



Universidad Norbert Wiener

FACULTAD DE FARMACIA Y BIOQUIMICA
ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE FARMACIA Y BIOQUIMICA

Determinación por absorción atómica de plomo y arsénico en agua potable
de viviendas del distrito Hualgayoc, Cajamarca – octubre 2017.

Tesis para optar el Título Profesional de Químico Farmacéutico

Presentado por:

Br. Afán Rojas Karina

Br. Flores Romero Víctor Emilio

Asesor:

Q. F. Tox. Jesús Víctor Lizano Gutiérrez

Lima – Perú

2018

DEDICATORIA

A mi padre que aunque ya no este físicamente

siempre está presente en mi corazón.

A mi madre por ser fuente de fortaleza

y apoyo constante.

A mis hermanas por ser parte importante en

mi vida y brindarme todo su apoyo.

A mi maguito por compartir cada pedacito de

su vida conmigo.

Karina Afán

A mis padres con mucho cariño... Gracias por haber
mantenido su confianza en mí...

A mi Hada... mi cómplice en innumerables historias...

A mi asesor, por su paciencia y guía...

Victor Flores

NUESTRO SINCERO AGRADECIMIENTO:

A nuestro asesor de tesis Dr. Q.F. Tox. Lizano Gutiérrez Jesús

por el apoyo incondicional y orientarnos de manera fácil

Por estar siempre a disposición para ofrecernos su ayuda

para llevar a cabo tan importante tema de investigación.

RESUMEN

La actividad minera es una de las principales causas de contaminación ambiental en el distrito de Hualgayoc, provincia Hualgayoc, Departamento de Cajamarca. Por ello se evaluó la presencia de plomo y arsénico en agua potable, especialmente por tratarse de un distrito con escaso control sanitario sobre la calidad de agua de consumo humano. En el desarrollo de esta investigación se cuantificó plomo y arsénico mediante la metodología analítica de absorción atómica con horno de grafito por ser una técnica altamente sensible y específica. Se tomaron 15 muestras de agua en 5 puntos diferentes para determinar dichos niveles y se analizaron 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. Los resultados nos indican que la concentración promedio de Arsénico en el agua potable es de 0.0060 mg/L. con cifras extremas: mínima de 0.0000 mg/L y máxima de 0.0213 mg/L, encontrándose que el 27% supera los LMP dados por la DIGESA, y la concentración promedio de Plomo es de 0.0564 mg/L. con cifras extremas: mínima de 0.0105 mg/L y máxima de 0.1587 mg/L, encontrándose que el 100% superan las concentraciones del LMP dados por la DIGESA. Estos resultados evidencian un riesgo de intoxicación crónica y un grave problema de salud para la población de Hualgayoc.

PALABRAS CLAVE: Arsénico, Plomo, agua potable.

SUMMARY

Mining activity is one of the main causes of environmental pollution in the district of Hualgayoc, Hualgayoc province, Department of Cajamarca. Therefore, the presence of lead and arsenic in drinking water was evaluated, especially since it is a district with little sanitary control over the quality of water for human consumption. In the development of this research, lead and arsenic were quantified using the analytical methodology of atomic absorption with graphite furnace, as it is a highly sensitive and specific technique. Fifteen water samples were taken at 5 different points to determine these levels and analyzed in the chemical analysis service unit (USAQ) of the Chemistry and Chemical Engineering Faculty of the National University of San Marcos. The results indicate that the average concentration of arsenic in drinking water is 0.0060 mg / L. with extreme figures: minimum of 0.0000 mg / L and maximum of 0.0213 mg / L, finding that 27% exceeds the LMPs given by DIGESA, and the average concentration of Lead is 0.0564 mg / L. with extreme figures: minimum of 0.0105 mg / L and maximum of 0.1587 mg / L, finding that 100% exceed the LMP concentrations given by DIGESA. These results show a risk of chronic intoxication and a serious health problem for the population of Hualgayoc.

KEY WORDS: Arsenic, Lead, drinking water.

INDICE

	Pág.
I INTRODUCCION	1
1.1. Planteamiento del Problema	2
1.2. Objetivos	2
1.3. Justificación	3
1.4. Hipótesis	4
1.5. Variables	4
II GENERALIDADES	6
2.1 Antecedentes	6
2.2 Metales pesados	10
2.2.1 Importancia del análisis de metales pesados	10
2.2.2 Contaminación con metales pesados	11
2.3 Agua	11
2.3.1 Características y propiedades	12
2.3.2 Calidad del agua	13
2.4 Arsénico	14
2.4.1 Propiedades fisicoquímicas y usos	15
2.4.2 Fuentes y vías de exposición	15
2.4.3 Toxicocinética	18
2.4.4 Contaminación del agua potable con arsénico	19
2.4.5 Contaminación del agua de bebida por arsénico y su impacto en la salud pública	20
2.4.6 Contaminación del agua por arsénico a nivel mundial:	22
2.5 Plomo	22
2.5.1 Generalidades	24
2.5.2 Propiedades fisicoquímicas	24
2.5.3 Fuentes de exposición	24
2.5.4 Toxicocinética	25
2.5.5 Contaminación del agua con plomo	26
2.6 Reglamento de La Calidad de Agua para Consumo Humano	27
2.7 Minería industrial	28
2.7.1 Generalidades sobre explotaciones mineras	28
2.7.2 Principales efectos de la minería sobre el medio ambiente	29
2.7.3 Agua y Minería	30
2.7.4 Minería en el Perú	30
2.7.5 Pasivos Ambientales Mineros (PAM)	31

	Pág.
2.8 Distrito de Hualgayoc, Provincia de Hualgayoc, Departamento de Cajamarca.....	32
2.8.1 Ubicación y Superficie.....	32
2.8.2 Historia.....	34
2.8.3 Aspectos Socio – Económicos	35
2.8.4 Recursos agrícolas.....	36
2.8.5 Hidrografía	36
III PARTE EXPERIMENTAL	38
3.1 Tipo de estudio.....	38
3.2 Población, Muestra	38
3.3 Método analítico	40
3.3.1 Fundamento de Espectrofotometría de Absorción Atómica	40
3.4 Análisis estadístico:	41
3.5 Equipo, Materiales y Reactivos	41
3.5.1 Equipos.....	41
3.5.2 Materiales:.....	41
3.5.3 Reactivos:.....	41
3.6 Procedimiento	42
3.6.1 Preparación de la muestra:	42
3.6.2 Medición:	42
3.6.3 Preparación de estándares	43
3.6.4 Condiciones Instrumentales	44
3.7 Curva de calibración	47
3.7.1 Curva de Calibración del Arsénico	47
3.7.2 Curva de Calibración del Plomo	48
IV RESULTADOS.....	49
V DISCUSIÓN.....	60
VI CONCLUSIONES	63
VII RECOMENDACIONES.....	64
VIII REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS	65
ANEXO 1.....	74
ANEXO 2.....	75

INDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Operacionalización de variables	1
Tabla 2. Características y propiedades del agua (26).	8
Tabla 3. Parámetros generales para controlar la calidad del agua (28).	9
Tabla 4. Procesos geoquímicos naturales que liberan arsénico en el agua subterránea (49).	16
Tabla 5. Países que han reportado arsénico en aguas subterráneas (50).	17
Tabla 6. Áreas de la Provincia de Hualgayoc por Distritos (93).	28
Tabla 7. Valores determinados por el equipo de Absorción Atómica de las soluciones estándar de Arsénico.	42
Tabla 8. Valores determinados por el equipo de Absorción Atómica de las soluciones estándar de plomo.	43
Tabla 9. Determinación estadístico de la concentración de Arsénico en agua potable del distrito de Hualgayoc.	45
Tabla 10. Distribución en la frecuencia de la concentración de Arsénico en el agua potable consumida por la población del distrito de Hualgayoc provincia de Hualgayoc, departamento de Cajamarca en el mes de octubre del 2017.	45
Tabla 11. Comparación de la concentración de Arsénico en el agua potable consumida por la población del distrito de Hualgayoc provincia de Hualgayoc, departamento de Cajamarca en el mes de octubre del 2017 con los límites establecidos en el reglamento de la calidad de agua para consumo humano del Perú.	46
Tabla 12. Estadísticos descriptivos Concentración de Arsénico (mg/L) según Punto de Muestra.	47
Tabla 13. Prueba T para una muestra – Arsénico	48
Tabla 14. Determinación estadístico de la concentración de Plomo en agua potable del distrito de Hualgayoc.	49
Tabla 15. Distribución en la frecuencia de la concentración de Plomo en el agua potable consumida por la población del distrito de Hualgayoc provincia de Hualgayoc, departamento de Cajamarca en el mes de octubre del 2017.	49
Tabla 16. Comparación de la concentración de Plomo en el agua potable consumida por la población del distrito de Hualgayoc provincia de Hualgayoc, departamento de Cajamarca en el mes de octubre del 2017 con los límites establecidos en el reglamento de la calidad de agua para consumo humano del Perú.	50
Tabla 17. Estadísticos descriptivos Concentración de Plomo (mg/L) según Punto de Muestra.	51
Tabla 18. Prueba T para una muestra – Plomo.	52
Tabla 19. Correlación entre variables	54

INDICE DE TABLAS

		Pág.
Figura 1.	Distribución del agua en el planeta (24).	7
Figura 2.	Ciclo del Arsénico en el ambiente (37)	12
Figura 3.	Modelo Biológico de Plomo (67).	21
Figura 4.	Mapa Político de la Provincia de Hualgayoc (92).	28
Figura 5.	Ubicación de los puntos de muestreo. Vista satelital del distrito de Hualgayoc, provincia de Hualgayoc, departamento de Cajamarca. (Fuente: Google Earth Pro)	34
Figura 6.	Aparato de Espectroscopia de Absorción Atómica SHIMADZU AA-6800	35
Figura 7.	Programa de temperatura para la medición de Arsénico por horno de grafito	40
Figura 8.	Parámetros ópticos para la medición de Arsénico por horno de grafito	40
Figura 9.	Condiciones ópticas para la medición de Plomo por horno de grafito.	41
Figura 10.	Programa de temperatura para la medición de Plomo por horno de grafito.	42
Figura 11.	Curva de calibración de Arsénico.	43
Figura 12.	Curva de calibración de Plomo	43
Figura 13.	Distribución en frecuencias de la concentración de Arsénico en el agua potable consumida por la población del distrito de Hualgayoc provincia de Hualgayoc, departamento de Cajamarca según el resultado obtenido del análisis químico realizado el mes de octubre del 2017.	46
Figura 14.	Limites Observados de la concentración de Arsénico en el agua potable consumida por la población del distrito de Hualgayoc provincia de Hualgayoc, departamento de Cajamarca en el mes de octubre del 2017, que superan el límite máximo permisible de 0.010 mg/L.	47
Figura 15.	Concentración promedio de los 5 puntos tomados de Arsénico en el agua potable consumida por la población del distrito de Hualgayoc provincia de Hualgayoc, departamento de Cajamarca en el mes de octubre del 2017 según punto de muestra.	48
Figura 16.	Distribución en frecuencias de la concentración de Plomo en el agua potable consumida por la población del distrito de Hualgayoc provincia de Hualgayoc, departamento de Cajamarca según el resultado obtenido del análisis químico realizado el mes de octubre del 2017.	50
Figura 17.	Limites observados de la concentración de Plomo en el agua potable consumida por la población del distrito de Hualgayoc provincia de Hualgayoc, departamento de Cajamarca en el mes de octubre del 2017, que superan el límite máximo permisible de 0.010 mg/L.	51
Figura 18.	Concentración promedio de los 5 puntos tomados de Plomo en el agua potable consumida por la población del distrito de Hualgayoc provincia de Hualgayoc, departamento de Cajamarca en el mes de octubre del 2017 según punto de muestra.	52
Figura 19.	Diagrama de dispersión de la concentración de arsénico y la concentración de plomo en el agua potable consumida por la población del distrito de Hualgayoc.	58

INDICE DE CUADROS

	Pág.
Cuadro 1. Cuadro general de la concentración de Plomo y Arsénico en agua potable del distrito de Hualgayoc, provincia de Hualgayoc – Cajamarca.	49

I INTRODUCCION

El agua cubre aproximadamente el 70.9 % de la superficie de la tierra ⁽¹⁾, pero solo una parte de este porcentaje es agua catalogada como apta para consumo humano. Tanto la organización mundial de la salud, a nivel mundial, como la DIGESA, a nivel nacional, son las que establecen los requisitos de calidad. En Perú la DIGESA define a Agua para consumo humano a toda agua inocua para la salud que cumple ciertos requisitos de calidad fijados por esta ⁽²⁾.

La actividad humana es la principal fuente de contaminación ambiental afectando el aire, el suelo y el agua entre ellas tenemos la minería que ha generado y genera mucho daño al medio ambiente pues el uso de agua en la minería tiene el potencial de afectar la calidad del agua superficial y subterránea de los alrededores. El agua contaminada con altas concentraciones de metales pesados (Arsénico, Cadmio, Plomo, etc.), minerales de sulfuro, sólidos disueltos, o sales puede afectar negativamente a la calidad del agua superficial, los ecosistemas acuáticos, y la calidad de las aguas subterráneas ⁽³⁾. Los impactos sobre la vida acuática pueden incluir aumento de la mortalidad, mala salud o problemas reproductivos, y una reducción en el número de especies presentes ⁽⁴⁾. Los impactos sobre la salud humana pueden ocurrir cuando se ve afectada la calidad de los suministros de agua utilizada para el riego, la bebida, y / o aplicaciones industriales.

Perú es el sexto mayor productor de oro a nivel mundial ⁽⁵⁾. Parte del oro producido proviene de la región de Cajamarca, ubicada al norte del Perú. Las actividades extractivas pasadas dejaron en la cuenca del río Llaucano – Hualgayoc (Cajamarca), más de 1250 pasivos ambientales mineros ⁽⁶⁾. Con agua y suelo contaminados en muchos lugares, se genera temor en la población, ya que el espacio físico que posibilita su desarrollo les puede ocasionar problemas de salud e impedir que sigan desarrollando sus actividades agropecuarias ⁽⁷⁾.

Hualgayoc es un distrito de Cajamarca en donde se desarrolla la minería y lo que uno se puede preguntar es si las concentraciones de metales pesados como el arsénico y plomo en el agua potable del distrito de Hualgayoc, superan los niveles permisibles según el Reglamento de la Calidad del Agua para Consumo Humano Peruano. Es por ello que en

Octubre del 2017 se realizó la toma de muestras de agua de las viviendas que consume la población. En total se recolectaron 15 muestras de diferentes casas del poblado.

Se eligió determinar Arsénico y Plomo en las muestras pues se ha demostrado que el Arsénico puede llegar a causar cáncer en el intoxicado, siendo el cáncer una enfermedad de tratamiento muy costoso; y Plomo por afectar enormemente al desarrollo físico e intelectual de los niños, pues son la población más vulnerable y expuesta.

Las muestras fueron analizadas en la Unidad de Servicios de Análisis Químico de la Universidad Mayor de San Marcos.

Los valores obtenidos del análisis fueron comparados con los límites establecidos por la DIGESA. Es así como se concluyó si el agua consumida por la población de Hualgayoc supera los límites permisibles. Con los resultados se pudo determinar si el agua es apta para su consumo o no y si la población se encuentra expuesta a una intoxicación crónica por metales pesados. Este estudio permitirá: A la población de Hualgayoc saber si el agua que están consumiendo podría estar afectando su salud y a las autoridades identificar si existe un problema de salud pública en la zona.

1.1. Planteamiento del Problema

¿Si la concentración de arsénico y plomo en el agua potable de las viviendas en el distrito de Hualgayoc provincia de Hualgayoc departamento de Cajamarca en el mes de Octubre del 2017 supera los límites permisibles según el Reglamento de la Calidad del Agua para Consumo Humano?

1.2. Objetivos

1.2.1 Objetivo general

Determinar las concentraciones de Arsénico y Plomo en el agua potable del distrito de Hualgayoc provincia de Hualgayoc departamento de Cajamarca en el mes de Octubre del 2017.

1.2.2 Objetivo específico

- Determinar las concentraciones de Arsénico en el agua potable consumida por la población del distrito de Hualgayoc provincia de Hualgayoc, departamento de Cajamarca en el mes de Octubre del 2017.
- Comparar los valores obtenidos de Arsénico en agua potable con los valores permisibles con el Reglamento de la Calidad del Agua para Consumo Humano.
- Determinar las concentraciones de plomo en el agua potable consumida por la población del distrito de Hualgayoc provincia de Hualgayoc departamento de Cajamarca en el mes de Octubre del 2017.
- Comparar los valores obtenidos de Plomo en agua potable con los valores permisibles con el Reglamento de la Calidad del Agua para Consumo Humano.

1.3. Justificación

El distrito de Hualgayoc está ubicado en una zona minera, que tiene alrededor de 1200 pasivos mineros que aún no han sido remediados. En los años 2011, 2014 y 2015 el ANA realizó el monitoreo de las aguas del río Tingo y Llaucano, obteniéndose como resultado presencia de metales pesados que superaron las concentraciones permitidas según el ANA; dichos ríos atraviesan la provincia de Hualgayoc. En el 2012 se identificó en la jurisdicción de Hualgayoc a 3 niños del grupo etario 1 – 12 años con niveles de plomo en sangre que superaron los 10 ug/dL, el análisis fue realizado por las autoridades de salud ⁽⁸⁾. El 4 de Mayo del 2015 aguas turbias y de mal olor apareció en las griferías del distrito de Bambamarca ⁽⁹⁾. El 27 de Setiembre del 2016 el ministerio del Medio Ambiente declara en emergencia ambiental la provincia de Hualgayoc ⁽¹⁰⁾. Actualmente la minera Golfields provee parte del agua potable que consume la población de la ciudad de Hualgayoc ⁽¹¹⁾.

Por lo expuesto decidimos realizar este proyecto de investigación con el fin de determinar la concentración de plomo y arsénico del agua que consume la

población del distrito de Hualgayoc, ya que hasta el mes de Diciembre del 2016 no existe un estudio similar.

Los resultados serán muy importantes para la población. Pues si las concentraciones de plomo y arsénico fueran superiores a los permitidos, se podrá alertar a las autoridades de salud para que realicen las acciones necesarias.

El beneficio de realizar este trabajo de investigación es identificar un problema de salud pública, puesto que estaríamos ante un caso de intoxicación crónica por metales pesados que podría estar afectando la calidad de vida de los pobladores de la zona en mención.

A su vez, dejar como base este trabajo para investigaciones posteriores de mayor complejidad.

1.4. Hipótesis

Las concentraciones de Arsénico y Plomo en el agua potable del distrito de Hualgayoc, superan los niveles permisibles según el reglamento de la calidad del agua para consumo humano peruano.

1.5. Variables

1.5.1. Variable independiente

- Agua potable de la población del distrito de Hualgayoc

1.5.2. Variables dependientes

- Concentración de Plomo
- Concentración de Arsénico

1.5.3. Operacionalización de variables (ver tabla 2)

Tabla 1. Operacionalización de variables

Variable	Definición Conceptual	Definición Operacional	Dimensiones	Indicadores	Unidad de medida	Tipo de variable
Variable independiente						
Agua potable	Sustancia líquida sin olor, color ni sabor. Se encuentra en la naturaleza formando ríos, lagos y mares. Está constituida por hidrógeno y oxígeno	Toda agua inocua para la salud que cumple los requisitos de calidad establecidos por las autoridades pertinentes		Volumen	L	Numérica continua
Variable dependiente						
Concentración de Plomo	Cantidad de plomo presente en una disolución acuosa	Peso de plomo expresada en microgramos disuelto en un litro de agua	Concentración	Peso Volumen	mg/L	Numérica continua
Concentración de Arsénico	Cantidad de arsénico presente en una disolución acuosa	Peso de arsénico expresada en microgramos disuelto en un litro de agua	Concentración	Peso Volumen	mg/L	Numérica continua

II GENERALIDADES

2.1 Antecedentes

a) Internacionales:

En el 2012 Navoni Julio A. Y col. Publicaron los resultados de su estudio realizado en las localidades de la Provincia de Buenos Aires, Argentina. Cuantificaron la concentración de arsénico en 152 muestras provenientes de 52 localidades de Buenos Aires durante el periodo 2003 - 2008 mediante generación de hidruros - espectrofotometría de absorción atómica. La concentración de arsénico se ubicó en un rango amplio, desde 0,3 hasta 187 $\mu\text{g/L}$, con una mediana de 40 $\mu\text{g/L}$. El 82% de las muestras presentó niveles de arsénico superiores al valor límite aceptable de 10 $\mu\text{g/L}$, y más de la mitad de ellas provenían de agua de red⁽¹²⁾.

En el 2014 Pariani A. O. y col. Publicaron su estudio realizado en la provincia de La Pampa (Argentina), región que se caracteriza por presentar en sus aguas subterráneas alta concentración de arsénico y flúor. En su trabajo se determinó la concentración de flúor y arsénico en el agua de red que llega a los habitantes de la ciudad de General Pico y su evolución. La concentración de arsénico se determinó mediante la técnica de reducción a arsina y posterior determinación espectrofotométrica con dietil-ditiocarbamato de plata en efedrina/cloroformo. Las muestras coloreadas se analizaron en un espectrofotómetro METROLAB, siendo la longitud de onda seleccionada de 540 nm. La concentración promedio tanto de arsénico (0,059 mg/L) como de flúor (2,339 mg/L) en el agua de red superó en el periodo 2007–2013 los valores permitidos por el Código Alimentario Argentino y la Organización Mundial de la Salud, cuyos valores máximos aceptables son de 0,01 mg/L para el arsénico y de 1,2 mg/L para el flúor. La concentración de arsénico disminuyó en el agua de red cuando aumentó la cantidad de precipitaciones, mientras que la concentración de flúor fue independiente del nivel de precipitaciones. Una de sus conclusiones fue que la población expuesta a altas concentraciones de arsénico tiende a encontrarse también expuesta a altas concentraciones de flúor⁽¹³⁾.

En Mayo del 2016, Harvey P.J. y col. Realizaron un estudio que examinó la contaminación por arsénico, cobre, plomo y manganeso en el agua potable del grifo de la cocina del consumidor doméstico en los hogares de New South Wales, Australia. Analizaron 212 muestras de agua potable y obtuvo como resultado que casi el 100% y el 56% de las muestras contenían cobre y plomo, respectivamente. De las muestras con presencia de cobre, el 5% excedió el límite permisible establecido en la Guía Australiana de Agua Potable (ADWG), mientras que en las muestras con presencia de plomo, el 8% superó el límite permisible. Por el contrario, ninguna muestra contenía concentraciones de arsénico y manganeso superiores al ADWG. El análisis de los accesorios de tubería de la casa (grifos y tuberías de conexión) mostró que estos son una fuente importante de contaminación de plomo en el agua potable. Las concentraciones de plomo en el agua derivadas de componentes de fontanería varían de 108 µg/L a 1440 µg/L (n = 28, media - 328 µg/L, mediana - 225 µg/L). El análisis de las griferías de las cocinas mostró que estas son fuente de contaminación por plomo en el agua potable (n = 9, media - 63,4 µg/L, mediana - 59,0 µg/L). Los resultados de este estudio demostraron que junto con otras fuentes potenciales de contaminación en los hogares, los productos de fontanería que contienen plomo detectable hasta el 2,84% están contribuyendo a la contaminación de agua potable para el hogar ⁽¹⁴⁾.

b) Antecedentes nacionales:

En Agosto del 2013 Machacuay D. y Romero M. Cuantificaron las concentraciones de Arsénico, mediante la metodología analítica de Espectrofotometría de Absorción Atómica por horno de grafito en aguas subterráneas para consumo humano del distrito de Cabanaconde, Anexo de Pinchollo y Valle de Sangalle, provincia de Caylloma, departamento de Arequipa. Tomaron 34 muestras y determinaron los niveles de arsénico en aguas subterráneas para consumo humano. 14 muestras correspondieron al distrito de Cabanaconde (41.2%), 13 muestras del anexo de Pinchollo (38.2 %) y 07 muestras provinieron del valle de Sangalle (20.6%).

En el distrito de Cabanaconde encontraron una concentración promedio de 3.84 $\mu\text{g As/L}$, en el anexo de Pinchollo de 0.52 $\mu\text{g As/L}$ y en el valle de Sangalle, un valor de 12 $\mu\text{g/L}$.

Los valores promedio de Cabanaconde y Pinchollo se encuentran por debajo de las concentraciones permisibles establecidos por la NTP (50 $\mu\text{g/L}$) y la OMS (10 $\mu\text{g/L}$)⁽¹⁵⁾.

En el 2014, Gonzales Poveda y col. Determinaron la presencia y concentración de cadmio y arsénico en aguas de consumo humano que es dada por SEDAPAL a la Comunidad Urbana de Chuquitanta (distrito de San Martín de Porres) Lima, Perú.

En un total de 10 muestras mediante el método de espectrofotometría de absorción atómica, se determinó la concentración de cadmio y arsénico en el agua de consumo humano de las distintas zonas de la Comunidad Urbana de Chuquitanta. La concentración media de las muestras fue: 4,17 ppb para cadmio y 1,27 ppb para arsénico; tales concentraciones medias fueron superior e inferior respectivamente al límite máximo permisible dado por la OMS y el Reglamento de la Calidad del Agua para Consumo Humano de Perú que establece los valores máximos de: 3 ppb para cadmio y 10 ppb para arsénico⁽¹⁶⁾.

En el 2015, Raraz Palpán E. Determinó las concentraciones de Plomo y Cadmio en el agua para consumo humano proveniente de los reservorios de la zona de San Juan Pampa – distrito de Yanacancha – Pasco. El área de estudio se dividió en tres zonas: Zona alta, media y baja. En cada zona se ubicó un hogar del que se obtuvieron las muestras a partir de sus respectivos grifos de uso diario. Se

recolectó un total de 20 muestras de agua para el respectivo análisis de Cadmio y Plomo. Los resultados obtenidos por el método de Espectrofotometría por Absorción Atómica con Horno de Grafito, fueron los siguientes: para Cadmio: La concentración máxima fue de 0,1076 mg/L, la concentración mínima fue de 0.0013/L y la concentración media total fue de 0,0155 mg/L. Para Plomo: La concentración máxima fue de 0,5504 mg/L y la concentración mínima fue de 0.002 mg/L y la concentración media fue de 0,2152 mg /L. con ello quedó evidenciado los altos niveles de Cadmio y Plomo en el agua potable para consumo humano perteneciente a la zona de San Juan Pampa – Pasco, superando los límites permisibles según la Organización Mundial de la Salud (OMS) ⁽¹⁷⁾.

En Julio del 2015, La Autoridad Nacional del Agua (ANA) en conjunto con el Ministerio de Energía y Minas, Ministerio del Ambiente y SUNASS; realizaron el IV monitoreo participativo de la calidad de agua superficial de la cuenca del río Llaucano, Región Cajamarca. Recolectaron muestras de 30 puntos ubicados a lo largo del recorrido del río Llaucano, de las cuales dos se ubicaron en lagunas (Mamacocha y Totoracocha). Las muestras fueron analizadas por el laboratorio de ensayo AGQ Labs & Technological Service. Los criterios tomados en cuenta para la evaluación de la calidad del agua, fueron valores de los parámetros físicos, químicos y microbiológicas de la Categoría 3: "Riego de vegetales y bebidas de animales" y la Categoría 4: "Conservación del Ambiente Acuático, subcategoría: lagunas y lagos", de los Estándares Nacionales de Calidad ambiental para Agua, establecidos en el D. S N° 002-2008-MINAM. Los resultados mostraron que: Los valores de Plomo en casi todos los puntos evaluados no sobrepasaron los Estándares de Calidad para Agua (ECA) de la Categoría 3, a excepción del punto ubicado en la quebrada Mesa de Plata (0.062mg/L) 400 metros antes de la confluencia del río Hualgayoc. Los valores de Arsénico en tres de los treinta puntos evaluados sobrepasaron los ECA de la Categoría 3, los puntos fueron: quebradas Tres Amigos (0.08mg/L), La Eme (0.118mg/L), y Sinchao (0.974mg/L). Este último punto sobrepasó en más de 19 veces lo establecido, en el ECA Cat. 3. Las tres quebradas están ubicadas en la parte alta de río Tingo. Identificaron que la contaminación de la cuenca del río Llaucano se debe en un 97% a los pasivos o vertimientos de aguas industriales mineros, un 2 % debido a residuos sólidos urbanos y un 1% a aguas residuales domésticas ⁽¹⁸⁾.

2.2 Metales pesados

Se considera metal pesado a aquel elemento con densidad igual o superior a 5 g/cm³ cuando está en forma elemental, o cuyo número atómico es superior a 20 (excluyendo a los metales alcalinos y alcalino-térreos). Su concentración promedio en la corteza terrestre es inferior al 0.1% y casi siempre menor del 0.01%. Dentro de los metales pesados hay dos grupos ⁽¹⁹⁾:

- Oligoelementos o Micronutrientes. Requeridos en pequeñas cantidades traza por plantas y animales, y son necesarios para que los organismos completen su ciclo vital, pasando cierto umbral son tóxicos. Dentro de este grupo se encuentra: As, B, Co, Cr, Mo, Mn, Ni, Se, Zn ⁽¹⁹⁾.
- Metales pesados sin función biológica conocida. La presencia en determinadas cantidades en seres vivos lleva a disfunciones en el funcionamiento de sus organismos. Resultan altamente tóxicos y presentan la propiedad de acumularse en los organismos vivos. Son Principalmente: Cd, Hg, Pb, Cu, Sb, Bi. Todos los metales pesados en concentraciones altas tienen fuertes efectos tóxicos y son una amenaza ambiental ⁽²⁰⁾.

2.2.1 Importancia del análisis de metales pesados

La importancia que tiene el estudio de metales pesados en aguas y sedimentos es porque tienen una elevada toxicidad, alta persistencia y rápida acumulación para los organismos vivos. Los efectos tóxicos de los metales pesados no se detectan fácilmente a corto plazo, aunque si puede haber una incidencia muy importante a medio y largo plazo. Los metales son difíciles de eliminar del medio, puesto que los propios organismos los incorporan a sus tejidos y de éstos a sus depredadores, en los que se acaban manifestando. La toxicidad de estos metales pesados es proporcional a la facilidad de ser absorbidos por los seres vivos, un metal disuelto en forma iónica puede absorberse más fácilmente que estando en forma elemental, y si esta se halla reducida finamente aumentan las posibilidades de su oxidación y retención por los diversos órganos ⁽²¹⁾.

2.2.2 Contaminación con metales pesados

Los metales pesados son unas de las formas de contaminación más peligrosas del medio ambiente, esta se explica primero, porque no presenta ningún tipo posible de degradación química o biológica, además pueden ser bioacumulados de diversas formas (orgánicas e inorgánicas) y permanecer en los organismos por largos periodos. Los metales como el Cobre, Plomo, Mercurio, etc., se caracterizan por su alta conductividad eléctrica, y a medida que se desplazan hacia los metales preciosos (Oro, Mercurio y Plata), sus óxidos metálicos se hacen más estables que los hidróxidos correspondientes; además forman complejos con diferentes iones y moléculas. Su toxicidad es debido a su alta afinidad con el grupo amino. Al reaccionar dichos metales con este grupo, se forman complejos metálicos y las enzimas pierden toda su efectividad para controlar las reacciones metabólicas ⁽²²⁾.

2.3 Agua

El agua está conformada por dos átomos de Hidrogeno y uno de Oxigeno, los cuales forman una molécula estable H_2O .

La existencia del agua determina la existencia de la vida, los seres vivos poseen altos contenidos de agua en sus estructuras, algunos poseen entre el 65% y 95% de este líquido, útil en los procesos de respiración, digestión y eliminación de residuos. Podemos durar varios días sin comer pero no muchos sin beber agua. Pero su parte esencial por la cual el agua es necesaria para que exista la vida, tiene que ver con su importancia para la realización de la fotosíntesis, proceso en cual el CO_2 se combina con H_2O en presencia de luz solar y la planta produce oxígeno y azúcares.

Sólo el 3% del agua presente en el planeta es dulce, y de esta sólo el 0,003% está disponible para el consumo en ríos, arroyos, lagos, etc. ⁽²³⁾. Ver figura 1

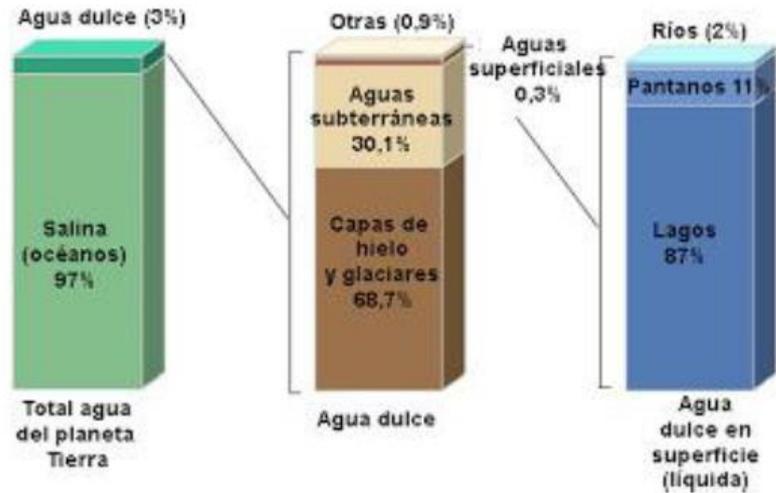


Figura 1. Distribución del agua en el planeta ⁽²⁴⁾.

2.3.1 Características y propiedades

El agua en su estado puro no tiene olor, color ni sabor, se encuentra en los tres estados de la materia; y se combina con ciertas sales para formar hidratos, reacciona con los óxidos de los metales formando ácidos.

El agua pura es un líquido inodoro e insípido. Tiene un matiz azul, que sólo puede detectarse en capas de gran profundidad. A la presión atmosférica (760 mm de mercurio), el punto de congelación del agua es de 0 °C y su punto de ebullición de 100 °C. El agua alcanza su densidad máxima a una temperatura de 4 °C y se expande al congelarse.

Como muchos otros líquidos, el agua puede existir en estado sobre enfriado, es decir, que puede permanecer en estado líquido aunque su temperatura esté por debajo de su punto de congelación; se puede enfriar fácilmente a unos -25 °C sin que se congele. El agua sobre enfriado se puede congelar agitándola, descendiendo más su temperatura o añadiéndole un cristal u otra partícula de hielo. Sus propiedades físicas se utilizan como patrones para definir, por ejemplo, escalas de temperatura.

El agua es uno de los agentes ionizantes más conocidos puesto que todas las sustancias son, de alguna manera, solubles en agua; se le conoce frecuentemente como el disolvente universal ⁽²⁵⁾.

Las principales características del agua, como constantes físicas, son: Ver tabla 1

Tabla 2. Características y propiedades del agua ⁽²⁶⁾.

Peso molecular (g/mol)	18,16 g/mol
Temperatura crítica (°C)	374,1°C
Velocidad de propagación de las ondas longitudinales	1450 m/s
Constante crioscópica (°C/g)	1,859°C/1000g
Constante ebulloscópica (°C/g)	0,51°C/1000g
Punto de ebullición a 1 atm de presión (°C)	100°C
Punto de fusión a 1 atm de presión (°C)	0 °C
Conductividad eléctrica (siemens/m) a 20°C en estado "puro". Agua con sales (electrolitos) posee mayor Ce, a mayor temperatura mayor Ce.	4,2 * 10 ⁻⁶ S/m
Densidad a 0°C en estado líquido (g/cm ³)	0,99987 g/cm ³
Densidad a 4°C en estado líquido (g/cm ³)	1,0000 g/cm ³
Densidad a 100 °C en estado líquido (g/cm ³) (Conforme la temperatura aumenta o disminuye a partir de los 4°C, disminuye la densidad)	0,95838 g/cm ³
Capacidad calorífica a 15 °C (cal/mol °C)	18,0 cal/mol °C
Calor de vaporización (kcal/mol)	9,719 Kcal/mol
Calor específico (cal/g)	0,999 cal/g
Calor de fusión (kcal/mol)	1,435Kcal/mol

2.3.2 Calidad del agua

La calidad del agua puede definirse como la composición físico-químico-biológica que la caracteriza y recordar el hecho de que el agua pura no existe en la naturaleza, se habla que un agua es de calidad, cuando sus características la hacen aceptable para un cierto uso, por ejemplo: un agua que no sirve para beber, puede servir para riego. El conocimiento de las propiedades del agua, derivadas de estas características es fundamental para valorar los posibles inconvenientes y perjuicios que su utilización pudiera ocasionar en sus consumidores.

Como el control de la calidad del agua debe efectuarse en todo su circuito, se debe contar con todos los usos de esta:

- Consumo doméstico y público
- Preservación de fauna y flora.
- Agrícola.
- Pecuario.
- Recreativo.
- Industrial.

- Navegación.
- Estético

A partir de lo anterior, el control de la calidad del agua se basa en reglamentos y legislaciones, estableciéndose límites deseables, tolerables o imperativos, así como orientadores (guías) de calidad ⁽²⁷⁾.

2.3.2.1 Parámetros analíticos generales para control de la calidad del agua

Los parámetros generales que van a definir la calidad son: ver tabla 2

Tabla 3. Parámetros generales para controlar la calidad del agua ⁽²⁸⁾.

Tipo de Parámetro	Parámetros
ORGANOLEPTICOS:	Olor, Sabor, Color
FISICO-QUIMICOS	Conductividad Eléctrica, Turbidez, pH, NO ₂ , NH ₄ , CL residual, Temperatura, Oxígeno Disuelto, NO ₃ , Oxidabilidad al MnO ₄ , Sólidos en suspensión, Solidos disueltos, Radiactividad, DQO, DBO ₅ , Carbono orgánico total (COT), N° Kjeldahl (incluye el nitrógeno orgánico y el amoniacal). P total, Cl, SO ₄ ²⁻ , Fosfatos, Alcalinidad, CO ₂ libre, Sílice, Dureza total, sulfuros, F, CN, Metales pesados (FE, Mn Cu, Zn, Co, As, Be, Cd, Cr, Hg, Ni, Pb, Sb, Se, etc.), Aceites y grasas, Hidrocarburos, Fenoles, Agentes Tenso activos, Plaguicidas.
MICROBIOLOGICOS Y BIOLÓGICOS	Coliformes totales, Coliformes fecales Bacterias aerobias a 37°C y a 22°C, Estreptococos fecales, Clostridium sulfito reductores, Gérmenes totales.

2.4 Arsénico

El arsénico es un metaloide perteneciente al grupo VA de la tabla periódica de elementos químicos, que se encuentra en la naturaleza en forma de rocas sedimentarias y volcánicas, y en aguas geotermales ⁽²⁹⁾.

Es usado comercial e industrialmente en la elaboración de diferentes productos, tales como aditivos para preservar madera y alimentos, a mayores concentraciones también es utilizado para la elaboración de plaguicidas, municiones y productos farmacéuticos ⁽³⁰⁾.

El arsénico y sus derivados, siempre han sido punto de interés para la toxicología, debido al gran número de alteraciones en los distintos sistemas del cuerpo humano incluyendo piel, sistema cardiovascular, vías respiratorias, riñón, hígado y sistema nervioso ⁽³¹⁾.

2.4.1 Propiedades fisicoquímicas y usos

El Arsénico es un elemento químico cuyo número atómico es 33 y su peso atómico es 74,9; es de color gris plata, sabor casi insípido e inodoro. Insoluble en agua, cáusticos y sustancias oxidantes. Se encuentra en muchas formas alotrópicas (amarilla, negra y gris metálica) y forman óxidos de tipo anfótero⁽³²⁾.

El promedio del contenido en la corteza terrestre es de 2 ppm, no obstante la distribución es muy heterogénea. El arsénico se encuentra frecuentemente en aguas naturales, éste llega a ellas por la erosión de rocas superficiales y volcánicas. El arsénico existe en cuatro estados de oxidación: -3, 0, +3 y +5, 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⁽³⁰⁾.

El arsénico forma compuestos inorgánicos y orgánicos. Se presenta en varios estados de oxidación, como semimetálico, arsénico (As^0), en forma de iones como arseniato (As^{+5}), arsenito (As^{+3}) y arsina (As^{-3}). Por eso funciona como metal por ejemplo en el sulfuro de arsénico y como metaloide o semimetal en los arseniuros como el de hierro (As_2Fe)⁽³³⁾.

El arsénico tiene muchas aplicaciones en la industria metalúrgica, especialmente en la obtención de aleaciones. Pero se usa, sobre todo, en la industria química para la elaboración de medicamentos y plaguicidas, incluyendo conservantes de la madera. La utilización de plaguicidas arsenicales ha sido considerada como la fuente principal de contaminación ambiental en las últimas décadas. El arsénico es un tóxico persistente cuya presencia en las zonas contaminadas se mantiene después de muchos años. Debido a la posibilidad de incorporación del arsénico a la cadena alimentaria, el uso de muchas de estas sustancias está actualmente restringido o completamente prohibido⁽³⁴⁾.

2.4.2 Fuentes y vías de exposición

El arsénico, en fuentes naturales se presenta en forma de rocas sedimentarias y rocas volcánicas, y en aguas geotermales; además se presenta en la naturaleza con mayor frecuencia como sulfuro de arsénico y arsenopirita 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 ⁽³⁰⁾.

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 ⁽³⁵⁾.

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. Esto se ha observado, por ejemplo, en Japón, Nueva Zelanda y Estados Unidos de América. Se han encontrado también concentraciones de arsénico muy elevadas en aguas subterráneas destinadas para el consumo humano en Argentina, Chile, Taiwán, Estados Unidos de América, Inglaterra y México, entre otros ⁽³¹⁾.

La mayor parte del arsénico que existe en el agua y el medio ambiente proviene de la actividad humana, con actividades tales como: minería, en donde los trabajadores estarán predispuestos a desarrollar hidroarsenicismo crónico debido a una doble exposición, ocupacional y ambiental; así como en diversas industrias de mayor riesgo por su gran presencia de arsénico son la cerámica, colorantes, curtiembre, joyería, medicamentos, pinturas, plaguicidas, preservadores de madera, vidrio e insumos químicos ⁽³⁶⁾.

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. En el agua, la forma inorgánica pentavalente es predominante [ácido orto-arsénico (H_3AsO_4), arseniato di-ácido (H_2AsO_4^-), arseniato mono-ácido (HAsO_4^{2-}), arseniato (AsO_4^{3-}). Las condiciones que favorecen la oxidación química y biológica, favorecen el cambio a especies pentavalentes, y, a la inversa, aquellas que favorecen la reducción cambiarán el equilibrio al estado trivalente. Además, los microorganismos, plantas y animales pueden convertir los compuestos de arsénico inorgánico en compuestos orgánicos. En general, las especies orgánicas arsénico-metiladas estarán presentes en cantidades más bajas que las inorgánicas arsenito (As^{+3}) y arseniato (As^{+5})⁽³⁶⁾.

El principal aporte de arsénico a la dieta son los alimentos de origen marino, pues los crustáceos y peces marinos comestibles tienen las concentraciones más altas de arsénico (0,1 a 90 $\mu\text{g/g}$). Sin embargo, el arsénico presente en este tipo de alimentos es arsénico orgánico, que es considerado como menos tóxico. La ingestión de arsénico en agua de bebida (principalmente arsénico inorgánico) es una fuente de exposición muy importante para algunas poblaciones, por lo que puede ser un problema grave de salud pública⁽³⁵⁾.

La presencia de arsénico en las aguas subterráneas también se puede explicar como resultado de la utilización, a veces excesiva y sin control, de productos relacionados con actividades agrícolas, la jardinería y limpieza de malezas, como son los fungicidas, insecticidas y plaguicidas en general. Muchos de ellos tienen arsénico como compuesto tóxico, porque su utilización está indicada para erradicar plagas diversas. Esto explica la presencia de arsénico en el tabaco en los cultivos del mismo. Se han encontrado 1 a 12,6 $\mu\text{g/cigarrillo}$ según el país. Del 10 al 20% de este arsénico se volatiliza cuando se queman los cigarrillos⁽³⁵⁾ (ver figura 2)

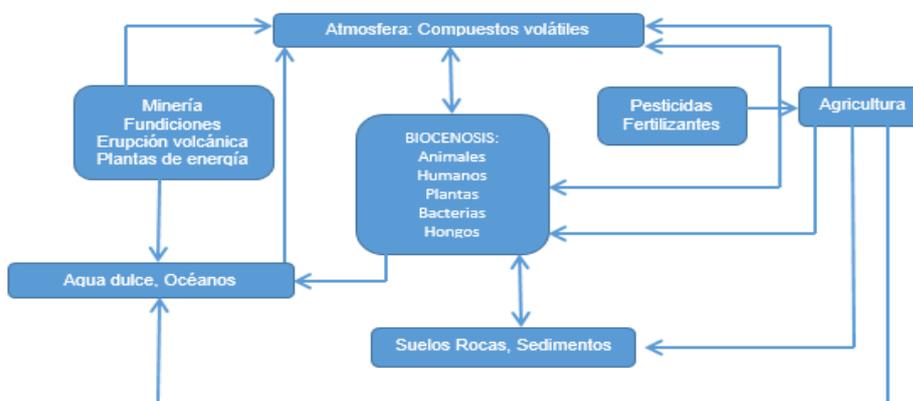


Figura 2. Ciclo del Arsénico en el ambiente⁽³⁷⁾

2.4.3 Toxicocinética.

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

- A) Absorción: En los seres humanos, y en la mayoría de las especies animales, la absorción de compuestos arsenicales a través del TGI es alta (95%) cuando se administran en solución acuosa. La absorción de As por vía respiratoria depende del tamaño de las partículas inhaladas, de su solubilidad y de la forma química del compuesto. La principal forma química presente en el aire es el As (III), el cual es de origen 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 μ m se absorben en un 75% a 85% ⁽³⁷⁾.
- B) Distribución: Los arsenicales tienden a acumularse principalmente en el hígado, riñón, pulmón y bazo. El As (III) se une preferentemente a los grupos sulfhidrilo de proteínas como la queratina, por lo que se deposita en pelo y uñas ⁽³⁷⁾.
- C) Biotransformación: El metabolismo del As se realiza principalmente en el hígado y, aunque su mecanismo no está bien establecido, se propone que en él intervienen dos procesos:
- Reacciones de reducción que convierten el As (V) en As (III), y
 - Reacciones de metilación oxidativa que transforman el As (III) en especies metiladas.

En microorganismos puede ocurrir una tercera metilación, que genera compuestos trimetilados, los cuales se consideran poco tóxicos ⁽³⁷⁾.

- D) Excreción: El As se elimina principalmente por el riñón en forma de DMA (50-70%). Una parte (20%) se excreta sin metilar, en la orina. El As tiene una media corta, los valores descritos en orina de hámster son de 28,6 h para arsénico inorgánico, 7,4 h para MMA y 5,6 h para DMA. Las proporciones relativas de As (III), As (V), MMA y DMA en la orina pueden variar, dependiendo de la

forma química, el tiempo de exposición, la dosis y la especie animal expuesta⁽³⁸⁾.

2.4.4 Contaminación del agua potable con arsénico.

El arsénico es común en el agua subterránea en todo el mundo pero particularmente peligroso en algunas regiones. En algunas regiones de las Américas, India, Bangladesh, China y Tailandia, las concentraciones de arsénico natural en las aguas subterráneas han sido lo suficientemente elevadas para intoxicar a quienes las beban. El arsénico en el agua típicamente causa intoxicación gradual (en un lapso de 5 a 20 años) que resulta en cánceres de la piel, vejiga y riñones entre otras enfermedades. Los niveles de arsénico se pueden manejar por medio del tratamiento del agua en el sistema de abastecimiento o a nivel doméstico. Pero los obstáculos socio-económicos, y una falta de monitoreo o incluso del conocimiento de que existe la presencia de arsénico, a menudo impide dichos intentos⁽³⁵⁾.

La principal fuente de arsénico del agua de consumo es la disolución de minerales y menas de origen natural (mineral del cual se extrae un metal, en este caso el arsénico). Excepto en las personas expuestas al arsénico por motivos laborales, la vía de exposición más importante es la vía oral, por el consumo de alimentos y bebidas. En ciertas regiones, las fuentes de agua de consumo, particularmente las aguas subterráneas, pueden contener concentraciones altas de arsénico. En algunas zonas, el arsénico del agua de consumo afecta significativamente a la salud, y el arsénico se considera una sustancia a la que debe darse una prioridad alta en el análisis sistemático de fuentes de agua de consumo humano. Con frecuencia, su concentración está estrechamente relacionada con la profundidad del pozo⁽³⁹⁾. Las concentraciones de Arsénico en el agua potable son usualmente menores a 10 µg/L mientras que, en sitios cercanos a minas o contaminados con minerales arsenicales, fluctúan entre 200 y 1000 µg/L⁽³⁴⁾. Es factible técnicamente reducir la concentración de arsénico en el agua de consumo hasta 5 µg/L o menos mediante cualquiera de varios métodos de tratamiento posibles; no obstante, es preciso para ello una cuidadosa optimización y control de los procesos, y es más la expectativa de alcanzar 10 µg/L mediante tratamientos convencionales, como la coagulación⁽³⁹⁾.

2.4.5 Contaminación del agua de bebida por arsénico y su impacto en la salud pública

2.4.5.1 El arsénico y sus efectos sobre la salud

La toxicidad aguda del arsénico en altas concentraciones ha sido conocida y documentada por siglos; asimismo se tiene documentado su uso en concentraciones reducidas para el tratamiento de enfermedades como sífilis, malaria, cólera e incluso leucemia⁽⁴⁰⁾. La identificación de los efectos a la salud a largo plazo asociados con la exposición a muy bajas concentraciones es reciente, siendo los primeros indicios de ello derivados de sus diferentes usos medicinales⁽⁴¹⁾ ⁽⁴²⁾. La forma de arsénico más tóxica es la arsina (AsH_3), un compuesto gaseoso, inodoro e inflamable; seguido por los arsenitos (As III), arseniatos (As V) y compuestos de arsénico orgánico⁽⁴²⁾.

La exposición humana al arsénico puede darse por ingestión, inhalación o adsorción a través de la piel. Con excepción de aquellos individuos con exposición ocupacional al arsénico, la ruta de exposición más importante es a través de la ingesta de alimentos y agua de bebida⁽⁴¹⁾ ⁽⁴²⁾. La mayoría del arsénico ingerido es excretado a través de la orina, heces, piel, cabello, uñas y respiración. En casos de ingesta excesiva, una parte del arsénico es depositado en los tejidos causando la inhibición de la actividad enzimática celular⁽⁴³⁾.

El arsénico produce efectos en una amplia gama de sistemas orgánicos en humanos y hasta el momento no se ha demostrado ningún rol biológico o como elemento esencial. Su toxicidad aguda en humanos es predominantemente una función de su tasa de remoción del cuerpo⁽⁴²⁾ ⁽⁴⁴⁾.

Los efectos lo podemos clasificar como:

- A) Efectos a corto plazo: La ingesta de dosis elevadas de arsénico puede derivar en síntomas agudos como el síndrome gastrointestinal, seguido de fallas multi-orgánicas –incluyendo falla renal, respiratoria, cardiovascular y de las funciones cerebrales – y muerte posterior.
- B) Efectos a largo plazo: Los efectos de la exposición prolongada a bajas concentraciones de arsénico, tanto de manera ocupacional como por consumo

a través de la comida y agua de bebida, ha sido analizada y demostrada. Estos efectos crónicos incluyen cáncer en varios órganos, en particular la piel, vejiga y pulmones. En varias partes del mundo las enfermedades producidas por arsénico constituyen un problema de salud pública ⁽⁴⁵⁾.

En 2004, el Centro Internacional para la Investigación sobre Cáncer (CIIC, e IARC por sus siglas en inglés) concluyó que “existe evidencia suficiente de que el arsénico en el agua de bebida causa cáncer de vejiga, pulmón y piel en humanos” ⁽⁴⁶⁾. Actualmente, el CIIC clasifica a los compuestos inorgánicos de arsénico en el Grupo I (cancerígenos para el ser humano) ⁽⁴⁴⁾.

En las últimas décadas se ha identificado arsénico en el agua subterránea usada para consumo directo en países de todos los continentes, convirtiéndose en un problema de salud pública global. Cientos de millones de personas, en su mayoría en países en desarrollo, consumen a diario agua con concentraciones de arsénico muchas veces mayores a 10 microgramos por litro (10µg/L), el límite recomendado por la Organización Mundial de la Salud (OMS) ⁽⁴⁷⁾ ⁽⁴⁸⁾. Ver tabla 3.

Tabla 4. Procesos geoquímicos naturales que liberan arsénico en el agua subterránea ⁽⁴⁹⁾.

Proceso	Condiciones/características Geoquímicas	Ambiente geológico generalizado
Disolución reductiva	Agua subterránea anóxica (ausencia o bajos niveles de nitratos y sulfatos disueltos; pH ~7; alto contenido de hierro y manganeso, amonio y bicarbonato.	Sedimentos holocenos depositados en áreas de inundación en ríos que fluyen a través de cadenas montañosas geológicamente recientes.
Desorción alcalina	Agua subterránea con presencia de oxígeno, nitratos o sulfatos disueltos; pH >8; bajos niveles de hierro y manganeso. Pueden darse niveles elevados de otros iones como Fluor, Boro, Molibdeno, Selenio.	Depósitos aluviales y acuíferos en lecho rocoso.
Oxidación de sulfuros	Agua subterránea con presencia de oxígeno disuelto; pH<7(1-6), altos niveles de sulfatos .Ocurre cuando minerales con azufre se encuentran expuestos al oxígeno, a menudo al nivel freático , producen aguas típicamente ácidas y ricas en sulfatos, pero no necesariamente con altos contenidos de hierro.	Áreas donde existe mineralización , a menudo asociado con otros metales como estaño, oro, etc.
Geotermales	Aguas subterráneas con altas temperaturas, alto contenido de cloruros.	Áreas de actividad geotermal (geológicamente activas) a menudo asociada a rocas volcánicas

2.4.6 Contaminación del agua por arsénico a nivel mundial:

Se estima que más de 140 millones de personas en al menos 70 países se encuentran expuestas a concentraciones de arsénico superiores a los 10 µg/L en el agua de bebida. De manera similar, más de 50 millones de personas consumen o han consumido agua de bebida con más de 50 µg/L ⁽⁴⁷⁾⁽⁴⁸⁾. Desde mediados de los noventas, se han reportado aguas con concentración de arsénico superiores a los niveles arriba mencionados en todos los continentes ⁽⁴¹⁾. Ver tabla 4.

Tabla 5. Países que han reportado arsénico en aguas subterráneas ⁽⁵⁰⁾.

Continente	País
Asia	Afganistán, Arabia Saudita, Bangladesh, Camboya, China, Filipinas, India, Irán, Japón, Kazajstán, Laos, Malasia, Mongolia, Myanmar, Nepal, Pakistán, Sri Lanka, Tailandia, Taiwán, Turquía, Vietnam.
América	Alaska, Argentina, Canadá, Chile, Dominica, El Salvador, Estados Unidos de América, Honduras, México, Nicaragua, Perú.
Europa	Alemania, Austria, Bélgica, Croacia, Dinamarca, España, Finlandia, Francia, Grecia, Hungría, Italia, Republica Checa, Rumania, Rusia, Reino Unido, Serbia, Suecia, Suiza.
África	Camerún, Etiopía, Ghana, Nigeria, Sudáfrica, Zimbabue.
El Pacífico	Australia, Nueva Zelanda.

2.5 Plomo

El Plomo (Pb) es un metal flexible, inelástico y altamente tóxico para el ser humano, su punto de fusión es de 328 °C y su punto de ebullición 1.740 °C, es de importancia resaltar, que a partir de los 600 °C desprende abundantes vapores ⁽⁵¹⁾, entonces este metal puede ser inhalado en forma de vapores, polvo fino ambiental o de humo. La presencia de Pb en nuestro organismo se relaciona con contaminación ambiental, algunas de las fuentes de emisión y exposición a éste elemento son los combustibles, restos de pinturas que se raspan y que pueden contaminar el suelo convirtiendo esta situación en un peligro permanente, debido a que el Pb en el suelo no se degrada ni se puede retirar fácilmente; también cañerías de agua cuyas tuberías o tanques incluyen en su constitución plomo ⁽⁵²⁾

baterías, juguetes, artículos escolares, cerámicos, lacas, tintas, imprentas y diversas actividades industriales ⁽⁵³⁾.

El ingreso de Pb a nuestro organismo puede ser por vía aérea o por vía oral; es así como las partículas más grandes pueden quedar atrapadas en el tracto respiratorio mientras las partículas pequeñas, es decir, menores a 1 micra, llegan directamente a los sacos alveolares de los pulmones, donde son absorbidas para dirigirse hacia la circulación sanguínea en donde son atacadas por el sistema linfático y los macrófagos alveolares; en ocasiones estas partículas se pueden expulsar por expectoraciones, en tanto que la contaminación por vía oral, se genera por el mal empleo de las reglas de higiene personal cuando se trabaja cerca del Plomo, lo que ocasiona que se introduzca un gran porcentaje de este metal por ingesta y pueda viajar por el tracto gastrointestinal ⁽⁵¹⁾. Existen algunos elementos y sustancias cuya disminución en la ingesta puede favorecer el aumento en la absorción de Pb, algunas de estas son Hierro, Calcio, Fósforo, Zinc y vitaminas como la E, C y Tiamina ⁽⁵¹⁾. La exposición a Plomo ocasiona algunas alteraciones a nivel hematológico como anemia microlítica, hipocrómica y la presencia de eritrocitos con punteado basófilo. Otras alteraciones incluyen a nivel gastrointestinal presencia de cólico saturnino, en el Sistema Nervioso Periférico provoca neuropatía periférica de predominio motor en los músculos de las extremidades, alteraciones de la barrera neurocapilar con aumento en la presión del fluido endoneural lo que genera compresión nerviosa, a su vez esto ocasiona isquemia, necrosis, degeneración axonal, desmielinización segmentaria y retarda la conducción nerviosa motora, con depresión del potencial de placa por bloqueo presináptico ⁽⁵⁴⁾. Por su parte a nivel del Sistema Nervioso Central existe evidencia experimental que indica que niveles de Pb en sangre $> 10 \mu\text{g/dL}$ pueden provocar efectos perjudiciales y permanentes en la función cerebral que incluyen reducción en la inteligencia, problemas de conducta, y disminución del rendimiento escolar ⁽⁵⁵⁾; además provoca inhibición de los canales de calcio, con la subsecuente disminución en la concentración intracelular, lo que altera la actividad neuronal y la secreción de neurotransmisores. En el adulto los efectos biológicos por exposición inadecuada se caracterizan por un cuadro demencial, cefaleas, trastornos del sueño, trastornos de la visión, ataxia y trastornos del habla ⁽⁵¹⁾. La medición de los niveles de este metal ha sido documentada por varios autores quienes reportan algunos valores de referencia en distintas muestras biológicas.

2.5.1 Generalidades

La presencia de plomo (Pb) en la corteza terrestre no solo es debida a la extracción de minerales de plomo del suelo empleando el calor en los afloramientos naturales sino por diversas actividades antropogénicas (fundición de minerales, gases contaminantes urbanos, deposición de residuos sólidos urbanos, combustión incompleta de carburantes, entre otros) Asimismo, los suplementos de calcio, las cerámicas y los vidriados fabricados con este metal son fuentes adicionales. El plomo se emplea principalmente en la fabricación de baterías, conducciones, aditivos para pinturas, antidetonantes para la gasolina, municiones militares y fertilizantes⁽⁵⁶⁾.

2.5.2 Propiedades fisicoquímicas

Es un elemento químico de número atómico 82 con una masa atómica de 207.19 g/mol. Su símbolo es Pb. El plomo es un metal pesado de color grisáceo que presenta un aspecto de color brillante al corte, y que se oxida rápidamente. Es muy dúctil y maleable, y sus aleaciones con el antimonio y estaño se remontan a la antigüedad^{(57) (58)}.

2.5.3 Fuentes de exposición

Este metal es considerado un importante contaminante debido a su potencial de acumulación y persistencia. Aunque en pequeñas cantidades, las fuentes más importantes de plomo son las bebidas alcohólicas, los cereales, el despojo cárnico, los pescados y las frutas y verduras^{(59) (60) (61)}.

La ingesta semanal tolerable provisional (ISTP) establecida por la FAO es 25 µg/Kg referido a una persona de 60 Kg de peso^{(62) (63) (64)}.

Otras fuentes de ingestas de plomo importantes son las provenientes de las cerámicas con vidriados a base de sales de plomo para el envase de alimentos artesanales, que se preparan en cacerolas de barro. La FDA calculó en 1979 que aproximadamente el 20% del plomo presente en la dieta diaria de las personas de más de un año procedía de los alimentos envasados. Por eso son tan interesantes los envases metálicos por embutición de las planchas metálicas, que evitan, por lo menos, las soldaduras laterales de los botes⁽⁵⁶⁾.

2.5.4 Toxicocinética

El 90% del plomo absorbido es transportado como un complejo proteico dentro del eritrocito, teniendo un tiempo de vida media de 2-3 semanas. Se distribuye en el organismo a nivel hepático y renal bajo la forma de fosfatos, pudiendo llegar a bilis y huesos ⁽⁶⁵⁾.

La absorción de plomo en el cuerpo es influenciada por la ruta de exposición, la forma química y el tipo de medio de exposición (por ejemplo, pintura, suelo, polvo). La edad y el estado fisiológico de la persona expuesta (por ejemplo, situación nutricional de calcio y hierro en ayunas) también influye en la absorción de plomo. La absorción de plomo ocurre principalmente dentro de los tractos gastrointestinal y respiratorio. Luego de la absorción, el plomo se distribuye ampliamente en el plasma sanguíneo y tejidos blandos. Luego, se redistribuye en el cuerpo a través de intercambios de plomo entre el plasma sanguíneo y las superficies de los huesos, así como en los riñones y los intestinos. El plomo que no es retenido por el cuerpo es excretado principalmente en las heces y la orina. El plomo orgánico, cuando es inhalado, también es excretado a través del aire exhalado.

El plomo acumulado en los huesos representa un significativo reservorio potencial de plomo dentro del cuerpo. El plomo depositado en los huesos durante el crecimiento y remodelamiento de los huesos puede ser liberado de las reservas de los huesos y contribuir a las concentraciones de plomo en sangre durante la reabsorción de los huesos. En períodos de la vida como el embarazo, la menopausia y la edad avanzada, así como en enfermedades como la osteoporosis o durante períodos de inmovilización, puede generarse una mayor liberación de plomo de los huesos, incrementándose la concentración de plomo en la sangre. El intercambio de plomo entre el plasma sanguíneo y la superficie de los huesos se ve influenciado también por la manera como el plomo es absorbido por el sistema gastrointestinal y en qué medida es excretado del cuerpo ⁽⁶⁶⁾. Ver figura 3.

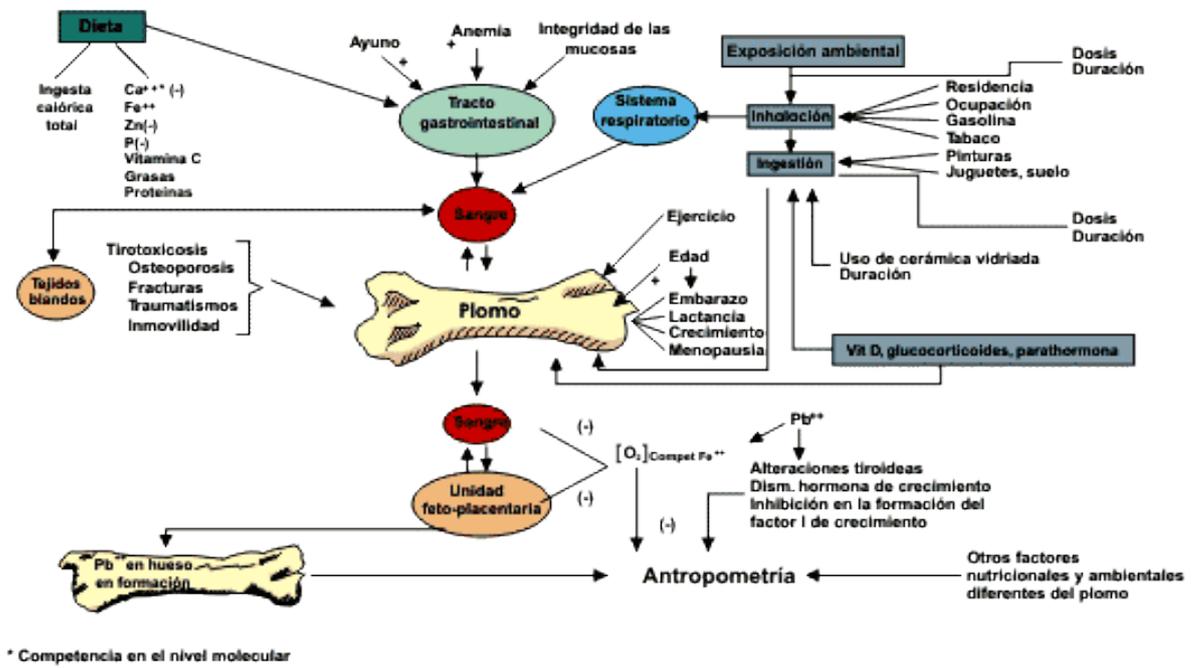


Figura 3. Modelo Biológico de Plomo⁽⁶⁷⁾.

2.5.5 Contaminación del agua con plomo.

Las sales solubles en agua de los metales pesados como el plomo, son muy tóxicos y acumulables por los organismos que los absorben, los cuales a su vez son fuente de contaminación de las cadenas alimenticias al ser ingeridas por alguno de sus eslabones. Al ser ingeridos por el hombre en el agua y alimentos contaminados por plomo provocan ceguera, amnesia, raquitismo, miastenia o hasta la muerte⁽⁶⁸⁾. Los niños, bebés y fetos parecen ser más vulnerables a la intoxicación con plomo. Una dosis de plomo que puede tener pocas consecuencias en un adulto puede afectar mucho al organismo de un cuerpo pequeño. También, los niños absorben más rápidamente el plomo que ingieren. El desarrollo mental y físico de un niño puede sufrir daños incorregibles al ser expuestos al plomo. En bebés, cuya dieta consiste de líquidos hechos con agua, el plomo en el agua potable que consumen es la mayor fuente de este metal (del 40 al 60 por ciento)⁽⁶⁹⁾.

El plomo es anfótero por lo que forma sales plumbosas y plúmbicas, así como plumbitos y plumbatos. Se encuentra en minerales como la galena (sulfuro de plomo, PbS) que se utiliza como fuente de obtención del plomo, la anglesita (sulfato de plomo II, $PbSO_4$) y la cerusita (carbonato de plomo, $PbCO_3$). Gran parte del plomo se obtiene por reciclado de chatarras como las placas de baterías

y de las escorias industriales como soldaduras, metal para cojinetes, recubrimientos de cables, etc⁽⁶⁸⁾.

En el pasado el agua contaminada por plomo procedía de minerales de la industria minera, esto fue ya advertido por el arquitecto Vitruvio, en el 20 A.C., cuando dio a conocer advertencias a cerca de sus efectos sobre la salud. En Roma el plomo se liberaba como un subproducto de la minería de la plata (70).

En la actualidad la contaminación del agua por plomo no se origina directamente por el plomo sino por sus sales solubles en agua que son generadas por la explotación minera, la metalurgia, las actividades de fabricación y reciclaje y, en algunos países, el uso persistente de pinturas y gasolinas con plomo. Sin embargo, este metal también se utiliza en muchos otros productos, como pigmentos, pinturas, material de soldadura, vidrieras, vajillas de cristal, municiones, esmaltes cerámicos, artículos de joyería y juguetes, así como en algunos productos cosméticos y medicamentos tradicionales. También puede contener plomo el agua potable canalizada a través de tuberías de plomo o con soldadura a base de este metal⁽⁷¹⁾.

2.6 Reglamento de La Calidad de Agua para Consumo Humano

La Dirección General de Salud Ambiental el 26 de Setiembre del 2010, a través del D.S. N° 031-2010-SA, presentó el nuevo “REGLAMENTO DE LA CALIDAD DE AGUA PARA CONSUMO HUMANO” estableciendo los requisitos Oficiales Físicos, Químicos y Bacteriológicos que deben reunir las aguas de bebida para ser consideradas potables. Mediante sus 10 títulos, 81 artículos, 12 disposiciones complementarias, transitorias y finales y 5 anexos; no solo establece límites máximos permisibles, en lo que a parámetros microbiológicos, parasitológicos, organolépticos, químicos orgánicos e inorgánicos y parámetros radiactivos sino también le asigna nuevas y mayores responsabilidades a los Gobiernos Regionales, respecto a la Vigilancia de la Calidad del Agua para Consumo humano; además de fortalecer a la SUNASS, en el posicionamiento como Autoridad Sanitaria frente a estos temas.

En el anexo III del reglamento, que por título lleva “LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES DE PARÁMETROS QUÍMICOS INORGÁNICOS Y

ORGÁNICOS”, fija el valor de la concentración máxima aceptable para el Arsénico en 0.010 mgL^{-1} y para el Plomo en 0.010 mgL^{-1} (2).

2.7 Minería industrial

La minería industrial es el proceso de extracción, explotación y aprovechamiento de minerales que se hallan sobre la superficie terrestre con fines comerciales. La minería es una de las actividades más antiguas desarrollada por el hombre (72).

Principales etapas de la actividad minera:

1. Cateo y prospección:
2. Exploración
3. Explotación
4. Beneficio
5. Comercialización y cierre (73).

2.7.1 Generalidades sobre explotaciones mineras.

De forma genérica, las explotaciones mineras se clasifican en dos grandes grupos:

- a) Extracción a cielo abierto: Se denomina minería a cielo abierto al proceso de explotación minera que se realiza en la superficie terrestre, no se efectúa en galerías subterráneas. Para extraer minerales de estos yacimientos, se remueve gran cantidad de tierra con maquinaria y explosivos, se crea inmensos cráteres que pueden llegar a ocupar más de 100 hectáreas y normalmente alcanzan de 200 metros a 800 metros de profundidad. En Rusia existe una mina a cielo abierto de diamantes que llegó a 1200 metros. Frecuentemente se construyen rampas en forma de espiral, para que puedan subir los camiones con el mineral desde el fondo del yacimiento. Los cráteres se agrandan cada vez más, hasta que la empresa deja de explotar el yacimiento por considerar que ya no resulta rentable. Desgraciadamente, este tipo de minas tiene un impacto ambiental mucho mayor que las subterráneas (74).
- b) Minería subterránea: en este tipo de explotación en ciertas ocasiones denominada minería de subsuelo, se realizan trabajos de desarrollo para llegar hasta el mineral mediante galerías (túneles horizontales),

chimeneas (túneles verticales o inclinados que no se comunican a superficie), piques (túneles verticales que salen a la superficie), rampas (túneles en forma de espiral), etc. Posteriormente se realizan trabajos de preparación es decir se diseña en el terreno la forma de cómo extraer el mineral estableciendo un método de minado. Al túnel principal de la mina se denomina comúnmente como socavón ⁽⁷⁵⁾.

2.7.2 Principales efectos de la minería sobre el medio ambiente

Las operaciones mineras modifican y/o alteran el área que utilizan incluso irremediablemente. Tanto en la etapa operacional como tras el abandono, se dan una serie de efectos ambientales de mayor o menor magnitud en función de las condiciones locales y el tipo de explotación. Se listan a continuación los principales efectos medioambientales de las actividades mineras, si bien hay que tener presente que no siempre se dan todos y su trascendencia es variable según los casos. Son los siguientes:

- Alteración del paisaje
- Modificación del hábitat ecológico
- Destrucción de cubierta vegetal
- Ruido
- Emisiones de polvo y sedimentación del mismo
- Modificación de cursos de agua
- Generación de residuos
- Contaminación de suelos
- Contaminación de aguas superficiales y subterráneas

2.7.3 Agua y Minería

El uso de agua en la minería tiene el potencial de afectar la calidad del agua superficial y subterránea de los alrededores ⁽⁷⁶⁾. El agua contaminada con altas concentraciones de metales, minerales de sulfuro, sólidos disueltos, o sales puede afectar negativamente a la calidad del agua superficial, los ecosistemas acuáticos, y la calidad de las aguas subterráneas ⁽⁷⁷⁾. La erosión de carreteras, minas activas, minas inactivas, relaves y pilas de eliminación en el área minera a cielo abierto impactan negativamente sobre la vida acuática, incluyendo el aumento de la mortalidad, la salud o problemas reproductivos, y una reducción en el número de especies presentes ⁽⁷⁸⁾. Los impactos sobre la salud humana pueden ocurrir cuando se ve afectada la calidad de los suministros de agua utilizada para el riego, la bebida, y / o aplicaciones industriales ⁽⁷⁹⁾.

2.7.4 Minería en el Perú

Las actividades extractivas de minerales en el Perú son muy antiguas y siempre se han encontrado dentro de las principales actividades económicas del país generando muchas divisas ⁽⁸⁰⁾. En el año 2016 la minería aportó el 15% del PBI ⁽⁸¹⁾. Perú es el primer productor de zinc, estaño, plomo y oro a nivel latinoamericano y ocupa el sexto lugar a nivel mundial en el ranking de productores de oro ⁽⁸²⁾. En la actualidad, la cartera de inversión en proyectos mineros asciende a US\$ 46,796 millones y se estima que para el 2021 el empleo directo en el sector alcanzaría los 255 mil puestos de trabajo y 1.6 millones de empleos indirectos ⁽⁸³⁾. La abundancia mineral del Perú es hoy en día causa de conflicto entre las empresas que realizan la extracción, el gobierno que ha tardado en fiscalizar algunas empresas y la sociedad civil que sufre los daños del ambiente contaminado y daños a la salud consecuentemente.

La minería es responsable de generar contaminación permanente del ambiente con productos químicos, podemos citar a la ciudad de La Oroya con plomo, cadmio y otros metales en el aire y agua; la ciudad de Ilo por la lluvia ácida y presencia natural de arsénico; el Callao por las cantidades de plomo en el aire; Cerro de Pasco por metales como plomo, cadmio, arsénico en el agua; Madre de Dios por mercurio y cianuro en el agua; río Rímac por presencia de arsénico,

plomo, cadmio; Puno por metales tóxicos en el agua y desechos de toda índole en el lago Titicaca; Cajamarca y Ancash por plomo, cadmio, arsénico en sus ríos, etc. En todos estos lugares, la actividad principal contaminante es la minería, por lo que se estima que los contaminantes principales son los metales pesados y tóxicos como plomo, arsénico, mercurio, cadmio, cobre, zinc, cromo, vanadio, tungsteno, molibdeno, hierro, manganeso, cianuros ⁽⁸⁴⁾

2.7.5 Pasivos Ambientales Mineros (PAM)

Según ley 28.271, art. 2 de la legislación peruana, Son instalaciones, efluentes, emisiones, restos o depósitos de residuos producidos por operaciones mineras, en la actualidad abandonadas o inactivas y que constituyen un riesgo permanente y potencial para la salud de la población, el ecosistema circundante y la propiedad” ⁽⁸⁵⁾.

De acuerdo con el Inventario de Pasivos Ambientales Mineros del Ministerio de Energía y Minas (MINEM), en la actualidad, existen 8 571 ⁽⁸⁶⁾. Además, se sabe que más de la mitad de las 5 818 comunidades campesinas existentes, ubicadas principalmente en la sierra del Perú, coexisten con actividades mineras, lo cual constituye un riesgo ambiental al modo de vida rural porque dependen de actividades agropecuarias como medios de sustento ⁽⁸⁷⁾.

En Cajamarca las actividades extractivas pasadas dejaron en esta región 1022 zonas consideradas pasivos ambientales mineros. Con agua y suelo contaminado en muchos lugares ⁽⁸⁸⁾. De los 1022 pasivos ambientales ubicadas en Cajamarca el 95%, es decir, 965 pasivos se encuentran en Hualgayoc, dicha provincia es caracterizada por ser una zona polimetálica ⁽⁸⁰⁾.

El distrito de Hualgayoc ha tenido sobre su superficie operaciones de la gran minería hasta la actualidad, representada por Minera Gold Fields la Cima S.A., la cual pertenece a capitales sudafricanos y por Compañía Minera Coimolache S.A., la cual ha tenido entre sus socios a Compañía de Minas Buenaventura. En dichas minas se lleva a cabo la explotación de los minerales de oro, plata y cobre, figurando actualmente en cartera la ampliación del asiento minero de Cerro Corona y los proyectos de Antahuatay, Ciénaga Sur y Cuyacpampa. Hualgayoc ha sido una de las provincias con mayor cantidad de concesiones mineras en el Perú ⁽⁸⁹⁾.

La unidad minera Cerro Corona se encuentra a 80 kilómetros de la ciudad de Cajamarca, a siete kilómetros de la ciudad de Hualgayoc por carretera y a 30 kilómetros de la ciudad de Bambamarca, en la vertiente oriental de la Cordillera Occidental de los Andes del norte de Perú, entre los 3.600 y los 4.050 m.s.n.m.

La unidad minera Cerro Corona produce cobre y oro mediante métodos convencionales de explotación a tajo abierto y tratamiento de minerales de sulfuros mediante la extracción por flotación de concentrado, que posteriormente transporta en camiones, aproximadamente unos 380 kilómetros hasta el puerto de Salaverry, para enviarlos a las fundiciones de Asia y Europa por vía marítima.

Los procesos realizados en el cerro corona son: Minado, molienda, flotación y reactivos, espesamiento y relaves, filtrado y por último el almacenamiento y despacho. Cerro Corona ha proyectado procesar 67,1 millones de toneladas de material con contenido mineral hasta el año 2023, con la finalidad de producir 1,3 millones de onzas de oro y 263000 toneladas de cobre en su planta concentradora diseñada para tratar 19 mil toneladas por día a un ritmo de 804 toneladas por hora⁽⁹⁰⁾.

2.8 Distrito de Hualgayoc, Provincia de Hualgayoc, Departamento de Cajamarca.

2.8.1 Ubicación y Superficie

Política y administrativamente, la Provincia de Hualgayoc pertenece a la Región Cajamarca, Perú, Sudamérica. El Perú se encuentra ubicado en la vertiente del Océano Pacífico, estando dividido su territorio en tres grandes regiones naturales, las cuales son Costa, Sierra y Selva. El Perú se ha dividido administrativamente en 24 regiones y la Provincia Constitucional del Callao, siendo su capital la ciudad de Lima. Cajamarca se ubica en la región sierra del norte del Perú.

En lo relacionado a la ubicación de la provincia de Hualgayoc, ésta se ha encontrado en la parte central de la región Cajamarca, siendo sus límites; por el norte, con la provincia de Chota, por el este con la provincia de Celendín, por el sur con las provincias cajamarquinas de San Pablo, San Miguel y Celendín; y por el oeste, con las provincias también cajamarquinas de Santa Cruz y San Miguel; asimismo, ha estado dividida en tres distritos, Chugur, Bambamarca y Hualgayoc (ver anexo 1); siendo la capital de la provincia la ciudad de Bambamarca. En la

Figura 4, se muestran los límites y la división política administrativa de la provincia de Hualgayoc⁽⁹¹⁾.



Figura 4. Mapa Político de la Provincia de Hualgayoc⁽⁹²⁾.

En lo correspondiente a su superficie, la extensión del territorio de la provincia de Hualgayoc ha comprendido 777.15 km², lo que representó el 2.3% de la superficie total de la Región Cajamarca, siendo el detalle de la distribución de superficie la que se muestra en la Tabla 5.

Tabla 6. Áreas de la Provincia de Hualgayoc por Distritos⁽⁹³⁾.

Distrito	Superficie (Km ²)
Bambamarca	451.38
Chugur	99.60
Hualgayoc	226.17
Total	777.15

2.8.2 Historia

La provincia de Hualgayoc ha preservado restos de presencia de culturas anteriores a la incaica, estrictamente los conocidos como Yanacancha, Ventanillas, entre otros. Con posterioridad a la llegada de los españoles, la provincia fue conocida como asiento minero de gran trascendencia en la economía nacional por cuanto era productora de ingentes cantidades de plata. Esta situación quedó registrada en el año 1786, año en el que según El virreinato peruano y los textos de José Ignacio de Lecuanda en una pintura ilustrada de 1799 en Fronteras de la Historia, el Obispo de Trujillo, Jaime Martínez de Compañón, visitó Hualgayoc y remitió carta al Virrey en funciones Teodoro de Croix; informándole acerca de los problemas de la zona, específicamente en lo referido a rendición de cuentas, ordenación de las ciudades y mejores condiciones de trabajo ⁽⁹¹⁾.

2.8.2.1 Historia de la minería de la provincia

El distrito de Hualgayoc fue descubierto por los españoles en 1771 y ha sido históricamente uno de los más importantes distritos mineros de plata del Perú, habiendo producido un estimado de 1 500 000 Kg de este metal.

La industria minero-metalúrgica, ubicada en la cabecera de la sub-cuenca del río Arascorgue, es muy activa, y las exploraciones y explotaciones mineras datan de la época de la colonia, lo cual demuestra la importancia de las reservas mineras de la zona.

La producción durante los tiempos de la colonia fue principalmente a partir de vetas oxidadas, que se extendían desde la superficie hasta unas decenas o cientos de metros de profundidad. Posteriormente, la producción cambió a sulfuros primarios de plata y cobre en vetas. Actualmente, el distrito produce cantidades modestas de plomo, zinc, plata, cobre y oro (en menor cantidad) desde depósitos tipo veta y manto.

Posteriormente, las exploraciones mineras se extendieron hasta la sub-cuenca vecina del río Tingo - Maigasbamba, en donde se ha encontrado importantes yacimientos de cobre y plata.

Toda esta conjunción de factores ha llevado a que en la zona se haya instalado un considerable número de plantas de concentración ,en donde se recuperan minerales de cobre ,plomo , zinc y plata ,contando cada una de ellas con sus propias canchas de relaves, dónde disponen los residuos sólidos resultantes del proceso de concentración de minerales ⁽⁹⁴⁾.

2.8.3 Aspectos Socio – Económicos

Hualgayoc Capital de la provincia del mismo nombre, situada a 3 508 m.s.n.m. y a 92 Km. Al norte de la ciudad de Cajamarca. Sus habitantes están dedicados principalmente a la actividad minera-metalúrgica, por estar ubicados dentro del distrito minero del mismo nombre. Zona de gran riqueza mineral donde se han asentado un buen número de compañías dedicadas a la explotación de mineral. En menor grado, la población de Hualgayoc, se dedica a la agricultura y a la elaboración de quesos y jamones. Las compañías mineras, asentadas en los alrededores de la ciudad, extraen plomo, cobre, zinc y plata y luego son transportados a la planta de fundición. El río Arascorgue o Hualgayoc tiene sus orígenes en la parte alta de esta población, a partir de la cual recibe las aguas contaminadas por la minería de la Quebrada Mesa de Plata ⁽⁹⁴⁾.

Según información de la edición virtual del diario Gestión en abril de 2016, para el año 2015, el Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI), consideró a Cajamarca como una de las regiones más pobres del país. La referida institución confirmó una tendencia hacia el retroceso registrada en los últimos años en dicha región, debido a la reducción de la actividad económica, la alta volatilidad política y los problemas sociales que siempre han aquejado a la zona. Si bien es cierto, históricamente la Región Cajamarca siempre fue calificada como una de los más pobres del país, se esperaba que el auge de la actividad minera iniciada en los años noventa con la presencia de nuevas compañías mineras como Minera Yanacocha y Gold Fields La Cima S.A., se pudiese revertir la situación y contribuir al desarrollo acelerado de dichas zonas y de sus poblaciones, lo cual lamentablemente no aconteció ⁽⁹⁵⁾.

2.8.4 Recursos agrícolas

La actividad agrícola en la zona se desarrolla para obtener alimentos destinados preferentemente al autoconsumo, para provisión de semillas para cubrir las necesidades de siembra de campañas futuras y para el trueque de los excedentes en los centros urbanos.

Por su extensión, la mayoría de las unidades de producción son minifundios, los que consumen un mínimo de insumos debido principalmente al desconocimiento de las técnicas modernas. Los cultivos que predominan son el maíz, la papa, las hortalizas y los cereales.

El ingreso per-capia se deriva principalmente de la producción agrícola que incluye lácteos, papas, maíz y granos. La leche y sus derivados (quesos fundamentalmente) es el principal producto de exportación, en tanto que otros productos se utilizan para la venta local y el sustento diario ⁽⁹⁶⁾.

2.8.5 Hidrografía

La mayoría de sus ríos pertenecen a la vertiente del Atlántico y son colectados por el Llaucano, afluente del Marañón; otros corren la vertiente del pacífico a través de la cuenca de Chancay, sub cuenca del río Tacamache o San Juan Pampa.

2.8.5.1 Ríos de la Cuenca del Llaucano:

El río Llaucano es el principal de la provincia de Hualgayoc, pero de poca utilidad por la contaminación de sus aguas a partir de la confluencia del río Arascorgue.

Nace en el distrito de la Encañada provincia de Cajamarca, con el nombre de Q. Honda e ingresa a la provincia de Hualgayoc como río Chonta; al pasar por el poblado de Llaucán adopta esta denominación y fuera ya de la provincia, desde la afluencia del Guineamayo hasta su desembocadura en el Marañón, el de río Silaco. Toda su cuenca incluyendo la de sus afluentes es de 2400 Km², lo que indica que la mayor parte está fuera de Hualgayoc. Su recorrido general es de S. O. a N. E. Atraviesa el territorio provincial aproximadamente entre los poblados Palo Blanco y el Tuco. Sus afluentes son los siguientes:

- Por la margen derecha
 - a) Río Tambillo.- Nace en la provincia de Celendín; en su tramo final, es limítrofe con la provincia de Cajamarca.
 - b) Río Ñinñún.- Es uno de los más importantes, nace en la laguna de Namococha, (en la carta Nacional como Quengorio provincia de Celendín y fuera del distrito). Luego aguas abajo se conoce como río Pomagón o Ñunñún; entrega sus aguas al Llaucano cerca del poblado Ahijadero, Entre otros afluentes están las Qs.Patahuasi, chururo, Cashapampa, Enterador y los Riachuelos Chorro Blanco y la Colpa.
 - c) Otras quebradas o riachuelos son Chururo, Cuñacales (de mayor cuenca que todas las demás de este grupo), Chalán, Alán, Paraguarán y Chontas.
- Por la margen izquierda:
 - d) Río Cuzco, formado por los riachuelos de la Contadera y Pinguyo.
 - e) Río Arascorgue, nace con el nombre de Hualgayoc al E. del cerro Coimolache, cruza por el poblado de su nombre y baja precipitadamente hasta afluir en el Llaucano llevando los relaves mineros y contaminando las aguas del Llaucano.
 - f) Río Maygasbamba. Nace con el nombre de río Tingo al N. O. de Hualgayoc, entrega sus aguas al Llaucano al N. E. de la capital provincial. (Sus aguas aunque en menor grado que el Arascorgue, también están contaminadas).
 - g) Otros afluentes, entre estos están las quebradas de Los Vargas, Quinamayo o Año Mayo, Las 3 Quebradas ⁽⁹⁷⁾.

III PARTE EXPERIMENTAL

3.1 Tipo de estudio

El presente trabajo de investigación es de tipo: descriptivo, pues se cuantificó a una variable; transversal, ya que la medición de la variable se efectuó una sola vez y en una fecha determinada; comparativa, las mediciones de las variables obtenidas fueron confrontadas con los estándares establecidos en la norma técnica nacional.

3.2 Población, Muestra

La población del estudio fue 15 muestras de agua potable del distrito de Hualgayoc (conformado por 11 568 habitantes) ubicado en la provincia de Hualgayoc, departamento de Cajamarca. La toma de muestra se realizó el 17 de octubre del 2017. Se ubicaron 5 puntos de donde se realizó el monitoreo.

Las muestras se tomaron de puntos de muestra que se determinó de la siguiente manera: En una vista satelital del distrito, se circunscribió un cuadrilátero y se trazó sus dos diagonales. Cuatro puntos de muestra (PA, PB, PC, PD) se ubicaron en los ángulos del cuadrilátero y el quinto punto de muestra (PE) estuvo ubicado en la intersección de las diagonales. En cada punto de muestreo se ha elegido tres viviendas (X_1 , X_2 , X_3) las más próximas al punto determinado (ver figura 5). Del grifo de la cocina de cada casa se recolectó una muestra de 1000 mL de agua en botellas de polietileno estable con tapa rosca que previamente fue lavado químicamente para transportar la muestra.

En total fueron 15 muestras que se transportaron en un cooler a 4°C hacia el laboratorio de la Unidad de Servicios de Análisis Químico (USAQ) de la Facultad de Química e Ingeniería Química de la Universidad Nacional Mayor de San Marcos.



Figura 5. Ubicación de los puntos de muestreo. Vista satelital del distrito de Hualgayoc, provincia de Hualgayoc, departamento de Cajamarca. (Fuente: Google Earth Pro)

3.3 Método analítico

El método analítico que se empleó para el desarrollo de esta investigación fue: la Espectrofotometría de Absorción Atómica con Horno de Grafito.

3.3.1 Fundamento de Espectrofotometría de Absorción Atómica

La espectroscopia de absorción atómica es una técnica de análisis instrumental utilizada para la cuantificación de elementos químicos. Se fundamenta en la propiedad de los átomos los cuales en presencia de energía pasan de su estado fundamental a niveles de mayor energía para luego decaer. En estos cambios pueden absorber y/o emitir energía en forma de luz.

Esta técnica usa la absorción de la luz para medir la concentración de la fase gaseosa de átomos. La mayoría de las muestras son sólidas o líquidas. Los átomos o iones de los analitos deben ser vaporizadas a la flama o en un horno de grafito. Los átomos absorben luz visible o ultravioleta y hacen transiciones a niveles de energía más altos. La concentración del analito es determinada por la cantidad de absorción. (Ver figura 6)



Figura 6. Aparato de Espectroscopia de Absorción Atómica SHIMADZU AA-6800

3.4 Análisis estadístico:

Los datos obtenidos fueron procesados con el programa estadístico IBM SPSS Statistics 24.0 (SPSS: Statistical Package for the Social Sciences).

3.5 Equipo, Materiales y Reactivos

3.5.1 Equipos

- Equipo de absorción atómica SHIMADZU AA-6800
- Horno de grafito GFA-EX7
- Inyector automático, Autosampler ASC-6100
- Computadora, HP DC7900 Desktop PC
- Plancha térmica, Thermo Scientific HP139920-33Q
- Balón de Argón, 99.999% de pureza
- Balanza analítica, OHAUS EX224

3.5.2 Materiales:

- Fiolas de 10 mL, 25 mL y 100 mL clase A
- Pipetas de 5 mL y 10 mL, clase A
- Probetas de 10 mL
- Vasos de precipitados
- Papel de filtrado de celulosa Whatman Nro. 40.
- Embudos de líquidos

3.5.3 Reactivos:

- Estándar certificado de plomo de 1000 mg/L
- Estándar certificado de arsénico de 1000mg/L
- Ácido nítrico, HNO₃ concentrado ultrapuro, para preparación de estándares.

- Ácido nítrico, HNO_3 concentrado para análisis de trazas, para la digestión de las muestras.
- Diluyente, Ácido nítrico, 0.2 %: Medir 2 mL de ácido nítrico concentrado ultrapuro y llevar a una fiola de 1 litro, enrasar a la marca con agua ultrapura.
- Agua desionizada.

3.6 Procedimiento

3.6.1 Preparación de la muestra:

A 50 mL de muestra se le adiciona 5 mL de $\text{HNO}_{3(\text{cc})}$, y se somete a calentamiento de 80 °C por 2 horas. Luego se concentra el contenido hasta 15 mL de volumen. Se filtra el contenido en un matraz aforado de 25 mL, y se enrasa con la solución de ácido nítrico. Se procede a las lecturas.

De la misma forma se procede a preparar los blancos, sin incluir la muestra.

3.6.2 Medición:

Se encendió el equipo de absorción atómica SHIMADZU AA-6800, así como también el 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 GFA-600, se verificó la calibración del instrumento, asegurando el alineamiento del autosampler antes de iniciar la corrida analítica. Usando el control manual del brazo muestreador, se hizo balancear el brazo sobre el tubo de grafito, sin tocar el borde del hueco. Luego se colocó en el autosampler, el estándar de trabajo de 20 $\mu\text{g/L}$, blanco reactivo y las muestras a los viales previamente identificados y enumerados correspondientemente. Programar la calibración automática y chequear la curva de calibración.

3.6.3 Preparación de estándares

3.6.3.1 Arsénico

- Estándar patrón de arsénico, 100 $\mu\text{g/mL}$: medir 10 mL del estándar certificado y diluir a 100ml con agua ultrapura. El estándar tiene una duración de un año.
- Estándar de arsénico, 10 $\mu\text{g/mL}$: medir 10 mL del estándar de 100 $\mu\text{g/mL}$ y diluir a 100 ml con ácido clorhídrico ultra puro al 10 %. Tiene una duración de 6 meses.
- Estándar de arsénico, 1 $\mu\text{g/mL}$: medir 10 mL del estándar de 10 $\mu\text{g/mL}$ y diluir a 100 ml con ácido clorhídrico ultra puro al 10 %. Tiene una duración de una semana.
- Estándar de arsénico, 0.1 $\mu\text{g/mL}$ (100 $\mu\text{g/L}$): 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.
- Estándar de calibración, 0.05 $\mu\text{g/mL}$ (50 $\mu\text{g/L}$): medir 25 mL del estándar de 0.1 mg/L y diluir a 50 ml con ácido clorhídrico ultra puro al 10 %. Tiene una duración de un día.
- Estándares de calibración: el estándar de 50 $\mu\text{g/L}$ será diluido por medio del autosampler con agua desionizada para obtener concentraciones de 5 $\mu\text{g/L}$ (2:18), 10 $\mu\text{g/L}$ (4:16) y 20 $\mu\text{g/L}$ (8:12).
- Blanco de calibración: tomar un volumen de agua ultrapura acidificada, con la misma cantidad de ácido que los estándares de calibración.

3.6.3.2 Plomo

- Para preparar un estándar patrón de plomo de 100 mg/L, se midió 10mL del estándar certificado de 1000 mg/L y se contuvo en una fiola de 100 ml, luego se enrazo con agua ultrapura. El estándar tiene una duración de 6 meses.

- Para el estándar de plomo de 10 mg/L: se midió 10 mL del estándar de 100 mg/L 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 de 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 de 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, 16 µg/L, 18 µg/L. El equipo prepara automáticamente estos estándares a partir de estándar de 20 µg/L.
- Se preparó un blanco de calibración con agua ultrapura, siguiendo el procedimiento anterior.

3.6.4 Condiciones Instrumentales

3.6.4.1 Condiciones instrumentales para el arsénico

Las condiciones instrumentales para un análisis de arsénico por horno de grafito son:

- Longitud de onda: 193.7nm.
- Slit: 1.0
- Medida de señal: Área del pico (A-As)
- Tubo de grafito con plataforma
- Volumen de muestra: 20 µL.
- Se usa corrección de fondo (background) mediante el uso de una lámpara de deuterio
- Temperatura programada del horno de grafito:
 - Temperatura de secado: 150°C
 - Temperatura de pre tratamiento: 500°C
 - Temperatura de atomización: 2200°C

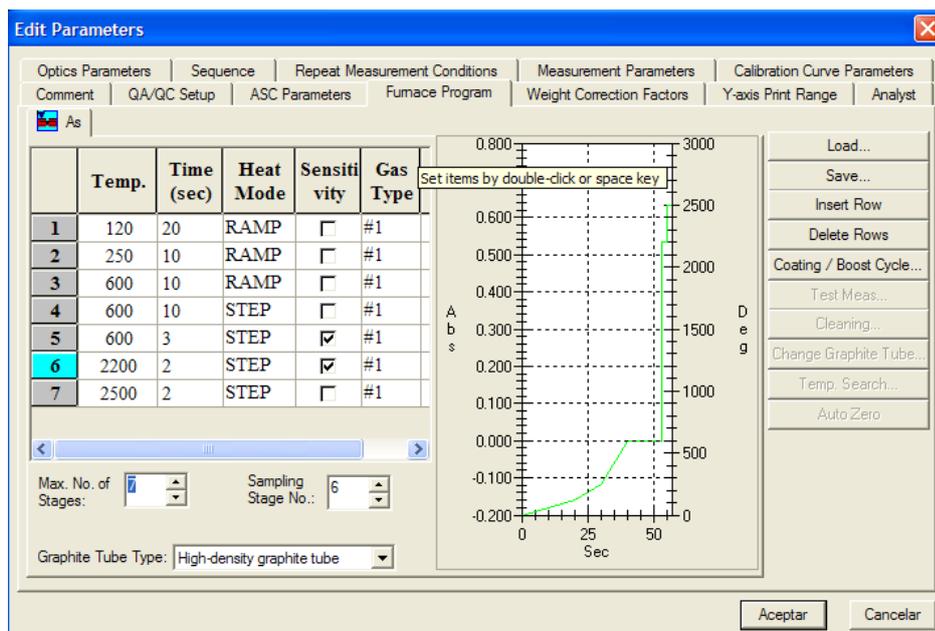


Figura 7. Programa de temperatura para la medición de Arsénico por horno de grafito

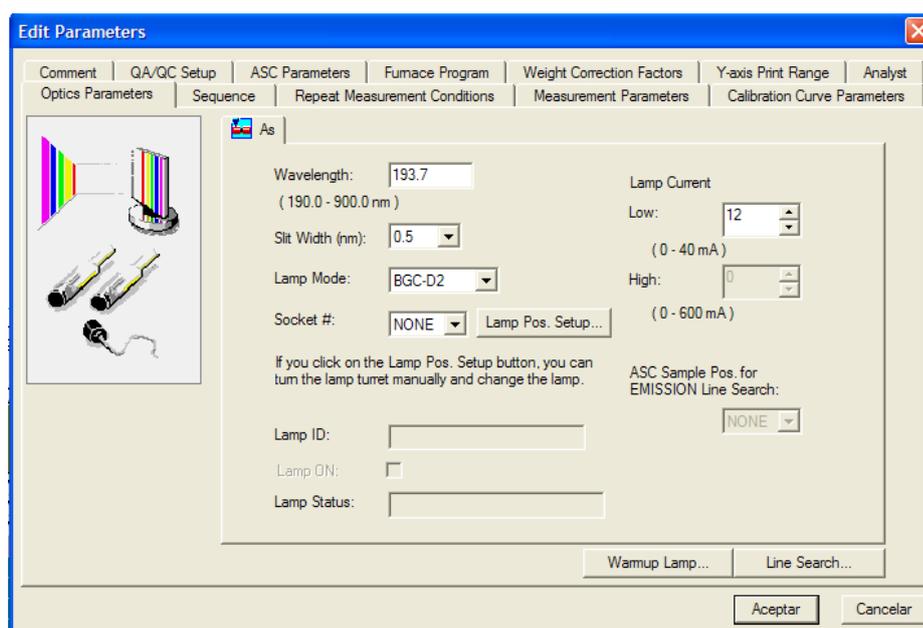


Figura 8. Parámetros ópticos para la medición de Arsénico por horno de grafito

3.6.4.2 Condiciones instrumentales para el plomo

Las condiciones instrumentales para un análisis de plomo por horno de grafito son:

- Longitud de onda: 283.3 nm.
- Slit: 0.5
- Se usa corrección de fondo (background)
- Medida de señal: Área del pico (A-As)
- Tubo de grafito con plataforma
- Volumen de muestra: 20 μ L
- Temperatura programada del horno de grafito:
 - Temperatura de secado: 120°C
 - Temperatura de pre tratamiento: 800°C
 - Temperatura de atomización: 2400°

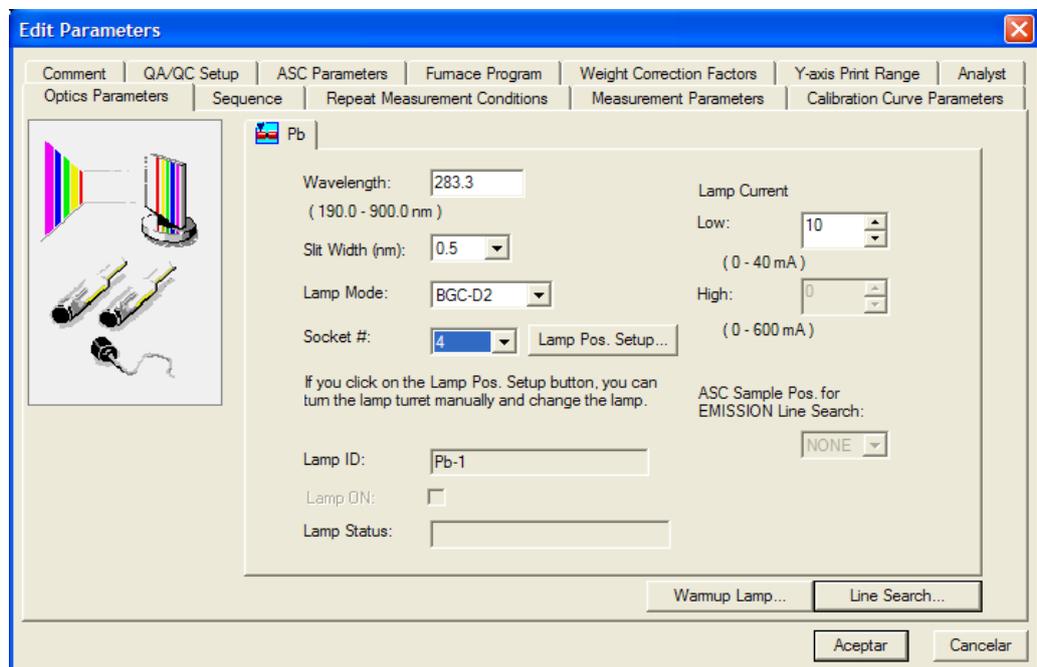


Figura 9. Condiciones ópticas para la medición de Plomo por horno de grafito.

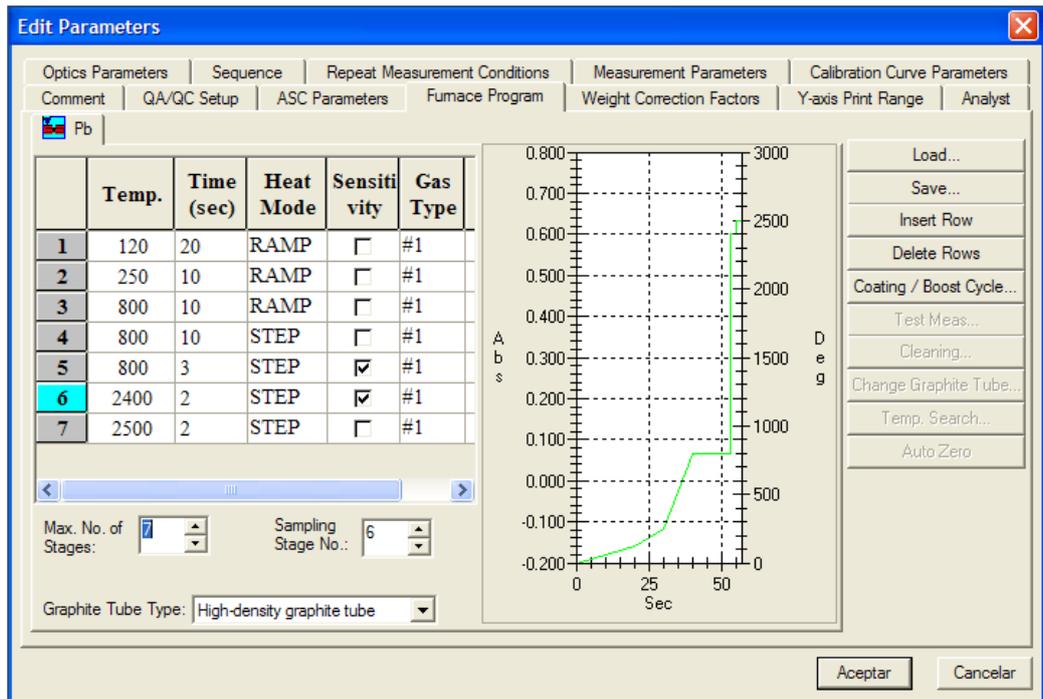


Figura 10. Programa de temperatura para la medición de Plomo por horno de grafito.

3.7 Curva de calibración

3.7.1 Curva de Calibración del Arsénico

Tabla 7. Valores determinados por el equipo de Absorción Atómica de las soluciones estándar de Arsénico.

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

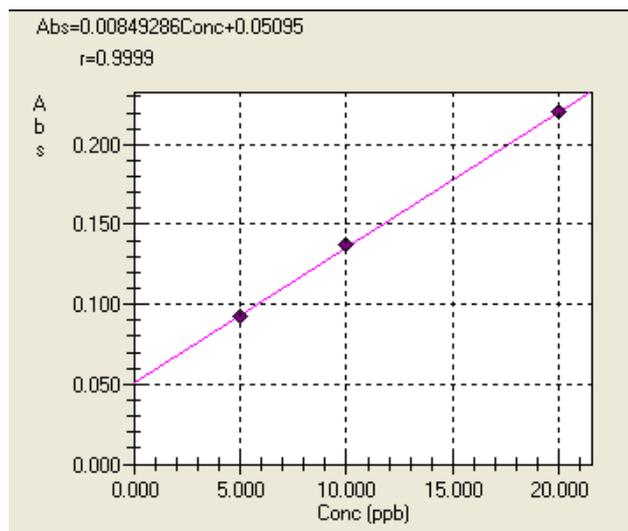


Figura 11. Curva de calibración de Arsénico.

3.7.2 Curva de Calibración del Plomo

Tabla 8. Valores determinados por el equipo de Absorción Atómica de las soluciones estándar de plomo.

Concentración (ppb)	Absorbancia
5.0000	0.0926
10.000	0.1371
20.000	0.2204

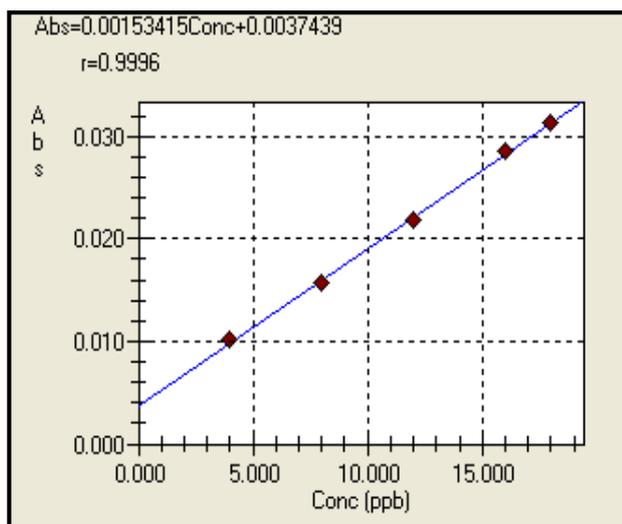


Figura 12. Curva de calibración de Plomo

IV RESULTADOS

Las concentraciones de Arsénico y Plomo expresados en mg.L^{-1} en los 15 puntos de muestreo fueron los siguientes:

MUESTRA NUMERO	PUNTO DE MUESTREO	ARSENICO (mg/L)	PLOMO (mg/L)
1	A1	0.003114	0.103938
2	A2	0.018524	0.049576
3	A3	0.001678	0.010531
4	B1	0.018127	0.027283
5	B2	0.011592	0.056485
6	B3	0.000000	0.033801
7	C1	0.005093	0.068870
8	C2	0.008366	0.078908
9	C3	0.021318	0.022199
10	D1	0.002114	0.042797
11	D2	0.000000	0.042797
12	D3	0.000000	0.020374
13	E1	0.000000	0.108240
14	E2	0.000000	0.021151
15	E3	0.000000	0.158692

Cuadro 1. Cuadro general de la concentración de Plomo y Arsénico en agua potable del distrito de Hualgayoc, provincia de Hualgayoc – Cajamarca.

Tabla 9. Determinación estadístico de la concentración de Arsénico en agua potable del distrito de Hualgayoc.

N	Media mg/L	Desviación Estándar	Mínimo mg/L	Máximo mg/L	Coeficiente de Variación	95 % de Intervalo de confianza	
						Inferior	Superior
15	.0060	.0077	.0000	.0213	129%	.0017	.0103

En la tabla 9, muestra que la concentración promedio de Arsénico (mg/L) en el agua potable consumida por la población del distrito de Hualgayoc es de 0.006 mg/L, con una desviación típica o estándar de 0.0077 mg/L; La distribución de la concentración de arsénico es heterogénea con alta variabilidad (C.V. = 129%); encontrándose los valores extremos observados en la muestra entre 0.000 y 0.0213 mg/L.

Además también tenemos que la concentración promedio de Arsénico estimada esta entre 0.0017 y 0.0103 mg/L con un nivel de confianza del 95%.

Tabla 10. Distribución en la frecuencia de la concentración de Arsénico en el agua potable consumida por la población del distrito de Hualgayoc provincia de Hualgayoc, departamento de Cajamarca en el mes de octubre del 2017.

Concentración de Arsénico (mg/L)	Frecuencia	Porcentaje
0.000 - 0.005 mg/L	10	67%
0.006 - 0.011 mg/L	1	7%
0.012 - 0.017 mg/L	1	7%
0.018 - 0.023 mg/L	3	20%
Total	15	100%

La tabla 10 resume los valores reportados por la unidad de servicios de análisis químicos de la UNMSM en 4 grupos, las dos primera con valores permisibles y las dos últimas con valores superiores a la concentración máximo permitido por el D. S. N° 031 – 2010-SA (0.01 mg/L).

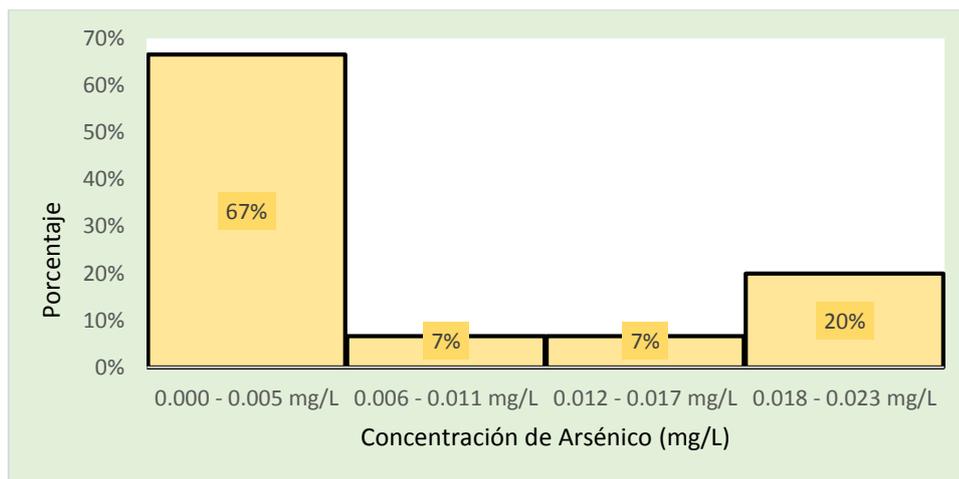


Figura 13. Distribución en frecuencias de la concentración de Arsénico en el agua potable consumida por la población del distrito de Hualgayoc provincia de Hualgayoc, departamento de Cajamarca según el resultado obtenido del análisis químico realizado el mes de octubre del 2017.

La representación gráfica de la tabla 10 son presentados en la figura 13. Cada barra presenta los porcentajes de los casos para cada categoría. Se puede observar que más del 74% de las muestras analizadas no superaron el límite permisible, sobre todo el 67% de las muestras se ubican dentro del intervalo (0.000 – 0.005) mg/L.

Tabla 11. Comparación de la concentración de Arsénico en el agua potable consumida por la población del distrito de Hualgayoc provincia de Hualgayoc, departamento de Cajamarca en el mes de octubre del 2017 con los límites establecidos en el reglamento de la calidad de agua para consumo humano del Perú.

Análisis	Norma	Límite Máximo Permisible	Nº Muestras superan límite
Concentración de Arsénico (mg/L)	D.S. N° 031-2010-SA	0.010 mg/L	04/15 = 27%

En la tabla 11 podemos observar que el 27% de las muestras analizadas superan el límite permisible establecido de Arsénico en el agua potable, dicho porcentaje equivale a 4 muestras de un total de 15

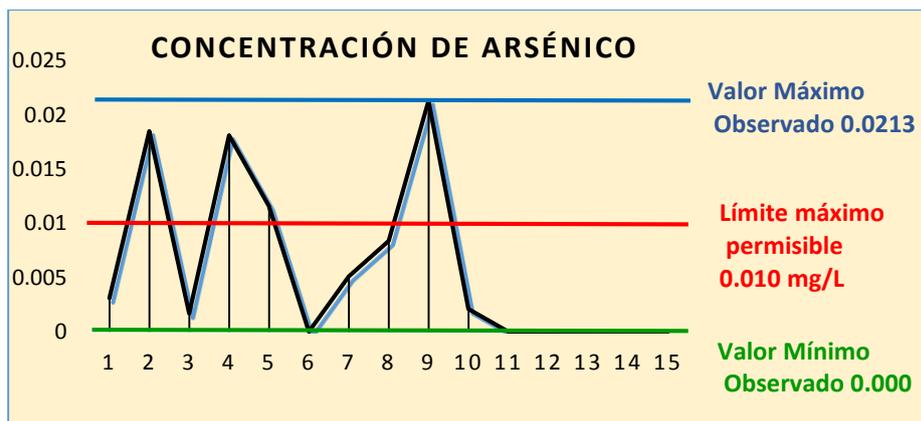


Figura 14. Límites Observados de la concentración de Arsénico en el agua potable consumida por la población del distrito de Hualgayoc provincia de Hualgayoc, departamento de Cajamarca en el mes de octubre del 2017, que superan el límite máximo permisible de 0.010 mg/L.

En la figura 14 se observa que en 6 muestras no se detectó la presencia de arsénico. Por otro lado el valor máximo observado en el análisis fue de 0.0213 mg/L, muestra perteneciente al punto C.

Tabla 12. Estadísticos descriptivos Concentración de Arsénico (mg/L) según Punto de Muestra.

Concentración de Arsénico (mg/L)			
Punto	N	Media	Desv. Estd.
A	3	0.008	0.009
B	3	0.010	0.009
C	3	0.012	0.009
D	3	0.001	0.001
E	3	0.000	0.000

La tabla 12 presenta las concentraciones promedio para cada uno de los 05 puntos de muestreo consideradas en el distrito de Hualgayoc provincia de Hualgayoc, departamento de Cajamarca en el mes de octubre del 2017. El punto PC presentó la mayor concentración promedio (0.012 mg/L) la cual es superior al límite máximo permisible. En cuanto a la variabilidad los tres primeros puntos PA, PB y PC son los que tienen una variabilidad ligeramente superior a los dos últimos puntos. Estos resultados se ilustran en la figura 15.

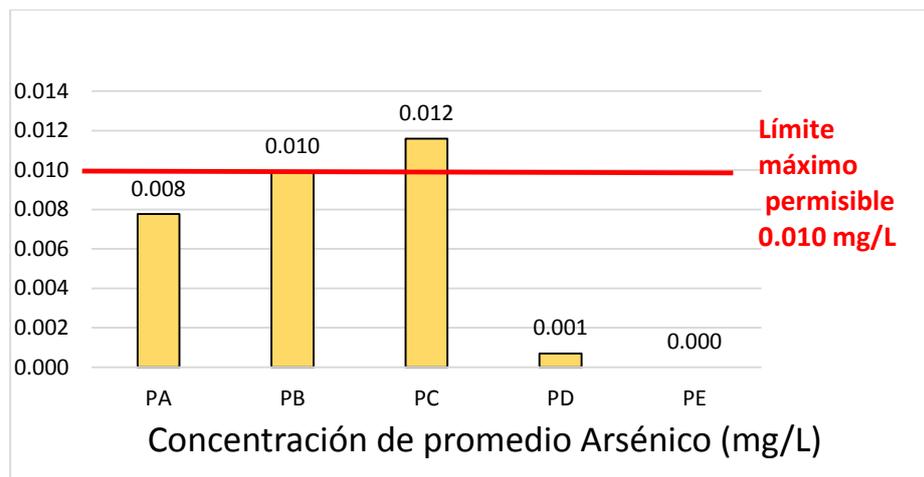


Figura 15. Concentración promedio de los 5 puntos tomados de Arsénico en el agua potable consumida por la población del distrito de Hualgayoc provincia de Hualgayoc, departamento de Cajamarca en el mes de octubre del 2017 según punto de muestra.

El promedio más alto fue del punto C con 0.012 mg/L, mientras que el promedio más bajo fue en el punto E con 0.000 mg/L. Ambos valores se pueden ver representados en la figura 15.

Prueba de Hipótesis:

H0: La concentración promedio de Arsénico en el agua potable del distrito de Hualgayoc, no supera el nivel permisible según el reglamento de la calidad del agua para consumo humano peruano (menor igual a 0.010 mg/L)

H1: La concentración promedio de Arsénico en el agua potable del distrito de Hualgayoc, supera el nivel permisible según el reglamento de la calidad del agua para consumo humano peruano (mayor a 0.010 mg/L)

Tabla 13. Prueba T para una muestra – Arsénico

	Valor de prueba = 0.01					
	T	gl	Sig.	Diferencia de medias	95% Intervalo de confianza para la diferencia	
					Inferior	Superior
Concentración de Arsénico (mg/L)	-2.009	14	.968	-.0040	-.0083	.0003

Dado que la significancia de la prueba T es mayor al 0.05 (0.968) (ver tabla 13) no rechazamos la hipótesis nula H_0 , por lo que concluimos que no existe evidencia estadística suficiente para afirmar que la concentración promedio de Arsénico en el

agua potable del distrito de Hualgayoc supere el nivel permisible según el reglamento de la calidad del agua para consumo humano peruano, es decir el promedio es menor a 0.01 mg/L.

Tabla 14. Determinación estadístico de la concentración de Plomo en agua potable del distrito de Hualgayoc.

N	Media mg/L	Desviación Estándar	Mínimo mg/L	Máximo mg/L	Coeficiente de Variación	95 % de Intervalo de confianza	
						Inferior	Superior
15	.0564	.0411	.0105	.1587	73%	.0336	.0791

En la tabla 14, podemos observar que la concentración promedio de Plomo (mg/L) en el agua potable consumida por la población del distrito de Hualgayoc es de 0.0564 mg/L, con un desviación típica o estándar de 0.0411 mg/L; La distribución de la concentración de plomo es heterogénea con alta variabilidad (C.V. = 73%); encontrándose los valores extremos observados en la muestra entre 0.0105 y 0.1587 mg/L.

Además también tenemos que la concentración promedio de Plomo estimada esta entre 0.0336 y 0.0791 mg/L con un nivel de confianza del 95%.

Tabla 15. Distribución en la frecuencia de la concentración de Plomo en el agua potable consumida por la población del distrito de Hualgayoc provincia de Hualgayoc, departamento de Cajamarca en el mes de octubre del 2017.

Concentración de Plomo (mg/L)	Frecuencia	Porcentaje
0.010 - 0.047 mg/L	8	53%
0.048 - 0.085 mg/L	4	27%
0.086 - 0.123 mg/L	2	13%
0.124 - 0.161 mg/L	1	7%
Total	15	100%

La tabla 15 resume los valores reportados por la unidad de servicios de análisis químicos de la UNMSM en 4 grupos, Estos valores son presentados en la figura 16, en la cual cada barra presenta los porcentajes de los casos para cada categoría. El Histograma muestra una frecuencia relativa decreciente, inversamente proporcional a la concentración de Plomo.

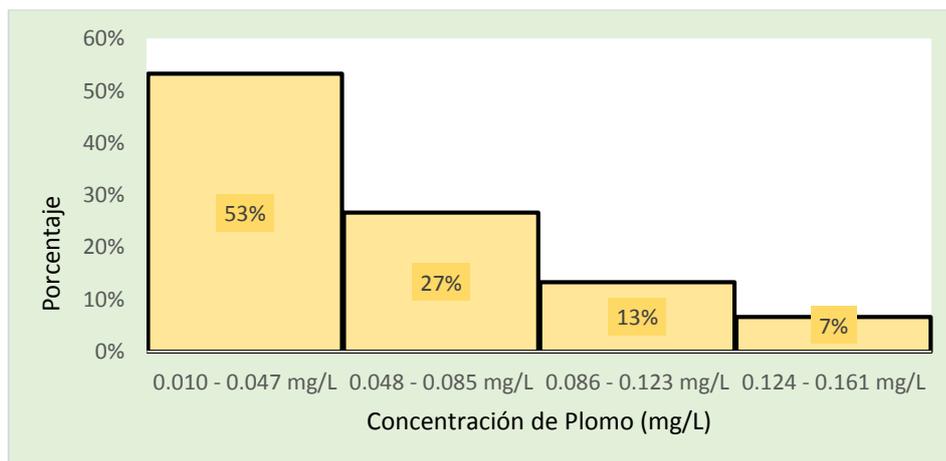


Figura 16. Distribución en frecuencias de la concentración de Plomo en el agua potable consumida por la población del distrito de Hualgayoc provincia de Hualgayoc, departamento de Cajamarca según el resultado obtenido del análisis químico realizado el mes de octubre del 2017.

La representación gráfica de la tabla 15 son presentados en la figura 16. Cada barra presenta los porcentajes de los casos para cada categoría. Se puede observar que el 100% de las muestras analizadas superaron el límite permisible, mientras que el 67% de las muestras se ubican dentro del intervalo (0.010 – 0.047) mg/L.

Tabla 16. Comparación de la concentración de Plomo en el agua potable consumida por la población del distrito de Hualgayoc provincia de Hualgayoc, departamento de Cajamarca en el mes de octubre del 2017 con los límites establecidos en el reglamento de la calidad de agua para consumo humano del Perú.

Análisis	Norma	Límite máximo permisible	N° Muestras superan límite
Concentración de Plomo (mg/L)	D.S. N° 031-2010-SA	0.010 mg/L	15/15 = 100%

En la tabla 16, nos indica que el 100% de las muestras analizadas superan el límite permisible establecido de Arsénico en el agua potable.

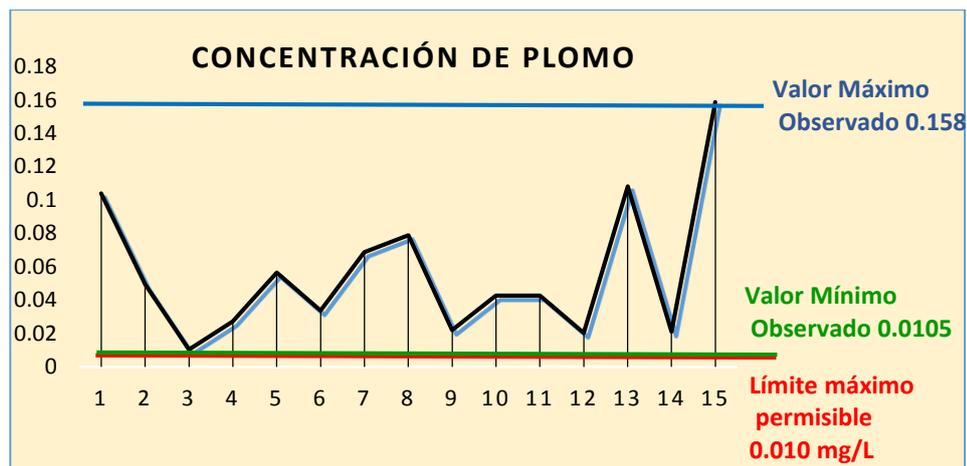


Figura 17. Límites Observados de la concentración de Plomo en el agua potable consumida por la población del distrito de Hualgayoc provincia de Hualgayoc, departamento de Cajamarca en el mes de octubre del 2017, que superan el límite máximo permisible de 0.010 mg/L.

En la figura 17 muestra que el valor mínimo observado fue de 0.0105 mg/L perteneciente al punto A. Por otro lado el valor máximo observado en el análisis fue de 0.158 mg/L, muestra perteneciente al punto E.

Tabla 17. Estadísticos descriptivos Concentración de Plomo (mg/L) según Punto de Muestra.

Concentración de Plomo (mg/L)			
Punto	N	Media	Desv. Estd.
A	3	0.055	0.047
B	3	0.039	0.015
C	3	0.057	0.030
D	3	0.035	0.013
E	3	0.096	0.070

La tabla 17 presenta las concentraciones promedio observadas para cada uno de los 5 puntos de muestreo consideradas en el distrito de Hualgayoc provincia de Hualgayoc, departamento de Cajamarca en el mes de octubre del 2017. El punto PE presentó la mayor concentración promedio (0.096 mg/L) la cual es supera ampliamente el límite máximo permisible. En cuanto a la variabilidad este grupo PE tienen una variabilidad superior a los otros cuatro puntos. Estos resultados se ilustran en la figura 18.

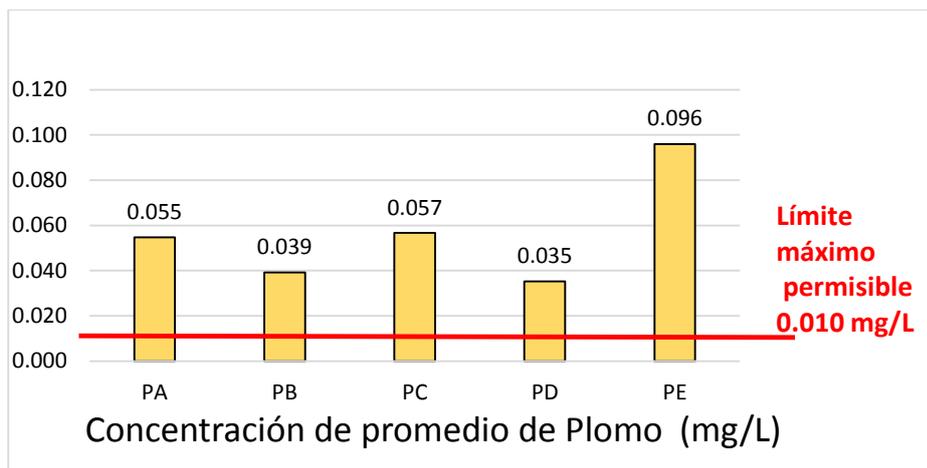


Figura 18. Concentración promedio de los 5 puntos tomados de Plomo en el agua potable consumida por la población del distrito de Hualgayoc provincia de Hualgayoc, departamento de Cajamarca en el mes de octubre del 2017 según punto de muestra.

El promedio más alto fue del punto E con 0.096 mg/L, mientras que el promedio más bajo fue en el punto D con 0.035 mg/L. Ambos valores se pueden ver representados en la figura 18.

Prueba Hipótesis:

H0: La concentración promedio de Plomo en el agua potable del distrito de Hualgayoc, no supera el nivel permisible según el reglamento de la calidad del agua para consumo humano peruano (menor igual a 0.010 mg/L)

H1: La concentración promedio de Plomo en el agua potable del distrito de Hualgayoc, supera el nivel permisible según el reglamento de la calidad del agua para consumo humano peruano (mayor a 0.010 mg/L)

Tabla 18. Prueba T para una muestra – Plomo.

	Valor de prueba = 0.01					
	T	gl	Sig.	Diferencia de medias	95% Intervalo de confianza para la diferencia	
					Inferior	Superior
Concentración de Plomo (mg/L)	4.369	14	.001	.0464	.0236	.0691

Dado que la significancia de la prueba T es menor al 0.05 (0.001) (Ver Tabla 18) rechazamos la hipótesis nula Ho, por lo que concluimos que existe evidencia estadística suficiente para afirmar que la concentración promedio de Plomo en el agua potable del

distrito de Hualgayoc supera el nivel permisible según el reglamento de la calidad del agua para consumo humano peruano, es decir el promedio es mayor a 0.01 mg/L.

Prueba de Hipótesis:

H₀: La concentración de arsénico no está relacionada con la concentración de plomo en el agua potable consumida por la población del distrito de Hualgayoc.

H₁: La concentración de arsénico sí está relacionada con la concentración de plomo en el agua potable consumida por la población del distrito de Hualgayoc.

Correlación entre variables:

Para visualizar si existe algún tipo de correlación entre La concentración de Arsénico y la concentración de Plomo en el agua potable consumida por la población del distrito de Hualgayoc se usó un gráfico de dispersión.

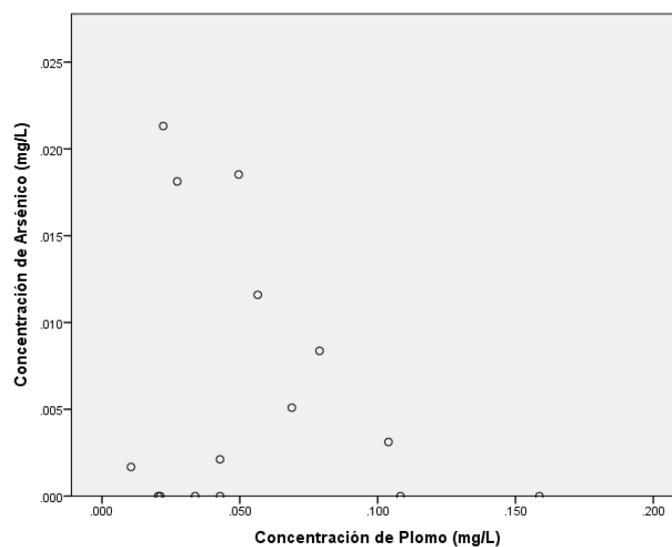


Figura 19. Diagrama de dispersión de la concentración de arsénico y la concentración de plomo en el agua potable consumida por la población del distrito de Hualgayoc.

La figura 19 no sugiere algún tipo de relación clara entre dichas características, pues si bien se observa un grupo de datos en forma de línea recta con pendiente negativa existen también un grupo importante de datos que no tienen dicho comportamiento.

Tabla 19. Correlación entre variables

		Concentración de Arsénico (mg/L)
Concentración	Correlación de Pearson	-0.244
de Plomo	p valor	.380
(mg/L)	N	15

El coeficiente de correlación lineal estimado de Pearson es igual a -0.244 (ver tabla 19) lo cual indicaría una correlación inversa o negativa en la muestra, es decir si sube la concentración de plomo la de arsénico disminuye, no obstante su valor es muy bajo y al presentar una significancia (p valor= 0.380) mayor a 0.05 no se puede rechazar la hipótesis Nula, es decir no se puede inferir a la población que exista una correlación inversa entre dichas concentraciones, por lo que se concluye que la La concentración de arsénico no está relacionada con la concentración de plomo en el agua potable consumida por la población del distrito de Hualgayoc.

V DISCUSION

La actividad minera cada año genera más contaminación a nivel mundial. Lagos, manantiales, ríos son afectados por los residuos generados por esta actividad humana.

Por esta razón se realizó este trabajo en Hualgayoc, un pueblo que se encuentra muy próximo a las actividades mineras. Las muestras se tomaron en 5 puntos ubicados sobre el poblado, de cada punto se tomó muestras por triplicado siendo en total 15 muestras de agua potable en las cuales se determinó su concentración de Arsénico y Plomo. Ha de considerarse también que no existen estudios anteriores sobre determinación de arsénico y plomo en el agua potable del distrito en mención.

Con respecto al arsénico, la tabla 9 nos indica que la concentración media fue de 0.0060 mg/L cantidad que no superó el límite máximo permitido, sin embargo 4 de las 15 muestras si superaron el límite máximo como se puede apreciar en la figura 14 con un valor máximo observado de 0.0213mg/L perteneciente a la muestra del punto “C”.

También se observó en la tabla 10, que las concentraciones del 67% de las muestras estaban por debajo de 0.005mg/L; y en la tabla 11, el 27% de las muestras superaron el límite máximo permisible dado por DIGESA (0.010 mg/L). Mientras que en un estudio realizado Navoni (2012) en Buenos Aires - Argentina en un periodo de 5 años, 82% de las muestras superó la concentración de 0.010mg/L. La diferencia de resultados se debería a las particularidades de cada zona de estudio como las fuentes de contaminación y la composición química del suelo, pues Buenos Aires se caracteriza por tener un suelo con altas concentraciones de arsénico.

Otro estudio realizado por Harvey P (2016) en New South Wales – Australia, de las 212 muestras de agua potable analizadas, ninguna superó el límite establecido en dicho país (0.010 mg/L igual al establecido en Perú). A diferencia de nuestro estudio, donde 4 de 15 muestras superaron el límite permitido.

La presencia de arsénico era de esperarse, pues los metales preciosos, como el cobre y el oro, también se pueden encontrar en depósitos de sulfuros minerales y, por ello, las compañías de exploración minera generalmente buscan suelos y agua con concentraciones naturalmente altas de arsénico como recurso para localizar yacimientos. Otra fuente de contaminación de agua suele ser el material de los grifos y cañerías (latón), ya que el arsénico se agrega en pequeñas cantidades al latón para hacerlo resistente. Este tipo de latón se utiliza para hacer accesorios de fontanería u otros artículos que están en contacto

constante con el agua. Se observó que la mayoría de viviendas son de construcción antigua con conexiones de agua que no han sido renovadas.

Con respecto al plomo, en la tabla 14 nos indica que la concentración media fue de 0.0564 mg/L cantidad que superó el límite máximo permitido. Todas las muestras superaron el límite máximo permisible dado por la DIGESA (0.010 mg/L) como se puede apreciar en la figura 17 con un valor máximo observado de 0.1587 mg/L perteneciente a la muestra del punto "E". En comparación al estudio realizado por Harvey P. en Australia, que examinó la contaminación por plomo en el agua potable de grifo de la cocina del consumidor doméstico en los hogares de New South Wales, de 212 muestras, los valores de la concentración de plomo variaron de 0.108 mg/L a 1.440 mg/L. Demostraron que una de las fuentes potenciales de contaminación en los hogares provenía de la fontanería que contienen plomo. Como ya se mencionó líneas arriba, Hualgayoc presenta fontanería antigua y probablemente este contribuyendo a la contaminación del agua potable.

Desde la época de la colonia se ha desarrollado la actividad minera en este lugar y la presencia de plomo era de esperarse; además tendría relación con los altos niveles de plomo en sangre encontrado en 3 niños. Este estudio fue realizado en el año 2012 por el MINSA. Hualgayoc se encuentra rodeada de minas activas, en cierre y abandono. Actualmente sobre el cerro Corona que está a 7000 metros de distancia del distrito, se encuentra la minera Golfields. Esta minera se dedica a la extracción de oro y el método que emplean es la minería a cielo abierto que se caracteriza por la creación de un cráter que va creciendo en ancho como en profundidad.

Los resultados obtenidos guardan relación con el estudio realizado por Duda M. y Penrose D. en Carolina del Norte, en la que concluyeron que la actividad minera afectaba las fuentes de agua de la zona. La utilización de agua y el uso de reactivos químicos en el proceso de flotación afectan la calidad del agua superficial, si los residuos químicos no son debidamente tratados y almacenados pueden filtrarse hasta los caudales de agua fresca, contaminándolos y disminuyendo la vida presente en los mismos. Si bien es cierto que la minera realiza un proceso de recuperación de agua, podría ser que el agua producida es de baja calidad.

Se tiene que considerar también que, las minas en abandono han dejado relaves que no han sido remediados siendo esta una fuente más de contaminación. Los relaves son desplazados por el viento y en época de lluvia por el agua, ya que luego de humedecerse se escurren generando riachuelos que terminan uniéndose a las fuentes de agua natural o filtrándose hacia el subsuelo, ocasionando la contaminación de los yacimientos de agua subterráneos.

Con respecto a la correlación entre la concentración de arsénico y la concentración de plomo como se puede observar en la figura 19 el diagrama de dispersión los puntos están dispersos lo que nos sugiere que no hay relación entre las variables. En tanto la tabla 19 muestra que la correlación de Pearson es de -0.244 (tipo de correlación: negativa débil) dicho valor está muy alejado de -1, mientras que el p valor es de 0.380 mayor a 0.05. Por lo tanto, no existe correlación entre las concentraciones de arsénico y plomo.

VI CONCLUSIONES

1. La Concentración promedio de Arsénico en el agua potable consumida por la población del distrito de Hualgayoc provincia de Hualgayoc, departamento de Cajamarca en el mes de octubre del 2017 es de 0.0060 mg/L. Con cifras extremas: mínima de 0.0000 mg/L y máxima de 0.0213 mg/L.
2. El 27% de las muestras analizadas de agua potable consumida por la población del distrito de Hualgayoc provincia de Hualgayoc, departamento de Cajamarca en el mes de octubre del 2017 superan el límite permisible de la concentración de arsénico, dado por la DIGESA (0.010 mg/L).
3. La Concentración promedio de Plomo en el agua potable consumida por la población del distrito de Hualgayoc provincia de Hualgayoc, departamento de Cajamarca en el mes de octubre del 2017 es de 0.0564 mg/L. Con cifras extremas: mínima de 0.0105 mg/L y máxima de 0.1587 mg/L.
4. El 100% de las muestras analizadas de agua potable consumida por la población del distrito de Hualgayoc provincia de Hualgayoc, departamento de Cajamarca en el mes de octubre del 2017 superan el límite permisible de la concentración de plomo, dado por la DIGESA (0.010 mg/L).

VII RECOMENDACIONES

- Realizar un estudio de concentración de plomo en sangre a toda la población de Hualgayoc y hacer comparaciones con el estudio realizado en el año 2012 de esta manera evaluar si el problema se está agravando o atenuando.
- Alertar al MINSA, CENSOPAS, OEFA y Gobiernos Regionales del impacto negativo sobre la salud de la población y la naturaleza que está generando la minería en Hualgayoc para que tome las medidas correctivas necesarias.
- Realizar un estudio similar en los distritos adyacentes (Chugur y Bambamarca), posiblemente presenten el mismo problema por pertenecer a una zona minera.
- Recomendar a las autoridades municipales que exijan al gobierno regional y central la remediación de todos los pasivos ambientales abandonados por la industria minera.
- Realizar un estudio de la concentración de plomo en los productos lácteos que se elaboran en el distrito, ya que dichos son recolectado por los comerciantes y son ofrecidos en los mercados mayoristas de Lima.

VIII REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

1. Central Intelligence Agency. The world factbook. [en línea] CIA Washington, D.C.(USA). 2008. URL Disponible en: <https://www.cia.gov/library/publications/the-world-factbook/geos/xx.html#Geo> [acceso el 26 de diciembre del 2017].
2. Reglamento de la calidad de Agua para Consumo Humano: D. S. N° 031-2010-SA. Ministerio de Salud. Dirección General de Salud Ambiental. Lima, Perú: 2011..
3. What are the water quality concerns at mines? [en línea] Miningfacts. 2012. [acceso 19 de abril del 2017]. Disponible en: [www.org/Environment/What-are-the-water-quality-concerns-at-mines/-/..](http://www.org/Environment/What-are-the-water-quality-concerns-at-mines/)
4. Duda M, Penrose D. Impact of mining activities on water quality in western North Carolina. Water Resources Bulletin. 1980 (16)1034-1040..
5. Perú es el sexto país con mayores reservas de oro a nivel mundial. [En línea] Gestión. [Acceso 28 de diciembre del 2017]. Disponible en: www.gestion.pe/economia/peru-sexto-pais-mayores-reservas-oro-nivel-mundial-117302..
6. Inventario, diagnóstico y priorización de los pasivos ambientales en la cuenca del Rio Llaucano – Hualgayoc. Fondo Nacional del Ambiente “FONAM”. Perú: 2005..
7. Sánchez S, Chávez J, Lucio L. Pasivos ambientales mineros en la Región Cajamarca. Grufides. [Revista on-line] 2015 [Consultado 12 de diciembre del 2017]; 1(54). Disponible en: [http:// www.grufides.org/documentos/pasivos-ambientales-mineros-en-la-regi-n-cajamarca-sergio-s-nchez-jorge-ch-vez-laura](http://www.grufides.org/documentos/pasivos-ambientales-mineros-en-la-regi-n-cajamarca-sergio-s-nchez-jorge-ch-vez-laura).
8. Cajamarca: Tres niños de Hualgayoc presentan exposición de plomo en la sangre. [En línea] Noticias Ser. [Acceso 12 de Noviembre del 2017]. Disponible en: <http://noticiasser.pe/30/09/2015/cajamarca-tres-ninos-de-hualgayoc-presentan-exposicion-de-plomo-en-la-sangre>.
9. Bambamarca: suspenden servicio de agua potable por presunta contaminación. [En línea] La Republica. [Acceso 19 de Noviembre del 2017]. Disponible en: <http://larepublica.pe/archivo/874565-bambamarca-suspenden-servicio-de-agua-potable-por-presunta-contaminacion>.
10. Ministerio del Ambiente declara en emergencia ambiental la provincia de Hualgayoc. [En línea] Gestión. [En línea] Gestión. [Acceso 27 de Noviembre del 2017]. Disponible en: <https://gestion.pe/economia/ministerio-ambiente-declara-emergencia-ambiental-provincia-hualgayoc-116308>.
11. Memoria anual y reporte de sostenibilidad 2014. [En línea] Goldfields La Cima S. A. [Acceso 12 de diciembre del 2017] Disponible en: [http:// www.goldfields.com.pe..](http://www.goldfields.com.pe..)
12. Navoni J, De Pietri D, Garcia S, Villaamil Lepori EC. Riesgo sanitario de la población vulnerable expuesta al arsénico en la provincia de Buenos Aires - Argentina. Rev Panam Salud Pública. 2012; 31(1):1–8..

13. Perea M, García M, Giorgis, Lamela Arteaga, Hecker. Concentración de Flúor y Arsénico en el agua de red de General Pico (Argentina) durante el periodo 2007-2013. *Rev Ciencias Veterinarias*. 2014; 16: 101-112..
14. P.J.Harvey, H.K.Handley, M.P.Taylor. Wide spread copper and lead contamination of household drinking wáter, New South Wales, Australia. *Environmental Research*. Nov 2016;(151):275-285..
15. Machacuay Vilcatoma Dora Janet, Romero Quispe Mary Luz. Determinación de Arsénico por absorción atómica en agua subterránea destinada para consumo humano en el distrito de Cabanaconde, Caylloma - Arequipa. 2013. [Tesis para optar el Título Profesional de Químico Farmacéutico]. Lima, Universidad Privada Norbert Wiener, 2014.
16. Gonzales L, Osorio J. Determinación espectrofotométrica por absorción atómica de la concentración de Cadmio y Arsénico en aguas de consumo humano de la comunidad urbana de Chuquitanta – Distrito de San Martin de Porres. [Tesis para optar el Título Profesional de Químico Farmacéutico]. Lima, Universidad Nacional Mayor de San Marcos, 2014.
17. Raraz E. Determinación química toxicológica de plomo y cadmio en aguas para consumo humano proveniente de los reservorios de la zona de San Juan Pampa – Distrito de Yanacancha – Pasco. [Tesis para optar el Título Profesional de Químico Farmacéutico]. Lima, Universidad Nacional Mayor de San Marcos, 2015.
18. Autoridad Nacional del Agua. Dirección de Gestión de Calidad de Los Recursos Hídricos – DGCRH. IV Monitoreo participativo de la calidad de agua superficial de la cuenca del Rio Llaucano, Región Cajamarca. Informe técnico N° 063-2015-ANA-DGCRH-GOCRH. Lima: Autoridad Nacional del Agua; 2015.
19. García I, Dorronsoro C. Contaminación por metales pesados. [en línea].España, Departamento de Edafología y Química Agrícola. Universidad de Granada.2001 [Fecha de consulta: 12 setiembre 2017]. Disponible en:<<http://edafologia.ugr.es/conta/tema15/>>.
20. Nedelkoska, T. V; Doran, P. M.Characteristics of heavy metal uptake by plant species with potential for phytoremediation and phytomining. *Minerals engineer magazine*. 2000. p. 30..
21. Bitstream. Estudio de la contaminación por metales pesados [en línea].España.s.f. [Fecha de consulta: 13 octubre 2017]. Disponible en:..
22. Campos, Hernando. Los metales pesados, su contaminación y efectos tóxicos. *Revista contaminación ambiental*. 1987. Medellín (Colombia), pp. 63-70..
23. Lozano, José. El Suelo, Agua y aire en Nuestro Medio. [en línea].Colombia. Academia SINÚ.2010.[Fecha de consulta:15 octubre 2017]. Disponible en:..

24. Distribución del agua de la tierra. [En línea] United States Geological Survey. [Acceso 13 de agosto del 2017]. Disponible en: <https://water.usgs.gov/gotita/waterdistribution.html>..
25. Almudena. Agua Propiedades Físicas y Químicas. [en línea]: 2017. [Fecha de consulta: 16 octubre 2017]. Disponible en:< <http://www.todomonografias.com/ecologia-y-medio-ambiente/agua-propiedades-fisicas-y-quimicas/>>.
26. UNAL. Acueductos y Alcantarillados. [En línea]. 2017. [Fecha de consulta: 14 octubre 2017], Disponible en: http://www.virtual.unal.edu.co/cursos/sedes/manizales/4080004/contenido/Capitulo_1/Pages/agua.htm..
27. Franco F. Acueductos y Alcantarillados. [en línea].Bogotá – Colombia. Universidad Nacional de Colombia. Dirección Nacional de Servicios Académicos Virtuales.2017. [Fecha de consulta: 13 octubre 2017]. Disponible en:.
28. HURJUAN, El Análisis en el Agua. [En línea]. [Fecha de consulta: 19 Febrero 2013], Disponible en: <<http://es.scribd.com/doc/7132267/Analisis-Agua>>..
29. Hurjua. El Análisis en el Agua. [en línea].Máster en Ingeniería del agua. 2013. [Fecha de consulta: 19 octubre 2017], Disponible en:..
30. Infante L, Palomino S. Cuantificación espectrofotométrica de arsénico en aguas de consumo humano en la vertiente del río Rímac. [Tesis para optar el Título Profesional de Químico Farmacéutico]. Lima, Universidad Nacional Mayor de San Marcos, 1994.
31. Castro J. Capítulo 14: Arsénico. En: Curso Básico de Toxicología Ambiental. México: Editorial Lilia A. Albert, 1985: 245-264..
32. Ingeniería Civil y Medio ambiente. [acceso 18 de agosto del 2014]. Disponible en: http://www.miliarium.com/monografias/Arsenico/ProblematICA Castilla_Leon.asp..
33. Real Academia Nacional de Farmacia. El arsénico y la salud. [artículo en línea]. Anales ranf 2015. [acceso 15 de noviembre del 2017]. Disponible en: <http://www.analesranf.com/index.php/mono/article/viewFile/600/617>..
34. Agencia Española de Seguridad Alimentaria y Nutrición. Metales pesados y arsénicos. [en línea]. Euskadi 2012. [acceso 28 de octubre del 2017]. Disponible en: http://www.osakidetza.euskadi.net/r8520339/es/contenidos/informacion/sanidad_alimentaria/es_1247/adjuntos/vigila9508.pdf.
35. Albores A, Quintanilla B, Del Razo L, Cebrián M. Capítulo 15: Arsénico. En: Introducción a la toxicología ambiental. México: ECO, 1997: 247-261..
36. Galvão L, Corey G. Serie de vigilancia 3 – Arsénico. Centro Panamericano de Ecología Humana y Salud, México. 1987..

37. Albores A, Quintanilla B, Del Razo L, Cebrián M. Introducción a la toxicología Ambiental-Arsénico. México: Metepec. [Fecha de acceso 08 de abril 2018]; URL disponible en: <http://bvs.per.paho.org/bvstox/fulltext/toxico/toxico-03a15.pdf>;1997..
38. Estructplan.Toxicological profile for arsenic for arsenic. Arsénico. [En línea].Atlanta; 2000[Fecha de acceso 07 de abril 2018]; URL disponible en: <http://www.estrucplan.com.ar/Producciones/entrega.asp?IdEntrega=37..>
39. Organización Mundial de la Salud. Guías para la calidad del agua potable. Ginebra, 2006..
40. Sambu, S y Wilson, R. (2008). History of arsenic in water. Toxicology and Industrial Health 24: 217–226. Department of Physics, Harvard University, Cambridge, MA, 02138, USA..
41. Petrusevski, B., Sharma, S., Schippers, J.C. y Shordt, K. (2007) Arsenic in Drinking Water. Thematic Overview Paper 17. International Water and Sanitation Centre (IRC). Delft, The Netherlands..
42. World Health Organization (WHO). International Programme on Chemical Safety (IPCS) and Inter-Organization Programme for the Sound Management of Chemicals (IOMC). (2001) Arsenic and arsenic compounds. Environmental Health criteria: 224. World Health Organization (WHO). Geneva, Switzerland.
43. Ahuja, S. (2008) Arsenic Contamination in Groundwater: Mechanism, analysis and remediation. John Wiley and Sons. Inc. West Sussex, United Kingdom..
44. World Health Organization (WHO). (2011) Arsenic in drinking water. Background for document for development of WHO Guidelines for Drinking-water Quality. Geneva, Switzerland..
45. Organización Mundial de la Salud (OMS). (2014). Guías para la calidad del agua potable. Primer apéndice a la tercera edición. Volumen 1: Recomendaciones. Organización Mundial de la Salud. Ginebra, Suiza..
46. International Agency for Research on Cancer (IARC) (2004). Some drinking-water disinfectants and contaminants, including Arsenic. IARC Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Human. IARC Monographs. Volume 84. International Agency for Research on Cancer. Lyon, France.
47. Ravenscroft, P. (2007). Predicting the global extent of arsenic pollution of groundwater and its potential impact on human health. United Nations Children´s Fund (UNICEF). New York, United States of America..
48. Ravenscroft P, Brammer H, Richards K. (2009). Arsenic Pollution: A Global Synthesis. John Wiley and Sons. Inc. West Sussex, United Kingdom..
49. Ravenscroft P. Harvard University. Department of Physics. [Online].; 2007 [cited 2018 Enero 12. Available from:

- http://users.physics.harvard.edu/~wilson/arsenic/references/Ravenscroft_Prediction.pdf.
50. Trelles Bautista J. Biosorción de arsénico en medio acuoso empleando biomásas vegetales inertes. [Tesis] Lima: Universidad Nacional de Ingeniería. Facultad de Ingeniería Ambiental; 2013..
 51. Téllez J, Bautista F. Exposición ocupacional a plomo: aspectos toxicológicos. *Avances en enfermería*. 2005; XXIII (1)..
 52. Peña C, Dean C, Ayala F. Toxicología ambiental: evaluación de riesgo y restauración ambiental, 2001, The University of Arizona, pp.48-60..
 53. Fontana D, Lascano V, Solá N, Martínez S, Virgolini M, Mazzieri M. Intoxicación por plomo y su tratamiento farmacológico. *Rev. salud pública*. 2013;(XVII) 1:49-59..
 54. Téllez J. Metales pesados: mercurio, plomo y cromo en aspectos toxicológicos de plaguicidas y metales pesados, Gutierrez, Téllez, Patiño. *Memorias, Departamento de toxicología, facultad de medicina, Universidad Nacional de Colombia*, 2003..
 55. Lanphear BP, Hornung R, Khoury J, et al. Low-Level Environmental Lead Exposure and Children's Intellectual Function: An International Pooled Analysis. *Environ Health Perspect*. 2017; 113(7):894-899. doi:10.1289/ehp.7688.
 56. Muñoz T. *Todo sobre la papa*. 1ra.ed. Perú: Biblioteca nacional del Perú. Edelnor; 2008..
 57. Prieto M. Determinación de metales pesados en hortalizas distribuidas en plazas de mercado, centros de abasto e Hipermercados de la ciudad de Bogotá D.C. [Tesis de Grado]. Costa Rica: Universidad para la Cooperación Internacional; 2011..
 58. Rubio C. Ingesta dietética de contaminantes metálicos (Hg, Pb, Cd, Fe, Cu, Zn y Mn) en la Comunidad Autónoma Canaria. *Evaluación toxicológica*. [Tesis de Grado]. España: Universidad de la Laguna; 2009..
 59. Rodríguez-López MA, Navarro M, Cabrera C, López MC. Elementos Tóxicos en Alimentos, Bebidas y Envases. *Alimentaria*. Mayo 2016: 23-31..
 60. Noël L, Leblanc J, Guerín T. Determination of several elements in duplicate meals from catering establishments using closed vessel microwave digestion with inductively couple plasma mass spectrometry detection. estimation of daily dietary intake. *Food Addit Contam*. 2003; 20: 44-56.
 61. Zukowska J, Biziuk M. Methodological evaluation of method for dietary heavy metal intake. *J Food Sci*. 2008; 73: 21-29..
 62. FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations). *Evaluation of certain food additives and contaminants. Forty-first Report of Joint FAO/WHO Committee on Food Additives*, Geneva, Switzerland. 1993..

63. FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations). Joint FAO/WHO expert committee on food additives. Summary and conclusions. Fifty-third Meeting, Roma.1999..
64. EFSA (European Food Safety Authority). (2010). Scientific opinion on lead in food. EFSA J; 8: 1570..
65. Sánchez A. Seguridad Alimentaria en Alimentos de Origen Animal: Residuos Químicos; 2010..
66. Run D. Informe del Estudio de Riesgo para la Salud Humana. Perú: Integral Consulting inc; 2005..
67. Sannin Helena et al. Acumulacion de plomo en huesos y sus efectos para la salud. Salud Publica Mex 1998;40:359-368..
68. Contaminación del agua por metales. [En línea] Agua org. [Acceso 15 de abril del 2018]. Disponible en: <https://agua.org.mx/biblioteca/contaminacion-del-agua-por-metales/>..
69. Lo que usted puede hacer para reducir el plomo en el agua potable. [En línea] EPA. [Acceso 15 de abril del 2018]. Disponible en: <https://www.epa.gov/lead/lo-que-usted-puede-hacer-para-reducir-el-plomo-en-el-agua-potable>..
70. Plomo y agua: mecanismos de reacción, impacto ambiental y efectos en la salud. [En línea] Lenntech. [Acceso 15 de abril del 2018]. Disponible en: <https://www.lenntech.es/plomo-y-agua.htm#ixzz5CndIcIqB>..
71. Intoxicación por plomo y salud. [En línea] Organización Mundial de la Salud. [Acceso 15 de abril del 2018]. Disponible en: <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs379/es/>..
72. Qué es la minería. [En línea] La minería en tu vida. [Acceso 20 de diciembre del 2017]. Disponible en: <http://www.lamineriaentuv vida.com.ar/que-es-la-mineria/>..
73. Etapas de la Actividad Minera. [En línea] Exsa soluciones Peru. [acceso 15 de noviembre del 2017]. Disponible en : <http://www.exsasoluciones.pe/etapas-de-la-actividad-minera/>..
74. Impacto ambiental de la minería a cielo abierto [En línea] Ambientum. [Acceso 02 de diciembre del 2017] Disponible en: <http://www.ambientum.com/revistanueva/2007-02/suelosyresiduos/minas.asp>..
75. Manual de minería. [En línea] Estudios mineros. [Acceso 29 de noviembre del 2017]. Disponible en: http://www.estudiosmineros.com/manualmineria/manual_mineria.pdf..
76. Liang N, Yang L, Dai J, Pang X. Heavy Metal Pollution in Surface Water of Linglong Gold Mining Area, China. Procedia Environmental Sciences. 2011 (10) 914 – 917..

77. What are the water quality concerns at mines? [En línea] Miningfacts. 2012. [acceso 19 de abril del 2017]. Disponible en: [www.org/Environment/What-are-the-water-quality-concerns-at-mines/-/..](http://www.org/Environment/What-are-the-water-quality-concerns-at-mines/)
78. Duda M, Penrose D. Impact of mining activities on water quality in western North Carolina. *Water Resources Bulletin*. 1980 (16)1034-1040..
79. Olivero J. Efectos de la Minería en Colombia Sobre La Salud. [En línea] Conciencia ciudadana. [Acceso 10 de enero del 2018]. Disponible en: <http://concienciaciudadana.org/wp-content/uploads/2017/06/Efectos-de-la-Miner%C3%ADa-en-Colombia-sobre-la-Salud-Humana-Jes%C3%BAs-Olivero-Verbel.pdf>.
80. Mena P, Rafael H. Biorremediación de metales pesados con aislados microbianos precedentes de pasivos ambientales mineros y aguas del Río Hualgayoc - Cajamarca. [Tesis]. Lambayeque: Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo. Facultad de Ciencias Biológicas; 2016.
81. La minería aporta el 15% del PBI y el 65% de las exportaciones. [En línea] Rumbo económico. [Acceso 09 de diciembre del 2017]. Disponible en: [http://rumboeconomico.com/2016/12/02/la-mineria-aporta-el-15-del-pbi-y-el-65-de-las-exportaciones/..](http://rumboeconomico.com/2016/12/02/la-mineria-aporta-el-15-del-pbi-y-el-65-de-las-exportaciones/)
82. Perú, el sexto país con mayores reservas de oro en el mundo. [En línea] El Comercio. [Acceso 10 de diciembre del 2017]. Disponible en: <https://elcomercio.pe/economia/peru/peru-sexto-pais-mayores-reservas-oro-mundo-215062..>
83. La pobreza en Perú disminuiría a 14% si se ejecutan proyectos mineros en cartera. [En línea] Gestión. [Acceso 04 de enero del 2018]. Disponible en: <https://gestion.pe/economia/pobreza-peru-disminuiria-14-ejecutan-proyectos-mineros-cartera-139194>.
84. Control de los contaminantes químicos en el Perú. *Rev Perú Med Exp Salud Pública*. 2008; 25(4):413-418..
85. Kirschbaum A, Murray J, Arnosio M, Tonda R, Cacciabue L. Pasivos ambientales mineros en el noroeste de Argentina: Aspectos mineralógicos, geoquímicos y consecuencias ambientales. *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*. 2012; 29: 248-264.
86. Inventario de Pasivos Ambientales Mineros 2014 [En línea] Ministerio de Energía y Minas. [Acceso 17 de diciembre del 2017] Disponible en: <http://www.minam.gob.pe/calidadambiental/wpcontent/uploads/sites/22/2015/12/PR-ESSENTACION-3-MINEM-PERU.pdf>..

87. Corzo A. Impacto de los pasivos ambientales mineros en el recurso hídrico de la microcuenca Quebrada Párac, Distrito de San Mateo De Huanchor, Lima. [Tesis]. Lima: Pontificia Universidad Católica del Perú. Escuela de Postgrado; 2015..
88. Sánchez S, Chávez J, Lucio L. Pasivos ambientales mineros en la Región Cajamarca. Grufides. [Revista on-line] 2015 [Consultado 12 noviembre 2017]; 1(54). Disponible en: [http:// www.grufides.org/documentos/pasivos-ambientales-mineros-en-la-regi-n-cajamarca-sergio-s-nchez-jorge-ch-vez-laura](http://www.grufides.org/documentos/pasivos-ambientales-mineros-en-la-regi-n-cajamarca-sergio-s-nchez-jorge-ch-vez-laura).
89. Avilés G, Ayala L, Pacheco C. Planeamiento Estratégico de la Provincia de Hualgayoc (Cajamarca). [Tesis para obtener el grado de magister en: Dirección estratégica y liderazgo]. Lima: Pontificia Universidad Católica del Perú. Escuela de Postgrado; 2017..
90. Memoria anual y reporte de sostenibilidad 2014. [En línea] Goldfields La Cima S. A. [Acceso 12 de diciembre del 2017] Disponible en: [http:// www.goldfields.com.pe..](http://www.goldfields.com.pe..)
91. Peralta, V. (2013). El Virreinato Peruano y los textos de José Ignacio de Lecuanda en una pintura ilustrada de 1799 en Fronteras de la Historia. (pp. 45-68). Bogotá, Colombia: Instituto Colombiano de Antropología e Historia. Recuperado de <http://www.redalyc.org/pdf/833/83329049002.pdf>.
92. Provincia de Hualgayoc. [En línea] Perú Routes. [5 de febrero del 2018]. Disponible en: http://www.perutoptours.com/index06hu_mapa_hualgayoc.html..
93. Compendio Estadístico Departamental 2009. [En línea] Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI) [acceso 05 de febrero del 2018] Disponible en: (https://www.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/publicaciones_digiales/Est/Lib0834/libro.pdf)..
94. Andrew W. Macfarlane/ulrich petersen.(1990). "Pb Isotopes of the Hualgayoc Area, Northern Peru: Implications for Metal provenance and Genesis of a cordilleran Polymetallic Mining District". Department of Earth and Planetary Sciences. Harvard University, Cambridge, Massachusetts. 02138. Economic Geology. Vol.85.
95. Guardia, K.(2016, 25 de abril). ¿Por qué Cajamarca sigue siendo la región más pobre del país? Diario Gestión. Recuperado de <http://gestion.pe/economia/que-cajamarca-sigue-siendo-region-mas-pobre-pais-2159276..>
96. Universidad de Piura. (2000). Evaluación de la contaminación de aguas, relacionadas con la actividad minera, en los ríos LLaucano y Tingo-Maigasbamba..
97. Instituto Nacional de Estadística e Informática [INEI]. (s.f). Compendio Estadístico Departamental 2009. Áreas de la Provincia de Hualgayoc por distritos (p.8). Recuperado de https://www.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/publicaciones_digiales/Est/Lib0834/1ibro.pdf.

ANEXO 2



Imágenes del Rio Hualgayoc





A. Minera San Nicolás, en fase de cierre.

B. Pasivo ambiental minero abandonado.

C. Pasivo ambiental minero remediado, pero que ha sido afectado por las lluvias.





Mina a cielo abierto, Cerro Corona - Hualgayoc.



Mina a cielo abierto, Cerro Corona - Hualgayoc.



Tubería de agua de la Minera Gold Fields



Poso de relaves. Cerro Corona - Hualgayoc



Bocamina con drenaje

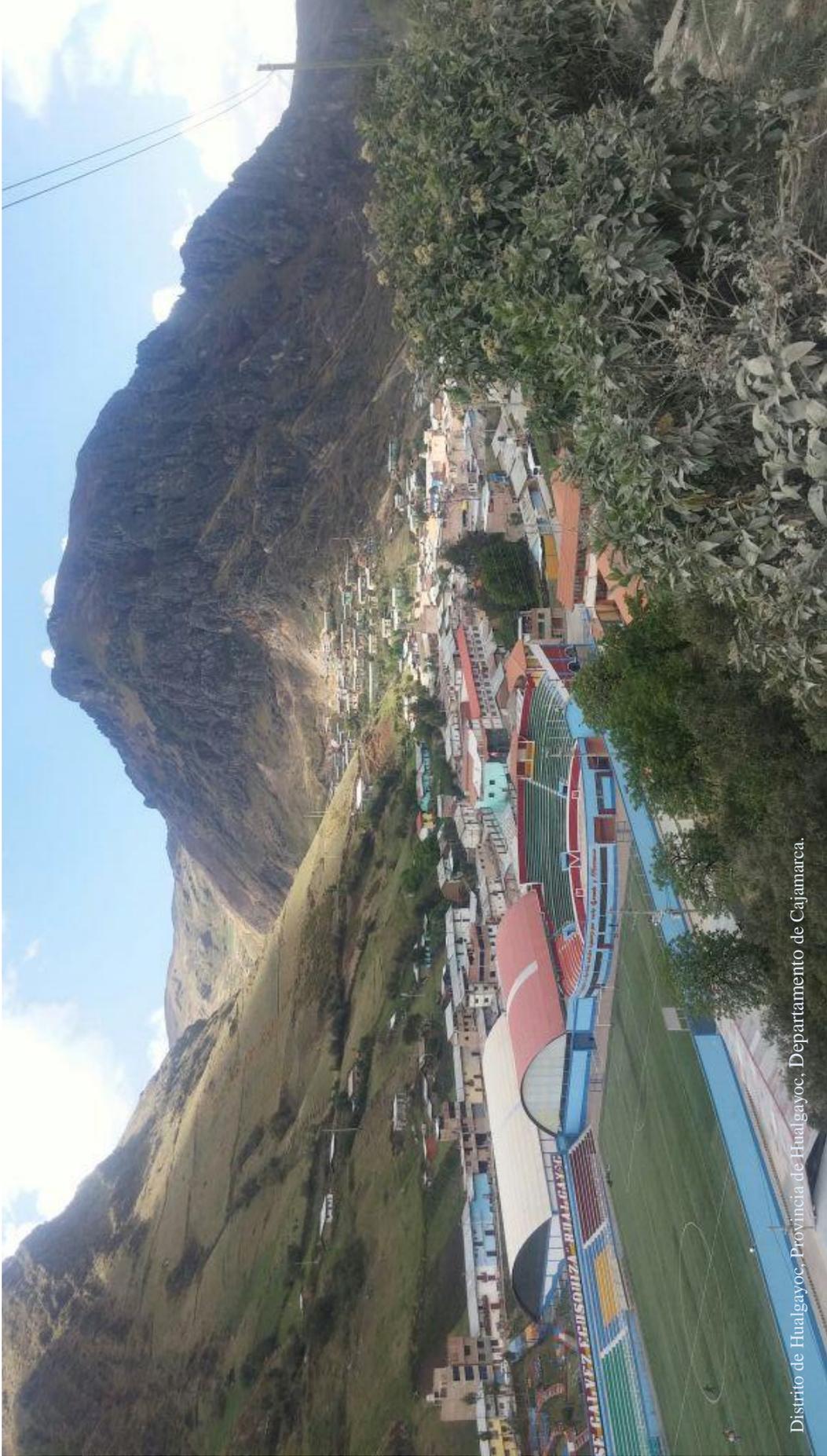


Toma de muestra en una vivienda



Regidores del distrito de Hualgayoc





Distrito de Hualgayoc, Provincia de Hualgayoc, Departamento de Cajamarca.



Minera Golfields

Hualgayoc

3N

800 m

Google Earth
© 2018 Google
map data © 2018 CNES / Airbus

Vista Satelital de la zona. Fuente: Google Earth Pro.

Contenido

1	I INTRODUCCION.....	1
1.1.	Planteamiento del Problema	2
1.2.	Objetivos.....	2
1.3.	Justificación.....	3
1.4.	Hipótesis	4
1.5.	Variables.....	4
2	II GENERALIDADES	6
2.1	Antecedentes	6
2.2	Marco teórico..... ¡Error! Marcador no definido.	
2.2.1	..... Metales pesados	
10		
2.2.2	..... Agua	
11		
2.2.3	..... Arsénico	
14		
2.2.4	..... Plomo	
22		
2.2.5	..... Reglamento De La Calidad De Agua Para Consumo Humano	
26		
2.2.6	..... Minería industrial	
28		
2.2.7	..... Distrito de Hualgayoc, Provincia de Hualgayoc, Departamento de Cajamarca.	
32		
3	III PARTE EXPERIMENTAL.....	38
3.1	Tipo de estudio	38
3.2	Población, Muestra.....	38
3.3	Método analítico	40
3.4	Análisis estadístico:.....	40
3.5	Equipo, Materiales y Reactivos.....	41
3.5.1	..... Equipos	
41		
3.5.2	..... Materiales:	
41		
3.5.3	..... Reactivos:	
41		
3.6	Procedimiento	42

3.6.1	Preparación de la muestra:	42
3.6.2	Medición:	42
3.6.3	Preparación de estándares	43
3.6.4	Condiciones Instrumentales	44
3.7	Curva de calibración	47
3.7.1	Curva de Calibración del Arsénico	47
3.7.2	Curva de Calibración del Plomo	48
4	IV RESULTADOS	49
5	V DISCUSION	60
6	VI CONCLUSION	63
7	VII RECOMENDACIONES	64
8	VIII REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS	65
	ANEXO 1	74