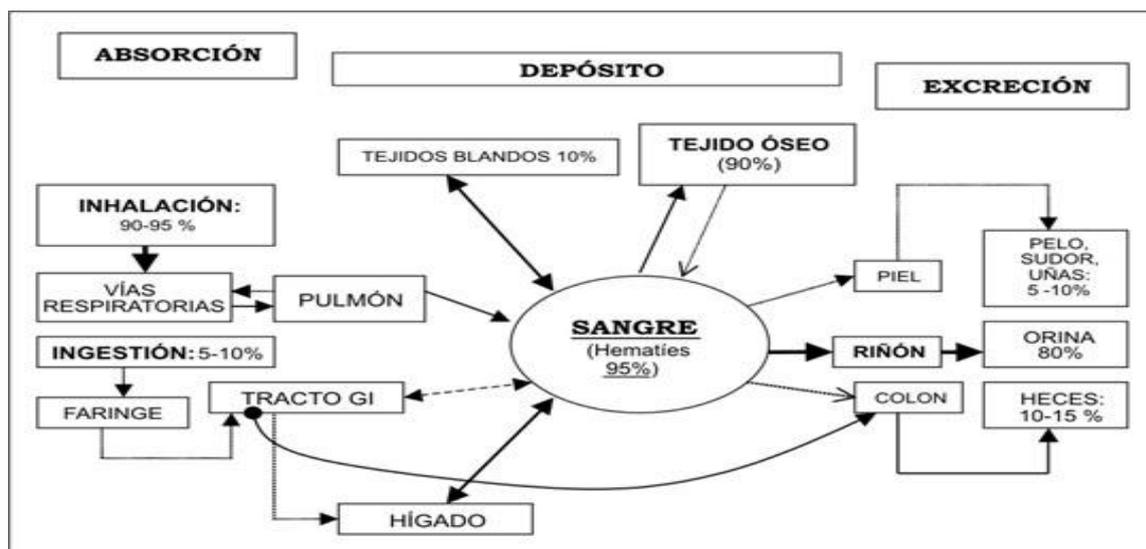


Figura 1. Modelo metabólico del plomo en el ser humano.

[http://medicinainterna.org.pe/revista/revista\\_18\\_1\\_2005/Intoxicacion.pdf](http://medicinainterna.org.pe/revista/revista_18_1_2005/Intoxicacion.pdf)

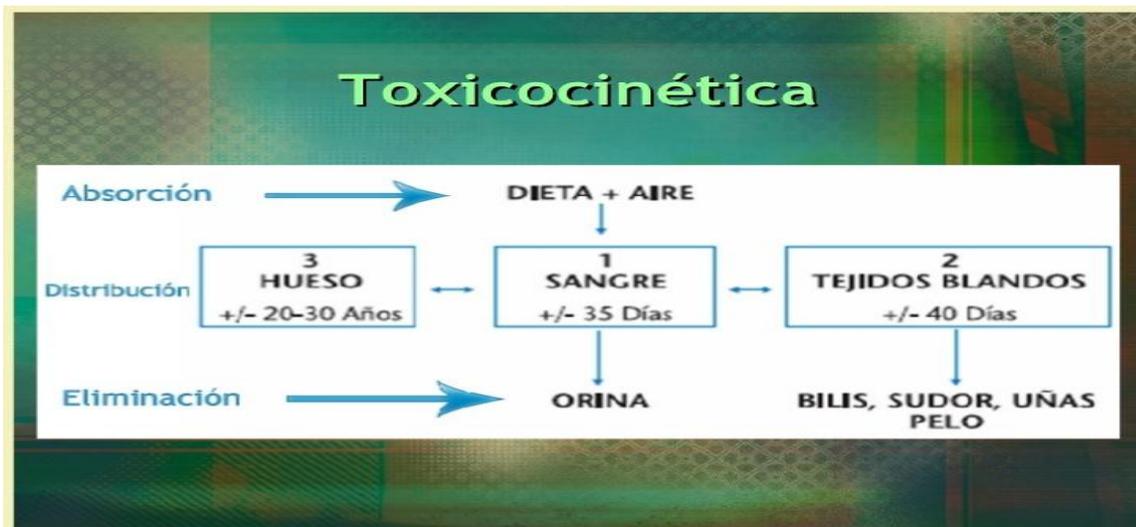


Gráfico N°2 **Toxicocinética del Plomo** [http://medicinainterna.org.pe/revista/revista\\_18\\_1\\_2005/Intoxicacion.pdf](http://medicinainterna.org.pe/revista/revista_18_1_2005/Intoxicacion.pdf)

## 2.1.5 Toxicodinamia

El plomo tiene gran afinidad por grupos de imidazol, sulfhídrico, amino, carboxilo y fosfato, y como consecuencia de ello presenta una fuerte unión a las membranas biológicas, proteínas y numerosas vías metabólicas como la fosforilación oxidativa y la síntesis de la hemoglobina. <sup>(7)</sup>

La inhibición de pirimidim-5-nucleotidasa la podría ocasionar depósitos de ácidos nucleicos en los hematíes ocasionando el punteado basófilo de los hematíes. El plomo es desmielinizante y puede ocasionar degeneración axonal. <sup>(7)</sup>

El saturnismo se produce anemia debido a las crisis hemolíticas, que destruye los hematíes, a la inhibición de la síntesis del grupo hemo de la hemoglobina y a la alteración del metabolismo de las porfirinas con acumulación de metabolitos tóxicos. La anemia que se produce es moderada, normo o hiperchroma. <sup>(11)</sup>

Inhibe la ATPasa sódica potásica incrementando la permeabilidad celular, la síntesis del ADN, ARN proteínas, el consumo de glucosa y respiración celular y las enzimas biotransformadoras. <sup>(8)</sup>

### **2.1.5.1 Mecanismo de toxicidad:**

El mecanismo de acción es complejo; en primer lugar, parece ser que el plomo interfiere en el metabolismo del calcio, sobre todo cuando el metal está en concentraciones bajas, el plomo altera el calcio de las siguientes formas:

- a) Reemplaza al calcio y se comporta como un segundo mensajero intracelular, alterando la distribución del calcio en los compartimentos dentro de la célula. <sup>(11)</sup>
- b) Activa la proteinkinasa C, una enzima que depende del calcio y que interviene en múltiples procesos intracelulares.
- c) Se une a la calmodulina más ávidamente que el calcio, ésta es una proteína reguladora importante.
- d) Inhibe la bomba de Na-K-ATPasa, lo que aumenta el calcio intracelular.

Finalmente, esta alteración a nivel del calcio traería consecuencias en la neurotransmisión y en el tono vascular lo que explicaría en parte la hipertensión y la neurotoxicidad. Por otro lado, el plomo es tóxico para las enzimas dependientes del zinc, los órganos más sensibles a la toxicidad son el sistema

hematopoyético, el sistema nervioso central y el riñón. Interfiere con la síntesis del hem. <sup>(12)</sup>

El Pb ingresa al organismo principalmente por vía respiratoria y gastrointestinal. Una vez en el torrente sanguíneo, se acumula dentro de los glóbulos rojos, donde interfiere en la síntesis del grupo hemo, ocasionando anemia. <sup>(6)</sup> (Ver figura N<sup>o</sup>2).

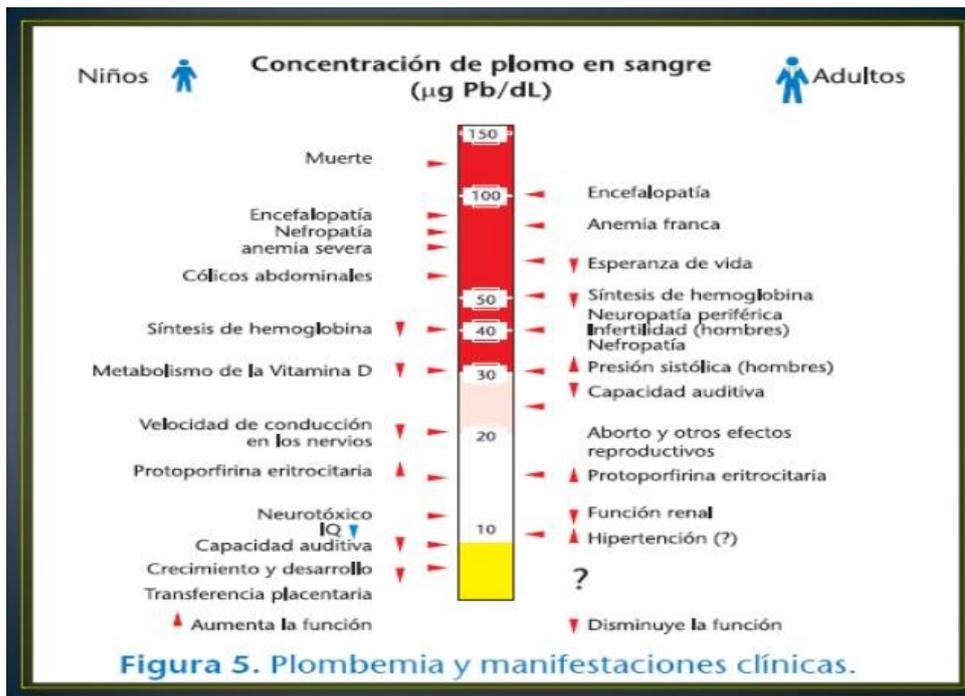


Figura N°2 Concentración del Plomo en sangre

## 2.1.6 Manifestaciones Clínicas

### 2.1.6.1 Intoxicación aguda

Las intoxicaciones agudas por compuestos de plomo se presentan en:

- ❖ Las alteraciones digestivas: dolores epigástricos y abdominales, vómitos, diarreas negruzcas y posteriormente la presencia de estreñimiento pertinaz. Excepcionalmente se han descrito casos de insuficiencia hepática aguda.
- ❖ Alteraciones hematológicas: anemia hemolítica.
- ❖ Alteraciones renales: insuficiencia renal aguda.
- ❖ Alteraciones neurológicas (encefalopatía saturnina). Es más frecuente en niños. Se manifiesta en forma de convulsiones, y coma, que puede conllevar a la muerte en días después de la intoxicación.

### 2.1.6.2 Intoxicación crónica

Los compuestos inorgánicos de plomo pueden ocasionar alteraciones: digestivas, hematológicas, neurológicas, renales, endocrinas y del sistema reproductor.

- ❖ La alteración digestiva se puede manifestar en forma de un cuadro abdominal agudo (cólico seco), con dolores intensos y difusos, vómitos y constipación. También se han descrito casos de hepatitis tóxicas.
- ❖ La anemia del saturnismo es debida a dos mecanismos: uno debido a la inhibición de la síntesis de la hemoglobina (inhibiendo las enzimas deltaaminolevulinicodehidrasa y la ferroquelatasa) y otro por hemolisis. Aparición de punteado basófilo.
- ❖ El plomo puede afectar al sistema nervioso central en forma de cefaleas, insomnio, alteraciones del carácter y de la memoria. También se ha relacionado la exposición al plomo con disminución del rendimiento escolar en niños. El plomo puede ocasionar una polineuropatía, de predominio motor que afecta principalmente las extremidades superiores.
- ❖ La evolución crónica puede desencadenar una nefropatía plúmbica con destrucción de las células tubulares y aparición posterior de fibrosis. También se ha relacionado la exposición al plomo con la aparición de hipertensión arterial. La gota saturnina podría ser debida a la inhibición de la actividad de la guanasa (aumentando las concentraciones de guanina insoluble y cristalizada en las articulaciones).
- Se han descrito casos de impotencia y alteraciones de los espermiograma (hipospermia y astenospermia), mientras que las mujeres expuestas al plomo presentan una mayor incidencia de esterilidad y abortos espontáneos. <sup>(13)</sup>

### **2.1.7. Efectos sobre la Salud**

El plomo puede causar varios efectos no deseados, como son:

- ✓ Perturbación de la biosíntesis de hemoglobina y anemia.
- ✓ Incremento de la presión sanguínea.
- ✓ Daño a los riñones.
- ✓ Abortos y abortos sutiles.
- ✓ Perturbación del sistema nervioso.
- ✓ Daño al cerebro.
- ✓ Disminución de la fertilidad del hombre a través del daño en el espermatozoide.
- ✓ Disminución de las habilidades del aprendizaje de los niños.
- ✓ Perturbación en el comportamiento en los niños, como es agresión, comportamiento impulsivo e hipersensibilidad.

El plomo puede entrar en el feto a través de la placenta de la madre. Debido a esto puede causar serios daños al sistema nervioso y al cerebro de los niños por nacer.

#### **2.1.7.1. Efectos agudos:**

Es poco frecuente y es a consecuencia de la ingesta de compuestos de plomo solubles en ácido o por la inhalación de vapores del mineral. Se suele presentar náuseas, dolor abdominal o en el vientre, vómito (quizás de aspecto lácteo por el cloruro de plomo). El excremento puede ser de color negro por el sulfuro de plomo. En el sistema nervioso central se presentan parestesias, dolor y debilidad muscular.

(8)

#### **2.1.7.2. Efectos crónicos:**

Conocido como plumbismo o saturnismo, se puede dividir en seis categorías:

### **2.1.7.2.1 Efectos en tubo digestivo:**

Afecta principalmente al músculo liso del intestino, el síndrome abdominal suele comenzar con síntomas imprecisos como anorexia, molestias musculares y cefalea, a veces hay diarrea. En los comienzos del síndrome suele haber un regusto metálico, al avanzar la intoxicación se puede intensificar la anorexia y el estreñimiento, pero el signo más saltante es el espasmo intestinal que ocasiona dolor abdominal intenso. Los ataques son paroxístmicos e intensísimos, los músculos del abdomen se vuelven rígidos y dolorosos, lo cual se manifiesta particularmente en la región del ombligo.

### **2.1.7.2.2. Efectos neuromusculares:**

La llamada “parálisis saturnina” que podría ser característico en los pintores de casas o en otros oficios. La debilidad muscular y la fatiga suelen aparecer mucho antes que la parálisis real. Los grupos musculares afectados suelen ser los más activos, tales como los extensores del antebrazo, carpo y dedos de las manos y músculos extra oculares.

### **2.1.7.2.3. Efectos en el Sistema Nervioso Central:**

La encefalopatía por plomo es la manifestación más grave de esta intoxicación y mucho más frecuente en niños que en adultos. Los signos pueden ser disminución del coeficiente intelectual, irritabilidad, somnolencia, insomnio, temblores, convulsiones persistentes, ataxia, parálisis de los pares craneales, debilidad muscular aguda, confusión, alucinaciones, hipertensión endocraneana con riesgo de herniación cerebral, llegando al coma y a la muerte. Se observan principalmente en los adultos. Se ha descrito neuropatía periférica y una disminución en la velocidad de conducción nerviosa en trabajadores del plomo asintomáticos. La neuropatía por plomo se considera una enfermedad de las neuronas matrices de la médula espinal, con degeneración de las terminales axónicas, que avanza el cuerpo neuronal. La parálisis evidente, con caída de la muñeca, solo se manifiesta como un signo tardío de la

intoxicación por plomo hacia torpeza, vértigo, ataxia, caídas, cefalea, insomnio, inquietud e irritabilidad.

(10)

#### **2.1.7.2.4. Efectos hematológicos:**

Una consecuencia hematológica más común de la intoxicación crónica por plomo es la anemia microcítica hipocrómica, se observa con mayor frecuencia en niños y guarda semejanza con la anemia por deficiencia de hierro. Al parecer esta anemia es consecuencia de dos factores: acortamiento de vida de los eritrocitos e inhibición de la síntesis de hemo. <sup>(11)</sup>

#### **2.1.7.2.5 Efectos renales:**

Se presenta en dos formas: un trastorno tubular reversible que suele observarse después de la exposición aguda de niños a plomo y una nefropatía intersticial irreversible que se presenta con más frecuencia en la exposición industrial prolongada a plomo. Desde el punto de vista clínico, se advierte un síndrome similar al de Fanconi, que incluye proteinuria, hematuria y cilindros en la orina.

#### **2.1.7.2.6 Otros efectos:**

Otros signos y síntomas del plumbismo son tono cenizo de la tez y palidez en los labios, aspecto de envejecimiento prematuro, un borde gingival que es negra, grisácea o azul oscuro por consecuencia del depósito de sulfuro de plomo en el

periodonto. También en varones expuestos al plomo se ha descrito un menor número de espermatozoides (hipospermia). <sup>(11)</sup>

### **2.1.7.2.7 Efectos carcinogénicos:**

Se ha demostrado repetidamente que la exposición al plomo produce cáncer en animales de laboratorio. Estudios epidemiológicos han encontrado un aumento significativo para varios tipos de cáncer (estómago, pulmón y vejiga). Por ello, queda abierta todavía la cuestión de una eventual acción mutágena y cancerígena del plomo.

### **2.1.8. Tratamiento**

Las convulsiones suelen tratarse con diazepam o fenilhidantoína; el edema cerebral se combate con manitol y dexametasona o hiperventilación controlada. Se tiene que medir la concentración de plomo en sangre antes de iniciarla administración de quelantes. El tratamiento con quelantes está indicado en sujetos sintomáticos o en aquellos cuyas concentraciones de plomo en sangre exceden los de 50 a 60  $\mu\text{g}/100$  mL. Por lo común, el calcioedetato sódico y el dimercaprol se utilizan en combinación contra la encefalopatía saturnina.

#### **a) Calcioedetato sódico**

Se inicia la administración con una dosis de 30 a 50 mg /kg /día en dos fracciones, seguida de aplicación intramuscular profunda o goteo intravenoso lento durante cinco días consecutivos. Cada ciclo de tratamiento con el edetato no debe rebasar una dosis total de 500mg/Kg. Es importante medir el gasto urinario, porque al parecer el complejo de quelante-plomo es nefrotóxico. Este tratamiento alivia los síntomas a muy corto plazo.

#### **b) Dimercaprol**

Se aplica por vía intramuscular en una dosis de 4 mg/kg cada cuatro horas durante 48 horas, para seguir con la administración cada 6 horas por otras 48 horas, y por último cada 6 a 12 horas durante 7 días más.

### c) D-Penicilamina

Es eficaz por la vía oral y puede incluirse en el régimen en dosis de 250mg cuatro veces al día durante 5 días. En la administración crónica, la dosis no debe exceder de 40 mg /kg /día.

### d) Succímero

Es el primer quelante de plomo que es activo por vía oral; puede administrarse con inocuidad a niños y muestra un perfil de eficacia superior al de la D-Penicilamina. Por lo común se da cada 8 horas (10 mg /kg) durante 5 días, y luego cada 12 horas por dos semanas más. <sup>(14)</sup>

## 2.1.9 Reportes de intoxicaciones e investigaciones sobre plomo

### 2.1.9.1 Perú:

La cuenca del río Moche se ubica en la Costa Norte del Perú, pertenece a la vertiente del Pacífico y drena un área total de 2708 km<sup>2</sup>. Políticamente se localiza en el Departamento de La Libertad, comprendiendo parte de las Provincias de Trujillo, Otuzco, Santiago de Chuco.

La contaminación de las aguas continentales es un problema de escala mundial, principalmente debido al impacto de los relaves mineros. Utilizando tecnologías de punta, como plantas de neutralización de aguas ácidas, muchas empresas están mitigando el impacto de su funcionamiento; por lo que tomando como referencia los cambios en la concentración de metales pesados presentes en aguas, suelos y cultivos de la cuenca alta, media y baja del río Moche, se realizaron muestreos de agua en ocho estaciones del río Moche (Trujillo, Perú), y en cuatro sectores de sus márgenes para suelos y cultivos. Los metales pesados más representativos en el agua se presentaron en el Cuenca Alta durante el año de 1980: **plomo** (100.375 ppm), **arsénico** (9.000 ppm), hierro (557.500 ppm), cadmio (4.550 ppm), cobre (6.900 ppm), zinc (262.900 ppm) y; mientras que en los suelos las mayores concentraciones se

encontraron en la margen derecha de la Cuenca Baja para el año 1980: **plomo** (0.820 mg/kg); **arsénico** (0.016 mg/kg); hierro (83.400 mg/kg); cadmio (0.012 mg/kg); cobre (1.240 mg/kg); zinc (0.380 mg/kg) y; en relación con la acumulación de metales en los cultivos, el hierro (0.6525 mg/kg) fue el de mayor predominio, siendo la yuca (*Manihotesculentus*) el cultivo donde se presentó. Los análisis químicos se realizaron en el Laboratorio de Métodos Instrumentales de Análisis de la Facultad de Ingeniería Química de la Universidad Nacional de Trujillo, Perú. Se determinaron la concentración de: Fe, Cu, Cd, Pb, Zn y As, siguiendo la metodología de espectrofotometría de absorción atómica. Se concluye que la mayor contaminación a nivel del análisis de agua se presentó en la cuenca alta y durante el año de 1980; mientras que la margen derecha de la cuenca media presentó los mayores niveles de contaminación en las muestras de suelos; así como a nivel de los cultivos, la yuca (*Manihotesculentus*) fue la especie más contaminada.

Durante el desarrollo de este trabajo se realizó la cuantificación de arsénico, cadmio y plomo en las aguas del río Santa en el tramo adyacente al Pasivo Ambiental Minero de Recuay, Ticapampa, en la provincia de Recuay el cual forma parte del departamento de Ancash. Las muestras de agua, se tomaron en nueve (09) puntos consecutivos que están conformados además de tres (03) blancos (viajero, muestreo y lago), analizándose la concentración de los metales en mención en cada punto por el método de **Espectrofotometría de Absorción Atómica**. La concentración de arsénico fue 0,0404 mg/L, del plomo 0,6402 mg/L y del cadmio 0,0396 mg/L; siendo todos ellos superiores a los Límites Máximos Permisibles establecidos por los “Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para Agua” del Ministerio del Ambiente. Según los resultados obtenidos. <sup>(11)</sup>

El estudio comprueba que parte de la contaminación del río Santa es provocada principalmente por la descarga residuos mineros que están ubicados a lo largo de todo su cauce (en el tramo de Ticapampa – Recuay), ya que usan el río Santa como vía de eliminación de sus residuos. En lo que respecta en los análisis de los sedimentos, los valores de concentración de los metales pesados se encuentran en niveles de concentración que evidencian diferentes grados de toxicidad tomadas en base a los límites permisibles. Se comprueba que la contaminación por Pb, Cd, y As, tienen origen minero, siendo estos vertidos en las aguas del río y las principales fuentes de

contaminación por metales pesados. Se determinó que el agua del río Santa, está contaminada y no es adecuada para el uso y consumo humano.

### **2.1.9.2 Argentina:**

Diferentes estudios han demostrado la importancia del problema y la existencia de personas afectadas en la población. En 1998, Piola y col. Describieron que, la intoxicación crónica por Pb es la enfermedad laboral de origen tóxico más frecuente en Rosario y zonas de influencia, en 2009, determinaron niveles de plomemias preocupantes en la población pediátrica en La Plata, provincia de Buenos Aires. Los factores de riesgo asociados a dichas concentraciones fueron la deficiencia de hierro y el desarrollo en el hogar de actividades relacionadas con la manipulación de Pb. Un estudio realizado en 2012 por Martínez y col, en niños de la Ciudad de Córdoba, mostró una reducción sustancial de exposición a Pb con respecto a lo reportado por Hansen y col en el año 1999. En esa oportunidad, no existía la prohibición de Pb en las naftas y el 26,7% de los niños presentó plomemias superiores a 10 µg/dL, mientras que en la actualidad sólo el 3,72% de los niños presentaron esos valores.

### **2.1.9.3 Santo Domingo:**

El Río Hondo es un cuerpo de agua importante para el estado de Quintana Roo, especialmente en el sur por su condición de frontera natural con Belice. Tiene una extensión de 160 kilómetros con anchura y profundidad de 50 y 10 metros respectivamente. Sus efluentes más importantes son el Río Azul y corrientes como la de San Román, arroyo Sabido y Chac; este último desemboca en la Bahía de Chetumal. En el poblado de Álvaro Obregón de la ribera del Río Hondo se encuentra el ingenio azucarero “San Rafael de Pucté”. Existen posibilidades que sus descargas desemboquen directamente en el Río y por ello, tenemos altas probabilidades de contaminación por metales pesados. Para determinar la concentración de metales pesados en el Río Hondo se muestrearon a nivel de epilimnion los siguientes puntos: Ramonal, Palmar, Sacxan, Subteniente López, y desembocadura del río Hondo (Villas Manatí). La determinación fue realizada por **Espectrometría de Absorción Atómica** con Llama de acuerdo a la norma ISO-11047, 1998. El resultado obtenido fue que en

la desembocadura del Río Hondo se presentó mayor incidencia de cadmio y mercurio. El plomo, no se encontró en la zona cañera, pero en Subteniente López arrojó una concentración de 1.2 µg/L. El arsénico presentó una mayor concentración (53 µg/L) en la desembocadura del Río Hondo.

### **Las Fuentes de Contaminación del río Cañete**

El río Cañete está expuesto a varios factores de contaminación como es la minería clandestina informal llamada Empresa Hidroeléctrica Celepsa, que contamina el río mediante el drenaje de sus residuos dando como resultado un color oscuro y olor fétido, posiblemente el río se llegue a contaminar con estos metales; produciendo el riesgo en la población, pudiendo adquirir enfermedades irreversibles. Por lo tanto, las autoridades no hacen nada al respecto. Otro factor de contaminación son los insecticidas que se utilizan para las plantas pueden contaminar el río, sabiendo que es el agua de consumo humano indispensable para la población.

## **2.2 ARSÉNICO**

### **2.2.1 Descripción**

El arsénico es un elemento químico cuyo número de átomo es 33 y su peso atómico es 74.19. Fue descubierto en el siglo XIII por Alberto Magno. Es un metaloide que puede presentarse en tres estados alotrópicos: gris, negro y amarillo. El más estable es el gris, como una masa cristalina, de aspecto metálico, brillante y frágil. El estado negro es un polvo amorfo que a 360<sup>0</sup>C se convierte al estado gris. El arsénico amarillo es una forma cristalina meta estable que se oxida temperatura ambiente por la acción del aire y revierte al estado gris por la acción de la luz y forman óxidos de tipo anfótero los compuestos más utilizados en la industria son el anhídrido arsénico, arseniato de calcio, tricloruro de arsénico y los arsenitos. <sup>(16)</sup>

Los compuestos arsenicales tienen una larga historia como agentes medicinales y venenos. Su uso medicinal fue descrito desde el año 400 A. C. Por Hipócrates, quien recomendó la aplicación una pasta de rejalgar (AsS) para tratar úlceras cutáneas. Durante la Edad Media, las propiedades tóxicas del arsénico fueron muy utilizadas y

el arsénico blanco (trióxido de arsénico) fue el veneno de elección, por su alta toxicidad. Durante la primera guerra mundial, se desarrollaron y utilizaron como armas químicas los gases arsenicales, entre ellos el gas Lewisita (clorovinil- dicloroarsina), que es un potente agente vesicante, irritante local y tóxico sistémico. A principios de este siglo, los arsenicales orgánicos se emplearon para combatir enfermedades como la tripanosomiasis y la sífilis, y algunos compuestos de arsénico inorgánico, para el tratamiento de enfermedades cutáneas crónicas, anemia, leucemia y enfermedades pulmonares.

El arsénico no es soluble en agua, pero sí en los ácidos fuertes. Los minerales más corrientes de arsénico en la naturaleza son los sulfuros (rejalgar, oropimente, etc.). El arsénico se oxida fácilmente en presencia de humedad, recubriéndose de una capa de anhídrido arsenioso. Su combustión da también humos de anhídrido arsenioso, muy tóxicos. Reacciona con los halógenos, formando trihalogenuros; <sup>(5)</sup>

El arsénico no tiene color, ni sabor, ni olor, por lo tanto, no se puede detectar si está presente en el agua, comida, o aire. Pueden ser orgánicos, cuando se halla combinado con carbón ó hidrógeno. Inorgánico, cuando se combina con oxígeno, cloro, o sulfuro; la importancia radica en que el arsénico orgánico es menos tóxico. Existen tres grandes grupos de compuestos de arsénico, compuestos de arsénico inorgánico, orgánico y el gas arsina. Se presentan en varios estados de oxidación como semimetálico, o en forma de iones como arseniato  $As^{+5}$ , arsenito  $As^{+3}$  y arsina  $As^{-3}$ . <sup>(5)</sup>

El arsénico se encuentra principalmente en los minerales sulfurosos. La arsenopirita ( $FeAsS$ ) es la forma más abundante. En estado oxidado el As puede tener las valencias  $+3(As(III))$  y  $+5(As(V))$ . Los compuestos de As (III) forman derivados piramidales con un par de electrones no compartidos, lo que le permite formar complejos con ácidos de Lewis y metales de transición. En contraste, los compuestos de As (V) tienen una estructura trigonal bipyramidal, en la cual los enlaces axiales suelen ser más largos que los ecuatoriales. El As (V) no tiene electrones no compartidos, lo que probablemente contribuye a su estabilidad en la naturaleza. <sup>(16)</sup>

El arsénico forma compuestos inorgánicos y orgánicos. Se presenta en varios estados de oxidación, como semimetálico, As (0) o en forma de iones como arseniato  $As^{+5}$ ,

arsenito  $\text{As}^{+3}$  y arsina  $\text{As}$ . Por eso funciona como metal por ejemplo en el sulfuro de arsénico y como metaloides o semimetal en los arseniuros como el de hierro ( $\text{As}_2\text{Fe}$ ). Además de la forma elemental, el átomo de arsénico se presenta en estados de oxidación pentavalente y mucho más frecuentes como compuestos trivalentes, solubles y muy tóxicos. Los principales compuestos inorgánicos de arsénico son:

a) Arsenicales Inorgánicos

- Trióxido de arsénico ( $\text{As}_2\text{O}_3$ ). Es el arsenical más tóxico.
- Acido arsenioso ( $\text{HAsO}_2$ ).
- Arsenitos.
- Pentóxidos de arsénico ( $\text{As}_2\text{O}_5$ ).
- Acido arsénico ( $\text{H}_3\text{AsO}_4$ ).
- Arseniatos: Menos tóxicos que los arsenitos.

b) Arsenicales Inorgánicos.

- Ácido cacodílico
- Ácido arsenílico
- Arsenocolina
- Arsenocolina

c) Arsénico Gaseoso:

- Arsina

Conocido también como arsina ( $\text{AsH}_3$ ) arsemina, arsenamina, arseniuro de hidrógeno. La arsenamina es un gas incoloro de olor desagradable, venenosa, punto de fusión  $-113.5^\circ\text{C}$ , punto de ebullición  $-55^\circ\text{C}$ . Poco soluble en agua a diferencia del amoníaco, no es alcalino en solución; por efecto del calor se descompone en arsénico e hidrógeno. La intoxicación por arsenamina se caracteriza principalmente por poseer una acción intensamente hemolítica inclusive en concentraciones muy bajas, una concentración de 250 ppm puede ser mortal. También es depresor del S.N.C. Produce hepatitis y nefritis hemorrágica, necrosis tubular de los riñones. <sup>(17)</sup>

## 2.2.2 Fuente y Vías de Exposición

El arsénico, en fuentes naturales se presenta en forma de rocas sedimentarias y rocas volcánicas, (forma el 0,00005% de la corteza terrestre) y también en aguas geotermales; además se presenta en la naturaleza con mayor frecuencia como sulfuro de arsénico llamado oropimente ( $\text{As}_2\text{S}_3$ ) y arsenopirita ( $\text{FeAsS}$ ) que se encuentran como impurezas de los depósitos mineros, o como arsenato o arsenito en las aguas superficiales y subterráneas. Este elemento mencionado en las fuentes naturales se encuentra como pentavalente, mientras que los derivados que provienen de la actividad del hombre, su forma más usual es la trivalente. Estos derivados pasan al medio ambiente a consecuencia de su uso como insecticidas, herbicidas, esterilizantes del suelo, decolorantes de vidrio, defoliantes, antiparasitarios y como descarga industrial de fundiciones minerales. También es empleado bajo la forma de compuestos orgánicos en veterinaria y medicina. La principal vía de dispersión del arsénico en el ambiente es el agua. El arsénico en aguas naturales frescas es muy variable y probablemente depende de las formas de arsénico en el suelo local. <sup>(16)</sup>

El arsénico se encuentra como materia de desecho en muchos minerales; también puede ser liberado al ambiente por la actividad volcánica, la erosión de depósitos minerales y por diversas actividades humanas. Además de su presencia natural en pequeñas cantidades en prácticamente todos los ecosistemas, las principales actividades humanas que liberan este elemento al ambiente son el uso de combustibles fósiles en plantas termoeléctricas, los procesos de fundición y refinación de metales no ferrosos (plomo, zinc y cobre), el uso para la protección de maderas, en especial el método conocido como cobre-cromo-arsénico, la manufactura de semiconductores a base de arseniuro de galio e indio para la industria electrónica y el almacenamiento inadecuado de desechos industriales que contienen arsénico. Por lo común, las aguas superficiales tienen bajo contenido de arsénico, en cambio en el caso de vertientes calientes, dichas concentraciones pueden ser muy elevadas.

Fuentes naturales, el arsénico es un elemento natural de la corteza terrestre; ampliamente distribuido en todo el medio ambiente, está presente en el aire, el agua y la tierra. En su forma inorgánica es muy tóxico. Al arsénico se le encuentra en estado natural como mineral de cobalto, aunque por lo general está en la superficie de las rocas combinado con azufre o metales como Mn, Fe, Co, Ni, Ag o Sn. El principal mineral del arsénico es el  $\text{FeAsS}$  (arsenopirita); otros arseniuros metálicos son los minerales  $\text{FeAs}_2$  (löllingita),  $\text{NiAs}$  (nicolita),  $\text{CoAsS}$  (cobalto brillante),  $\text{NiAsS}$

(gersdorfita) y  $\text{CoAs}_2$  (esmalta). Los arseniatos y tioarseniatos naturales son comunes y la mayor parte de los minerales de sulfuro contienen arsénico. La  $\text{As}_4\text{S}_4$  (realgarita) y  $\text{As}_4\text{S}_6$  (oropimente) son los minerales más importantes que contienen azufre. <sup>(18)</sup>

Fuentes antropogénicas, son los procesos industriales. El arsénico se utiliza industrialmente como agente de aleación, y también para el procesamiento de vidrio, pigmentos, textiles, papel, adhesivos metálicos, protectores de la madera y municiones. El arsénico se emplea asimismo en los procesos de curtido de pieles, aditivos para piensos, productos farmacéuticos, pesticidas (arsenato de plomo, arsenato cálcico o arsenito sódico), como herbicidas (arsenatomonosódico, ácido dimetil arsénico o ácido cacodílico), como desecante de algodón (ácido arsénico) y como conservante de madera (arsenato de cinc y cromo). Sirve también para modificar el color del vidrio, para la fabricación de vidrio ópalo y esmaltes, y para la purificación de gases industriales. El arsénico elemental se utiliza también en la fabricación de diversas aleaciones con el fin de aumentar su dureza y su resistencia al calor. <sup>(17)</sup>

El arsénico elemental tiene pocos usos. Es uno de los pocos minerales disponibles con un 99.9999+ % de pureza. En el estado sólido se ha empleado ampliamente en los materiales láser GaAs y como agente acelerador en la manufactura de varios aparatos. Los sulfuros de arsénico se usan como pigmentos y en juegos pirotécnicos. Las personas que fuman tabaco también pueden estar expuestas al arsénico inorgánico que contiene el tabaco natural, ya que las plantas de tabaco absorben esencialmente el arsénico presente de forma natural en el suelo.

### **2.2.3 Aspecto Legal del Arsénico**

#### **2.2.3.1 Antecedentes de la determinación del valor de referencia:**

Las Normas internacionales para el agua potable según la OMS en 1958 recomendaron una concentración máxima admisible de arsénico de 0,2 mg/L, basándose en sus posibles efectos perjudiciales para la salud. En las Normas internacionales de 1963 se redujo este valor a 0,05 mg/L, el cual se mantuvo como límite superior provisional de concentración en las Normas internacionales de 1971.

El valor de referencia de 0,05 mg/L también se mantuvo en la primera edición de las Guías para la calidad del agua potable, publicada en 1984. En las Guías de 1993 se fijó un valor de referencia provisional para el arsénico en el límite práctico de cuantificación de 0,01 mg/L, basándose en la preocupación por su capacidad cancerígena en el ser humano. La evaluación de riesgos se realizó en 2003. <sup>(1)</sup>

### **2.2.3.2. OMS -Las Guías para la Calidad del Agua Potable (2006)**

Explican los requisitos necesarios para garantizar la inocuidad del agua, incluidos los procedimientos mínimos y valores de referencia específicos, y el modo en que deben aplicarse tales requisitos. Asimismo, describe los métodos utilizados para calcular los valores de referencia, e incluye hojas de información sobre peligros microbianos y químicos significativos. Las Guías se consideran reflejo de la opinión oficial del sistema de las Naciones Unidas sobre cuestiones relativas a la calidad del agua y la salud. La finalidad principal de las Guías para la calidad del agua potable es la protección de la Salud Pública. El límite máximo permisible establecido para arsénico en agua potable es: 0,01 mg/L.

En el Perú mediante Decreto Supremo N° 031-2010-SA (publicado en el Diario El Peruano el 26 de setiembre de 2010) se aprobó el “Reglamento sobre Calidad del Agua para Consumo Humano”. A través del cual se busca proteger y promover la salud y bienestar de la población. En dicho documento se proporciona al Ministerio de Salud los instrumentos de gestión para conducir la política y la vigilancia de la calidad del agua para consumo humano. <sup>(1)</sup>

El objetivo del Reglamento es establecer el marco normativo de la gestión de la calidad del agua; en su vigilancia sanitaria; control y supervisión. También en la fiscalización, autorizaciones, registro y aprobaciones sanitarias respecto a los sistemas de abastecimiento de agua; así como los requisitos físicos, químicos, microbiológicos y parasitológicos del líquido elemento, y la difusión y acceso a la información sobre la calidad del agua para consumo humano. Se precisa además que los proveedores que estén operando sistemas de abastecimiento de agua para consumo humano deberán implementar un Programa de Adecuación Sanitaria para cumplir con las normas técnicas y formales establecidas. El límite máximo permisible establecido para

arsénico en agua potable es: 0,01mg/L. <sup>(1)</sup> **Norma Técnica Peruana NTP 214.003 (NTP).**

Los estándares asumidos para la calidad de agua potable se encuentran dentro de esta norma y es dada por la INDECOPI.

Este establece los requisitos físicos, químicos, organolépticos y microbiológicos que debe cumplir el agua para ser considerada potable. (Ver cuadro N<sup>o</sup> 2).

Cuadro N<sup>o</sup> 2 Comparación de Valores de Referencia para Arsénico (OMS, UE vs. LMP)

VALORES DE REFERENCIA PARA ARSÉNICO			
Parámetro	Estándares de la OMS	Estándares Europeos	Límite Máximo Permisible en Perú
Arsénico (As)	0,01mg/L	0,01mg/L	0,01mg/L

Parámetro	OMS	Argentina	Brasil	Chile	Colombia	México	Perú	USA	UE
Arsénico mg/L	<b>0.01</b>	0.05	0.05	0.12	0.01	0.025	<b>0.05</b>	<b>0.01</b>	<b>0.05</b>

## 2.2.4 Toxicocinética

Las principales vías de entrada del Arsénico al organismo son el tracto gastrointestinal (TGI) y el respiratorio. La absorción por vía dérmica es baja y alcanza solamente el 2%.

### 2.2.4.1 Absorción:

En los seres humanos, y en la mayoría de las especies animales, la absorción de compuestos arsenicales a través del tracto gastrointestinal (TGI) es alta (95%) cuando

se administra en solución acuosa. La absorción de arsénico por vía respiratoria depende del tamaño de las partículas inhaladas (ya que el arsénico se encuentra en el aire como partícula) de su solubilidad y de la forma química del compuesto. La principal forma química presente en el aire es el arsénico (III), en cual es de forma antropogénico. Las partículas grandes se depositan en las vías superiores, son removidas por el movimiento ciliar y transportadas al TGI, en donde son absorbidas dependiendo de su solubilidad. Las partículas menores de 7 $\mu$ m se absorben en un 75 a 85%.<sup>(19)</sup>

En microorganismos puede ocurrir una tercera metilación, que genera compuestos trimetilados, los cual se consideran poco tóxicos. El metabolismo de los arsenicales orgánico es pobre, solo un 13 % del MMA (V) se convierte a DMA; sin embargo, una vez que los arsenicales han sido metilados no son desalquilados.

Varios factores pueden influir en la capacidad de metilación de arsénico, entre ellos dosis y tiempo de exposición, una dieta alta de metionina, proteínas y probable polimorfismo genético de las enzimas metilantes. Se ha encontrado un incremento significativo en la cantidad de MMA y una disminución en el contenido de DMA que son excretados en la orina de individuos que han estado expuestos crónicamente a altas concentraciones de arsénico en agua de bebida.<sup>(20)</sup>

#### **2.2.4.2 Distribución:**

La información sobre la distribución en humanos es principalmente de datos de autopsia. Se distribuye en todos los tejidos del cuerpo, se encuentra en mayor concentración en el hígado y riñón, pero también se encuentra en músculos, hueso, corazón, pulmones, páncreas, bazo, cerebro, piel, cabellos y uñas. Los datos sobre los efectos de la valencia y nivel de exposición de arsénico en la distribución en los tejidos indican que los niveles de arsénico en los riñones, hígado, bilis, cerebro, huesos, piel y la sangre son de 2 a 25 veces más para las formas trivalentes que para las formas pentavalentes y aumentan en gran medida a dosis más altas. El As+5 muestra un comportamiento parecido al del fosfato, pero difiere con este en la estabilidad de sus ésteres. Los ésteres del ácido fosfórico son estables, lo que permite la existencia del ácido desoxirribonucleico (ADN) y la adenosina 5-trifosfato (ATP). En cambio, los ésteres ácidos de As+5 son hidrolizables. Las enzimas pueden aceptar al

arsenato e incorporarlo en compuestos como el ATP, pero los compuestos análogos formados se hidrolizan inmediatamente por ello, el arsenato puede inactivar el metabolismo oxidativo de la síntesis del ATP. En contraste, el As+3 tiene alta afinidad con los grupos tioles de las proteínas y puede inactivar una variedad de enzimas, como la piruvato deshidrogenasa y 2-oxoglutarato deshidrogenasa. En cambio, el monometilarsónico (MMA) y el dimetilarsínico (DMA) no forman enlaces fuertes con las moléculas biológicas humanas. Esto explica por qué su toxicidad aguda es menor que la del arsénico inorgánico. <sup>(16)</sup>

### **2.2.4.3 Biotransformación:**

Dos procesos están involucrados en el metabolismo: el primero son las reacciones de oxidación/reducción que convierten el arsenato (V) en arsenito (III) y el segundo son las reacciones de metilación oxidativa que transforma el arsénico (III) en especies metiladas, las cuales convierten el arsenito a monometilarsónico (MMA) y dimetilarsínico (DMA) ambas especies metiladas. De esta manera el cuerpo humano tiene la habilidad de cambiar el arsénico inorgánico a formas orgánicas menos tóxicas (MMA y DMA) y esta es excretada más rápidamente en la orina que las formas inorgánicas. El metabolismo de arsénico en niños es menos eficiente que en los adultos. Es posible que, en la exposición de arsénico a largo plazo, la metilación y excreción sean más eficientes en varios meses de exposición. Se cree que este mecanismo tiene un límite de dosis superior, que cuando se satura, resulta una mayor incidencia de la toxicidad del arsénico. La reducción de arseniato a arsenito puede ser mediada por glutatión. Estudios invitro muestran que el glutatión forma complejos con arsenito y Arseniato, oxidando al glutatión y reduciendo al arseniato en la reacción glutatión-arsenato. El principal sitio de metilación es el hígado donde este proceso es mediado por enzimas que utilizan al S-adenosilmetionina como co-sustrato. El proceso de metilación es considerado como un mecanismo de desintoxicación, ya que las especies metiladas del arsénico son menos tóxicas que el arsénico inorgánico y se logra una menor acumulación de arsénico inorgánico en los tejidos. Este proceso de metilación al ser enzimático podría saturarse con elevadas dosis de arsénico lo que resulta una mayor acumulación de arsénico inorgánico en los tejidos. Sin embargo, todavía no hay estudios que avalen eso. <sup>(21)</sup> (Ver figura N° 3).

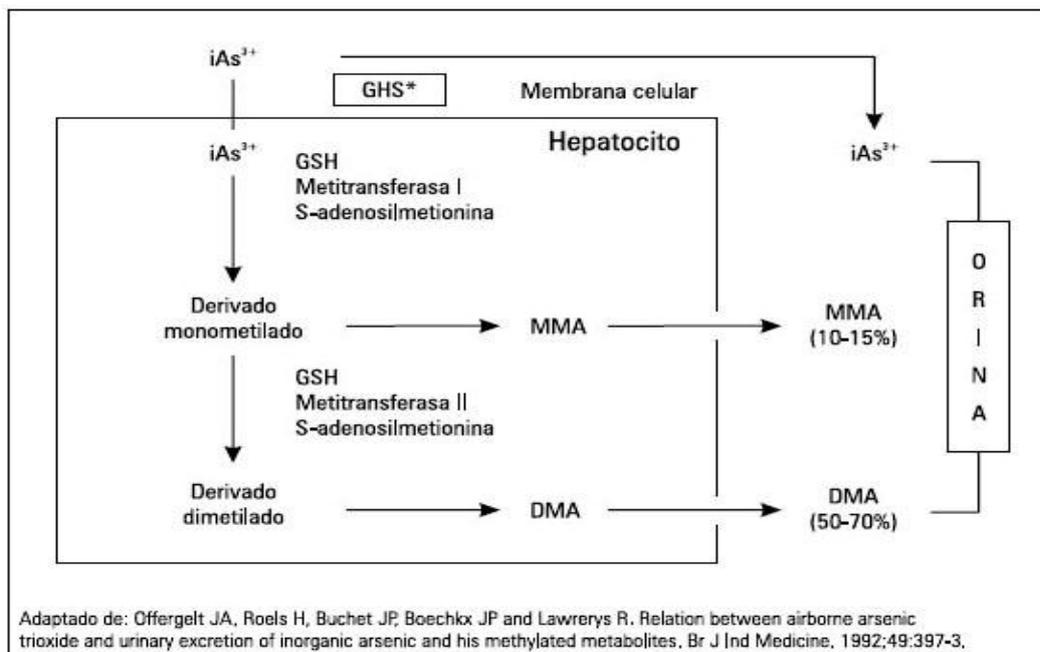


Figura 3. Biotransformación del arsénico inorgánico. GHS\* = Glutacion Sulfhidrilol

#### 2.2.4.4 Eliminación:

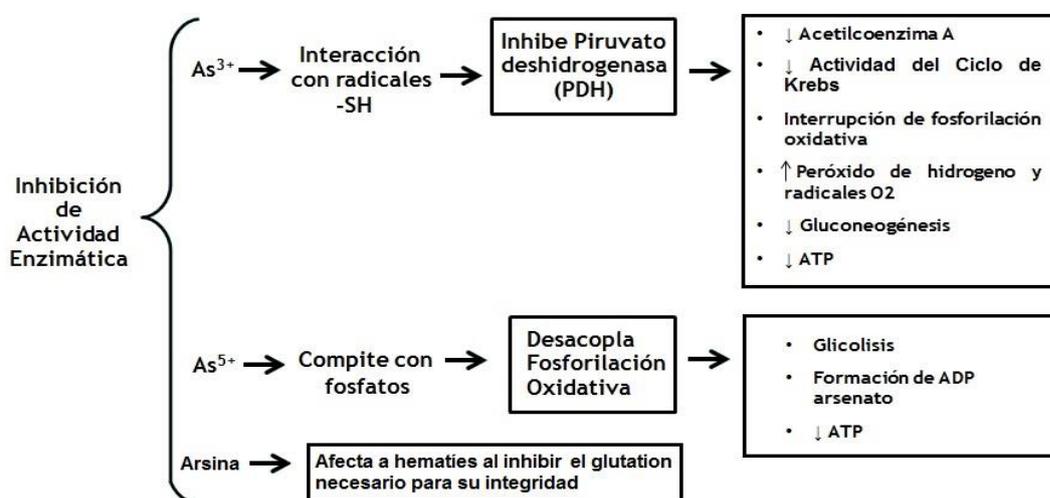


Gráfico N°3 Inhibición de Actividad Enzimática.

El arsénico se elimina principalmente por el riñón en forma de Dimetil – arsénico (DMA) en 50-70%. Una parte 20% se excreta sin metilar en la orina. El arsénico tiene una vida corta. Las proporciones relativas de arsénico (III), arsénico (V). monometil

- arsónico (MMA) y dimetil –arsínico (DMA) en la orina puede variar, dependiendo de la forma química, el tiempo de exposición, la dosis y la especie animal expuesta.

### **2.2.5 Toxicodinamia**

La toxicidad del arsénico es compleja pues depende de la vía de exposición, del estado de valencia y de la forma química (inorgánica u orgánica) del compuesto. El arsénico inorgánico es el responsable de la mayoría de los casos de intoxicación en humanos. El gas arsina es considerado como la forma más tóxica del arsénico, lo que se debe a su actividad como potente agente hemolítico, sin embargo, este gas difícilmente alcanza niveles tóxicos en el ambiente. En cuanto a las especies oxidadas, generalmente las sales inorgánicas de arsénico (III) son más tóxicas que las de arsénico (V) y la solubilidad de los compuestos de arsénico inorgánico está relacionada con su toxicidad. <sup>(22)</sup>

La escala de toxicidad del arsénico decrece en el siguiente orden: arsina > As +3 inorgánico > As+3 orgánico > As+5 inorgánico > As+5 orgánico > compuestos arsenicales y arsénico elemental. La toxicidad del As+3 es 10 veces mayor que la del As+5 y la dosis letal para adultos es de 1 - 4 mg As/Kg. Para las formas más comunes como AsH<sub>3</sub>, As<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, As<sub>2</sub>O<sub>5</sub> esta dosis varía en un rango entre 1,5 mg/Kg y 500 mg/kg de masa corporal.

#### **2.2.5.1. Mecanismo de toxicidad:**

El mecanismo más importante de la toxicidad de los arsenicales trivalentes a través de su “afinidad por los grupos sulfhidrilos” de las proteínas. Las enzimas son particularmente afectadas si el grupo sulfhidrilo (-SH) está ubicado en un sitio crítico para su actividad. El arsénico (V) puede substituir al grupo fosfato en las reacciones que son catalizadas enzimáticamente, afectando procesos como la producción de ATP y la síntesis del ADN; sin embargo, su contribución tóxica es difícil de evaluar pues el arsénico (V) se reduce a arsénico (III) en el organismo.

En el agua de bebida, por lo general el arsénico se encuentra en la forma de arseniato y puede ser absorbido con facilidad en el tracto gastrointestinal en una proporción entre 40 y 100%. El arsénico inorgánico ingerido pasa al torrente

sanguíneo, donde se enlaza a la hemoglobina y en 24 horas puede encontrarse en el hígado, riñones, pulmones, bazo y piel. Los órganos de mayor almacenamiento son la piel, el hueso y el músculo. Su acumulación en la piel tiene relación con su fácil reacción con las proteínas. <sup>(21)</sup>

### **2.2.6 Manifestaciones Clínicas**

La exposición al arsénico inorgánico puede causar varios efectos sobre la salud, como es irritación del estómago e intestinos, disminución en la producción de glóbulos rojos y blancos, cambios en la piel, e irritación de los pulmones. Es sugerido que la toma de significantes cantidades de arsénico inorgánico puede intensificar las posibilidades de desarrollar cáncer, especialmente de cáncer de piel, pulmón, hígado, linfa. Las principales rutas de exposición de las personas al arsénico son la ingesta e inhalación. Es acumulable en el organismo por exposición crónica, y ciertas concentraciones ocasionan alteraciones de la piel con efectos secundarios en los sistemas nervioso, respiratorio, gastrointestinal, y hematopoyético y acumulación en los huesos, músculos y piel, y en menor grado en hígado y riñones. Estudios toxicológicos y epidemiológicos confirman la información anterior e indican que la ingestión crónica de arsénico en el agua de bebida genera lesiones en la piel, la hiperpigmentación e hiperqueratosis palmo plantar, desordenes del sistema nervioso, diabetes mellitus, anemia, alteraciones del hígado, enfermedades vasculares, cáncer de piel, pulmón y vejiga.

El consumo de agua con B arsénico no conlleva a casos con efectos agudos, sino más bien conlleva a efectos crónicos y a la generación de arsenicismo, porque se ingieren pequeñas cantidades en el agua a largo plazo. El tratamiento involucra proporcionar al paciente agua de bebida libre de arsénico.

El siguiente paso es monitorearlo y asegurarse de que no esté expuesto a este elemento. Otros tratamientos propuestos son la quelación y la mejora de la nutrición.

<sup>(21)</sup>

En algunas especies de mamíferos se ha mostrado que el arsénico inorgánico y orgánico son teratogénicos y su administración oral afecta el crecimiento fetal y viabilidad prenatal. Un suplemento con alto contenido de arsénico en la dieta (por

ejemplo, 350 – 4 500 ng por gramo), afecta el crecimiento y reproducción en animales. Los estudios han determinado que la orina es el mejor biomarcador para medir la dosis absorbida de arsénico inorgánico ya que la sangre, cabello y uñas son menos sensibles a la exposición.

El desarrollo del arsenicismo de acuerdo con el tiempo de ingesta, según la OMS, es el siguiente:

**Estado pre clínico:** el paciente no muestra síntomas, pero el arsénico puede ser detectado en muestra de tejido y orina.

**Clínico:** etapa con efecto de la piel; se observa oscurecimiento de la piel (melanosis), comúnmente en la palma de la mano, manchas oscuras en el pecho, espalda, miembros y encías. Un síntoma más serio es la queratosis o endurecimiento de la piel en forma de nódulos en las plantas de los pies y manos. La OMS estima que cuando se ha llegado a esta etapa, significa que ha habido una exposición al arsénico de 5 a 10 años.

**Complicaciones:** síntomas clínicos más pronunciados, afectación de órganos internos; se ha reportado inflamación de hígado, riñones y bazo; también se le vincula en esta etapa con conjuntivitis, bronquitis y diabetes.

- Estrías blancas en las uñas (líneas de Mees-Aldrich)
- Isquemia al miocardio.
- Enfermedades vasculares periféricas (denominada enfermedad del “pienegro”)

#### **2.2.6.1 Intoxicación aguda del arsénico:**

**Malignidad:** Desarrollo de tumores o cánceres que afecta la piel u otros órganos. En esta etapa, la persona afectada puede desarrollar gangrena o cáncer de piel, pulmón o vejiga. <sup>(23)</sup>

En las dos primeras etapas, si el paciente reemplaza la fuente de agua de bebida por una libre de arsénico, su recuperación es casi completa. En la tercera etapa el daño puede ser reversible, pero en la cuarta ya no lo es. La intoxicación por arsénico (arsenicismo) se manifiesta de forma característica a lo largo de un periodo de 5 a 20 años. Como algunos efectos de la exposición al arsénico son irreversibles, la principal medida de salud pública consiste en prevenir la exposición humana. <sup>(22)</sup>

Los síntomas de la intoxicación aguda pueden aparecer en minutos o bien muchas horas después de la ingestión de entre 100 a 300 mg de As, aunque también es posible la inhalación de polvo de As o la absorción cutánea. **Hidroarsenicismo crónico regional endémico (HACRE):**

Se define como HACRE a la enfermedad producida por el consumo de arsénico en aguas de bebida. Esta enfermedad se caracteriza por presentar hiperqueratosis y otras lesiones dérmicas, así como alteraciones sistémicas cancerosas y no cancerosas luego de un periodo variable de exposición a concentraciones mayores de  $10\mu\text{g/L}^{-1}$  en agua de consumo diario (bebida y preparación de alimentos). Además, el consumo crónico de agua con arsénico es un factor de alto riesgo en relación con el cáncer de vejiga y pulmón, debido a la gran capacidad mutagénica, teratogénica y carcinogénica del arsénico. Se han encontrado también patologías vasculares de las extremidades inferiores, diabetes, hipertensión arterial y trastornos. <sup>(24)</sup>

Estudios recientes han demostrado que la población infantil expuesta arsénico en agua de bebida durante el periodo prenatal y posnatal, puede tener menor desempeño neurológico que los niños no expuestos.

En el periodo hiperhidrótico, los primeros síntomas aparecen después de residir un tiempo prolongado en las zonas endémicas. Existe sudoración en las palmas de las manos y plantas de los pies, descamación y prurito.

El periodo hiperqueratósico, es el síntoma más constante y evocador de la enfermedad, la hiperqueratosis puede ser difusa o localizada; las lesiones que pueden ser simétricas en palmas y plantas, pueden llegar a comprometer el dorso de manos y pies. El periodo melanodérmico, la piel muestra una serie de manchas que comienzan en el tronco y se extienden sin afectar las mucosas por todo el cuerpo. La pigmentación generalmente no es uniforme y puede variar, desde el bronceado al negro humo subsistiendo puntos de piel de color normal. <sup>(24)</sup>

En el periodo de complicaciones se puede producir una displasia inicial moderada a nivel de la piel que con el tiempo puede evolucionar a una displasia severa, que por lo general provoca la muerte.

### **2.2.6.2.1. Efectos Carcinogénicos:**

Desde fines del siglo XIX, el As fue una de las primeras sustancias reconocida como carcinógeno humano. En poblaciones humanas expuestas, el arsénico está asociado a tumores de piel y pulmones, pero también puede asociarse con tumores de vejiga, riñón e hígado.

A pesar de ser claramente un carcinógeno humano, su carcinogenicidad continúa siendo un enigma, se considera un carcinógeno humano, a pesar de que son “inadecuadas” las evidencias de su potencial carcinogénico en animales.

### **2.2.6.2.2 Tratamiento**

El tratamiento para la exposición a corto y largo plazo es muy similar, la terapia con quelantes comienza con dimercaprol (3 a 4 mg /kg por vía intramuscular cada 4 a 12 horas) hasta que desaparezcan los síntomas abdominales y se expulse el carbón vegetal activado (si se administró en un principio) por las heces. Cuando se llega a este punto es posible sustituir al dimercaprol por penicilamina ingerida y continuar el tratamiento durante cuatro días. La penicilamina debe administrarse en cuatro fracciones, hasta un máximo de 2g/día. Si reaparecen los síntomas después de interrumpir el uso de quelantes, cabe emprender un segundo ciclo con penicilamina.

### **2.2.7 Efectos sobre la Salud**

La mayor amenaza que conlleva el arsénico para la salud pública proviene del agua bebida, generalmente como resultado de la ingestión prolongada de agua con bajas concentraciones de arsénico inorgánico. Esa exposición está asociada a varios efectos crónicos, entre ellos problemas cutáneos tales como melanosis, queratosis, cáncer de piel; cáncer de vejiga, riñón y pulmón, y posiblemente diabetes, hipertensión arterial, trastornos reproductivos y menoscabo de desarrollo intelectual en la niñez.

La información publicada por la OMS ha generado una mayor vigilancia y el reconocimiento de que la contaminación natural con arsénico es un motivo de preocupación en diversos países y ciudades. <sup>(25)</sup>

### **2.2.7.1 Bangladesh:**

En los años 70, se perforaron más de un millón de pozos ante la grave contaminación de las aguas superficiales. El 95% de la población de aquel país infra desarrollado y uno de los más pobres del mundo, consume aguas subterráneas para beber. Según el informe en "El País" (22 de Julio del 2002), unos 300 millones de personas de Bangladesh beben agua con 2miligramos de arsénico por litro, 200 veces más que lo recomendado sanitariamente. Según el Hospital Público de la capital, Daca, hay confirmados unos 8000 casos de cáncer entre la población.

El Banco Mundial financió en 1998 un programa contra el arsénico con 32 millones de dólares. La O.M.S. recomienda que la presencia de arsénico no sea superior a 10 µg/litro. Desde 1998, ese es el nivel permitido por la UE. En el vértidode Aznalcóllar, el máximo alcanzado de arsénico fue de 0,2 mg/litro. Los pozos artesianos auspiciados por UNICEF y otras organizaciones humanitarias, llevaron la esperanza del agua al Golfo de Bengala, pero ahora aquellas gentes ven con dolor, como esa agua que aflora de la tierra, está envenenada, y su bebida puede acabar con sus vidas. Bangladesh está sufriendo el mayor envenenamiento masivo de una población en la historia debido a contaminación por arsénico en sus fuentes de abastecimiento de agua para consumo humano. Según una investigación de Allan H. Smith, Catedrático de Epidemiología de la Universidad de Berkley (California), entre 33 y 77 millones de habitantes de Bangladesh (con una población total de 300 millones) están en peligro. Smith provee en los próximos años un gran incremento de casos de enfermedades causadas por arsénico. Estas engloban desde lesiones cutáneas a cáncer de vejiga, riñón, pulmón y piel, incluso enfermedades cardiovasculares. Esto es debido a que el agua del subsuelo destinada al consumo humano ha sido contaminada con arsénico inorgánico. La magnitud de este desastre ambiental es mayor que cualquier otro ocurrido hasta el momento. Supera a los accidentes de Bhopal (India) y Chernobyl (Ucrania), ocurridos en 1984 y 1986 respectivamente (Smith).<sup>(25)</sup>

Basándonos en una concentración de arsénico de 0,25 mg/L en el agua del subsuelo, una persona que consuma 1500 ml de esta agua, habrá consumido al cabo de 10 años, 6g de arsénico procedente sólo del agua. Según la bibliografía consultada, entre 3 y 25 g de arsénico consumidos entre 1 y 22 años producen daños hepáticos en forma de cirrosis e hipertensión no cirrótica.

Un informe de la FAO sugiere que la presencia de arsénico en aguas subterráneas podría representar una amenaza aún más insidiosa, con base en un examen de estudios realizados en Bangladesh y en otras partes del informe concluye que las personas no sólo podrían estar expuestas al arsénico presente en el agua potable, sino de manera indirecta en los Cultivos alimentarios regados con aguas subterráneas contaminadas. “En los lugares donde hay una gran concentración de arsénico en el suelo y en el agua existe un alto contenido de arsénico en los cultivos”, dice SashaKoo-Oshima, Oficial de calidad del agua y medio ambiente de la FAO.

### **2.2.7.2 India:**

En 1978, una gran contaminación por arsénico en el agua de bebida de 30 millones de personas produjo lesiones dérmicas en más de 175000 individuos. Sin perjuicio de los efectos perniciosos del arsénico, se ha sugerido que podría haber otras causas añadidas de este desastre, pues concentraciones similares de arsénico no han producido una toxicidad tan exagerada en otros lugares. Barajándose que determinadas carencias nutricionales de la población (déficit de vitamina C y A, metionina) se asocien a un mayor efecto tóxico.

Los primeros casos de lesiones cutáneas inducidas por el arsénico se identificaron en 1983 en pacientes de Bengala Occidental; en 1987 se identificaron varios casos en pacientes del vecino Bangladesh. Entre las lesiones características figuran cambios de pigmentación de la piel, principalmente de la parte superior del tórax y de los brazos y piernas, y queratosis de las palmas de las manos y las plantas de los pies. Finalmente, con apoyo de la OMS, se analizaron las fuentes de agua utilizadas por los pacientes; la presencia de elevadas concentraciones de arsénico en el agua de bebida permitió confirmar el diagnóstico de morbilidad por arsénico.

El Comité Asesor de Ciencias de EEUA, en agosto de 1989 reporta que los datos de Taiwán son adecuados para concluir que las altas dosis de ingesta de arsénico pueden causar cáncer de piel, y el estudio de Taiwán no es concluyente para determinar riesgo de cáncer a los niveles ingeridos en los Estados Unidos.<sup>(25)</sup>

### **2.2.7.3. Chile:**

En 1998 se hizo un estudio de análisis de riesgo relacionado con el arsénico, requerido en la regulación ambiental de tóxicos.

El proyecto consistió en el desarrollo de la línea base de agua, alimentos y aire. El muestreo para el agua y alimentos se llevó a cabo en todo el país y el muestreo de aire en la zona norte y central y estos fueron relacionados con la información de línea base nacional sobre ingesta e inhalación.

Los resultados indicaron que en la zona norte el mayor aporte de arsénico a la exposición total proviene del agua potable (41,7% a 85,3%), lo que también sucede en Santiago y Rancagua (72,7% y 69,3%). En el sur, la dieta adquiere mayor importancia y en general la contribución del aire es de alrededor de 1%, con excepción de Copiapó donde es de 12,2%. En el norte se produce una mortalidad mayor por cánceres de pulmón, piel y vejiga. El estudio demuestra que los excesos de muertes en la zona norte se atribuyen en gran parte a la exposición al arsénico. Se reportaron riesgos relativos para diversos cánceres (vejiga urinaria, pulmón, hígado, riñón, laringe), enfermedades cardíacas, isquemias, enfermedades respiratorias crónicas y dermatosis arsenical crónica.

### **2.2.7.4 Estados Unidos:**

Más de 350000 personas beben agua cuyo contenido es mayor que 0,5 mg/L de arsénico, y más de 2,5 millones de personas están siendo abastecidas con agua con tenores de arsénico mayores a 0,025 mg/L. En Estados Unidos, el máximo nivel de Contaminante (MCL) permitido para arsénico en agua de bebida es de 50 ug/L establecido por el Servicio Público de Salud, desde 1942. En febrero de 1995 la Oficina de Agua de la USEPA propuso la revisión del MCL para arsénico y mediante el Acta de Agua segura para la salud de 1996, se desarrolla una estrategia de investigación con el fin de reducir las incertidumbres asociadas a la valoración de los riesgos, posponiendo la revisión del MCL para enero del 2000, los valores propuestos que se están evaluando son de 2,5, 10 y 20 µg/L y la reglamentación final se dará en enero del 2001.

En el agua de pozo de muchos sitios de los Estados Unidos se han encontrado concentraciones muy altas de dicho elemento (mayores de 0,05mg/L). Cavagnarocita

una gran cantidad de casos con concentraciones de alrededor de 0,3 mg/L, mucho mayores que las permitidas.

#### **2.2.7.5 Perú:**

Se ha realizado diversos estudios de investigación a nivel local de lo cual ha contribuido a un mejor panorama de la contaminación del arsénico en Lima y regiones, a continuación, detallamos las siguientes investigaciones sobre el tema:

En 1994 se hizo un estudio sobre la concentración de arsénico en la vertiente del río Rímac y se analizaron 53 muestras de agua potable, de río, pozo y manantiales; se encontró que el 84,9% de las muestras sobrepasaban el límite recomendado por la OMS. Sin embargo, no se han registrado casos de envenenamiento con arsénico.

En 1999 se hizo otro estudio en las aguas de consumo de la provincia de Huaytará, Huancavelica, y de las 31 muestras analizadas se obtuvo un promedio de 0,0246 mg/L de arsénico. La concentración más alta se registró en Pachac, probablemente debido a un establo donde se almacena abono y plaguicidas arsenicales.

En el valle del río Locumba, en el año 2002, se hizo una evaluación que presentó niveles de arsénico entre 0,4 a 0,2 mg/L. La población de este valle consume esta agua desde mucho tiempo atrás sin que se reporten de casos de arsenicismo. En la localidad de Puno se han reportado niveles de arsénico en pozos recientemente instalados (hasta 0,18 mg/L) y se va a hacer un estudio de evaluación de alternativas para la remoción de arsénico.

En el 2004 se realizó un estudio sobre el grado de contaminación de arsénico y otros metales en el río Mala. Este río es una cuenca altamente aprovechable para la agricultura y el consumo de la población de Mala. Se encontraron dos puntos, el Puente Mala (0,226 mg As/L) y Salitre (0,276 mgAs/L), en el que las concentraciones de arsénico eran superiores a los límites dados para las aguas de tipo III según la Ley General de Aguas.

En un monitoreo de metales pesados, entre los cuales se encontraba el arsénico, realizado por DIGESA en el año 2005 en los meses de mayo y diciembre, en un total de 85 muestras de todo Lima Metropolitana se encontraron concentraciones de arsénico (mg/L) por debajo del límite máximo permisible (0,05 mg As/L) del Reglamento de calidad de agua vigente. <sup>(26)</sup>

## 2.3 Descripción del Anexo de Huancapuquio

El anexo Huancapuquio se ubica al noroeste y a 47 kms del distrito de Chocos, provincia de Yauyos y departamento de Lima, por tal depende de la Municipalidad de Chocos, la cual Consta de 3 zonas agrupadas en lotes o casas y de 50 hectáreas de terreno de huertos de fruto (chacras) que están repartidas individualmente a los comuneros. Asimismo, sus tierras se extienden en una franja en la margen derecha del rio Cañete. Fue fundada el 6 de enero de 1969, encabezado por sus autoridades. <sup>(27)</sup> Es un anexo que trata de crecer lentamente por falta de interés de las autoridades en el aspecto del mejoramiento de la comunidad, de puentes de concreto y sobretodo lo esencial y básico de extraer el agua de los puquiales mediante motobombas para la población con aguas con tratamiento para que sea saludables, y no provocar enfermedades o intoxicaciones.

La población total es de 500 habitantes aproximadamente.

**Altura de la Capital:** 860 msnm

**Limita:**

**Al norte:** con el anexo de Guayabo (Pueblo Nuevo).

**Al este:** con distrito de Zuñiga.

**Al sur:** con el distrito de Pacarán.

**Al oeste:** con el Cerro León de Valla Pampa.

### 2.3.1 Clima y Topología

Huancapuquio se ubica en una zona valle, de chala o costa y yunga, con un clima cálido, tropical, y seco. Las temperaturas oscilan entre 23°C y 32°C, y en invierno llueve momentáneamente y luego sale el sol, que nunca deja de brillar, tiene un clima agradable y caluroso. <sup>(1)</sup>

Huancapuquio, pertenece a la sierra de Lima con valles y quebradas ligera en su parte alta, media y sector baja. <sup>(27)</sup>

### **2.3.2 Fuentes de vida socio- económicas:**

Actualmente el anexo Huancapuquio tiene una población aproximadamente 500 habitantes, es una zona rural. La actividad principal de los pobladores del **anexo** Huancapuquio, es la agricultura complementada en pequeña escala del comercio, artesanía y pesquería.

Cultivan los siguientes productos: maíz, papas, habas, frijoles, arvejas, cereales, hortalizas, legumbres, camote, yuca, árboles frutales: Manzanas, mangos, higos, granadillas, papayas, naranjas, chirimoyas, uva, paltos, peras, lúcumos, limón, granadas, maracuyá, pacay, ciruelas, plátanos, pepinos, tunas y árboles industriales, como: eucaliptos, álamos, nogales, sauces, guayaquiles, cañas bravas y carrizos.

Además, se dedican a la crianza de los animales: aves de corral como: gallinas, pavos, gansos, conejos, cuyes y otros que se utilizan como medios de carga: caballo, burro y mulos.

### **Ubicación del río Cañete:**

Administrativamente, la cuenca del río Cañete forma parte de las provincias de Cañete y Yauyos, pertenecientes ambas al departamento de Lima, en Perú. Geográficamente, se encuentra entre los paralelos 11°58'00" y 13°09'00" de latitud Sur y los meridianos 75° 31'00" y 76° 31'00" de longitud Oeste. El río Cañete es un corto río de la vertiente del Pacífico, localizado en la costa central del Perú, en la región de Lima. <sup>(1)</sup>

El río Cañete nace en la laguna Ticllacocha, ubicada al pie de las cordilleras de Ticlla y Pichahuarco, en la divisoria de cuencas con el río Mala. Sus recursos hídricos provienen de los aportes de la lluvia, así como los derivados y deshielo de los nevados, ubicados en el extremo norte de la cuenca y sobre los 4500m. <sup>(1)</sup>

### **Extensión:**

La cuenca del río Cañete tiene una extensión aproximada de 6.192 km<sup>2</sup>, de los cuales el 78, 4% (4.856 km<sup>2</sup>) corresponde a la cuenca húmeda.

### III. PARTE EXPERIMENTAL

#### 3.1 Diseño Experimental

La presente investigación es de tipo transversal, y descriptivo. Es transversal dado que los datos fueron recolectados en un tiempo determinado. Descriptivo, porque se medirá las características de las variables en estudio (valores medios de las concentraciones de plomo y arsénico), ya que los datos fueron obtenidos en un centro de análisis (USAQ) de la Facultad de Química e Ingeniería Química de la Universidad Nacional Mayor de San Marcos. <sup>(3)</sup>

##### 3.1.1 Selección de la población a examinar

En el presente estudio se escogió el anexo de Huancapuquio (Yauyos) porque no cuentan con los servicios básicos y carecen del tratamiento del agua, que proviene del río Cañete el cual puede estar contaminado por la actividad minera de la Empresa Celepsa (central Hidroeléctrica Platanal) la cual extrae mineral clandestinamente dejando residuos en el río, afectando la salubridad pública de la población. Asimismo, observamos que el recorrido del agua de río y canales de irrigación están oscuras con barros lo cual no es nada saludable para la humanidad. Por ello el motivo de este proyecto es determinar los niveles de plomo y arsénico en aguas de río para consumo humano. Se seleccionó 20 muestras de aguas en el anexo de Huancapuquio, de las cual 10 muestras de 250 mL fueron del caño de las calles y 10 muestras de 250 mL de diferentes puntos del reservorio central, de donde se distribuye a los diferentes caños de las calles. Se debe mencionar que, en cada muestra de agua seleccionada, se determinó la concentración de plomo y arsénico aplicando el método de Espectrofotométrico de absorción atómica con horno de grafito, por ser más rápido, fiables y de alta sensibilidad. <sup>(2)</sup> (Ver figura 4 y 5).

## MAPA DEL ANEXO HUANCAPUQUIO



Figura N°4 Mapa del anexo de Huancapuquio.



Figura N°5 Mapa Referencial.

### **3.1.2. Análisis de datos:**

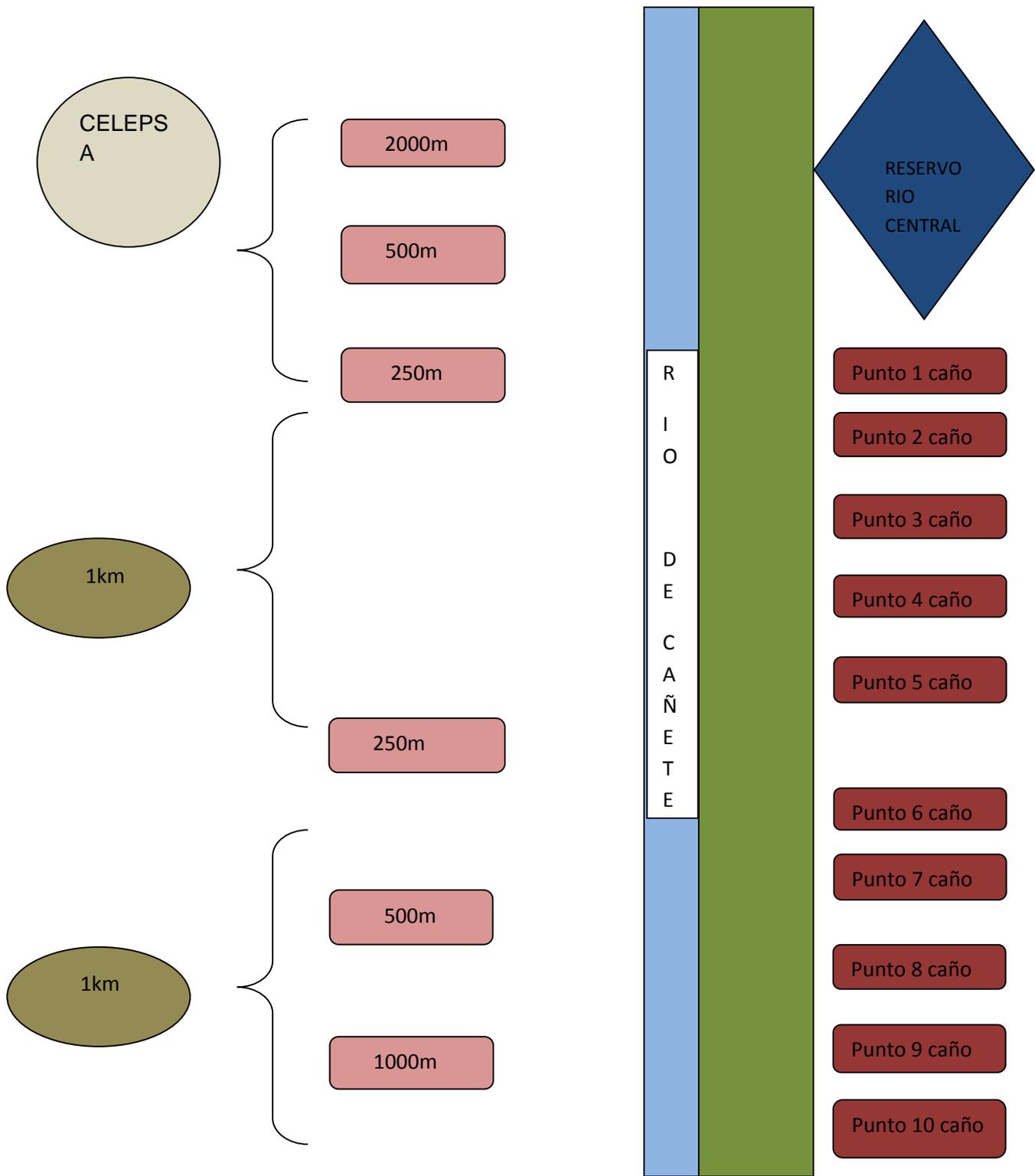
Los datos obtenidos fueron procesados en una base de datos computarizada, haciendo el uso de la hoja de cálculo de Excel 2007 y SPSS 15. Se empleó la estadística descriptiva como: la media, la mediana, desviación estándar, límites máximos y mínimos.

### **3.1.3. Determinación Espectrofométrica**

La absorción de la luz por medio de átomos brinda una herramienta analítica poderosa para los análisis cuantitativo y cualitativo. La Espectrofotometría de Absorción Atómica (E.A.A.) se basa en el principio que los átomos libres en estado fundamental pueden absorber la luz a una cierta longitud de onda. La absorción es específica, por lo que cada elemento absorbe longitudes de ondas únicas. La Espectrofotometría de Absorción Atómica es una técnica analítica aplicable al análisis de trazas de elementos metálicos en minerales, muestras biológicas, metalúrgicas, farmacéuticas, aguas alimentos y de medio ambiente. <sup>(28)</sup>

#### **3.1.3.1. Fundamento del método:**

El método de absorción atómica se fundamenta en hacer pasar un haz de luz monocromática de una determinada frecuencia, de tal manera que pueda ser absorbida por el analito, en este caso por átomos de plomo o arsénico, el cual es vaporizado previamente por el calor producido por una resistencia eléctrica en un horno de grafito. <sup>(28)</sup>



**Figura N° 6** Esquema de muestreo de aguas tomadas en 10 puntos de los diferentes caños en el anexo de Huancapuquio (Yauyos).

Fuente: Elaboración propia

## 3.2 Recolección, transporte y conservación de la muestra

### 3.2.1 Recolección de la muestra

Durante el mes de febrero del 2017, se recolectaron 20 muestras de agua, en el transcurso del día en frascos de vidrios lavados químicamente y debidamente rotulados para evitar confusiones. De las 20 muestras, 10 muestras fueron provenientes del caño de agua de las calles de 250 mL y 10 muestras del reservorio central de almacenamiento de agua de rio de 250 mL tanto para Pb y As. Se almacenaron a baja temperatura y/o como perseverante el ácido nítrico teniendo en cuenta el cuidado en la manipulación, se utilizó cajas térmicas y cooler, para transportarla y almacenarla cubiertas de hielo para su conservación; y luego los frascos fueron rotulados y etiquetados. (Ver figura N°6).



Figura N°7 Anexo de Huancapuquio

### MUESTREO DE AGUAS

Se realizaron 40 análisis distribuidas así:

#### **A) veinte muestras de aguas en caños ubicados en las calles.**

Diez muestras para la determinación de plomo.

Diez muestras para la determinación de arsénico.

#### **B) veinte muestras de aguas de reservorio central en diferentes puntos.**

Diez muestras para la determinación de plomo.

Diez muestras para la determinación de arsénico.

### **3.2.1.1. Aguas de consumo humano proveniente de caño de las calles.**

Se recolectó un total de 10 muestras de agua de 250 mL de caño de las calles (localizadas en el pueblo). Se realizó el muestreo directamente de los caños, se llenó los frascos de vidrios lavados químicamente con detergente, luego con agua de caño luego con  $\text{NO}_3\text{H}$  50%, posteriormente con agua desionizada, y secado en la estufa. <sup>(2)</sup> (Ver Figura N<sup>o</sup>7).



Figura N<sup>o</sup> 8 Lugares de muestreo de los caños.

### **3.2.1.2. Aguas de consumo humano provenientes de reservorio central de almacenamiento de agua de río.**

Se recolectó un total de 10 muestras de agua de 250 mL del reservorio central de almacenamiento, ubicados en la parte más alejada del pueblo. Se realizó el muestreo directamente del reservorio en 10 diferentes puntos. Posteriormente se procedió a llenar los frascos de vidrios lavados químicamente. (Ver Figura N<sup>o</sup>8).



Figura N<sup>o</sup> 9 Lugares de muestreo del reservorio.

## Reservorio Central: recolectando las muestras en diferentes puntos



Figura N° 10 Reservorio central

### 3.2.1.3. Transporte y conservación de la muestra

Las 20 muestras recolectadas fueron transportadas en un coolers y cajas térmicas (con hielo). Y posteriormente almacenadas en refrigeración hasta su análisis en el laboratorio de la Facultad de Química e Ingeniería Química USAC de la Universidad Nacional Mayor de San Marcos. (Ver Figura N° 9).



Figura N° 11 Recipiente utilizado para el transporte de muestra.

### 3.3 Método analítico empleado

Espectrofotometría de Absorción Atómica con Horno de Grafito. Laboratorio: Unidad de Servicio de Análisis Químicos (USAQ)- UNMSM.



FiguraN<sup>o</sup>12 Equipo de Absorción Atómica SHIMADZU con horno grafito (USAQ).

#### 3.3.2. Equipos, materiales y reactivos

##### Equipos

- ✓ Equipo de absorción atómica SHIMADZU AA-6800
- ✓ Horno de grafito GFA-EX7
- ✓ Inyector automático, Autosampler ASC-6100
- ✓ Computadora
- ✓ Refrigeradora
- ✓ Balanza analítica de 1 mg de sensibilidad

##### Materiales

- ✓ Fiolas de 50mLy 100mL clase A
- ✓ Pipetas de 2mL, 10mL y 50 mL clase A
- ✓ Probetas de 10 MI

- ✓ Vasos de 150 mL
- ✓ Lunas de reloj
- ✓ Frascos de plástico estable, de 1 L
- ✓ Cooler, cajas térmicas
- ✓ Plumones y etiquetas

## Reactivos

- ✓ Estándar certificado de plomo de 1000 mg/L
- ✓ Ácido nítrico, HNO<sub>3</sub>, concentrado ultra puro, con contenido de  $0.07 \times 10^{-1} \mu\text{g/L}$  de plomo, para preparación de estándares.
- ✓ Ácido nítrico, HNO<sub>3</sub>, concentrado para análisis de trazas, con contenido de 0.7  $\mu\text{g/L}$  de plomo, para la digestión de las muestras, diluyente, agua ultra pura.
- ✓ Estándar certificado de arsénico de 1000 mg/L
- ✓ Estándar patrón de arsénico, 100  $\mu\text{g mL}^{-1}$  diluyente a 100mL con agua ultra pura. Estándar de arsénico, 1  $\mu\text{g/mL}$ : y diluir a 100 mL con ácido clorhídrico ultra pura al 10 %.
- ✓ Estándar de arsénico, 0.1  $\mu\text{g/mL}$  (100  $\mu\text{g/L}$ ): medir 5 mL del estándar de 1 mg/L y diluyente de 50 mL con ácido clorhídrico ultra puro al 10%.

### 3.4 TÉCNICA OPERATORIA:

#### 3.4.1. Determinación de Pb y As por Espectrofotometría de Absorción Atómica por la técnica de horno de grafito.

##### 1) Procedimiento:

Medir 50mL (volumen de muestra) previamente agitada, 3mL de HNO<sub>3</sub> (c/c) en un vaso de 150mL limpio, lavado con ácido nítrico. Calentar sobre una plancha, sin dejar que hierva la solución, hasta que el volumen sea reducido a 10mL aproximadamente. Retirar de la plancha caliente y dejar enfriar a temperatura ambiente, filtrar la solución obtenida, ajustando el volumen del filtrado en una fiola de 50mL con agua ultra pura, preparar simultáneamente un blanco digerido sustituyendo la muestra por agua ultra pura y realizar la digestión como se ha descrito con anterioridad. Se procede al análisis con el equipo de absorción atómica.

##### 3.4.1.1. Preparación de estándares:

- Para preparar un estándar patrón de plomo, 100 mg/L, se midió 100 mL del estándar certificado de 1000 mg/L y se llevó a una fiola de 100 mL, luego se enrasó con agua ultra pura. El estándar Tiene una duración de 6 meses.
- Para el estándar de plomo, 10 mg/L: se midió 10 mL del estándar patrón y luego se llevó a una fiola de 100 mL, para enrasar con el diluyente. Este estándar tiene una duración de 3 meses.
- Para el estándar de plomo, 1mg/L: se midió 10 mL del estándar de 10 mg/L y luego se llevó a una fiola de 100 mL, para enrasar con el diluyente. Tiene una duración de 1 semana.
- Para el estándar de plomo, 20 µg/L: se midió 2mL del estándar de 1 mg/L y luego se llevó a una fiola de 100 mL, para enrasar con el diluyente. Se tiene que preparar diariamente.
- Los estándares de calibración obtenidos son de 4 µg/µL, 8 µg/L, 12 µg/L. El equipo prepara automáticamente estos estándares a partir de estándar de 20 µg/L.
- Se preparó un blanco de calibración con agua ultra pura, siguiendo el procedimiento anterior.

### 3.4.1.2. Medición:

- Se prendió el equipo de absorción atómica SHIHADZU AA-6800, el equipo de horno de grafito 6FA-EX7 con inyector automático (Autosampler) y la computadora, se colocó la lámpara de cátodo hueco de plomo. Siguiendo el procedimiento de operación del horno de grafito HGA-600, se calibró el instrumento, asegurando el alineamiento del Autosampler antes de iniciar la corrida analítica también. Usando el control manual del brazo muestreador, se hizo balancear el brazo sobre el tubo de grafito, sin tocar el borde del hueco. Con la ayuda de un espejo dental, se observó que el extremo del capilar esté a 2mm, por encima de la plataforma del tubo.
- Luego se colocó el blanco de calibración, el estándar de trabajo de 20 µg/L, el blanco reactivo y las muestras de los viales previamente identificados y enumerados correspondientemente, para posteriormente llevarlos al carrusel del Autosampler.
- Programar la calibración automática y chequear la curva de calibración.

Tabla N<sup>o</sup>1 Datos para hallar la curva de calibración.

Concentración (ppb)	Absorbancia
4.0000	0.0101
8.0000	0.0158
12.000	0.0219
16.000	0.0286
18.000	0.0313

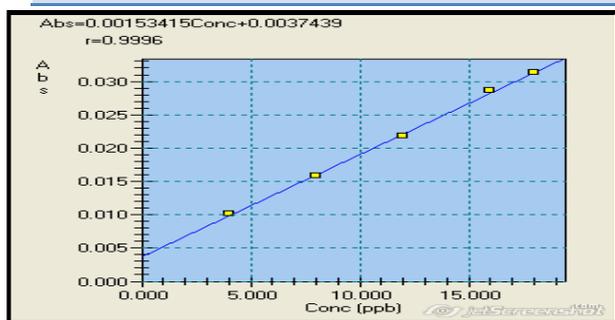
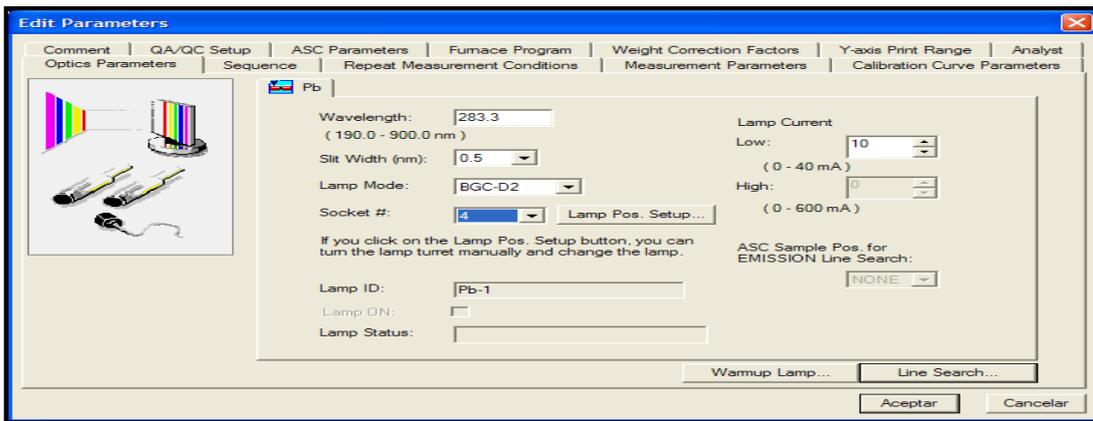


Figura N<sup>o</sup>13 Curva de Calibración para Plomo.

- Programar el análisis de las muestras y constatar los resultados.
  - Las condiciones instrumentales para un análisis de plomo por horno de grafito
  - ✓ Se usa corrección de fondo (background)
  - ✓ Longitud de onda: 283.3 nm.
  - ✓ Slit: 0.5
  - ✓ Medida de señal: Área del pico (A-As)
- Tubo de grafito con plataforma
- ✓ Temperatura programada del horno de grafito
  - ✓ Temperatura de secado.



- ✓ Tubo de grafito con plataforma
- ✓ Temperatura programada del horno de grafito:

Temperatura de secado: 120°C  
 Temperatura de pre tratamiento: 800°C

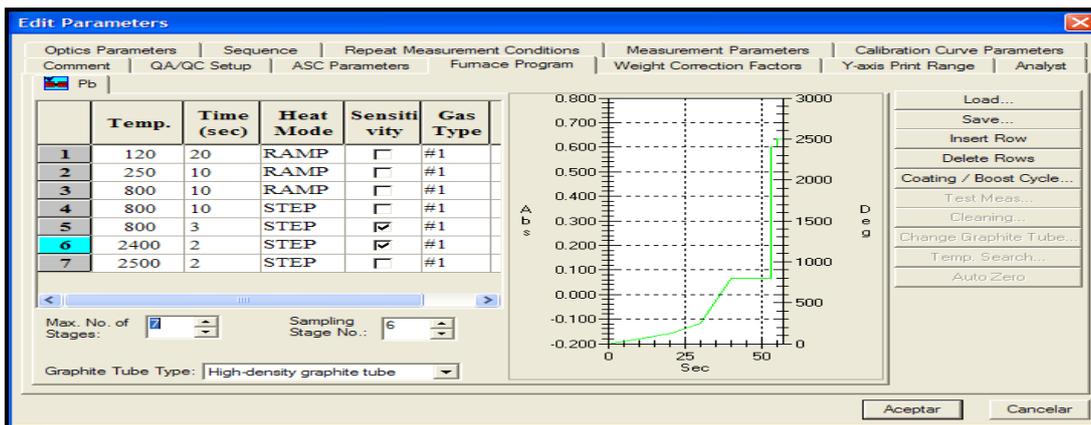


Figura N°14 Programa de Horno de Grafito para detectar Plomo.

Volumen de muestra: 20 µL

## ARSENICO:

### 3.6 Obtención de la curva de calibración para Arsénico

#### 3.6.1. Preparación de estándares:

- ✓ Estándar patrón de arsénico, 100 µg/mL: medir 10 mL del estándar certificado y diluir a 100ml con agua ultra pura. El estándar tiene una duración de un año.
- ✓ Estándar de arsénico, 10 µg/mL: medir 10 mL del estándar de 100 µg/mL y diluir a 100 ml con ácido clorhídrico ultra puro al 10 %. Tiene una duración de 6 meses.
- ✓ Estándar de arsénico, 1 µg/mL: medir 10 mL del estándar de 10 µg/mL y diluir a 100 ml con ácido clorhídrico ultra puro al 10 %. Tiene una duración de una semana.
- ✓ Estándar de arsénico, 0.1 µg/mL (100 µg/L): medir 5 mL del estándar de 1 mg/L y diluir a 50 ml con ácido clorhídrico ultra puro al 10 %. Tiene una duración de un día.
- ✓ Estándares de calibración: medir 1mL, 3mL y 5mL del estándar de 100 µg/L, agregar 5 mL de ácido clorhídrico concentrado para análisis de trazas y 10 mL de la solución reductora, dejar reposar 45 min y luego diluir a 50 ml con agua ultra pura para obtener concentraciones de 2 µg/L, 6 µg/L y 10 µg/L respectivamente. Los estándares tienen una duración de un día.
- ✓ Blanco de calibración: tomar un volumen de agua ultra pura acidificada, con la misma cantidad de ácido que los estándares de calibración.

#### Medición:

- Se prendió el equipo de absorción atómica SHIHADZU AA-6800, el equipo de horno de grafito 6FA-EX7 con inyector automático (autosampler) y la computadora, se colocó la lámpara de cátodo hueco de Arsénico. Siguiendo el procedimiento de operación del horno de grafito HGA-600, se calibró el instrumento, asegurando el alineamiento del autosampler antes de iniciar la corrida analítica también. Usando el control manual del brazomuestreador, se hizo balancear el brazo sobre el tubo de grafito, sin tocar el borde del hueco.

Con la ayuda de un espejo dental, se observó que el extremo del capilar esté a 2 mm, por encima de la plataforma del tubo.

- Luego se colocó el blanco de calibración, el estándar de trabajo de 10 µg/L, el blanco reactivo y las muestras a los viales previamente identificados y enumerados correspondientemente, para posteriormente llevarlos al carrusel del autosampler.
- Programar la calibración automática y chequear la curva de calibración:
- Programar el análisis de las muestras y constatar los resultados.
- Las condiciones instrumentales para un análisis de Arsénico por horno de grafito son:

Tabla N°2 Datos para hallar la curva de

Concentración (ppb)	Absorbancia
1.0000	0.0098
2.0000	0.0222
4.0000	0.0457
8.0000	0.1062

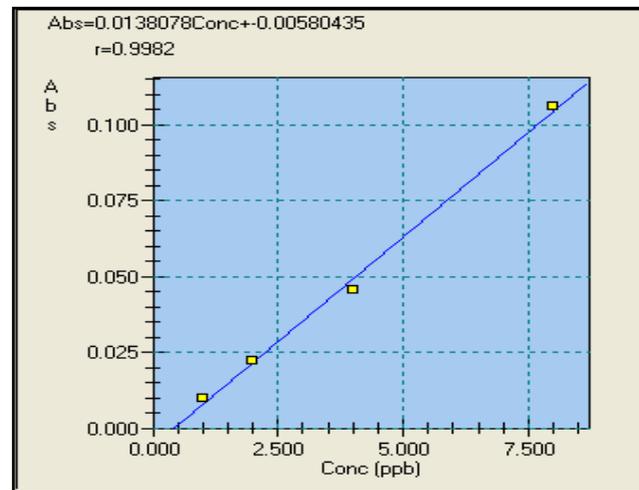


Figura N°15 Curva de Calibración para Arsénico.

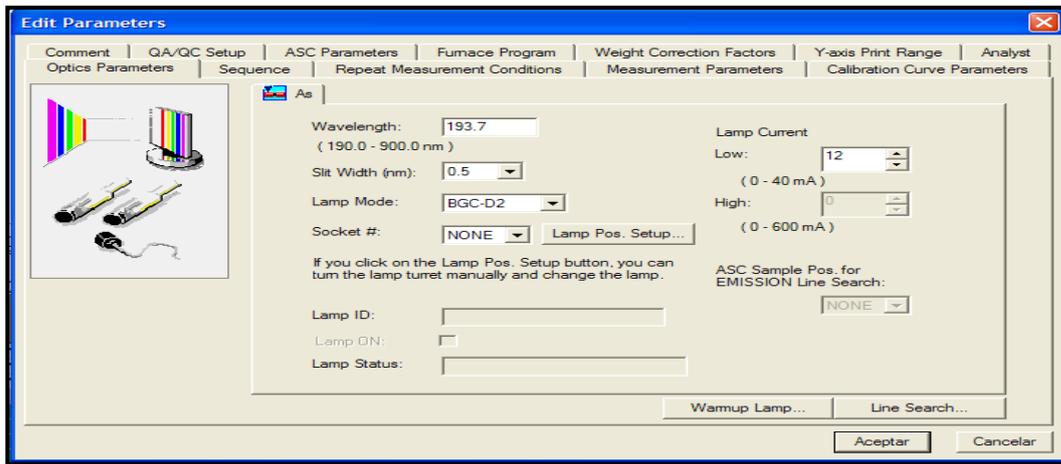


Figura N°16 Curva de Calibración para Arsénico.

- ✓ Se usa corrección de fondo (background)
- ✓ Longitud de onda: 193.7nm.
- ✓ Slit: 1.0
- ✓ Medida de señal: Área del pico (A-As)
- ✓ Tubo de grafito con plataforma
- ✓ Temperatura programada del horno de grafito:

Temperatura de secado: 150°C

Temperatura de pre tratamiento: 500°C

Temperatura de atomización: 2200°C

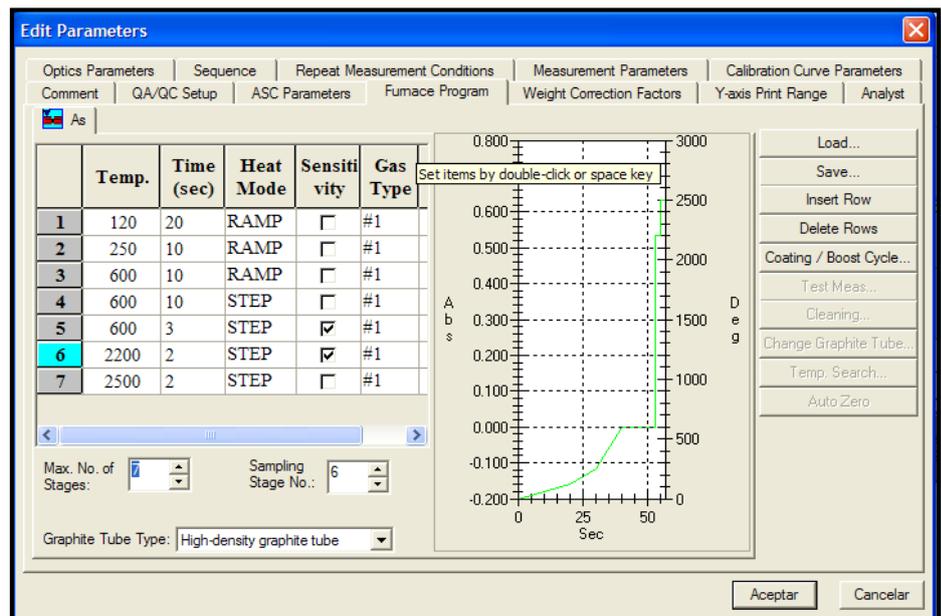


Figura N°17 Programa de Horno de Grafito para detectar Arsénico.

## IV. RESULTADOS

Cuadro N°3 Resultado General de las concentraciones de Pb y As en agua de caños de las calles y reservorio de aguas de río, de consumo humano recolectada en el anexo de Huancapuquio, distrito Chocos provincia Yauyos, Febrero – marzo 2017.

<b>Valores Generales de muestras de Pb y As (ug/L) en agua de río, provenientes de caños de las calles y reservorio central</b>				
<b>N-</b>	<b>CÒDIGO USAQ</b>	<b>PROCEDENCIA DE LA MUESTRA</b>	<b>Concentraciòn[Pb] ug/L</b>	<b>Concentraciòn[As] ug/L</b>
1	505-01	C-01	14,31ug/L	1,88ug/L
2	505-02	C-02	17,32ug/L	1,41ug/L
3	505-03	C-03	21,61ug/L	2,67ug/L
4	505-04	C-04	26,31ug/L	5,01ug/L
5	505-05	C-05	7,17ug/L	1,44ug/L
6	505-06	C-06	2,44ug/L	1,03ug/L
7	505-07	C-07	3,55ug/L	2,4ug/L
8	505-08	C-08	2,46ug/L	10,53ug/L
9	505-09	C-09	8,94ug/L	1,83ug/L
10	505-10	C-10	14,96ug/L	5,79ug/L
11	505-11	R-01	2,66ug/L	0,72ug/L
12	505-12	R-02	9,1ug/L	1,5ug/L
13	505-13	R-03	2,76ug/L	0,96ug/L
14	505-14	R-04	13,33ug/L	8,94ug/L
15	505-15	R-05	15,31ug/L	2,66ug/L
16	505-16	R-06	8,12ug/L	2,81ug/L
17	505-17	R-07	9,88ug/L	5,35ug/L
18	505-18	R-08	11,57ug/L	12,60ug/L
19	505-19	R-09	23,63ug/L	10,33ug/L
20	505-20	R-10	2,54ug/L	9,87ug/L

**C = Caño**

**R = Reservorio**

Gráfico N°4 Comparativo de los niveles de plomo y arsénico

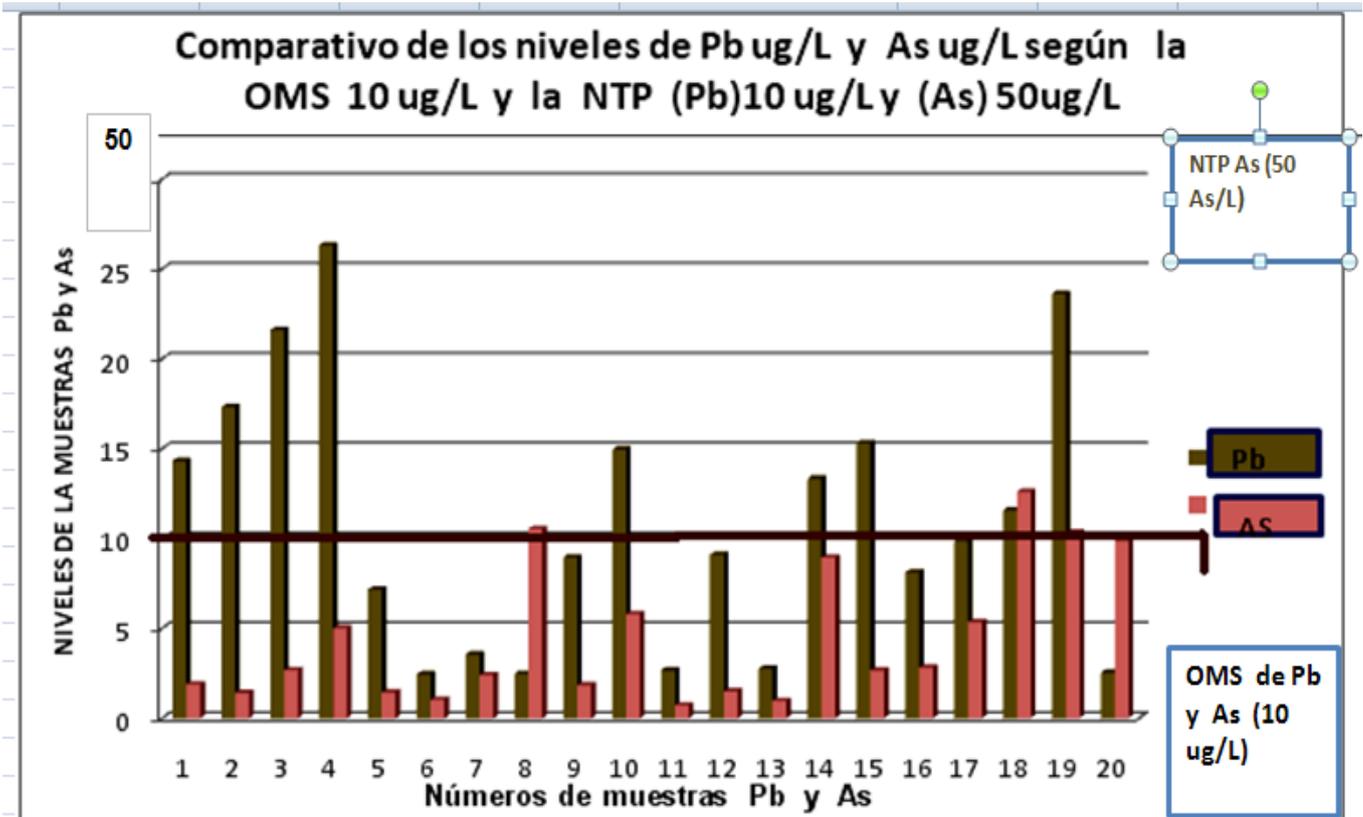


Gráfico N°4 Comparativo de los niveles de plomo y arsénico (ppb), según dados por la OMS y la NTP.

En este gráfico podemos apreciar los niveles de plomo de los cuales 9 muestras exceden la concentración máxima permisible dada por la OMS y la NTP. En el caso del arsénico 3 muestras están por encima de la concentración máxima permisible dada por la OMS y ninguna excede las concentraciones establecidas por la NTP. (50  $\mu\text{gAs/L}$ ).

Cuadro N° 4 Estadística total de plomo de las muestras de agua provenientes del caño de las calles y de reservorio del anexo de Huancapuquio. 2017

Estadística de Pb ug/L (ppb)	
Metal	Plomo
Tamaño de la muestra	20
Mínimo	2,44
Máximo	26,31
Media	10,89
Desv. Típica	7,21
C.V. %	66,21%
L. Permisible OMS	10
NTP	10

CuadroN° 5 Concentración de plomo en muestras de agua proveniente de caños de las calles del anexo de Huancapuquio. 2017

Niveles de la muestras	Plomo (ug/L)
Caño 01	14,31
Caño 02	17,32
Caño 03	21,61
Caño 04	26,31
Caño 05	7,17
Caño 06	2,44
Caño 07	3,55
Caño 08	2,46
Caño 09	8,94
Caño10	14,96
<b>Promedio</b>	<b>11,8</b>
<b>Límite permisible</b>	<b>0,0100</b>
Mínimo valor	2,44
Máximo valor	26,31
Desviación estándar.	8,33

En el cuadro 5 indica que la media es 11,8 µg/L, está por encima de las concentraciones máximas permisibles dada por la OMS y la NTP.

Gráfico N° 5 Concentración del Pb en agua de consumo humano procedentes de caños de las calles del anexo de Huancapuquio. 2017

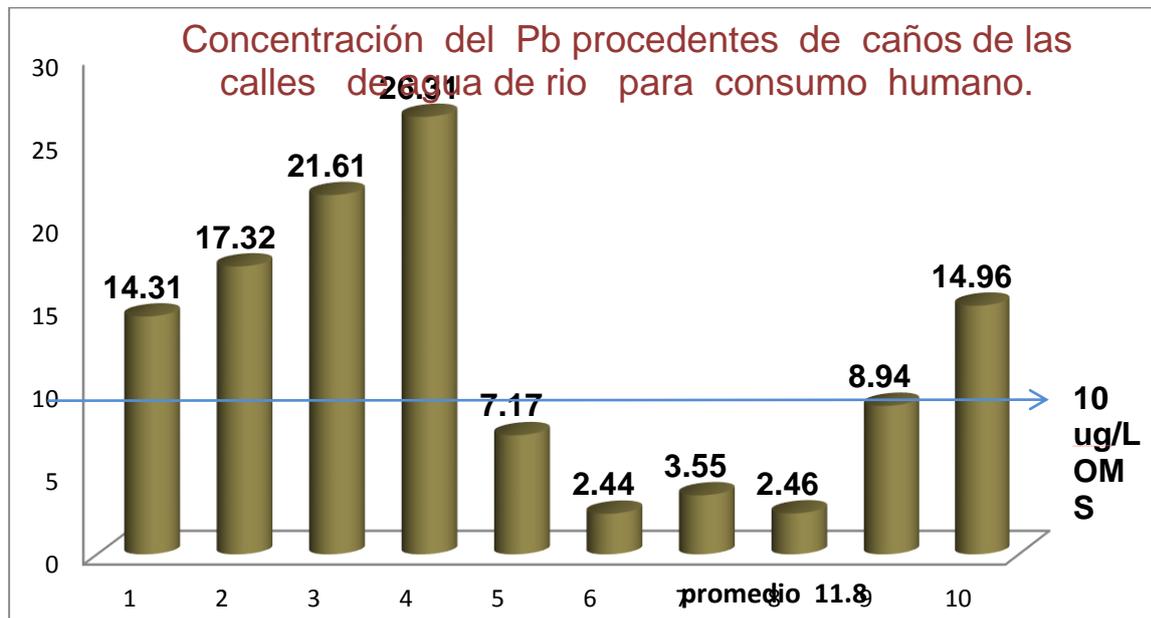


Gráfico N° 5 Concentración de Pb procedente de caño. 2017

Cuadro N° 6 Concentración de plomo en muestras proveniente de reservorio del anexo de Huancapuquio. 2017

Concentración de la muestras	Plomo (ug/L)
Reservorio 11	2,66
Reservorio 12	9,1
Reservorio 13	2,76
Reservorio 14	13,33
Reservorio 15	15,31
Reservorio 16	8,12
Reservorio 17	9,88
Reservorio 18	11,57
Reservorio 19	<b>23,63</b>
Reservorio 20	<b>2,54</b>
<b>Promedio</b>	<b>9,88</b>
<b>Límite permisible</b>	<b>0,0100</b>
Mínimo valor	<b>2,54</b>
Máximo valor	<b>23,63</b>
Desviación Típica	<b>6,61</b>

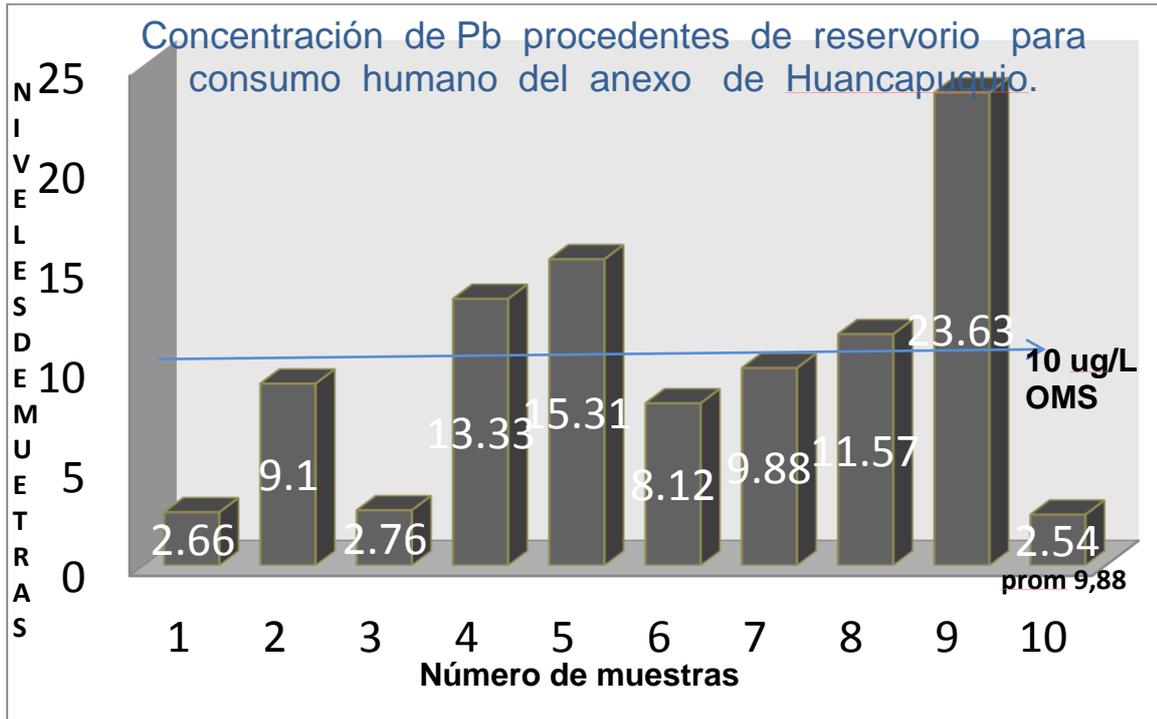


Gráfico N° 6 Concentración de Pb procedente de reservorio.

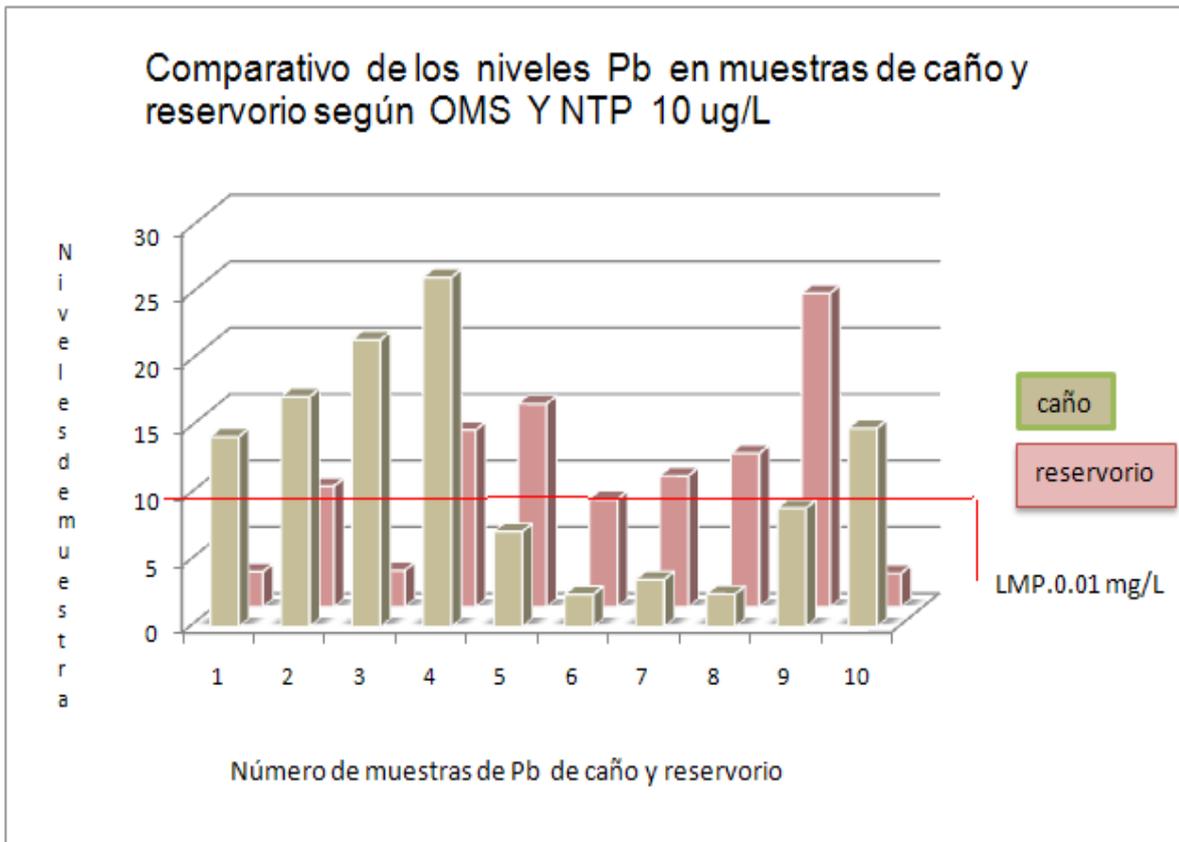


Gráfico N° 7 Comparativo de las concentraciones de Pb en muestras de caño y reservorio según la OMS y la NTP (10ug/L).

Este gráfico nos demuestra que 5 muestras provenientes del caño de las calles exceden la CMP dada por la OMS y NTP y 4 muestras provenientes de reservorio exceden la CMP dada por la OMS y NTP.

**Cuadro N° 7 Estadística total del arsénico de las muestras de agua provenientes del caño de las calles y de reservorio del anexo de Huancapuquio. 2017**

<b>Estadística de As ug/L (ppb)</b>	
<b>Metal</b>	<b>Arsénico</b>
<b>Tamaño de la muestra</b>	<b>20</b>
<b>Mínimo</b>	<b>0,72</b>
<b>Máximo</b>	<b>12,6</b>
<b>Media</b>	<b>4,48</b>
<b>Desv. Típica</b>	<b>3,75</b>
<b>C.V. %</b>	<b>83.71%</b>
<b>L. Permisible OMS</b>	<b>10 ug</b>
<b>NTP</b>	<b>50</b>

Cuadro N°8 **Concentración de arsénico en muestras de agua de consumo humano proveniente de caño de las calles del anexo de Huancapuquio. 2017**

Concentración de la muestras	Arsénico (ug/L)
Caño 01	1,88
Caño 02	1,41
Caño 03	2,67
Caño 04	5,01
Caño 05	1,44
Caño 06	<b>1,03</b>
Caño 07	2,4
Caño 08	<b>10,53</b>
Caño 09	1,83
Caño 10	5,79
<b>Promedio</b>	<b>3,39</b>
<b>Límite permisible</b>	<b>0,01</b>
Mínimo valor	<b>1,03</b>
Máximo valor	<b>10,53</b>
Desviación estándar	<b>2,96</b>

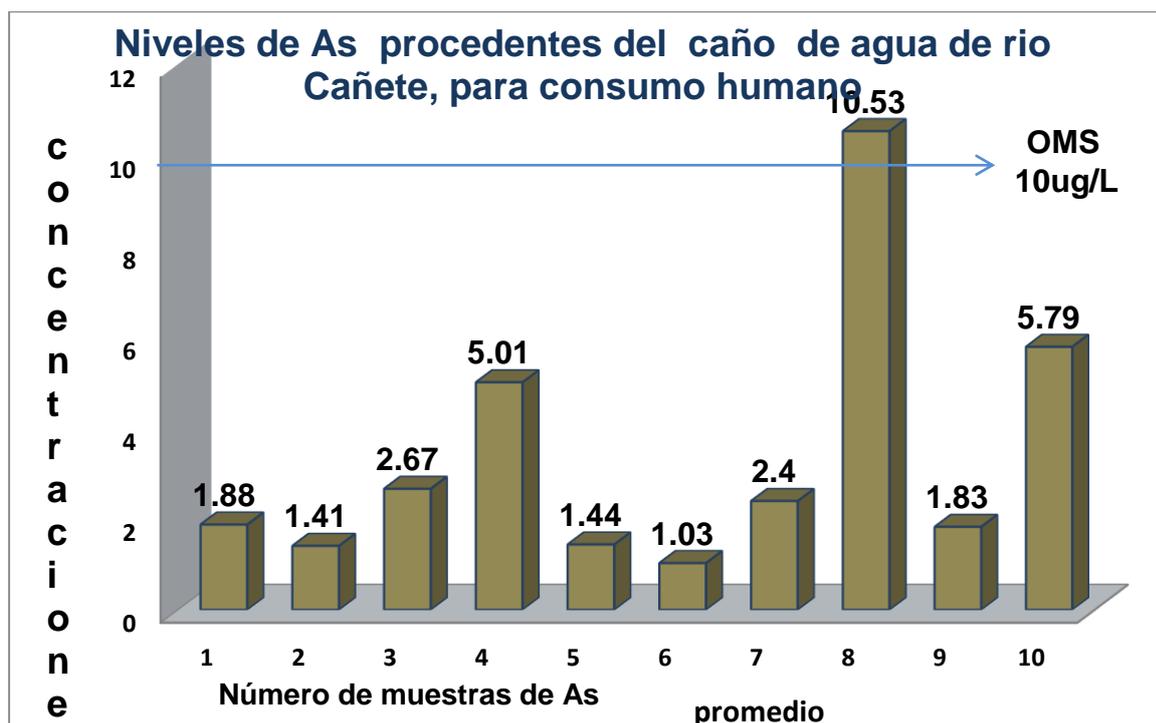


Gráfico N° 8 **Concentración de As procedente de caño.**

En el gráfico N°7 nos indica que una muestra excede la concentración máxima permisible dada por la OMS, y se encuentra debajo de las NTP (50 µgAs/L).

Cuadro N° 9 Concentración de arsénico en muestras de agua proveniente de reservorios del anexo de Huancapuquio. 2017

Concentración de muestras provenientes del reservorio	Arsénico (ug/L)
Reservorio 01	0,72
Reservorio 02	1,5
Reservorio 03	0,96
Reservorio 04	8,94
Reservorio 05	2,66
Reservorio 06	2,81
Reservorio 07	5,35
Reservorio 08	12,60
Reservorio 09	10,33
Reservorio 10	9,87
<b>Promedio</b>	<b>5,57</b>
<b>Límite permisible</b>	<b>0,01</b>
Mínimo valor	0,72
Desv. Típica	4,46

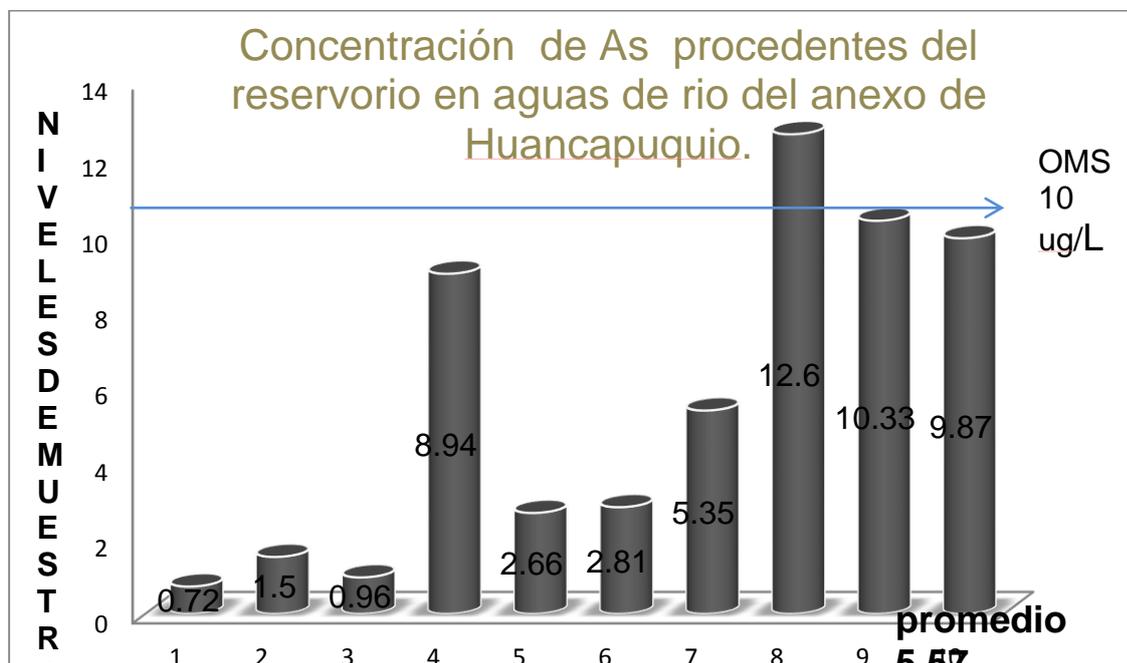


Gráfico N°9 Concentración de As procedente de reservorio.

Podemos apreciar que 2 muestras exceden las concentraciones máximas permisibles dadas por la OMS y están todas por debajo de la NTP.

**Distribución de muestras que superan el límite permisible de As dados por la OMS (10ug As/L) y la NTP según lugar de procedencia (50ug As/L).**

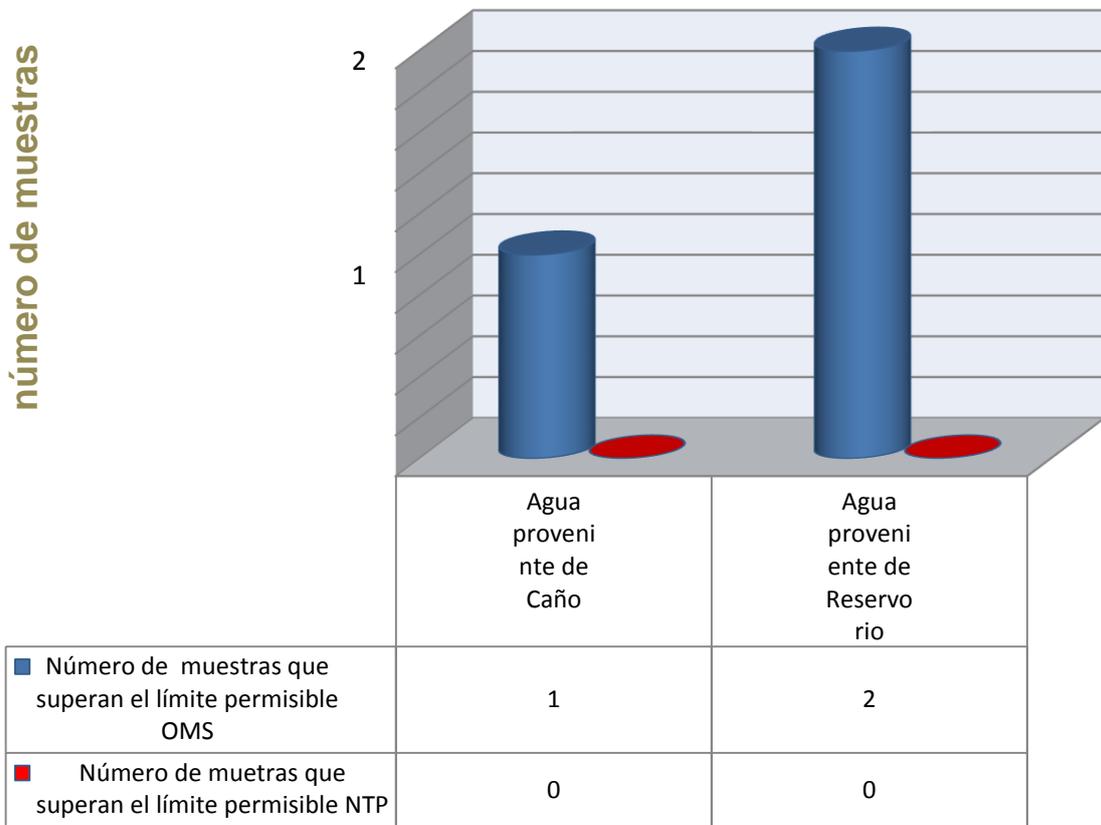


Gráfico N°10 Distribución de muestras de As según la OMS y la NTP.

Cuadro N° 10 Niveles de Pb en agua de consumo humano del anexo de Huancapuquio comparado con los límites máximos permisibles dados por la OMS y NTP.

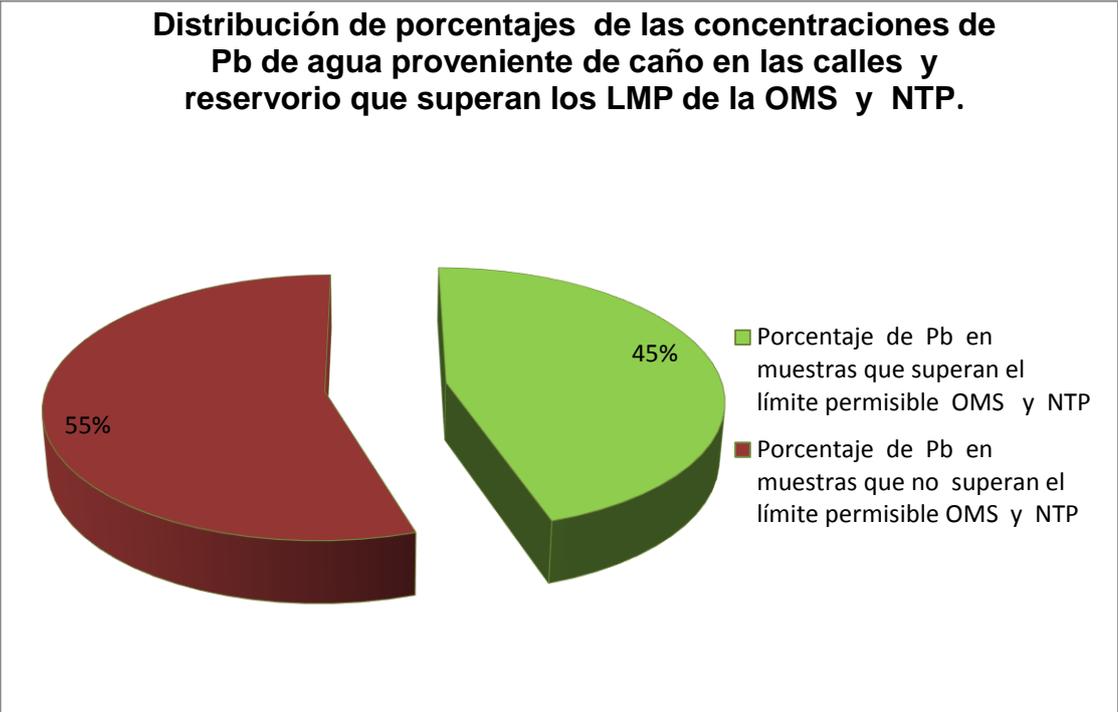
Nº- USAQ	[Pb] ug/L	OMS 10 ug/L	NTP 10 ug/L
055-01	14.31	A	A
055-02	17.32	A	A
055-03	21.61	A	A
055-04	26.31	A	A
055-05	7.17	N	N
055-06	2.44	N	N
055-07	3.55	N	N
055-08	2.46	N	N
055-09	8.94	N	N
055-10	14.96	A	A
055-11	2.66	N	N
055-12	9.1	N	N
055-13	2.76	N	N
055-14	13.33	A	A
055-15	15.31	A	A
055-16	8.12	N	N
055-17	9.88	N	N
055-18	11.57	A	A
055-19	11.96	A	A
055-20	2.54	N	N

N=NORMAL

A=ALTO

Cuadro N°11 Niveles de As en agua de consumo humano del anexo de Huancapuquio comparado con los límites máximos permisibles dados por la OMS y NTP.

Nº- USAQ	ug/L	OMS	NTP
	As ug/L	10 ug/L	50 ug/L
505-01	1.88	N	N
505-02	1.41	N	N
505-03	2.67	N	N
505-04	5.01	N	N
505-05	1.44	N	N
505-06	1.03	N	N
505-07	2.4	N	N
505-08	10.53	A	N
505-09	1.83	N	N
505-10	5.79	N	N
505-11	0.72	N	N
505-12	1.5	N	N
505-13	0.96	N	N
505-14	8.94	N	N
505-15	2.66	N	N
505-16	2.81	N	N
505-17	5.35	N	N
505-18	12.60	A	N
505-19	10.33	A	N
505-20	9.87	N	N



**Gráfico N°11 Distribución de porcentajes de Pb en muestras de agua de consumo de caño y reservorio según la OMS y la NTP.**

En este gráfico 11 nos indica los números y porcentajes de Pb en muestras de caños y reservorio dando un total de 9 muestras 45%, excediendo los límites máximos permiscibles dados por la OMS y la NTP.

**Distribución de porcentaje de las concentraciones de As de agua de caños de las calles y reservorio que superan los LMP de la OMS y NTP.**

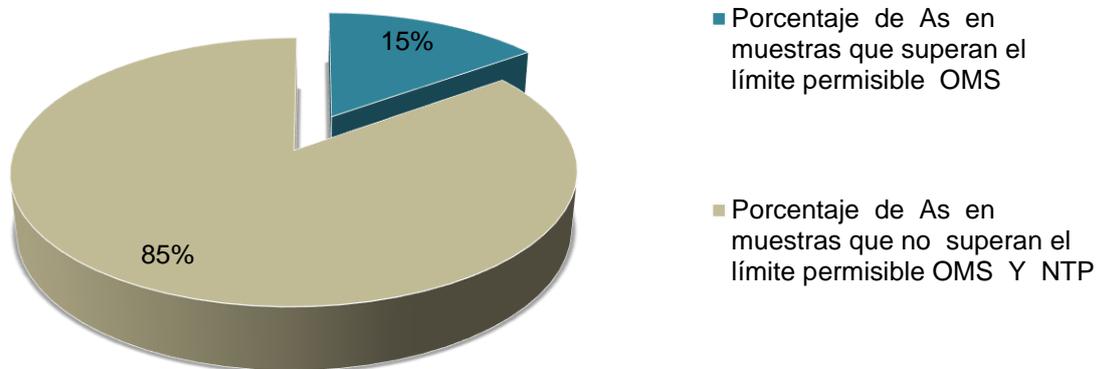


Gráfico N<sup>o</sup>12 **Distribución de porcentajes de As en muestras de agua de río Cañete, proveniente de caño y reservorio central según la OMS y la NTP.**

En este gráfico 12 nos indica los números y porcentajes de As en muestras de caño y reservorio dando un total de 3 muestras 15%, por encima de los límites máximos permiscibles dados por la OMS y no excediendo la NTP (50 µg As/L).

## DISCUSIÓN

Los resultados de este trabajo de investigación han determinado la concentración de plomo y arsénico en 20 muestras de agua de consumo humano proveniente de caños ubicados en las diferentes calles del anexo de Huancapuquio y de su reservorio central. Se puede apreciar en el cuadro 3 que (10 muestras) de 250mL corresponde a aguas de consumo humano provenientes de los caños de las calles, y (10 muestras) de 250mL corresponden al reservorio central tanto para plomo y arsénico.

Según el cuadro 5 y el gráfico 5 se aprecia que la concentración media de los valores de plomo en agua para consumo humano proveniente de caños de las calles es de 11.8  $\mu\text{gPb/L}$ , con un valor mínimo de 2.44  $\mu\text{gPb/L}$  y un máximo de 26.31 $\mu\text{gPb/L}$  encontrándose por encima de la concentración máxima permisibles dados por la OMS y la NTP. El cuadro 6 y el gráfico 6 nos indica que la concentración promedio de plomo en agua del reservorio central es de 9.88  $\mu\text{gPb/L}$ , con un valor mínimo de 2.54  $\mu\text{gPb/L}$  y un máximo de 23.63  $\mu\text{gPb/L}$  encontrándose este promedio debajo, pero muy próximo, al límite máximo permisible dado por la OMS (10  $\mu\text{g Pb/L}$ ) y la NTP (10  $\mu\text{g Pb/L}$ ).

En el trabajo de investigación realizado por los autores Franklin Wilfredo Graza Evaristo y Ronal Quispe en pozo en río Santa del tramo adyacente al Pasivo Ambiental Minero de Recuay, Ticapampa, en la provincia de Recuay se encontró concentraciones de arsénico de 0,0404 mg/L, plomo 0,6402 mg/L y de cadmio 0,0396 mg/L; siendo todos ellos superiores a los Límites Máximos Permisibles establecidos por los “Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para Agua” del Ministerio del Ambiente. Según los resultados obtenidos. El estudio comprueba que parte de la contaminación del río Santa es provocada principalmente por la descarga de residuos mineros que están ubicados a lo largo de todo su cauce (en el tramo de Ticapampa – Recuay), ya que usan el río Santa como vía de eliminación de sus residuos.

La presencia del plomo en el agua de consumo humano del anexo de Huancapuquio se debería a la contaminación del río Cañete por la actividad de la Minería informal que realiza en esa zona, la Empresa Celepsa (Central Hidroeléctrica Platanal) la cual extrae mineral clandestinamente dejando residuos, como el plomo, lo que se demuestra por los resultados obtenidos en el presente estudio al encontrar cantidades superiores al LMP dados por la OMS y las NTP.

En el cuadro 8 y el gráfico 8 se detalla los valores de la concentración de arsénico en agua para consumo humano proveniente de caños de las calles, se observa una concentración media de 3.39  $\mu\text{gAs/L}$ , con un valor mínimo de 1.03  $\mu\text{gAs/L}$  y un máximo de 10.53 $\mu\text{gAs/L}$  no excediendo este promedio a las concentraciones máximas permisibles dadas por la OMS y la (NTP 214.003.87).

Asimismo, en el cuadro 9 al igual que el gráfico 9 vemos que los valores de concentración del arsénico en agua proveniente de reservorio tienen una concentración media de 5.57  $\mu\text{gAs/L}$  con un valor mínimo de 0.72  $\mu\text{gAs/L}$  y un máximo es de 12.60  $\mu\text{gAs/L}$ , no superando la concentración máxima permitidas dadas por la OMS (10  $\mu\text{g As/L}$ ) y la NTP (50  $\mu\text{g As/L}$ ).

En el gráfico 11 nos indica que el total de muestras, tanto de agua en caños y de reservorios, 9 muestras (45%), excedieron los límites máximos permisibles de plomo dadas por la OMS (10  $\mu\text{gPb/L}$ ) y la NTP (10  $\mu\text{gPb/L}$ ).

Asimismo, en el gráfico 12 nos indica que, del total de muestras, tanto de agua de caño y de reservorios, 3 muestras (15%), excedieron los límites máximos permisibles de arsénico dadas por la OMS (10 $\mu\text{gAs/L}$ ) y ninguno excede la NTP y se puede notar los números y porcentajes.

## VI. CONCLUSIONES

- La concentración promedio de Pb en agua, para consumo humano proveniente de los caños ubicados en las calles es de 11,8µg Pb/L, excediendo y el 50 % de las muestras superan los parámetros permisibles dados por la OMS (10 µg Pb/L) y la NTP (10 µg Pb/L).
- La concentración promedio de Pb en agua del reservorio central es de 9,88µg Pb/L, encontrándose este promedio debajo, pero muy próximo, y el 40 % de las muestras superan los límites máximos permisibles dados por la OMS (10 µg Pb/L) y la NTP (10 µg Pb/L).
- La concentración promedio de As en agua, para consumo humano proveniente de caños de las calles es de 3,39µg As/L, no excediendo y el 5% de las muestras superaron los LMP estipulada por la OMS (10 µg As/L) y ninguno excede la NTP 214.003.87 (50 µg As/L).
- La concentración promedio de As en agua del reservorio central es de 5,57µg As/L, no excediendo y el 10 % de las muestras se encuentran por encima de los LMP dados por la OMS (10 µg As/L) y ninguno excede la NTP 214.003.87 (50 µg As/L).

## VII. RECOMENDACIONES

- Realizar estudios epidemiológicos en los lugares donde el agua de río para consumo humano es imprescindible como el anexo Huancapuquio, que tiene valores de concentración de plomo que sobrepasan el límite recomendado por la Organización Mundial de la Salud ( $10\mu\text{g Pb/L}$ ), para establecer posibles riesgos de morbi-mortalidad por los diferentes tipos de patologías asociados al plomo, ello permitirá adoptar criterios normativos ajustados a la realidad local.
- Se debe realizar estudios de la concentración de estos metales en sangre, orina y otros exámenes biológicos de los pobladores aledaños a minas clandestinas y otros anexos, como también la calidad de su suelo y aire para así poder determinar el grado de contaminación en la zona.
- Se recomienda realizar estudios de investigación de otros metales, en el mismo lugar con el propósito de diagnosticar y prevenir enfermedades en la población.

## VIII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS:

1. COHN, D., COX, M. BEGER, P. Aspectos de la Calidad del Agua, Salud y Estética, Mc Graw- Hill. Madrid 2002.
2. INRENA-IRH-DGAS-ATDR/MOC. Evaluación y Ordenamiento de los Recursos Hídricos de la Cuenca Cañete, Tomo I, Estudio Hidrológico Cañete- 2,001
3. Pila Pérez R, Holguín Prieto VA, López Peláez L. Intoxicación por plomo. Reporte de un caso. AMC [Internet]. 2009 Feb [citado 11 Jul 2013]; 13(1) 25[aprox.5p.]. Disponible en: [http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1025-02552009000100016&lng=es](http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1025-02552009000100016&lng=es)
4. Flores Espinoza E.R., Pérez Bobadilla J.T. Determinación de arsénico, por absorción atómica, en agua de consumo humano proveniente de SEDAPAL y cisterna y de pozo en el distrito de puente piedra. tesis para optar al título de Químico Farmacéutico UNMSM-2009.
5. Páez A. Evaluación de la concentración de arsénico y calidad del agua subterránea en función de su manejo en la cuenca de cuitzeo, Michoacan, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. México. 2008
6. Statistics Canada.2007. Greater Sudbury /Gran Sudbury, Ontario (table). 2006 Community Profiles.2006 Census. Statistics Canada Catalogue no. 92-591-XWE. Ottawa. Released March 13, 2007.
7. Chávez J. Ruiz R. García Acevedo R, Lara Ledesma B.Un análisis importante a realizar en las aguas para consumo humano, de procedencia subterránea en el estado de Michoacán. caso arsénico. Décimo seminario Iberoamericano de Planificación, Proyecto y Operación de Sistemas de Abastecimiento de Agua. Michoacán, México. 10 - 14 de enero de 2011. México, 2011. [revista en la Internet]. 2011.
8. MINISTERIO DE ENERGÍA Y MINAS. Evaluación Ambiental Territorial de la Cuenca del río Rímac. Lima. 1997.

9. Ruiz, E. Romero; F.Echeandía; A "Composición, distribución por tamaños, contenido en metales pesados y características de sedimentos de la cuenca del río Bidasoa 'Afinidad, 49. (442):361- 371. nov.-dic....1992.
10. Chacón, M. Monografía de Río Hondo, Departamento de Zacapa. Río Hondo, 1985.
11. Gulati S. Thappa DM. Gar BR, et al. Hereditary palmoplantar kerato dermas in South India. J. D. Dermatol 1998; 24:765-8.
12. Flores, Y. 1999. Análisis químico toxicológico y determinación del arsénico en aguas de consumo directo en la provincia de Huaytará, Departamento de Huancavelica. Tesis (Lic.), UNMSM. Facultad de Farmacia y Bioquímica. Título de Químico Farmacéutico. Lima.
13. <http://cybertesis.unmsm.edu.pe/handle/cybertesis/4205>
14. Ministerio de Energía y Minas. [Sede Web]. Lima. "Ley General de Aguas". Decreto Ley N°17752. Disponible en: 96  
  
<http://intranet2.minem.gob.pe/web/archivos/dgaam/publicaciones/compendi099/l17752.pdf>
15. Toxicity of metals and metals mixtures: analysis of concentration and time dependence for zinc and copper, V.P. Utgikar y col., Water Research 38 (2004) 3651-58
16. Ciencias de la Tierra y del Medio Ambiente (libro electrónico)  
<http://www1.ceit.es/asignaturas/ecologia/Hipertexto/00General/IndiceGral.html>  
Girbau García. Enfermería Comunitaria I. Salud Pública. Masón 2002
17. Harte J; Holdren C; Schneider R; Shirley C. 1995. Guía de las sustancias contaminantes. Editorial Grijalbo, México DF.
18. Valdez F, Cabreara. V, "La contaminación por metales pesados en Torreón", Coahuila, México. 1999
19. Otero A, Mora B, Cao M, Rodríguez L. Epidemiología de la intoxicación por plomo de agua domiciliaria y saturnismo. Valoración de parámetros para el estudio de grandes poblaciones. Rev Sanid Hig Pública 1987; 61: 799-810. Gil Llano JR, Pérez de las Vacas J,

- 20.** FILCHAK, K. "Plomo en y alrededor de su casa: Identificación y manejo de sus fuentes", Servicio de Extensión Cooperativa de la Universidad de Connecticut, en Home\*A\*Syst, Una guía para la evaluación de riesgos ambientales en su hogar, Junta Directiva del Sistema de la Universidad de Wisconsin. 1997.
- 21.** Universidad Nacional de Córdoba. [Sede Web]. Argentina; 2013 [fecha de acceso 04 de diciembre de 2013]. Intoxicación por plomo y su tratamiento farmacológico. Disponible en: [http://www.saludpublica.fcm.unc.edu.ar/sites/default/files/RSP13\\_1\\_08\\_art5.pdf](http://www.saludpublica.fcm.unc.edu.ar/sites/default/files/RSP13_1_08_art5.pdf)
- 22.** Instituto de Medicina del Trabajo. Boletín de Medicina del Trabajo. Enero-abril 1986. Vol. 2, No. 1. La Habana. Cuba. págs. 67-97. OTI. 1975.
- 23.** 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 Químico Farmacéutico). UNMDSM. Lima - 2009.
- 24.** Calvo C, Álvarez- C, Andrade M, Marinero P, Rodríguez S. Contaminación por arsénico en aguas subterráneas en la provincia de Valladolid: variaciones estacionales. *Estudios de la Zona No Saturada del Suelo* [revista en la Internet]. 2003. [citado 2013 Ene 31] Vol. VI.: 91 – 98. Disponible en: [http://abe.ufl.edu/carpena/files/pdf/zona\\_no\\_saturada/estudios\\_de\\_la\\_zona\\_v6/p091-098.pdf](http://abe.ufl.edu/carpena/files/pdf/zona_no_saturada/estudios_de_la_zona_v6/p091-098.pdf)
- 25.** Absorción y Emisión atómica. (en línea). (Fecha de acceso 02 de agosto del 2015); URL disponible en: <http://www.go.fcen.uba.ar/quimor/wp-content/uploads/Teoria%20168%20Absorci%C3%B3n%20y%20emisi%C3%B3n%20at%C3%B3mica.pdf>.
- Espectrofotometría de absorción atómica en horno de grafito (GFAAS). (En línea). (Fecha de acceso 05 de julio de 2015). Disponible en: <http://w3.ua.es/ite/proyectosGFAAS/teoria/fundamentos.html>.
- 26.** Espectroscopia atómica- El principio analítico- Merk Millipore. (en línea). (Fecha de acceso 03 de agosto de 2015). Disponible en:

<http://www.merckmillipore.es/chemicals/the-analytical-principle/c> K2eb.s10FCYAAAEde1RbT2M? CountryName=Spain  
Espectroscopia atómica- El principio analítico- MerckMillipore. (en línea).  
(Fecha de acceso 03 de agosto de 2015). Disponible en:

<http://www.merckmillipore.es/chemicals/the-analytical-principle/c> K2eb.s10FCYAAAEde1RbT2M? Country Name=Spain.

- 27.** Sarmiento C. "Evaluación químico toxicológica de: Arsénico, Cadmio, Mercurio y Plomo en las aguas del Río Mala" (Tesis Químico Farmacéutico), Universidad Norbert Wiener-FFyB. 2006. Pag 44.
- 28.** Tacuri D., Identificación y determinación semicuantitativa de arsénico en aguas de consumo humano procedentes del pozo de las praderas de pariachi Ate Vitarte. (Tesis Químico Farmacéutico), Universidad Norbert Wiener-FFyB. 2010. Pág. 32.
- 29.** ASHER, C.J. y REAY, P.F. 1979. "Arsenic uptake by barley Seedlings". Aust. J. Plant Physiol. 6: 459-66.
- 30.** Sarmiento M. Evaluación químico toxicológico de: arsénico (As), cadmio (Cd), mercurio (Hg) y plomo (Pb) en las aguas de río Mala. Para optar al título profesional de Químico Farmacéutico: Universidad Privada Norbert Wiener; Lima. 2004.
- 31.** Equipo Técnico de Agua y Saneamiento. Calidad del Agua para consumo humano en Lima Metropolitana. Metales Pesados. DIGESA. Lima. 2006.
- 32.** Vázquez H, Ortolani V, et al. Arsénico en Aguas Subterráneas Criterios para la Adopción de Límites Tolerables CEPIS-OPS.1999.
- 33.** Manual de Toxicología Ocupacional, Chile, Ministerio de Salud 1979, pág. 19-25.  
32. Bender G. Métodos Instrumentales de análisis en química clínica. España, Editorial Acriba S.A. 1987, pág. 115-123.

## IX. ANEXOS:

### FICHA TÉCNICA

Nombre del Proyecto: Central Hidroeléctrica el Platanal Ejecutor en el Perú: CELEPSA - Compañía Eléctrica el Platanal S.A. Localización Geográfica: El proyecto se localizará al sureste del departamento de Lima, en la provincia de Cañete, distrito de Zúñiga, cerca del pueblo de San Juanito. El lugar del proyecto se encuentra a 66 km al este de la ciudad de San Vicente, capital de la provincia de Cañete y a 211 km de la capital, Lima. Descripción del Proyecto: El proyecto Central Hidroeléctrica el Platanal, propiedad de la compañía eléctrica el Platanal S.A. (CELEPSA), esta ubicada en la cuenca hidrográfica del río Cañete, en el departamento de Lima, a 150 km al sur de la capital de Lima. El objetivo del proyecto es generar electricidad utilizando fuentes de energía renovable, para el suministrarlos al sistema interconectado nacional (SEIN). La planta tendrá una capacidad instalada de 220 MW y la generación promedio anual de 1,063 GWh. El proyecto toma ventaja de la existencia de la laguna natural Paucarcocha, ubicada a 4,220 metros sobre el nivel del mar (m.s.n.m.), la cual se utilizará para la regulación estacional. Un reservorio de regulación diario, ubicado a 1,541 m.s.n.m. Con una capacidad para almacenar 1.5 millones de metros cúbicos, el cual suministrará el agua la toma ubicada a 1,528 m.s.n.m. A la toma le sigue un túnel corto, de flujo libre, un canal abierto que va hasta un desarenador de 90 metros de longitud. El agua será conducida hacia la casa de máquinas a través de un cable doble, de flujo libre y enterrado de 760 metros, este canal es seguido por una cámara de carga y un túnel de aducción de 12.41 km y 5 m de diámetro. Población Beneficiaria: Distrito de Zúñiga.



Agency for Toxic Substances and Disease Registry (ATSDR). 2007. Toxicological Profile for Lead (Update). Atlanta, GA: U.S. Department of Health and Human Services, Public Health Service.

