



**Facultad de Medicina Humana y Ciencias de la Salud
Escuela Profesional de farmacia y bioquímica**

TESIS:

**BIOACUMULACIÓN DE MERCURIO EN CABELLO Y TIEMPO
DE EXPOSICIÓN LABORAL EN HUAQUIRCA**

**PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE:
QUIMICO FARMACEUTICO**

**PRESENTADO POR EL BACHILLER:
NESTOR HUILLCA ALVINO**

ASESOR: Q.F. JEAN PAUL MIRANDA PAREDES

LIMA, PERÚ FEBRERO

2018

DEDICATORIA

El presente Trabajo de Investigación se lo dedico a Dios, quien ha sabido guiar muy bien mis pasos; se lo dedico también con mucho amor a mis padres Carmen, Alberto y hermanos quienes me han brindado una formación lleno de fortaleza.

AGRADECIMIENTO

Agradezco de manera especial al Q.F Jean Miranda Paredes, por el tiempo dedicado, por las sugerencias e ideas, por su respaldo y amistad. Agradezco también a mis profesores de pregrado, los cuales han contribuido con el deseo de concluir mi carrera.

Índice

	Pág.
<i>Dedicatoria</i>	<i>ii</i>
<i>Agradecimiento</i>	<i>iii</i>
<i>Indice</i>	<i>iv</i>
<i>Indice de Cuadros</i>	<i>vii</i>
<i>Indice de Figuras</i>	<i>viii</i>
<i>Indice de graficos</i>	<i>ix</i>
<i>Resumen</i>	<i>x</i>
<i>Abstract</i>	<i>xi</i>
<i>Introducción</i>	<i>xii</i>

CAPÍTULO I PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1 Descripción de la Realidad Problemática.....	13
1.2 Problemas de Investigación.....	15
1.2.1 Problema General.....	15
1.2.2 Problemas Específicos.....	15
1.3 Objetivos de la Investigación	15
1.3.1 Objetivo General	15
1.3.2 Objetivos Específicos.....	15
1.4 Justificación, Importancia y Limitaciones de la Investigación	16
1.4.1 Justificación de la Investigación	16
1.4.2 Importancia de la Investigación.....	17
1.4.3 Limitaciones de la Investigación.....	17

CAPÍTULO II HIPÓTESIS Y VARIABLES DE LA INVESTIGACIÓN

2.1 Hipótesis de la Investigación.....	18
2.1.1 Hipótesis General	18

	Pág.
2.1.2 Hipótesis Específicos	18
2.2 Variables de la Investigación	19
2.2.1 Identificación y Clasificación de Variables.....	19
2.2.2 Operacionalización de Variables.....	20

CAPÍTULO III MARCO TEÓRICO

3.1 Antecedentes de la Investigación.....	21
3.1.1 A Nivel Nacional.....	21
3.1.2 A Nivel Internacional	25
3.2 Bases Teóricas.....	29
3.2.1 Mercurio.....	29
3.2.1.1 Fuentes de Exposición.....	41
3.2.1.2 Presencia de Mercurio en Diferentes Medios.....	44
3.2.1.3 Toxicidad del Mercurio en Seres Vivos	46
3.2.1.4 Toxicocinética	48
3.2.1.5 Efectos Sobre la Salud.....	53
3.2.1.6 Diagnostico de la Intoxicación.....	58
3.2.1.7 Valores Referenciales	59
3.3 Definición de Términos Básicos.....	60

CAPÍTULO IV METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

4.1 Tipo y nivel de Investigación	62
4.1.1 Tipo de Investigación	62
4.1.2 Nivel de Investigación	62
4.2 Método y Diseño de la Investigación.....	63
4.2.1 Método de la Investigación.....	63

	Pág.
4.2.2 Diseño de la Investigación	63
4.3 Población y Muestra de la Investigación	63
4.3.1 Población	63
4.3.2 Muestra.....	63
4.4 Técnicas e Instrumentos de Recolección de Datos.....	64
4.4.1 Técnicas	64
4.4.2 Instrumentos	64
4.5 Procedimiento.....	64
CAPITULO V PRESENTACIÓN, ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS	
5.1 Análisis de Cuadros y Gráficas	70
5.2 Discusión de los Resultados	74
CONCLUSIONES.....	76
RECOMENDACIONES.....	77
REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.....	78
ANEXO.....	82

ÍNDICE DE CUADROS

	Pág.
Cuadro N^o1. Vida Media del Mercurio en el Organismo.....	53
Cuadro N^o2. Tiempo de exposición de 0 a 12 meses	71
Cuadro N^o3. Tiempo de exposición de 13 a 24 meses	71
Cuadro N^o4. Tiempo de exposición de 25 a 48 meses	72
Cuadro N^o5. Promedio de la población evaluada.....	72

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura N°1. Componentes Básicos de un Espectrofotómetro de Absorción Atómica	59

ÍNDICE DE GRÁFICOS

	Pág.
Grafica N°1. Promedio de la población evaluada.....	73
Grafica N°2. Proporción porcentual de la población evaluada	73

Resumen

El mercurio es un elemento natural de la corteza terrestre y es tóxico para la salud. La exposición ocupacional ocurre principalmente a través de la minería artesanal y el consumo de productos fluviales como por ejemplo, la trucha contaminada con partículas de mercurio en el ambiente. La contaminación de mercurio en los humanos se evalúa generalmente en la orina, la sangre y el cabello. La organización mundial de salud (OMS) ha establecido niveles de mercurio en cabello, superiores a 2.2 ppm como un riesgo para la salud. Este estudio determinó la concentración de mercurio total en cabello de una muestra de la población adulta de los trabajadores de la comunidad minera Huaquirca, año 2017. Participaron 20 voluntarios (trabajadores con un rango de edad de 25 – 45 años). Se cortó una muestra de cabello de la región occipital pegada al cuero cabelludo. Las muestras se lavaron, liofilizaron y se realizó una digestión húmeda en un sistema cerrado de microondas y el contenido de mercurio total se determinó por espectroscopia de absorción atómica con vapor frío (CVAAS por sus siglas en Inglés) empleando un equipo FIAS-400 acoplado a un espectrómetro Analyst-800 marca Perkin Elmer®. Los resultados presentaron una concentración de mercurio total en cabello de los trabajadores, con un tiempo de exposición de 0 a 12 meses: 0.2 – 0.46 µg/g y de 13 a 24 meses: 0.85 – 1.58 µg/g y en los trabajadores de 25 a 48 meses: 1.86 – 2.96 µg/g. Este estudio concluye que el 85 % de los trabajadores que participaron presentaron niveles de mercurio a concentraciones que la OMS considera por debajo de los límites permisibles y el 15 % de los trabajadores presentaron niveles por encima de los valores permisibles que la OMS considera dañino para la salud.

Palabras claves: Bioacumulación Mercurio, fluviales, espectrofotometría de absorción atómica, cabello, minería.

Abstract

Mercury is a natural element of the earth's crust and is toxic to health. Occupational exposure occurs mainly through artisanal mining, and the consumption of fluvial products such as trout contaminated with mercury particles in the environment. Mercury contamination in humans is generally evaluated in urine, blood and hair. The World Health Organization (WHO) has established mercury levels in hair, greater than 2.2 ppm as a health risk. This study determined the concentration of total mercury in hair of a sample of the adult population of workers from the Huaquirca mining community, year 2017. 20 volunteers participated (workers with an age range of 25 - 45 years). A sample of hair was cut from the occipital region attached to the scalp. The samples were washed, lyophilized and a wet digestion was performed in a closed microwave system and the total mercury content was determined by cold vapor atomic absorption spectroscopy (CVAAS) using a FIAS-400 equipment coupled to a Perkin Elmer® Analyst-800 spectrometer. The results showed a concentration of total mercury in hair of the workers, with an exposure time of 0 to 12 months: 0.2 - 0.46 $\mu\text{g} / \text{g}$ and 13 to 24 months: 0.85 - 1.58 $\mu\text{g} / \text{g}$ and in workers from 25 to 48 months: 1.86 - 2.96 $\mu\text{g} / \text{g}$. This study concludes that 85% of the workers who participated presented levels of mercury at concentrations that the WHO considers below the permissible limits and 15% of the workers presented levels above the permissible values that the WHO considers harmful to the Health.

Keywords: Mercury bioaccumulation, fluvial, atomic absorption spectrophotometry, hair, mining.

INTRODUCCIÓN

Durante las últimas décadas numerosos científicos han estudiado, en diversas partes del planeta, el proceso por el cual el mercurio liberado en la atmósfera, se bioacumula a lo largo de la cadena trófica, llegando a afectar negativamente la salud de los seres humanos, así como la del ecosistema en general.¹ Las consecuencias para el ser humano son tan alarmantes que ha sido necesario que la organización mundial de salud establezca límites seguros para la ingesta de mercurio en sus diversas formas, llegándose a identificar a poblaciones en alto riesgo debido a su alta sensibilidad y exposición, especialmente laboral y alimenticia.¹

La minería aurífera es una actividad económica que durante las últimas décadas ha presentado un creciente desarrollo, que no cumple con la normativa de control de desechos en especial de mercurio, elemento perjudicial para la salud de la población y un gran porcentaje de estas operaciones mineras son informales y el territorio en que se desarrollan corresponde a áreas naturales, lo cual puede traducirse en una amenaza.²

El estudio en cabello se considera un método no invasivo, es estable a temperatura ambiente, fácil de almacenar, transportar y puede ser conservado por largos periodos de tiempo y para ello no se requiere de entrenamiento especializado para su recolección, también permite adquirir una historia de la exposición pasada al contaminante en periodos largos, dependiendo de su longitud, ya que una vez que el mercurio se fija en el cabello no regresa de nuevo a la sangre reflejando así los elementos minerales en el periodo de su formación. El cabello crece aproximadamente un centímetro por mes permitiendo una reconstrucción de la exposición a través del tiempo con exactitud.³

Por ello el objetivo del presente estudio es determinar la relación existente entre la bioacumulación y el tiempo de exposición de los trabajadores de la comunidad minera Huaquirca.

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1 Descripción de la Realidad Problemática

Las operaciones mineras han mostrado un creciente impacto ambiental y social, como es el caso en los últimos años del gran crecimiento de la minería artesanal a pequeña escala. A nivel mundial, una de las mayores fuentes de emisiones antropogénicas de mercurio es la minería artesanal del oro, en la actualidad, más de 70 países a nivel mundial se dedican a la minería artesanal, entre estos países se encuentran en desarrollo como África, Asia y América del Sur.⁴

Al respecto, existen reportes de altos niveles de mercurio en cabello generados por la minería informal en casi la extensión de países de Sur América, tales como, Perú, Bolivia, Colombia, Brasil, etc.⁴ En el Perú la expansión de la minería artesanal se inicia con la crisis de las empresas mineras de oro en la década de los 70 – 80 la cual lleva a muchos empresarios a alejarse de la producción final. Este fenómeno produce como consecuencia el abandono de las zonas mineras las cuales pasan a ser explotadas por los mineros artesanales.⁵ En la zona del distrito de la comunidad Huaquirca existen alrededor de 80 personas que se dedican a este tipo de trabajo de manera artesanal sin ningún soporte tecnológico. También ha tenido consecuencias negativas en la salud de

los trabajadores mineros y de los pobladores de la zona, quienes manipulan de manera indiscriminada el mercurio metálico sin los cuidados de protección que debían tener. El presente trabajo de investigación se realizó en el distrito de la comunidad Huaquirca perteneciente a la provincia de Antabamba ubicado en la sierra sur del Perú, está a una altura de 3604 metros sobre el nivel del mar se ubica entre quebradas áridas y cerros con yacimientos mineros de oro, plata, hierro y cobre.

La minería artesanal se ha convertido en un medio de subsistencia económica para las familias de la zona e involucra a toda la población que recibe influencia directa e indirecta de esta actividad que es totalmente perjudicial para la salud de la población.⁶ Para la extracción de oro utilizan técnicas muy rudimentarias, usualmente se deposita mercurio con partículas muy delgadas, necesitan de este metal para un buen recobro del mismo. En el proceso de amalgamación, el oro es atrapado por el mercurio en el seno de una pulpa acuosa para formar una sustancia altamente viscosa y de color blanco brillante denominada amalgama.⁶

Durante la separación de oro-mercurio, la inhalación por este proceso causa daño de forma irreversible la salud, y el medio ambiente no se toman en cuenta por la población minera que ignora los daños que puede ocasionar un mal manejo. La exposición a estas sustancias no se limita solo en los trabajadores, sino que también extienden a sus familiares, ya que en muchos casos los mineros destilan la amalgama en el patio de sus casas manipulando el mercurio metálico, sin ninguna protección durante las diferentes etapas del proceso.⁷

1.2 Problemas de Investigación

1.2.1 Problema General

¿Qué relación existe entre la bioacumulación de mercurio en cabello con el tiempo de exposición laboral en la comunidad minera Huaquirca?

1.2.2 Problemas Específicos

- ¿La bioacumulación de mercurio en cabello en pobladores con un tiempo de exposición de 0 a 12 meses estará dentro de los valores permisibles por la organización mundial de salud?.
- ¿La bioacumulación de mercurio en cabello en pobladores con un tiempo de exposición de 13 a 24 meses estará dentro de los valores permisibles por la organización mundial de salud?.
- ¿La bioacumulación de mercurio en cabello en pobladores con un tiempo de exposición de 25 a 48 meses estará dentro de los valores permisibles por la organización mundial de salud?.

1.3 Objetivos de la Investigación

1.3.1 Objetivo General

Determinar la relación que existe entre la bioacumulación de mercurio en cabello con el tiempo de exposición laboral en la comunidad minera Huaquirca.

1.3.2 Objetivos Específicos

- Determinar si la bioacumulación de mercurio en cabello de pobladores con un tiempo de exposición de 0 a 12 meses

estará dentro de los valores permisibles por la organización mundial de salud.

- Determinar si la bioacumulación de mercurio en cabello en pobladores con un tiempo de exposición de 13 a 24 meses estará dentro de los valores permisibles por la organización mundial de salud.
- Determinar si la bioacumulación de mercurio en cabello en pobladores con un tiempo de exposición de 25 a 48 meses estará dentro de los valores permisibles por la organización mundial de salud.

1.4 Justificación, Importancia y Limitaciones de la Investigación

1.4.1 Justificación de la Investigación

El presente trabajo de investigación tiene una justificación social ya que busca crear conciencia en la población sobre los riesgos de contaminación a la que están expuesta de las personas dedicadas principalmente a la minería artesanal y no cuentan con ningún soporte tecnológico en el manejo del mercurio para el procesamiento del oro. También origina un peligro de contaminación tanto del agua como del suelo implicando un riesgo para la salud, especialmente en aquellos grupos de población más vulnerable como son los trabajadores que están en contacto directo con el contaminante. Asimismo, el presente trabajo de estudio pretende dar una alerta a las autoridades correspondientes, para que tomen medidas preventivas para mejorar la protección y la salubridad de los trabajadores de la comunidad minera Huaquirca.

1.4.2 Importancia de la Investigación

El presente estudio es de suma importancia ya que permitirá alertar a la población sobre el posible daño que ocasiona el mercurio en el organismo, y las consecuencias que esto genera en la salud a corto y largo plazo, debido al uso inadecuado e indiscriminado de este metal en el proceso de obtención de oro; de esta manera se contribuirá con su prevención.

1.4.3 Limitaciones de la Investigación

- la escasa información de mercurio en cabello registrado en el Perú, así mismo la falta de interés que muestra los trabajadores para la entrega de muestras de su cabello y su posterior análisis; lo cual prolongo el tiempo de recolección de muestra.
- La complejidad para ingresar al centro minero artesanal para la toma de muestra, debido a la desconfianza de los trabajadores a las personas ajenas a su entorno.

CAPÍTULO II

HIPÓTESIS Y VARIABLES DE LA INVESTIGACIÓN

2.1 Hipótesis de la Investigación

2.1.1 Hipótesis General

La bioacumulación de mercurio en cabello presenta una relación significativa con tiempo de exposición laboral de la comunidad minera Huaquirca.

2.1.2 Hipótesis Específicos

- La bioacumulación de mercurio en cabello en pobladores con un tiempo de exposición de 0 a 12 meses se encuentra dentro de los valores permisibles según la organización mundial de salud.

- La bioacumulación de mercurio en cabello en pobladores con un tiempo de exposición de 13 a 24 meses se encuentra dentro de los valores permisibles según la organización mundial de salud.

- La bioacumulación de mercurio en cabello en pobladores con un tiempo de exposición de 25 a 48 meses se encuentra por encima de los valores permisibles según la organización mundial de salud.

2.2 Variables de la Investigación

2.2.1 Identificación y Clasificación de Variables

- **Variable Independiente**

Exposición laboral

Indicadores

- Tiempo de exposición laboral de 0 a 12 meses
- Tiempo de exposición laboral de 13 a 24 meses
- tiempo de exposición laboral de 25 a 48 meses

- **Variable Dependiente**

Mercurio en cabello

Indicadores

Niveles permisibles de la Organización mundial de la salud

- nivel permisible de mercurio $\leq 2.2\text{ppm}$
- nivel no permisibles de mercurio $> 2.2\text{ppm}$

2.2.2 Operacionalización de variables

Variables	Definición conceptual	Indicadores	Valores finales	escala
Variable Independiente exposición laboral	Tiempo de exposición laboral en la comunidad minera Huaquirca	- Tiempo de exposición laboral de 0 a 12 meses - Tiempo de exposición laboral de 13 a 24 meses - tiempo de exposición laboral de 25 a 48 meses	0 - 12 13 - 24 25 - 48	continuas
Variable Dependiente mercurio en cabello	Se presenta más de 2.2 µg/g. de mercurio en cabello. Se dice que es un paciente intoxicado	-nivel permisible de mercurio \leq 2.2 µg/g -nivel no permisibles de mercurio $>$ 2.2 µg/g	0 – n µg/g	continuas

Fuente: Elaboración propia - 2017

CAPÍTULO III

MARCO TEÓRICO

3.1 Antecedentes de la Investigación

3.1.1 A Nivel Nacional

La investigación realizada por el Ing. Hernán Rómulo Apaza porto (2016) **DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE MERCURIO EN AGUA Y SEDIMENTOS DEL RIO SUCHES-ZONA BAJA PARIA COJATA – PUNO** para optar el título profesional de ingeniero metalurgista en la universidad nacional del altiplano facultad de ingeniería geológica e Ingeniería Metalúrgica, hace referencia sobre la concentración de mercurio en agua y sedimento del rio suches en la zona baja Paria del distrito de Cojata Puno y reúne los resultados de la evaluación de niveles de mercurio en agua y sedimentos de la cuenca, este análisis muestra que hay una marcada tendencia de crecimiento de las concentraciones de mercurio durante los últimos años. En cuanto al alto contenido de mercurio en los sedimentos, estos pueden traer problemas ambientales pues en medios anaeróbicos el mercurio tiende a metilarse, convertirse en una sustancia orgánica por la flora y fauna del medio, proviniendo la bioacumulación del mismo en el ser vivo.⁸

La investigación realizada por Mg. Luis Miguel Aparicio alcázar (2015) **EL MERCURIO EN LA CUENCA DEL TAMBOPATA. REPERCUSIONES EN LA SALUD HUMANA Y DEL ECOSISTEMA** para optar el grado de magister scientiae en conservación de recursos forestales en la universidad Agraria la Molina, hace referencia sobre la presencia de mercurio-total en la cuenca del río Tambopata. Se trabajó un total de 63 muestras de tejido de peces y cabello de seres humanos durante los años 2003, 2004 y 2005. Las mismas fueron analizadas empleando la técnica de espectrofotometría de absorción atómica por arrastre de vapor frío de mercurio. Los resultados indican presencia de mercurio total en las partes alta y baja de la cuenca; se detectaron valores cercanos o que superan los límites recomendados por la organización mundial de la salud tanto para tejido de peces de consumo humano como en el cabello de los humanos analizados. El mercurio encontrado en peces de consumo humano, con concentraciones cercanas a los niveles recomendados por la organización mundial de la salud, sugiere la necesidad de informar a la población sobre el riesgo enfrentado, así como de límites recomendables para el consumo de las especies en cuestión.⁸ Los resultados para cabello humano delatan presencia de mercurio en concentraciones superiores a los límites de seguridad comúnmente aceptados, significando un grave riesgo de neurotoxicidad para los sujetos y su descendencia.⁹

La investigación realizada por. Villanueva-Ponce A, Adserias-Garriga MJ, Chimenos-Küstner E. (2014) **NIVEL DE MERCURIO EN CABELLO DE NIÑOS PERUANOS EXPUESTOS EN UNA ZONA MINERA DE AREQUIPA Y DE LA CIUDAD DE LIMA** hacen referencia sobre los niveles de mercurio en cabello en dos muestras de niños peruanos provenientes de dos zonas geográficas distintas: una zona rural minera y una zona urbana.

La zona minera correspondió al poblado de Mollehuaca (Arequipa), de donde se obtuvieron 52 muestras de cabello; la zona urbana no expuesta a minería correspondió al distrito de los Olivos (Lima), de donde se obtuvieron 40 muestras. Se determinó el nivel de mercurio con la técnica estandarizada de plasma de inducción acoplado con un espectrómetro de masas (ICP-MS) En la zona rural, en promedio, se obtuvo un nivel de mercurio de 7,47 ppb±26,9. En la zona urbana, el nivel de mercurio alcanzó un promedio de 2,47 ppb±1,28. No se encontraron diferencias significativas en el nivel de mercurio según edad o género. El grupo expuesto a minería aurífera informal y de zona rural presentó niveles de mercurio en cabello en promedio mayores a los del grupo de zona urbana, pero esta diferencia no fue significativa.¹⁰

La investigación realizada por. Grandez-Urbina J, Gonzalo-Rodríguez J, Ronceros-Mayorga V. (2012) **NIVELES DE MERCURIO EN CABELLO DE MUJERES EN UNA COMUNIDAD NATIVA, MADRE DE DIOS, PERÚ** hacen referencia que el mercurio origina disturbios a nivel neuropsicológico en neonatos expuestos. La aparición de la minería aurífera ilegal ha producido una creciente contaminación del río Madre de Dios, Perú. No conociéndose datos estadísticamente significativos sobre la contaminación en mujeres en edad fértil de las comunidades nativas, Se obtuvieron muestras de cabello de mujeres en edad fértil. Se analizaron por prueba de absorción atómica de vapor frío en el Centro Toxicológico S.A.C. El análisis se realizó con el paquete estadístico STATA 11,0 (STATA Corp. ®, Texas, EE.UU.). Se utilizaron las frecuencias, medidas de tendencia central y de dispersión en las variables cualitativas. El 33,33 % (n = 20) de las mujeres mostró cifras de mercurio en el cabello superiores a 2 µg/g. Se encontraron niveles

por encima del límite permisible de mercurio en cabello en las mujeres en edad fértil de la comunidad nativa Ese'jeja Palma Real, Madre de Dios, Perú.¹¹

La investigación realizada por el Dr. Ronald Jesús Ramos Salazar (2011) **CONCENTRACIÓN DE MERCURIO EN ORINA Y SU RELACIÓN CON LAS LESIONES DE LA CAVIDAD BUCAL EN LA COMUNIDAD MINERA SANTA FILOMENA** para optar el título profesional de cirujano dentista en la universidad nacional Federico Villarreal facultad de odontología, hace referencia sobre la concentración de mercurio en el agua de consumo y orina puntual, de la comunidad Minera "Santa Filomena "(Ayacucho).

Las muestras tomadas en orina fueron de los mineros a los cuales se analizaron la determinación de mercurio, siendo el resultado niveles altos de los valores permisibles según la organización mundial de la salud y también Se les realizó un examen clínico intraoral para poder registrar las lesiones de la cavidad bucal luego se determinó la concentración de mercurio en el agua de consumo y mediante el Método de espectrofotometría de absorción atómica por generación de hidruros en vapor frío, Con los resultados de los análisis, hallamos la concentración promedio de mercurio en orina igual a 254 ug/L, y en el agua de consumo salió 310 ug/L, la relación que existe entre mineros intoxicados con mercurio; con respecto a las lesiones de la cavidad bucal, las más significativas son la gingivitis, periodontitis y úlceras. Con poca frecuencia de queilitis angular. Y que la intoxicación por mercurio está asociada principalmente al consumo de agua.¹²

3.1.2 A Nivel Internacional

La investigación realizada por el Dr. Alexi José Túrizo Tapia (2016) **DETERMINACIÓN DE LOS NIVELES DE MERCURIO EN EL DISTRITO MINERO DE SAN MARTÍN DE LOBA, SUR DE BOLÍVAR COLOMBIA** para optar el título de Magíster en Ciencias Ambientales en la Universidad de Cartagena facultad de ciencias farmacéuticas, hace referencia que las personas que viven en las proximidades de las zonas mineras artesanales son vulnerables a la exposición a este metal. Uno de los principales problemas es su capacidad para causar neurotoxicidad, así como lesiones en órganos tales como el hígado y los riñones. Por lo tanto, estos efectos hacen la vida prenatal más susceptible al daño cerebral que en los adultos. Los contaminantes ambientales son un problema grave en todo el mundo, entre estos, algunos tienen la particularidad de ser persistentes en el medio ambiente. Por lo anterior, en este estudio fueron analizadas las concentraciones de mercurio en diferentes matrices ambientales para evaluar el impacto de la minería del oro generado en el sur del departamento de Bolívar, la cuantificación de los niveles de mercurio fue realizada por atomización electro térmica y espectroscopia de absorción atómica. El promedio de mercurio en cabello de habitantes del Distrito Minero de San Martín de Loba fue de 2.12 $\mu\text{g/g}$, mientras que, para el sitio de referencia, Chimichagua, Cesar, fue de 0.58 $\mu\text{g/g}$. Estos datos evidencian la presencia de un medio ambiente contaminado con Hg en el distrito minero, con riesgo directo para los efectos nocivos sobre la salud de las comunidades mineras.¹³

La investigación realizada por. Lesbia Rosa Tirado Amador, Leonardo José Martínez Hernández, Luis Alberto Wilches Vergara (2015) **NIVELES DE METALES PESADOS EN MUESTRAS BIOLÓGICAS Y SU IMPORTANCIA EN SALUD** hace referencia que la sociedad del siglo XXI enfocada hacia el desarrollo socio económico, la continua industrialización, la práctica de la minería y de actividades productivas como la agricultura resultan ser opciones atractivas; sin embargo, el desarrollo de estas actividades, es frecuente el uso y la emisión de algunos químicos hacia el medio ambiente, entre los cuales se encuentran los metales pesados. En el organismo de los seres vivos, hay pequeñas cantidades de algunos metales pesados que pueden intervenir en reacciones bioquímicas, pero otros metales no representan utilidad biológica. Por esto, la exposición ocupacional y la exposición pasiva a metales pesados presentes en el ambiente o que provienen de la dieta deben ser reguladas, ya que cantidades superiores a las consideradas normales pueden ocasionar ciertas enfermedades. El control de la exposición a metales pesados incluye monitorear los niveles presentes en distintas matrices biológicas como la sangre, la orina, la saliva, el cabello y las unas.¹⁴

La investigación realizada por la Dra. Sally Patricia López Osorio (2013) **CONCENTRACIÓN DE MERCURIO EN CABELLO DE UNA MUESTRA DE LA POBLACIÓN ADULTA DE YUCATÁN** para optar el grado de Maestría en ciencias de Ecología Humana en el centro de investigación y de estudios avanzados del instituto politécnico nacional, hace referencia que el mercurio es un elemento natural de la corteza terrestre y es toxico para la salud la exposición no ocupacional ocurre principalmente a través del consumo de productos marinos contaminados y contacto de partículas de mercurio en el ambiente y la contaminación de

mercurio en humanos se evalúa generalmente en muestras de cabello, sangre y orina. La regulación internacional de organización mundial de la salud, ha establecido que niveles de mercurio en cabello, superiores a 1ppm son riesgos para la salud; en este estudio se pudo determinar por medio de absorción atómica con vapor de frío siendo el resultado de 1.119 $\mu\text{g/g}$ no se encontró diferencia estadísticamente significativa de la concentración de mercurio entre hombres y mujeres. Este estudio concluye que la concentración promedio de mercurio total en la población estudiada fue de 1.119 $\mu\text{g/g}$. Estos valores son ligeramente más elevados que los sugeridos como aceptables por la OMS, que considera nocivas para la salud.¹⁵

La investigación realizada por la Dra. Gabriela Aymara Gómez rojas (2011) **DETERMINACIÓN DE LA CONCENTRACIÓN MERCURIO EN CABELLO Y UÑAS DE NIÑOS EN EDAD ESCOLAR PERTENECIENTES A LA ESCUELA “ELSA JOSEFINA LUNAR” DE LA LOCALIDAD DE GUAYACÁN, ESTADO SUCRE** para optar el título de licenciado en bioanálisis en la universidad de oriente núcleo de sucre escuela de ciencias departamento de bioanálisis, hace referencia que las concentraciones de mercurio en cabellos y uñas de niños en edad escolar pertenecientes a la escuela “Elsa Josefina Lunar” de la localidad de Guayacán, estado Sucre. Se analizaron muestras de cabellos y uñas de 90 niños escolares, con edades comprendidas entre 4 y 13 años, masculinos y femeninos. La técnica aplicada para la determinación de mercurio fue la espectroscopía de absorción atómica al vapor frío. Los resultados demostraron que los niveles de mercurio en cabellos no presentaron diferencias significativas en cuanto a la edad de los niños $K_w= 5,64663$ $p=0,130124$, similares resultados fueron obtenidos para uñas $K_w= 0,903894$ $p=0,824486$. Del mismo modo, se pudo observar

diferencias no significativas de Hg en cabellos de los niños y niñas en cuanto al sexo, obteniendo para uñas similares resultados. Nivel que se encuentra por debajo del señalado por la organización mundial de salud OMS de 2 µg/g de cabello.¹⁶

La investigación realizada por. Jesús Olivero, Claudia Mendoza, Judith Mestre (2011) **MERCURIO EN CABELLO DE DIFERENTES GRUPOS OCUPACIONALES EN UNA ZONA DE MINERÍA AURÍFERA EN EL NORTE DE COLOMBIA** hacen referencia sobre los análisis de mercurio en cabello que fue realizado a 219 personas que habitan en la principal zona de minería del oro en Colombia, tomando 27 personas de la ciudad de Cartagena, como muestra Control. Para el análisis de los datos, la muestra estudiada se dividió de acuerdo con la ocupación de las personas, encontrándose concentraciones medias (\pm DE) de 5,23 \pm 5,78, 2,83 \pm 3,27, 2,40 \pm 2,02 y 1,33 \pm 0,74 mg/g de mercurio en cabello, para pescadores, mineros, personas dedicadas a otras actividades y grupo control respectivamente.

De acuerdo con el análisis de varianza y el test de Newman Keuls, existe diferencia significativa ($p < 0,01$) para las concentraciones de mercurio observadas entre pescadores y los demás grupos.¹⁷

3.2 Bases Teóricas

3.2.1 Mercurio

El mercurio es un metal líquido blanco plateado, volátil a temperatura ambiente se encuentra en estado líquido su temperatura de fusión es 38, 9°C y su temperatura de ebullición es 357,3°C. Su peso específico es de 13,6 g/cm³ (0°C). Mercurio metálico debido a su alta presión de vapor, evapora fácilmente a temperatura ambiental a 20°C su concentración en el aire puede alcanzar hasta 0,014 g/m³, y a 100°C hasta 2,4 g/m³.

Generalmente se habla de vapor de mercurio cuando el mercurio elemental se encuentra presente en la atmósfera o de mercurio metálico cuando está en su forma líquida, así convirtiéndose en un contaminante por su capacidad para generar reacciones químicas en las que pueden participar microorganismos que lo utilizan en sus procesos energéticos, incorporándolas al medio ambiente en una transición de compuestos inorgánicos a orgánicos todas las formas de mercurio se transforman en metil mercurio en el agua por reacción con oxígeno O₂ el metil mercurio es hidrosoluble y liposoluble.⁶ Este tóxico tan potente contamina nuestro medioambiente a través de emisiones naturales como son las erupciones volcánicas, emisiones antropogénicas como la combustión de fósiles, procesos de incineración, cementeras y minería entre otras, y a partir de depósitos creados por las emisiones naturales y antropogénicas, que nuevamente se evaporan pasando a la atmósfera e introduciéndose en los ciclos biológicos.⁷

En su ciclo global el viento puede transportar a grandes distancias el mercurio antes de su depósito terrestre o acuático, principalmente por la lluvia y otros fenómenos meteorológicos. Más

del 85% de las emisiones de mercurio antropogénicas están generadas por las centrales eléctricas que utilizan combustibles fósiles y la incineración de residuos (incluidos los municipales y derivados de la actividad sanitaria).⁴

En la incineración algunas partículas de Hg elemental se adhieren a las cenizas y se depositan en tierra sin llegar a largas distancias, pero la mayor parte de mercurio elemental se evapora y permanece en la atmósfera, a veces hasta un año, donde reacciona con el ozono y otros oxidantes para formar compuestos iónicos, sumamente solubles, que se depositan en la tierra o el agua con la lluvia o la nieve. Una porción del mercurio iónico es emitida directamente en los procesos de combustión.²

El mercurio, una vez depositado, se transforma en metilmercurio por la acción de determinadas bacterias sulfato reductoras y se bioacumula en los organismos acuáticos incorporándose en la cadena trófica de alimentos.⁵ Los efectos nocivos del mercurio y específicamente del metilmercurio se conocen desde finales de los años 50, debido a la intoxicación masiva que se produjo por el consumo de pescado contaminado en la bahía de Minamata (Japón).

La contaminación por mercurio es el principal problema ambiental, además tiene efectos perniciosos para la salud de los trabajadores y su entorno. El uso indiscriminado e ineficiente del mercurio para amalgamar el oro ocasiona grandes cantidades de esta sustancia se pierdan y viertan en el medio ambiente en forma gaseosa o líquida.⁴

❖ Tipos de Mercurio Presentes en el Ambiente

a. Mercurio Inorgánico o Metálico (Hg)

Se encuentra de forma natural en el suelo, pero sus concentraciones se incrementan exponencialmente por los vertidos del hombre. El mercurio que se evapora al quemar las amalgamas de oro va a la atmósfera circundante y de allí se precipita en micro-gotitas en un diámetro de hasta 1,5 μ m, contaminando el suelo el agua, animales, plantas, humanos. En el agua, por su elevada densidad, el mercurio se deposita y acumula en el barro del fondo.⁷

b. El Mercurio Orgánico o Metilmercurio (MeHg):

Las bacterias y otros microorganismos transforman el mercurio metálico en metilmercurio en el fondo de los cuerpos de agua y en zonas pantanosas. Los peces detritívoros y otros pequeños organismos (caracoles, cangrejos, gusanos, etc.), que se alimentan de barro del fondo, ingieren el metilmercurio y lo van acumulando en sus tejidos a lo largo de su vida (bioacumulación). A través de la cadena trófica, los peces, aves, reptiles o mamíferos, incluyendo el hombre, que consumen estos peces y organismos, lo van acumulando en sus músculos y tejidos durante su vida, y al ser comidos por otros, los depredadores finales acumulan más mercurio (biomagnificación).¹⁸

❖ Metilación del Mercurio

El mercurio metálico Hg puede entrar a la cadena trófica y de ahí al hombre a través de su metilación, que corresponde a la formación de un compuesto organometálico, el metilmercurio o monometilmercurio (CH₃Hg⁺), el cual es liposoluble, y de hecho, es cien veces más soluble en tejidos grasos que el mercurio

inorgánico. Estos compuestos presentan una elevada toxicidad, puesto que pueden atravesar fácilmente las membranas biológicas en particular la piel, y a partir de este punto, la incorporación del metal en la cadena trófica está asegurada.⁶

El proceso de metilación (también llamado organificación) se produce principalmente en el agua o ambientes húmedos, y se acentúa sensiblemente en aguas con pH ácido (<6.5) y con baja conductividad, con altas temperaturas y abundante materia orgánica, características bastante frecuentes en ríos, quebradas y pantanos.⁶ Las condiciones del clima y de los suelos de la Amazonía favorecen el proceso de metilación del mercurio. El metilmercurio se acumula en los microorganismos acuáticos, y de ahí pasa a los tejidos musculares de peces y otros animales acuáticos. En áreas inundables, las raíces de las plantas acumulan también mercurio, por lo que es peligroso el cultivo y consumo de plantas alimenticias como papa yuca, camote y otros en zonas con alta contaminación con mercurio.¹⁹

❖ **Producción y Usos del Mercurio**

La corteza terrestre contiene un promedio de aproximadamente 0.02 ppm de mercurio. El aire contiene en promedio 0.005 – 0.06 mg/m³, el agua dulce 0.1 mg/L, el agua del mar 0.03 mg/L de mercurio, todo esto proveniente de las erupciones volcánicas, principalmente. Existen más de 20 minerales diferentes que contienen mercurio. De ellos, solo el sulfuro de mercurio (cinabrio). Los yacimientos más importantes de mercurio están en rocas volcánicas o en pizarras negras (bituminosas). Los suelos contienen 20 – 150 ppb de mercurio. Algunos yacimientos se explotan exclusivamente por mercurio (como en Almadén, España, donde en el transcurso de los siglos se ha explotado más de 250 000 toneladas de mercurio y actualmente se conocen reservas de

75 000 tn).⁵ Sin embargo, una gran parte del mercurio producido tiene su origen como subproducto de la explotación de yacimientos sulfurosos de otros metales, mientras otra parte es producida por reciclaje de materiales secundarios.

Por su baja temperatura de ebullición, el mercurio es destilado directamente de sus minerales.¹⁰ En algunos casos ni se utilizan procesos de pre concentración, solo se calienta el material triturado directamente en varios tipos de hornos para luego enfriar los gases y recuperar el mercurio metálico por condensación.

Los principales productores de mercurio en el mundo son: Argelia, China, Checoslovaquia, Finlandia, Kirguistán, México, Marruecos, etc.

El mercurio elemental se puede encontrar en:

- Termómetro de vidrio
- Interruptores eléctricos
- Bombillas de luz fluorescente
- Obturaciones dentales viejas
- Algunos equipos médicos

El mercurio inorgánico se puede encontrar en:

- Laboratorios de química
- Algunos desinfectantes
- Medicamentos de la cultura popular
- Mineral cinabrio rojo

El mercurio orgánico se puede encontrar en:

Antisépticos viejos, como mercurio rojo (merbromin), una sustancia que actualmente está prohibida por la FDA Tiomersal. Emanaciones de humo de la combustión del carbón convertidas en

mercurio orgánico por ciertos organismos. Peces que hayan ingerido una forma de mercurio orgánico llamado metilmercurio.⁸

❖ **Emisiones Antropogénicas del Mercurio**

Una gran parte del mercurio presente en estos momentos en la atmósfera es el resultado de muchos años de emisiones antropógenas. Es decir de calcular el componente natural de la carga total en la atmósfera, aunque los datos disponibles parecen indicar que las actividades antropógenas han incrementado los niveles de mercurio en la atmósfera en un factor aproximando de tres, las tasas medias de sedimentos en un factor de 1,5 a 3 y la sedimentación en las proximidades de zonas industriales en un factor de 2 a 10.

En lo que se refiere a las liberaciones antropogénicas, la proporción relativa de las liberaciones derivadas de usos internacionales por oposición a la movilización de impurezas de mercurio varía mucho de un país a otro y de una región a otra, en particular según el alcance de la sustitución de los usos intencionales (productos y procesos); la dependencia de los combustibles fósiles, en particular el carbón, para la producción de energía; la envergadura de las operaciones de la industria minera y de extracción de minerales; las prácticas de eliminación de desechos y el estado de la aplicación de tecnologías de control de contaminación.¹⁰

En los países en que se practica la minería del mercurio o se utiliza el mercurio para la minería en pequeña escala del oro o la plata, estas fuentes pueden ser muy importantes. Algunos de los procesos antropogénicos más importantes que movilizan impurezas de mercurio son la generación de energía y calor a partir del carbón, la producción de cemento; y la minería y otras actividades metalúrgicas que comprenden la extracción y procesamiento de materiales minerales, como la producción de

hierro y acero, zinc y oro. Algunas fuentes importantes de liberaciones antropogénicas que se producen a raíz de la extracción y el uso intencional del mercurio comprenden la minería del mercurio, la minería del oro y la plata en pequeña escala; la producción de cloro alcalino; el uso de lámparas fluorescentes y otro instrumentos y su rotura accidental; las amalgamas dentales; la fabricación de productos que contienen mercurio, el tratamiento de desechos y la incineración de productos que contiene mercurio; los vertederos y la cremación.¹⁸

Las emisiones de mercurio se pueden agrupar en cuatro categorías:

- a)** Fuentes naturales liberaciones debidas a la movilización natural del mercurio tal como se encuentra en la corteza terrestre, como la cantidad volcánica o la erosión en las rocas
- b)** Las actuales liberaciones antropógenas (asociadas con la actividad humana) resultantes de la movilización de impurezas de mercurio en 30 materias primas como los combustibles fósiles en particular el carbón y menor medida el gas y el petróleo y otros minerales extraídos, tratados y reciclados.
- c)** La actual liberación antropógenas resultantes del uso intencional del mercurio en productos y procesos durante la fabricación, los derrame, la eliminación o incineración de productos agotados y liberaciones de otro tipo.
- d)** Las liberaciones antropógenas pasadas de mercurio anteriormente depositado en suelos, sedimentos, masas de agua vertederos y acumulaciones de desechos o residuos.

❖ Procesos de Amalgamación del Mercurio

Como amalgama se entiende en principio cualquier aleación del metal mercurio con otros metales. El proceso de alear otros metales con mercurio es por lo tanto denominado amalgamación en su sentido estricto. No obstante en la práctica de la minería artesanal y pequeña minería frecuente se utiliza el término de amalgamación para todo el proceso de obtención de oro de minerales con ayuda de mercurio.¹⁹

La amalgamación es la técnica preferida por los pequeños mineros pues requiere poca tecnología e inversión de capital y por tal razón es factible que se siga practicando durante mucho tiempo.¹²

En este proceso el oro es atrapado cuando entra en contacto con el mercurio formando una mezcla alterna viscosa y de color blanco brillante denominada amalgama (aleación de oro y mercurio). La recuperación final del metal precioso se realiza mediante un fuerte calentamiento al aire libre en un recipiente de metal o arcilla, técnica conocida comúnmente como “quema de la amalgama”.

Las emisiones de mercurio se producen tanto en forma de mercurio elemental durante la fase de amalgamación como también en forma de vapor durante la separación oro mercurio. Independiente de las costumbres y hábitos que existen en cada país, las mayores emisiones de mercurio se están produciendo durante las siguientes operaciones:

1. En la amalgamación en flujo abierto (canaletas, molinos, planchas amalgamadoras, etc.) que se realiza anterior, simultanea o posteriormente a la molienda o concentración y constituye la mayor fuente de emisión de mercurio en forma metálica.

2. En la operación de lavado del material procesado en circuito cerrado en barriles o tambores amalgamadores (amalgamación de concentrados o minerales de alta ley).
3. En la fase de separación oro-mercurio, especialmente durante la “quema abierta de la amalgama” que es la fuente de mayor producción de emisiones de mercurio en forma de vapor.
4. Durante el proceso de refinación del oro amalgamado.
5. Durante la comercialización de amalgamas, particularmente en los establecimientos de compra de oro.
6. En el transporte y almacenamiento (derrames sistemáticos de mercurio).

Los vapores de mercurio son absorbidos por los pulmones del operador en un 80%, se oxidan rápidamente a Hg^{++} y son transportados por la sangre a través de todo el organismo.¹³

Esta forma de mercurio atraviesa las membranas celulares y se acumula en el hígado, intestinos, riñones y tejidos nerviosos. Una exposición crónica al mercurio produce mercurialismo o hidrargirismo y es la más antigua enfermedad profesional que conoce el hombre.²⁰

En el medio ambiente, el mercurio emitido por la minería por la minería aurífera se acumula en forma de mercurio metálico y compuestos en los sedimentos de los ríos y los suelos, donde por acción bacteriana y bajo ciertas condiciones puede convertirse en mercurio orgánico (metil o dimetilmercurio), sustancia altamente toxica para el hombre.⁷

El método más primitivo y simple de procesamiento en la pequeña minería aurífera primaria es el siguiente:

- Selección manual de trozos de mineral con chispas de oro.

- Trituración y molienda con un martillo manual.
- Lavado del material molido utilizando una batea para separar el oro grueso.
- Si el oro es fino, amalgamación manual del concentrado en batea.
- Estrujado de la amalgama utilizando un paño para separar el mercurio libre.
- Quema de la amalgama al aire libre para evaporar el mercurio.

La última etapa la realizan sin ningún equipo para recuperar mercurio, y sin utilizar implemento de seguridad alguno contra los vapores de este. Utilizan varias fuentes de calor, desde el carbón vegetal, sopletes a gas oíl, gas propano o acetileno, hasta las hornillas comúnmente utilizadas en las cocinas de los mineros. Otro sistema de procesamiento, también rudimentario, utiliza una especie de mortero grande de piedra llamada toluca (piedra hueca y un bloque que se mueve en su interior), donde se muelen y amalgaman simultáneamente porciones pequeñas y ricas de material triturado, prescindiendo de una etapa adicional de amalgamación.²¹

En este proceso combinado, se produce mucho mercurio atomizado, que se pierde irremediamente en las colas durante el proceso de lavado en batea para separar la amalgama gruesa. Luego, la amalgama es tratada como se describió en el párrafo anterior. Existen muchas variantes de las técnicas descritas y debido a que todas son manuales y discontinuas, solamente se pueden procesar cantidades muy pequeñas, alrededor de 20 a 50 kg de carga por día/hombre, dependiendo de la dureza del material. Frecuentemente, recurren previamente a una trituración y molienda gruesa en seco, utilizando el llamado quimbalete, también de piedra con el que se pueda triturar y moler hasta 200 kg por día/hombre.¹⁸

❖ Separación del Oro y Mercurio

La separación de oro y mercurio para obtener el producto final es generalmente el último paso que realizan los mineros antes de vender su oro. Al contrario de las emisiones por el uso del mercurio en circuito abierto las cuales afectan generalmente muy poco a los mismos, las emisiones que se producen en este paso del proceso (generalmente la quema de la amalgama) constituye aparte de ser un impacto ambiental negativo un alto riesgo para la salud de los operadores, que inhalan vapores de mercurio.²¹

El tipo más sencillo de condensador consiste de un tubo recto envuelto en trapos mojados. Construcciones más elaboradas incluyen una envoltura llena de agua o incluso un enfriador de contracorriente que emplea el agua como refrigerante en un ciclo abierto o cerrado. La amalgama a ser separada se introduce en el crisol; puede estar envuelta en papel de la retorta.²¹

Se consiguen mejores resultados aplicado una capa fina de cal, tiza, arcilla o talco al interior del crisol antes de que se lo cargue con amalgama. Esto evita que el oro se pegue al fondo y las paredes de la retorta luego de la destilación (nunca se debería utilizar materia grasa, ya que se evaporaría junto con el mercurio, desactivando su superficie para su posterior uso en el proceso).

Luego, el crisol es cerrado y calentado para elevar la temperatura de la mezcla de oro y mercurio aproximado a 400°C, para que el mercurio se evapore. A medida que pasa por el condensador, el vapor de mercurio se condensa, aunque se habla de la quema de amalgama, esto no es una verdadera quema. Se trata más bien de la evaporación del mercurio en forma de vapor metálico (no en forma de óxidos), por calentamiento, condensa en el tubo y gotea a un recipiente lleno de agua. El agua previene una mayor evaporación.⁹ El mejor resultado se logra, dejando terminar la

salida del tubo en una funda de plástico transparente, herméticamente sellada con una liga elástica y hundida en un recipiente de agua. De esta forma el sistema “crisol-refrigerador-funda” queda absolutamente cerrado, y se evita la más mínima fuga de mercurio. Las retortas se deben calentar siempre de tal manera que se aplique calor a todos sus lados, incluyendo el tubo de salida. De otra forma, algo del mercurio se podría condensar antes de alcanzar el condensador; en ese caso volvería a entrar al crisol y tendría que ser redestilado.²²

En cualquier caso, una vez que el calor ha sido retirado, se debe tener cuidado para asegurarse que el enfriamiento siguiente no atraiga el agua al crisol. Si esto ocurriese, el crisol, todavía caliente, podría explotar debido a la evaporación instantánea del agua.²³

❖ Retorta

Una retorta es un dispositivo utilizado para la destilación, lo cual es un proceso de purificación mediante evaporación y condensación. Diferentes sustancias tienen diferentes puntos de ebullición (temperatura a la cual un líquido hierve). Encima de un líquido evapora rápidamente. Debajo del punto de ebullición un vapor condensa y la sustancia vuelve a su estado líquido.²³

Una retorta consiste en principio de un recipiente en el cual se calienta una mezcla de sustancias para elevar su temperatura y acelerar la evaporación, y un condensador para enfriar los vapores y llevar la sustancia previamente evaporada nuevamente a un estado líquido. En la salida del condensador, se tiene habitualmente un recipiente recolector para recuperar el líquido destilado.¹²

La retorta es un equipo simple que sirve para refogar la amalgama de oro, esto es separar el oro del mercurio que conforma la

amalgama, evitando que el estado de vapor contamine el medio ambiente y a las personas involucradas en el proceso.²⁴

Como se usa las retortas:

- Cuando se usa por primera vez la retorta, se debe curar el crisol, calentando al rojo vivo con soplete.
- Envolver la amalgama con papel y apartarlo contra el fondo del crisol.
- Cerrar herméticamente utilizando la cuña o tornillo de sujeción.
- Llenar la tina con agua, hasta la altura de entrada del tubo de destilación.
- Colocar un recipiente con agua a la salida del tubo de destilación, para recibir el mercurio condensado.
- Calentar con soplete la base del crisol hasta que se ponga al rojo vivo. A los pocos minutos comienza a caer las primeras gotas de mercurio al recipiente de agua.
- Manteniendo uniforme la temperatura se sigue quemando hasta que se observe que ya no cae mercurio, se da golpes suaves al tubo para que caigan las últimas gotas de mercurio.
- Cuando el crisol se ha enfriado, se abre la tapa, observando el oro que queda en el fondo. Si el oro presenta aspecto sucio se puede lavar con ácido nítrico diluido y luego con agua, además de darle un ligero quemado adicional en el digestor.

3.2.1.1 Fuentes de Exposición

➤ Exposición Laboral

La exposición laboral al mercurio puede producirse en la minería y en la industria directamente relacionada con él. Aunque la Comunidad Europea está tomando medidas para buscar alternativas al uso del mercurio y reducir así las emisiones ambientales del mismo, en el último informe concluyen que el

mercurio aún es utilizado en una amplia gama de procesos y productos.²⁵

La inhalación de mercurio se da en cualquiera de los procesos de obtención de oro ya sea por el proceso industrial o de manera artesanal, el mercurio es extremadamente tóxico por lo que en muchos países se han introducido mejoras de seguridad en el trabajo y se han reducido los niveles límites de exposición para el mercurio. El valor límite ambiental para la exposición diaria de mercurio elemental y de compuestos inorgánicos se halla en $0,025 \mu\text{g}/\text{m}^3$, de los alquil compuestos $0,01 \mu\text{g}/\text{m}^3$ y de los aril-compuestos $0,1 \mu\text{g}/\text{m}^3$, en cuanto a los valores límite biológicos para el mercurio elemental y compuestos inorgánicos, en sangre es de $15 \mu\text{g}/\text{L}$ medido al final de la semana laboral y en orina de $35 \mu\text{g}/\text{g}$ de creatinina medido antes de la jornada laboral y en cabello es de $5 \mu\text{g}/\text{g}$. el mercurio es utilizado también en proceso industriales seguido del uso para amalgamas dentales.³

➤ **Exposición en la Población General**

Las fuentes de exposición principales a mercurio en la población general son el consumo de alimentos como pescado y leche y las amalgamas dentales. Puede haber otras contribuciones considerables a la ingesta de mercurio total vía aire y agua, según la carga local de contaminación por mercurio. Además, existen otras fuentes como las vacunas u otros productos farmacéuticos, la rotura de un termómetro de mercurio u otro objeto de medida que lo contengan.¹⁹

Productos marinos en el ciclo acuático del mercurio, el mercurio se transforma en metilmercurio por la acción de determinadas bacterias sulfato reductoras y se bioacumulan en los organismos acuáticos incorporándose en la cadena trófica de alimentos. También se biomagnifica, es decir, el contenido de metilmercurio

aumenta.¹⁹ Se ha estimado que el nivel de metilmercurio en los diferentes eslabones de la cadena alimentaria es de un 10% en la columna de agua, el 95% en los peces a su vez las concentraciones más bajas de mercurio se encuentran en peces pequeños no depredadores y pueden aumentar varias veces conforme se asciende en la cadena alimentaria.²⁵

Cepas bacterianas capaces de desmetilar el metilmercurio, entre ellas especies aeróbicas y anaeróbicas, pero la desmetilación parece que la realizan sobre todo organismos aeróbicos.¹⁹ El 90 a 100% del contenido de mercurio en los peces se encuentra en forma de metilmercurio. Éste se halla unido a las proteínas y no se elimina mediante la limpieza ni cocinado del pescado.⁶ Aunque en general, el metilmercurio se acumula en los peces a través de la cadena alimentaria, el consumo de pescado procedente de acuicultura también puede suponer una fuente de exposición al metilmercurio por la presencia de metilmercurio en los piensos.²⁶

El consumo de pescado constituye la fuente de exposición principal al mercurio en la población general debido al gran consumo de pescado que se produce.¹⁸ Amalgamas la segunda mayor fuente de exposición al mercurio en la población general son las amalgamas dentales. Las amalgamas dentales están compuestas por un 40-50% de mercurio, un 25% de plata y en un 25-35% por una mezcla de cobre, zinc y estaño. Se estudió la liberación de mercurio de empastes de amalgama y se llegó a la conclusión de que las superficies de las amalgamas liberan vapores de mercurio en la boca.²⁷

3.2.1.2 Presencia de Mercurio en Diferentes Medios

Las fuentes principales utilizadas proceden de publicaciones del Grupo de Expertos-Mercurio, perteneciente a la Organización Mundial de la Salud (OMS)

❖ Aire

La concentración de mercurio en aire varía mucho de unas zonas a otras, según sean rurales o urbanas, estén en las proximidades de puntos de emisión concentrada y que estas sean naturales o antropogénicas; pero salvo casos excepcionales, no superan los 50 nanogramos/m³. En el supuesto normal de que la ventilación diaria en una persona media es de 20 m³ y de que el 80% del mercurio inhalado se retiene, la ingesta por vía respiratoria sería de 1 microgramo / día. No existe unanimidad en cuanto al umbral medio de toxicidad en el ser humano en general, no obstante haciendo extrapolaciones de los datos recabados en exposiciones ocupacionales hay autores que obtienen un valor de 5016 microgramos / día como umbral de toxicidad. Otras fuentes sitúan este umbral en 160 microgramos / día.²⁸

❖ Agua

En aguas que están situadas en áreas no influenciadas por la industrialización o por mineralizaciones de mercurio, la concentración media es de 50 nanogramos/litro. En regiones próximas a minas de mercurio e industrializadas, se reportan valores entre 400 y 700 nanogramos/litro. En la bahía de Minamata (Japón), coincidiendo con la intoxicación masiva que allí se produjo, se comunicaron valores entre 1.600 - 3.600 nanogramos/litro. El límite máximo recomendado de mercurio en agua potable es de 1 microgramo / litro (OMS) que permite ingestiones de hasta 2 microgramos / día.²⁹

❖ **Presencia de Mercurio en alimentos**

La ingesta media de mercurio a través de los alimentos se estima por el Comité Mixto FAO/OMS, inferior a los 20 microgramos / día principalmente en forma de metilmercurio (compuesto orgánico de mercurio). El propio Comité estima que no hay riesgo para la salud humana por esta ingesta.

El contenido de mercurio en los alimentos, con exclusión del pescado, oscila entre 3 y 20 microgramos/Kg. y en muy raras ocasiones supera los 60 microgramos/Kg. En los peces de agua dulce se citan valores entre 200-1.000 microgramos/Kg con la mayor parte de los valores entre 200-400 microgramos/Kg.

En los peces oceánicos los valores se sitúan entre 0-500 microgramos/Kg. con la mayoría de los valores en torno a los 150 microgramos/Kg. La excepción a esta norma son las especies predatoras (**pez espada, atún, hipogloso**), que presentan valores entre 500 y 1.500 microgramos/Kg.

El mercurio en los peces, predomina en la forma de **metilmercurio** y las variaciones que se observan en cuanto a los contenidos, están condicionadas por la especie ictícola, la ubicación geográfica, la edad, peso, contenido graso y sexo.³⁰

Los casos hasta ahora reportados de intoxicaciones en población general, siempre han estado asociados a usos y manipulaciones del mercurio incorrectas y que han generado exposiciones a dosis tremendamente altas de mercurio (metilmercurio) que en condiciones normales es imposible que se den en la Naturaleza.

El Grupo de Expertos del Mercurio designado por la Organización Mundial de la Salud, en su última publicación en relación al mercurio, afirma: “El riesgo mayor para la salud

humana derivado de la presencia del mercurio en la Naturaleza se centra en la exposición ocupacional a este metal".³

3.2.1.3 Toxicidad del Mercurio en Seres vivos

Este elemento es una poderosa neurotóxina, que afecta gravemente al sistema nervioso, los riñones e hígado. Provoca trastornos mentales y daños en el sistema motor, el sistema reproductor, en el habla, la visión y el oído y puede acabar causando la muerte.⁵

❖ **Mercurio Elemental.**- El mercurio elemental es inofensivo en caso de ser ingerido o tocado. Es tan denso y resbaladizo que generalmente se desprende de la piel o del estómago sin ser absorbido. Sin embargo, se puede presentar daño considerable si el mercurio se convierte en gotitas aéreas pequeñas que se inhalan hacia los pulmones. Esto a menudo puede ocurrir por error cuando la gente trata de aspirar el mercurio que se ha derramado en el suelo.⁴ La inhalación del mercurio elemental causa síntomas inmediatamente (agudos) si se trata de una cantidad considerable. Los síntomas también se presentan con el tiempo si se inhalan pequeñas cantidades de mercurio todos los días.⁶

Si esto ocurre, los síntomas pueden abarcar:

- Sabor metálico
- Vómitos
- Dificultad respiratoria
- Tos fuerte
- Encías inflamadas y sangrantes

Dependiendo de la cantidad de mercurio inhalado, se puede presentar daño pulmonar permanente y la muerte. Asimismo, se puede presentar daño cerebral a largo plazo a raíz de la inhalación de mercurio elemental.³¹

❖ **Mercurio Inorgánico.-** Generalmente es tóxico cuando se lo ingiere y dependiendo de la cantidad ingerida, los síntomas pueden abarcar.

- Ardor en la garganta y el estómago
- Diarrea y vómitos con sangre

Si el mercurio inorgánico ingresa al torrente sanguíneo, puede atacar los riñones y el cerebro, y presentarse insuficiencia y daño renal permanente. Una sobredosis grande puede ocasionar sangrado profundo y pérdida de líquidos por la diarrea, insuficiencia renal y muerte.³²

❖ **Intoxicación por Derivados Orgánicos.-** La intoxicación aguda se caracteriza por derivados inorgánicos, gastroenteritis aguda, estomatitis, colitis ulcerosa hemorrágica, Intestino grueso, anuria, por depósito de sustancias a nivel renal, se taponan el riñón y no filtra.³³

❖ **Mercurio Orgánico**

El mercurio orgánico puede causar enfermedad si es inhalado, ingerido o puesto sobre la piel por períodos de tiempo prolongados. Este tipo de mercurio generalmente causa en años o décadas, más no inmediatamente. En otras palabras, estar expuesto a pequeñas cantidades de mercurio orgánico todos los días durante años probablemente hará que los síntomas aparezcan posteriormente. A pesar de todo, una sola exposición grande también puede causar problemas.³⁴

Sus síntomas son:

- Gastroenteritis aguda
- Estomatitis una afectación de mucosas bucales, encías
- Colitis ulcero-hemorrágica: intestino grueso

- Anuria: por depósito de sustancias en los túmulos renales, se taponan el riñón y no filtra.
- Entumecimiento o dolor en ciertas partes de la piel
- Estremecimiento o temblor incontrolable
- Incapacidad para caminar bien
- Ceguera y visión doble
- Problemas con la memoria
- Convulsiones y muerte

La evidencia médica sugiere que estar expuesto a grandes cantidades del mercurio orgánico llamado metilmercurio durante el embarazo puede dañar en forma permanente el cerebro en desarrollo del bebé.

La mayoría de los médicos recomienda comer menos pescado, mientras se esté embarazada. Estas recomendaciones se hacen para que la persona sea extremadamente cautelosa. Es improbable que las pequeñas exposiciones causen algún problema, las mujeres deben hablar con su médico acerca de los que deben y no deben comer mientras están embarazadas.³⁵

3.2.1.4 Toxicocinética

El mercurio se encuentra en la naturaleza en 3 formas diferentes, mercurio elemental, compuestos inorgánicos y compuestos orgánicos, que presentan diferente solubilidad, reactividad, efectos biológicos y toxicidad.³⁶

➤ Absorción

El mercurio se absorbe por inhalación, por ingestión y a través de la piel, la vía de ingreso y el tipo de compuesto de mercurio, determinan la concentración y la posibilidad de difusión del mercurio hacia el organismo.²² Además, la absorción del mercurio depende de factores propios del organismo tales como la edad, el estado fisiológico y la integridad de los tejidos.

➤ **Inhalación**

El mercurio elemental se sublima con facilidad a temperatura ambiente al inhalarse, el vapor de mercurio elemental debido a su carácter lipofílico pasa fácilmente a través de la membrana alveolar pulmonar y entra en la sangre, donde se distribuye a los hematíes, al sistema nervioso central y a los riñones.²³

Aproximadamente se absorbe el 80% del vapor de mercurio elemental. En cuanto a los compuestos inorgánicos la información disponible es muy limitada, pero sugiere que la absorción tiene lugar tras la inhalación de algunos compuestos como los aerosoles de cloruro de mercurio. Clarkson estimó la absorción de estos compuestos vía inhalación en un estudio realizado en perros en un 40%.³⁶

➤ **Ingestión**

Menos de un 0,1% de mercurio elemental se absorbe en el sistema gastrointestinal tras su ingestión, por lo que tras la ingesta su toxicidad es mínima. La absorción de los compuestos inorgánicos depende de varios factores pudiendo variar de un 10-30%. El incremento en el pH intestinal, una dieta rica en lácteos y un aumento en la actividad pinocítica en el tracto gastrointestinal se han asociado con un aumento de la absorción de mercurio.²⁰

Dentro de los compuestos orgánicos se encuentran el metilmercurio, el etilmercurio y el fenilmercurio, estos compuestos se absorben rápidamente en el tracto gastrointestinal en un 80-95%. En el caso del metilmercurio, la absorción es de aproximadamente un 95%. La absorción y biodisponibilidad del metilmercurio se puede ver afectada por la interacción con otros nutrientes de la dieta.²⁴

➤ **Absorción Dérmica**

De compuestos dialquilmercuriales, como el dimetilmercurio es elevada. También lo es en el caso del fenilmercurio. Y en el caso del metilmercurio existe evidencia de que se absorbe en contacto con la piel, pero no se ha cuantificado.²⁵

➤ **Distribución**

El mercurio se distribuye por todo el organismo tras la inhalación del mismo. Atraviesa fácilmente la barrera hematoencefálica y la placenta debido a su alta capacidad lipofílica. Una vez que se oxidado a catión mercúrico, se bioacumulan principalmente en los riñones.²⁶

Los compuestos inorgánicos de mercurio divalente alcanzan todos los órganos de forma similar, sin embargo, se bioacumulan menos en el cerebro y feto ya que su liposolubilidad es menor.³ Los compuestos orgánicos se distribuyen por todo el organismo tras la exposición oral especialmente en los riñones y como también atraviesa fácilmente la barrera hematoencefálica y la placenta se acumula en cerebro.²⁷

El vapor de mercurio una vez inhalado, debido a que es muy liposoluble, difunde fácilmente a través de todas las membranas celulares y vallas más complejas como la barrera hematoencefálica y la placenta. El mercurio elemental se oxida rápidamente a mercurio divalente en la mayoría de los tejidos, en esta forma no atraviesa las barreras, pero difunde fácilmente a hígado y riñón. Para llegar al cerebro, el vapor de mercurio tiene que atravesar primero el hígado y la oxidación en este órgano va a limitar la cantidad de mercurio elemental que va a llegar al cerebro.²⁸ El proceso de la oxidación del vapor de mercurio está mediado en parte por la catalasa. En esta reacción se transfieren dos electrones del átomo de mercurio al átomo de

oxígeno. En el caso de las amalgamas dentales que contienen un 45% de mercurio elemental, la masticación libera el vapor de mercurio.

La respiración por la boca transporta el vapor de mercurio a los alvéolos del pulmón donde el 80% del vapor inhalado pasa a la circulación sanguínea.³⁰ Parte del mercurio elemental procedente de las amalgamas se oxida a mercurio divalente y pasa con la saliva al tracto gastrointestinal dónde se absorbe un máximo de un 20%. Aunque el vapor de mercurio es muy liposoluble y atraviesa las membranas por difusión pasiva, se ha descubierto recientemente que también puede estar involucrado un sistema de transporte mediado por proteínas.³⁵

El metilmercurio se absorbe de forma muy eficiente en el tracto gastrointestinal. Pasa a la sangre y se distribuye por todos los tejidos atravesando fácilmente la barrera hematoencefálica y la placenta. Una fracción del metilmercurio entra en contacto con la flora intestinal que es capaz de convertir el metilmercurio en mercurio inorgánico, que como tiene una absorción muy baja, se elimina en parte por las heces.²⁹

La relevancia de este mecanismo es desconocida, pero podría explicar por qué el tratamiento con antibióticos disminuye la excreción por las heces. Una vez absorbido, el metilmercurio se une al grupo tiol del aminoácido cisteína, formando un complejo con una estructura muy similar a la metionina, por lo que entra en las células mediante los transportadores de aminoácidos neutros (LAT1 y LAT2).²⁹ Sin olvidar que las enzimas de superficie gamma glutamil transpeptidasa y dipeptidasa pueden tener un papel muy importante en la conversión del metilmercurio extracelular en el complejo metilmercuriocisteína que se absorbe con gran facilidad de nuevo.³

➤ **Excreción**

La excreción urinaria de mercurio procede de la liberación directa del tejido renal y de la filtración glomerular y la excreción a través de las heces es también una importante fuente de eliminación de mercurio inorgánico, el proceso se inicia con la excreción de mercurio del hígado a través de la bilis mediante la formación de un complejo con glutatión y de aquí pasa al tracto gastrointestinal y se elimina del organismo.³⁰

El mercurio elemental se oxida a mercurio divalente en la mayoría de los tejidos donde permanece durante décadas, especialmente en el cerebro y riñones. Su eliminación tiene lugar a través de la orina y las heces. La mayoría del mercurio excretado en la orina tiene lugar después de la oxidación del mercurio elemental a mercurio divalente, de manera que la mayoría del mercurio presente en la orina se encuentra en forma iónica. Una parte del mercurio elemental presente en la circulación sanguínea se exhala directamente a través de los pulmones, aunque esta vía no contribuye significativamente a la eliminación del mercurio del organismo.³⁰

El mercurio iónico se excreta principalmente a través de la orina y heces, pero también se excreta a través de la leche materna y la mayoría del mercurio divalente absorbido vía oral se excreta a través de las heces, aunque permanece en el organismo durante un período variable de tiempo.³¹

➤ **Modelo Toxicocinética de Eliminación**

La orina y las heces son las rutas preferentes de eliminación para los compuestos inorgánicos, la cinética para el vapor de mercurio presenta dos fases, la primera es dosis dependiente y la segunda, más lenta, parece ser común a distintas dosis. La

vida media de excreción urinaria es de 1,3 días para la primera fase y de 36,5 días para la segunda.²⁰

En el caso de los otros compuestos inorgánicos, la vida media es de 40 días.²¹ Considerando el organismo humano en conjunto, correspondiéndose con un modelo mono compartimental abierto, la vida media biológica reportadas para los distintos tipos de mercurio son.²¹

Cuadro N°1 Vida Media del Mercurio en el Organismo

COMPUESTO MERCURIO	VIDA MEDIA BIOLÓGICA ORGANISMO EN CONJUNTO	VIDA MEDIA BIOLÓGICA EN ÓRGANOS Y TEJIDOS
Mercurio inorgánico	Mujeres: 29 a 41 días Media: 37 días Hombres: 32 a 60 días Media: 48 días	Sangre: 20 a 28 días
Mercurio elemental	35 a 90 días Media: 60 días	Pulmón: 1,7 días Riñón: 64 días Cerebro > 1 año

Fuente: Elaboración propia – 2017

3.2.1.5 Efectos Sobre la Salud

Todos los seres humanos estamos expuestos a bajos niveles de mercurio, los factores que determinan la aparición de efectos adversos y su severidad son forma química del mercurio, dosis, edad, duración de la exposición, ruta de exposición (inhalación, ingestión o contacto dérmico) y el hábito dietético de consumo de pescado. El mercurio y sus compuestos son especialmente tóxicos para el sistema nervioso, riñones y sistema cardiovascular. Otros sistemas que pueden verse afectados son el sistema respiratorio, gastrointestinal, hematológico, y reproductivo.³³

Tras una exposición a mercurio elemental los efectos adversos más importantes se deben a su toxicidad sobre el sistema nervioso. A concentraciones elevadas afectan los riñones, la glándula tiroidea y el sistema respiratorio.³³

➤ **Efectos Neurológicos**

Los informes de exposiciones accidentales a altas concentraciones de vapores de mercurio como de estudios de poblaciones crónicamente expuestas a concentraciones potencialmente elevadas han mostrado efectos en una amplia variedad de funciones cognitivas, sensoriales, motoras y de la personalidad en general, se ha observado que los síntomas disminuyen al interrumpirse la exposición.

Sin embargo, se han observado efectos persistentes (temblor, déficits cognitivos) en sujetos expuestos en trabajadores de 10 a 30 años después del cese de la exposición laboral.²⁶ Se han descrito temblores de las manos y trastornos del sueño, ira, fatiga y problemas de memoria en trabajadores crónicamente expuestos a una concentración atmosférica estimada de 0,025 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (aproximadamente equivalente a niveles de mercurio en la orina y la sangre de unos 25 $\mu\text{g}/\text{g}$ y 10 $\mu\text{g}/\text{L}$) no observándose con niveles de exposición algo inferiores y una concentración de mercurio en la orina de 10-15 $\mu\text{g}/\text{g}$. También se ha observado una disminución significativa en las medidas objetivas de las funciones cognitivas y motoras en las poblaciones expuestas.²⁹

Varios estudios demuestran sistemáticamente los efectos sutiles que ejercen en el sistema nervioso central las exposiciones laborales al vapor de mercurio. Se han observado trastornos neurológicos y de comportamiento. Los síntomas incluyen temblores que se inician en las manos y se extienden a otras partes del cuerpo, labilidad emocional que se caracteriza por

irritabilidad, excitación, timidez excesiva, pérdida de confianza y nerviosismo, insomnio, alteraciones neuromusculares como debilidad y atrofia muscular, dolor de cabeza, polineuropatías como parestesias, pérdida de sensibilidad, hiperreflexia tendinosa, disminución de la velocidad de conducción nerviosa motora y sensitiva, pérdida de memoria y bajo rendimiento en las pruebas de función cognitiva.²³

➤ **Efectos Renales**

El riñón junto con el sistema nervioso central, un órgano crítico en la exposición al vapor de mercurio, el mercurio elemental se puede oxidar en los tejidos del cuerpo a una forma inorgánica divalente, el riñón acumula ese compuesto inorgánico de mercurio en mayor medida que la mayor parte de los otros tejidos. Un alto nivel de exposición laboral o tras el uso de cremas para aclarar la piel puede provocar glomerulonefritis (mediada por complejos inmunes) con proteinuria y síndrome nefrítico pero los casos señalados son relativamente escasos.²⁵

Por lo tanto, probablemente sea necesario que haya una susceptibilidad genética específica para que se manifieste claramente una nefritis, a altas exposiciones lo más común es la proteinuria, tanto glomerular (albúmina) como tubular (proteínas de bajo peso molecular). Sin embargo, generalmente no se ve albuminuria a niveles de exposición que resultan en una concentración de mercurio en la orina inferior a 100 µg/g de creatinina.²⁵ En exposiciones de bajo nivel, se ha señalado un efecto en los túbulos renales, que se manifiesta por un aumento en la excreción de proteínas de bajo peso molecular, y que puede constituir el efecto biológico más precoz.

Ese efecto aparece con una exposición laboral en trabajadores que presentan una concentración de mercurio en la orina de

unos 10 µg/g de creatinina.²⁵ Por otra parte, las consecuencias a largo plazo de la proteinuria tubular aún no son claras y se ha sugerido que algunos efectos renales pueden ser reversibles tras un período de tiempo suficiente.²⁸ Parece ser que los efectos adversos en el riñón se producen generalmente a exposiciones mayores que las que inducen efectos neurofisiológicos.²⁶

➤ **Efectos en el Sistema Cardiovascular**

Algunos signos de la toxicidad cardiovascular de la exposición aguda a mercurio elemental son taquicardia, elevación de la presión sanguínea y palpitaciones. Sin embargo, tras examinar la literatura científica disponible, es difícil decir si los efectos en la función cardiovascular se deben a una toxicidad directa o indirecta del mercurio elemental en el corazón.³²

El Programa Internacional de Seguridad de las Sustancias Químicas y el ATSDR señalaron que la exposición aguda a la inhalación de altas concentraciones de vapores de mercurio elemental procedentes del calentamiento de mercurio elemental y de compuestos inorgánicos de mercurio produce un aumento de la presión sanguínea y palpitaciones. En trabajadores de minas europeas de mercurio, se señaló un aumento de la mortalidad debido a hipertensión y a cardiopatías, y se indicó que esos efectos aumentaban con el tiempo transcurrido desde el primer empleo y con la exposición acumulativa estimada al mercurio.²⁴ Efectos en el aparato digestivo el signo más común es la estomatitis, que generalmente aparece tras exposición a una alta concentración de vapores de mercurio elemental. Otros efectos gastrointestinales que aparecen con frecuencia son náuseas, vómitos, diarrea y cólicos abdominales.³⁴

➤ **Efectos en la Glándula Tiroidea**

La glándula tiroidea puede acumular mercurio cuando se produce una exposición continua a mercurio elemental.⁵ Se ha observado que una exposición laboral moderada afecta a la glándula tiroidea cuando los niveles de mercurio en la orina son de 15-30 µg/g de creatinina.⁵ El mercurio produce un aumento en la concentración sérica media de la triyodotironina inversa (T3r) y un aumento de la proporción de tiroxina libre (T4) y T3 libre.

Parece ser que afecta a la enzima desyodinasas responsable de la desyodación de la tiroxina (T4) a triyodotironina (T3), una selenoenzima. Sin embargo, Ellingsen y col. señalaron asimismo que la función de conjunto de la glándula tiroidea, evaluada midiendo la TSH y las hormonas tiroideas, parece conservarse en los trabajadores expuestos a niveles bajos de mercurio elemental.⁶

➤ **Efectos en la Piel**

La exposición a vapores de mercurio elemental de duración intermedia o aguda puede resultar en una respuesta conocida como acrodinia, condición caracterizada por un aumento de la sensibilidad de las plantas de los pies y palmas de las manos con sensación de hormigueo seguida de una erupción eritematosa con exfoliación y pigmentación parda de las extremidades.³³

➤ **Efectos en la Reproducción y el Desarrollo**

Estudios sobre la exposición laboral indican que estar en contacto al mercurio elemental puede afectar la reproducción humana. Los efectos posibles son un aumento de abortos espontáneos, anomalías congénitas y una disminución de la fertilidad en las mujeres. En caso del padre estar expuesto al

mercurio metálico no parece causar infertilidad ni malformaciones.⁶

3.2.1.6 Diagnóstico de la Intoxicación

El diagnóstico clínico no suele presentar dificultades cuando se realiza una correcta anamnesis laboral. En algunos casos puede haber problemas de diagnóstico diferencial con ciertas formas de esclerosis en placas, siendo necesario recurrir a la punción lumbar, que no revelará ninguna alteración en el líquido cefalorraquídeo en el hidrargirismo o mercurialismo, pues el mercurialismo se presenta como una contaminación por depósito y no como una infección viral.¹⁰ El diagnóstico analítico se basa en la determinación de mercurio excretado por el cabello.⁸

Se recomienda la utilización de la técnica de espectrofotometría de absorción atómica, actualmente existe un criterio casi unánime, en utilizar los contenidos de mercurio en cabello sangre y orina, recolectando una muestra puntual de ambos fluidos en condiciones basales a primera hora de la mañana.⁷ Estos deben ser comparados en relación directa entre la concentración de Hg y la función renal reflejada en la depuración de creatinina.⁴ La información que existe en cuanto a contenidos de mercurio en fluidos y cabello es muy amplio, estableciéndose criterios muy diferentes, según las fuentes que se consulten.⁸

El método utilizado para la determinación del mercurio en cualquier medio ha sido la espectroscopia de absorción atómica (AAS) con la técnica del vapor frío. Esta técnica permite la determinación directa con la única condición de que el mercurio contenido en las muestras líquidas, normalmente en forma iónica como Hg^{2+} , sea reducido al estado metálico Hg^0 . Posteriormente, el vapor formado se arrastra por un gas inerte

hacia una celda de cuarzo en la que se produce el proceso de la absorción atómica.³⁷

Las muestras sólidas se digieren antes para transformar todas las especies de Hg (inorgánicas y orgánicas) a Hg²⁺, ya que esta es la única especie capaz de generar el vapor de mercurio atómico dentro de las desventajas se puede citar que el método consume tiempo y es complicado por la posibilidad de pérdidas por volatilización o digestión incompleta, así como la contaminación de las muestras. Se denota que de todas las técnicas analíticas utilizadas esta es la más empleada, por realizar etapas muy sencillas de extracción, además de cuantificar satisfactoriamente el mercurio en muestras de pescado.³⁷

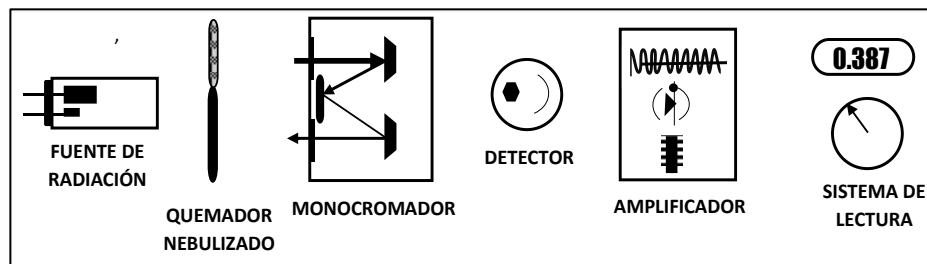


Figura N^o1. Componentes Básicos de un Espectrofotómetro de Absorción Atómica.

Fuente: Cornelis, Klein. Manual de Mineralogía. Cuarta edición.2001

3.2.1.7 Valores Referenciales

En cabello: Según la Organización Mundial de la Salud.

Mínimo	Menor que 2.2ppm
Máximo	Mayor que 2.2ppm

3.3 Definición de Términos Básicos

3.3.1 El Mercurio Elemental (e-Hg)

Es soluble en los lípidos y es altamente difusible a través de las biomenbranas y bio - oxidado intracelularmente a mercurio inorgánico (I-Hg)³

3.3.2 El Mercurio Inorgánico (i-Hg)

Es soluble en agua y menos difusible a través de las biomenbranas que él, e-Hg induce a la síntesis proteínas del tipo metalotionina en el riñón siendo la unión principal del mercurio a las proteínas no estructurales.⁵

3.3.3 Los Compuestos de Alquil-Mercurio (al-Hg)

Principalmente el metil mercurio (me-Hg). Son solubles en los lípidos altamente difusibles a través de las biomenbranas y es biotransformada muy lentamente en I-Hg.⁸

3.3.4 Los Compuestos Mercuriales Orgánicos (or-Hg) y (alox-Hg)

Son solubles en lípidos y rápidamente degradables en el organismo a I- Hg. Siendo de mayor importancia para este estudio el mercurio metálico e inorgánico.³

3.3.5 Bioacumulación

La bioacumulación es el aumento en la concentración de un producto químico en un organismo vivo en un cierto plazo tiempo, La concentración llega a ser superior a la del producto químico en el ambiente.²⁴

3.3.6 Cabello

El cabello es una continuación del cuero cabelludo, formada por una fibra de queratina y constituido por una raíz y un tallo. Se forma en un folículo de la dermis, y constituye el rasgo característico de la piel delgada o fina. La diferencia entre la

queratina de la capa córnea y la queratina del pelo es que en el cabello las células quedan unidas siempre unas con otras, dando lugar a una queratina muy dura.²

3.3.7 Mercurialismo

Es una enfermedad causada por la exposición al mercurio o sus compuestos. La intoxicación por mercurio aparece en varias formas que dependen del estado de oxidación en que se presenta y entra en el organismo.¹²

3.3.8 Contaminación

La contaminación es la introducción de algún tipo de sustancia o energía que atentará contra el normal funcionamiento y equilibrio que ostentaba el medio inicialmente, provocando además un daño casi irreversible.⁹

3.3.9 Intoxicación

Es la reacción fisiológica causada por un veneno, o por la acción de una sustancia tóxica o en mal estado; el tóxico puede introducirse oralmente o a través de los pulmones o la piel.¹³

3.3.10 Amalgama

Una amalgama es una combinación o una unión de elementos que tienen características o esencias diferentes. En el terreno de la química, se llama amalgama a una aleación que se crea con mercurio y otros metales.²⁵

CAPÍTULO IV

METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

4.1 Tipo y nivel de Investigación

4.1.1 Tipo de Investigación

- ✓ Cuantitativa: Porque los resultados son expresados mediante un análisis estadístico
- ✓ Analítico: Porque trata de demostrar la relación que existe entre las variables
- ✓ Prospectiva: Porque recolecta los datos correspondientes a los hechos que ocurren después de iniciada la investigación.

4.1.2 Nivel de Investigación

- ✓ Descriptiva: Porque trata de describir en todos sus componentes principales, una realidad
- ✓ Correlacional: Porque trata de medir el grado de relación existente entre dos variables.

4.2 Método y Diseño de la Investigación

4.2.1 Método de la Investigación

✓ Deductivo

El estudio va de lo general a lo específico analítico transversal esta investigación se trata de un método deductivo, ya que se basa en bioacumulación de mercurio en cabello, y su relación con tiempo de exposición laboral y el resultado de los análisis de la muestra nos permitirá tener un resultado alta o baja de la concentración de mercurio en esa población llegando a una conclusión final.

4.2.2 Diseño de la Investigación

No experimental, ya que no hubo modificación de las variables

4.3 Población y Muestra de la Investigación

4.3.1 Población

Está constituida por los Trabajadores de la comunidad minera Huaquirca, de la provincia de Antabamba del departamento de Apurímac.

4.3.2 Muestra

Muestra de cabello de trabajadores de la comunidad minera Huaquirca que cumplan con los criterios de inclusión y exclusión.

Para el estudio se tuvieron en cuenta como criterios de inclusión: el número de trabajadores seleccionados para el estudio que voluntariamente participaron, y que aceptaron llenar el consentimiento informado correctamente.

Se excluyeron

- ✓ los trabajadores que no firman el consentimiento informado para realizar la investigación o no desean participar de la investigación.
- ✓ Personas con el cabello teñido
- ✓ con algún tratamiento permanente de rizado o alaciado

Debido a que estos factores pueden alterar la composición química del cabello interfiriendo en los resultados.

4.4 Técnicas e Instrumentos de Recolección de Datos

4.4.1 Técnicas

La técnica que se utilizó fue espectrofotometría de absorción atómica- por vapor frío – inyección de flujo

4.4.2 Instrumentos

- Cuestionario de datos generales, para la recolección datos de la exposición al mercurio.
- Consentimiento informado

4.5 Procedimiento

Se eligió como matriz biológica de estudio una porción de cabello. El mercurio presenta afinidad química por los grupos sulfhidrilo de la queratina y otras proteínas que conforman el cabello. Es una de las matrices preferidas en la medición de mercurio ya que es un procedimiento no invasivo, que provee una muestra simple, integradora del perfil de exposición en el tiempo, el cual puede permanecer sin cambio por más de 11 años. Asimismo, como se señaló previamente, una vez incorporado al cabello, el mercurio no regresa a la sangre. Debido a la simpleza de la donación de la muestra, las personas suelen estar más dispuestas a participar, el cabello es fácil de obtener y no

necesita condiciones especiales de almacenamiento o transporte, ya que no se descompone rápidamente.

❖ **Recolección de la Muestra**

Previo a la toma de muestra se diseñó un formulario para el consentimiento informado considerando los lineamientos sugeridos por la OMS y la Organización Panamericana de la Salud (OPS). Se obtuvo la autorización verbal de los trabajadores de la comunidad minera Huaquirca, una vez firmado el consentimiento informado se pasó a proseguir la toma de muestra, Se solicitó a la persona que se sentara en un banco y se le cortó 1 hebra de cabello del área occipital inferior pegada al cuero cabelludo con una tijera de acero inoxidable, poniendo el cabello en una hoja de papel. Se repitió la acción de corte de cabello en diferentes lugares, recogiendo grupos de hebras de cabello de cada uno al final se contó 100 hebras de pelo llegando total de 1 gramo de cabello. Después se transfirió la muestra obtenida a un frasco y luego se ha sellado y rotulado, con un código cada muestra para posterior ser trasladado al laboratorio químico toxicológico CENSOPAS / Instituto Nacional de Salud, Lima – Perú donde se llevó a cabo el respectivo análisis.

❖ **Procedimiento del Tratamiento las Muestras**

Los análisis se realizaron en el laboratorio químico toxicológico CENSOPAS / Instituto Nacional de Salud, del departamento de Lima. Todo el material utilizado para la ejecución del ensayo se lavó. Antes de preparar la muestra se verificó que el frasco se encuentre libre de polvo u otros posibles contaminantes. Las muestras de cabello se mantuvieron en sus respectivas bolsas de plástico, hasta el momento del lavado.

❖ **lavado de la Muestra**

Previo al análisis espectrofotométrico las muestras de cabello se remojaron con detergente neutro no iónico (Triton-X100) al 0.2%, se enjuagaron con agua desionizada, luego acetona y secadas a 110°C. Después del secado se colocó las muestras en bolsas de papel protegidas de la luz y humedad en un desecador, Para el pesado de las muestras se cortó en pedazos de 1-2 cm, y se homogenizó con la ayuda de una espátula.

❖ **Preparación de los Controles**

Para preparar los controles de cabello, se utilizaron de dos valores Nivel bajo y alto y se sigue la misma secuencia que el tratamiento de muestras.

❖ **Tratamiento de la Muestra**

Se pesó aproximadamente de 20-30 mg de cabello lavado y cortado, en fiolas de 50 ml de cuello largo. Las muestras se sometió a una digestión húmeda con 1,0 mL de agua destilada, 2 mL de HNO₃ - HClO₄ (1+1), y 5 mL de H₂SO₄, luego se colocó sobre una plancha de calentamiento a una temperatura de 200-230°C, durante 30 minutos, la muestra digestadas se dejó que se enfríe y se enrasó a un volumen determinado hasta temperatura ambiente cumplido el tiempo, se adicionó una gota de solución de permanganato de potasio al 5 %, y luego se enraso a volumen de 50 mL con agua destilada.

Se dejó reposar por 5,0 minutos para eliminar cualquier tipo de vapor o niebla formado en la fiola. Las muestras así preparadas están listas para ser analizadas en el Sistema de Inyección de Flujo FIAS -100 de absorción atómica.

Las muestras deben mantenerse a temperatura ambiente durante el análisis y tomar precauciones para evitar la contaminación externa de la muestra con mercurio.

❖ Preparación de la Curva de Calibración

En fioas de 50 mL, se agregaron las alícuotas de la solución de 500 ug/L de mercurio correspondientes a 1, 5, 10, 20, 30 y 50 ppb, como se indica en el siguiente cuadro.

Preparación de la Curva de Calibración

Solución Stock µg/l	Alícuota mL	Volumen de Enrase, mL	Estándar Hg µg/mL [] final	Estándar Hg µg/L (ppb) [] final
0	0.00	50	0.000	0.0
500	0.1	50	0.001	1.0
500	0,5.	50	0.005	5.0
500	1,0	50	0.010	10.0
500	2.00	50	0.020	20.0
500	3,0	50	0.030	30.0
500	5,0	50	0,,050	50,0

Fuente: Elaboración propia – 2017

- ❖ Blanco de cabello. Se pesó de 0,2-0,3 gramos de la muestra testigo, Persona no expuesta ocupacionalmente.
- ❖ Blanco de reactivos. Se agregó 1,0 mL de agua destilada, 2 mL de HNO₃-HClO₄ (1+1) y 5 mL de H₂SO₄, se calentó a 200-230°C por 30 minutos. es necesario para detectar la presencia de mercurio en los reactivos empleados.
- ❖ A los patrones, blanco de cabello, blanco de reactivos, controles, se agregó 1,0 mL de agua destilada, 2 mL de HNO₃-HClO₄ (1+1) y 5 mL de H₂SO₄, y se calentó a 200-230°C por 30 minutos, luego se

enfrió la muestras digestada, y se adicionó una gota de la solución de permanganato de potasio 5% para asegurar la conservación del mercurio en la disolución y se enrasó con agua destilada. Los patrones, controles y muestras preparadas están listos para ser analizadas.

➤ **Lectura de las Muestras en el SISTEMA FIAS-AA**

Para la lectura de la muestra se colocaron en tubos cónicos de polipropileno de 50 mL los blancos y la curva de calibración, y en tubos de 15 mL las muestras, se colocó en el automuestreador del sistema para su análisis.

➤ **Las Condiciones del Sistema FIAS-AA son las Siguietes**

- ❖ Temperatura de la celda: 100 °C
- ❖ Flujo de gas de arrastre (Aire): 70 – 100 l/min
- ❖ Flujo de la solución de HCl 3%: 9 -11 ml/min
- ❖ Flujo de la solución reductora SnCl₂: 4 -7 ml/min
- ❖ Verificación de sensibilidad: una solución de 10ug/L debe dar una absorbancia de 0.100 +/- 20%.
- ❖ La lámpara debe ser encendida unos 45 minutos antes para que se caliente y se estabilice, probar el sistema de inyección de flujo, encender la celda de cuarzo. Ingresar la información de las muestras, estándares y controles en el software del equipo, probar la sensibilidad del sistema y comenzar con el análisis.
- ❖ Al ingresar los datos de las muestras al programa del equipo de absorción atómica *Winlab*, se debe conservar el siguiente formato alfanumérico:

B-HgO-DDMMAA.

Donde:

B: Laboratorio de muestras biológicas, seguido de un guion

Hg: Mercurio, Analito a ser analizado

O: Cabello, seguido de un guion.

DDMMAA: Fecha del análisis: DD: Día, MM: Mes, AA: Año.

- **La curva de calibración se representa en un gráfico que genera en forma automática el equipo de absorción atómica.**

❖ **CALCULOS**

Los resultados se expresan en $\mu\text{g Hg/g}$ de cabello, este resultado se obtiene directamente del equipo al ingresar el volumen de la alícuota tomada de la muestra (5.0 mL) y el volumen final de enrase (25mL).

$$\text{Hg}_{\text{cabello}} (\mu\text{g Hg/L}) = A \times \frac{B}{C} \times 1000$$

Donde:

A: Cantidad de mercurio obtenida en la lectura del equipo de absorción atómica, en $\mu\text{g/L}$

B: Volumen final de enrase, en mL.

C: masa de cabello, en g.

Los resultados pueden expresarse en $\mu\text{g Hg/g}$ en cabello

CAPITULO V

PRESENTACIÓN, ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

5.1 Análisis de Cuadros y Gráficas

Se observa que las concentraciones de mercurio aumentaron conforme aumentó el número de años de práctica, de un promedio de 0.28 µg/g, para los trabajadores de 0 a 12 meses y de 13 a 24 meses de práctica, se incrementó a 1.06 µg/g para los que han trabajado por más de 25 a 48 meses de práctica, se incrementó 2.37 µg/g. La población en estudio fue de 20 trabajadores, con un promedio de edad de 28 a 45 años, del total de los trabajadores.

Mercurio en Cabello Humano

El nivel permitido de mercurio en cabello humano, de acuerdo a la organización mundial de la salud (OMS), es de 2.2 µg/g.

Nivel de mercurio en meses de exposición directa de los trabajadores mineros de la comunidad minera Huaquirca.

Cuadro N°2. Tiempo de exposición de 0 a 12 meses

Código	Meses de trabajo	Absorbancia	Mercurio µg/g
FHY211	0 - 12	0.0544	0.20
ABX1154	0 - 12	0.057	0.21
LHSXIX	0 - 12	0.0594	0.22
HCYZ112	0 - 12	0.068	0.25
LLCHYZ11	0 - 12	0.084	0.31
NCXLI44	0 - 12	0.124	0.46

Fuente: Elaboración propia - 2017

En este cuadro se observan los valores de absorbancia y la concentración de mercurio en cabello de los trabajadores de la comunidad minera Huaquirca, en un periodo de 0 a 12 meses. Siendo el valor más alto: 0.46 µg/g, valor que se encuentra dentro de los límites permisibles aceptado por la OMS (2.2 µg/g).

Cuadro N°3. Tiempo de exposición de 13 a 24 meses

Código	Meses de trabajo	Absorbancia	Mercurio µg/g
LFSXY1	13 - 24	0.2328	0.85
CXXL22	13 - 24	0.2384	0.88
LHZX110	13 - 24	0.2547	0.95
NH1211	13 - 24	0.2594	0.98
LAYY1X	13 - 24	0.2916	1.08
GHY2122	13 - 24	0.334	1.12
YAXL32	13 - 24	0.4255	1.58

Fuente: Elaboración propia – 2017

En este cuadro se observan los valores de absorbancia y la concentración de mercurio en cabello de los trabajadores de la comunidad minera Huaquirca, en un periodo de 13 a 24 meses. Siendo el valor más alto: 1.58 µg/g, valor que se encuentra dentro de los límites permisibles aceptado por la OMS (2.2 µg/g).

Cuadro N°4. Tiempo de exposición de 25 a 48 meses

Código	Meses de trabajo	Absorbancia	Mercurio µg/g
VV FY11	25 - 48	0.5008	1.86
RCHM104	25 - 48	0.5251	1.95
QRBHM14	25 - 48	0.6061	2.25
LNL MYI	25 - 48	0.6345	2.35
CHGJLL	25 - 48	0.6871	2.55
BRL Y11	25 - 48	0.7276	2.7
HBJXXII	25 - 48	0.7978	2.96

Fuente: Elaboración propia – 2017

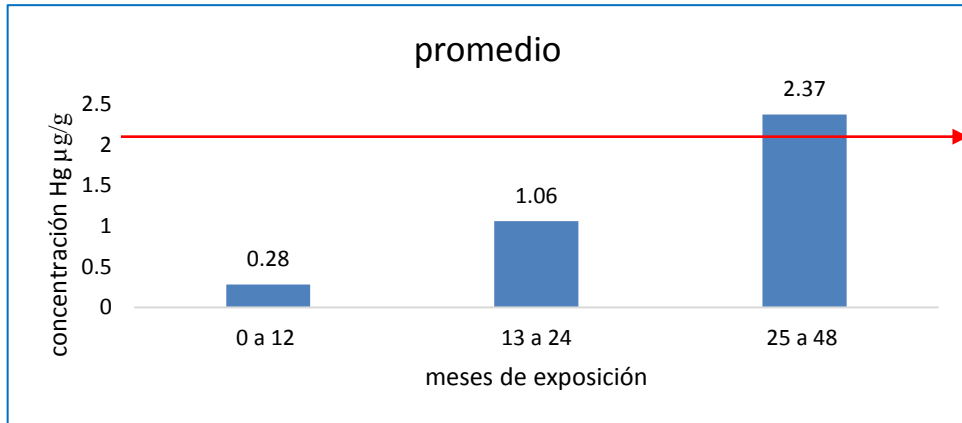
En este cuadro se observan los valores de absorbancia y la concentración de mercurio en cabello de los trabajadores de la comunidad minera Huaquirca, en un periodo de 25 a 48 meses. Siendo el valor más alto: 2.96 µg/g, valor que supera al límite aceptado por la OMS, que considera dañino para la salud (2.2 µg/g).

Cuadro N°5. Promedio de la población evaluada de bioacumulación de mercurio en cabello de los trabajadores de la comunidad minera huaquirca.

MESES	PROMEDIO
0 a 12	0.28
12 a 24	1.06
24 a 48	2.37

Fuente: Elaboración propia – 2017

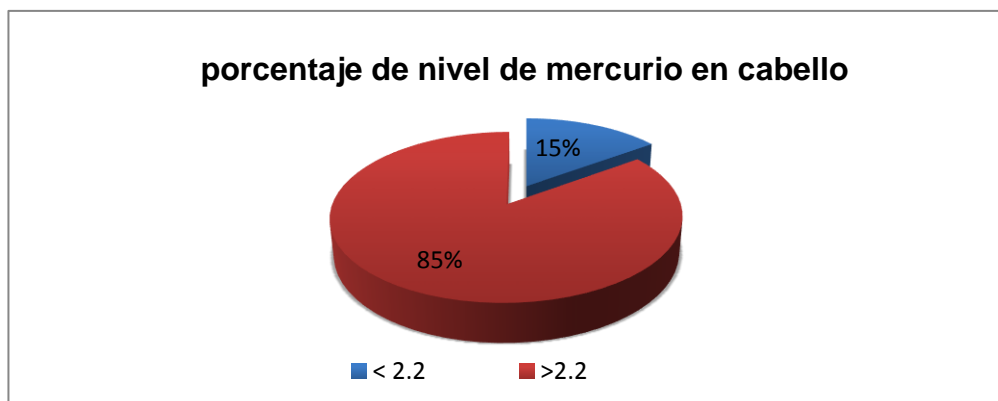
En este cuadro se observan los valores promedio de la concentración de mercurio en cabello de los trabajadores de la comunidad minera Huaquirca según los meses de exposición.



Grafica N°1. Promedio de la población evaluada de bioacumulación de mercurio en cabello.

Fuente: Elaboración propia - 2017

En la gráfica 1 se observa el promedio de los evaluados en meses de exposición directa de mercurio en cabello, siendo el valor más alto: 2.37 µg/g. Que supera los límites permisibles.



Grafica N°2. Proporción porcentual de la población evaluada de bioacumulación de mercurio en cabello.

Fuente: Elaboración propia - 2017

En la gráfica 2 muestra que el 15 % de las muestras estudiadas presentan valores que están por encima de los límites permisibles, según la O.M.S y el 85% de las muestras presentan valores que están por debajo de los límites permisibles según la Organización Mundial de Salud: 2.2 µg/g de mercurio.

5.2 Discusión de los Resultados

El presente trabajo de investigación se observó los niveles de mercurio en cabello de una muestra de la población de la comunidad minera Huaquirca, se obtuvo como resultado el promedio de mercurio total en cabello con un tiempo de exposición de 0 a 12 meses: 0.28 $\mu\text{g/g}$ de 13 a 24 meses: 1.06 $\mu\text{g/g}$ y de 25 a 48 meses fue de: 2.37 $\mu\text{g/g}$. De los cuales se encontraron que los trabajadores con mayor tiempo de exposición está fuera de los valores permisibles según la OMS y la EPA (2.2 $\mu\text{g/g}$). Asimismo, encontramos que los valores en este estudio son parecidos a los observados en otras poblaciones peruanas.

Por ejemplo: los valores hallados por la investigación realizada por Grandez Urbina J, Gonzalo Rodríguez J, Ronceros Mayorga V. (2012) “niveles de mercurio en cabello de mujeres en una comunidad nativa, madre de dios, Perú” donde se determinó que de un total de 20 muestras de cabello examinados por espectroscopia de absorción atómica mostro cifras de mercurio superiores a 2.2 $\mu\text{g/g}$. observándose de esta manera en ambas investigaciones niveles de mercurio, por encima del límite permisible , por lo cual es necesario tomar medidas preventivas.

Con respecto al tiempo de exposición de mayor contaminación corresponde entre los 24 a 48 meses quienes presentan el 15% de los trabajadores, en una población de 20 muestras analizadas en cabello humano, siendo el resultado promedio: 2.37 $\mu\text{g/g}$ de mercurio. Lo que corrobora con el estudio realizado por la Dra. Sally Patricia López Osorio (2013) “concentración de mercurio en cabello de una muestra de la población adulta de Yucatán”, en la que pudo determinar por medio de absorción atómica con vapor de frio en 45 muestras de cabello, siendo el resultado de 1.119 $\mu\text{g/g}$ de mercurio. Observándose en ambas investigaciones una diferencia significativa de las

concentraciones de mercurio, nuestra investigación muestra valores más altos debido a que los trabajadores están mayor tiempo, expuestos a este metal.

También se observó que la bioacumulación de mercurio, es uno de los problemas que puede ocasionar daño a la salud ya que se obtuvo como resultado promedio: $2,37\mu\text{g/g}$ de mercurio en cabello, de los trabajadores de la comunidad minera Huaquirca en un periodo de 24 a 48 meses, lo cual es corroborado por el Mg. Luis Miguel Aparicio alcázar (2015) "mercurio en la cuenca del Tambopata repercusiones en la salud humana y del ecosistema", donde se determinó de un total de 63 muestras de cabello examinados por absorción atómica siendo el resultado promedio: $5.36\ \mu\text{g/g}$. observándose de esta manera en ambas investigaciones que superan los límites permisibles por la O.M.S, Por lo cual se aconseja, sensibilizar a las autoridades gubernamentales sobre el riesgo a la que están expuestos los pobladores de la comunidad minera Huaquirca.

CONCLUSIONES

- Hay una relación directa entre la concentración de mercurio en cabello de los trabajadores de la comunidad minera huaquirca. Y el tiempo de exposición laboral
- La bioacumulación de mercurio en cabello de los trabajadores de la comunidad minera huaquirca, expuestos en un periodo de 0 a 12 meses presentó niveles de mercurio en promedio de 0.28 $\mu\text{g/g}$. Encontrándose este resultado por debajo de los límites permisibles.
- La bioacumulación de mercurio en cabello de los trabajadores de la comunidad minera huaquirca, expuestos en un periodo de 13 a 24 meses presentó niveles de mercurio en promedio de 1.06 $\mu\text{g/g}$. Encontrándose este resultado por debajo de los límites permisibles.
- La bioacumulación de mercurio en cabello de los trabajadores de la comunidad minera huaquirca, expuestos en un periodo de 25 a 48 meses presentó niveles de mercurio en promedio de 2.37 $\mu\text{g/g}$. Encontrándose este resultado por encima de los límites permisibles, según la organización mundial de salud: 2.2 $\mu\text{g/g}$.

RECOMENDACIONES

- Realizar estudios adicionales direccionados a la identificación prematura de efectos tóxicos en la exposición a bajas concentraciones de vapores de mercurio en este contexto.
- Promover la implementación de futuros estudios en zonas geográficas y en condiciones similares con el objetivo de aumentar la escasa base de datos y realizar una investigación enfocada al consumo de productos marinos y el análisis de agua contaminado por mercurio.
- Realizar más estudios similares sobre este tema de contaminación de mercurio, que la empresa minera está contaminando tanto al recurso el agua y por tanto a los recursos fluviales y de esta manera contaminando directamente a la población.
- Utilizar alguna protección y aislamiento a la hora de manipular el mercurio.
- Realizarse sus exámenes médicos como indica el reglamento del ministerio de energía y minas.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

1. Brack A, Mendiola C. Ecología del Perú. 3ed.Lima: Bruno; 2010.
2. Tyler G, Miller J R. Introducción a la Ciencia Ambiental. 5ed.Madrid España. Thomson; 2002.
3. Alegre M, Bernex N, Carrasco A, Pozo H. El Medio Ambiente en el Perú. 1a Ed. Lima: Mantaro S.A; 2001.
4. Church D C, Pond W G, Pond K R. Nutrición y Alimentación de animales. 2ed.Mexico: editorial Limusa; 2006.
5. Madrid A, Estere E, Cenzano J M. Ciencia y tecnología de los alimentos.1ra Ed Madrid España: editorial Service point, 2013.
6. Baird C, Cann Química Ambiental. 5ed.Buenos Aires: editorial Revete; 2014.
7. Álvarez J, Sotero V, Brack A, Ipenza C. Minería aurífera y contaminación con mercurio (CENSOPAS). Lima: Editorial Súper Gráfica E.I.R.L, 2011.
8. Hernán R A. determinación del contenido de mercurio en agua y sedimentos del rio suches-zona bajo paria Cojata. [tesis] puno. ingeniero metalurgista en la universidad nacional del altiplano facultad de ingeniería geológica;2016
9. Luis M A. el mercurio en la cuenca del Tambopata. repercusiones en la salud humana y del ecosistema. [tesis maestría]. en la universidad Agraria la Molina; 2015
10. Villanueva P. A., Adserias Garriga M. J., Chimenos K. E., et al (2014) Nivel de Mercurio en Cabello de Niños Peruanos Expuestos en una Zona Minera de Arequipa y de la Ciudad de Lima: Water, Air, and Soil Pollution, 112(3-4), 297-313.
11. Grandez U. J., Gonzalo R. J., Ronceros M. V.E.et al (2012) Niveles de Mercurio en Cabello de Mujeres en una Comunidad Nativa, Madre de Dios, Perú: Environment International, 27 (4), 285 - 290.
12. Ronald R S. concentración de mercurio en orina y su relación con las lesiones de la cavidad bucal en la comunidad santa Filomena. [tesis]

- Ayacucho. Cirujano dentista en la universidad nacional Federico Villareal facultad de odontología;2011
13. Alexi José T T. Determinación de los niveles de mercurio en el distrito minero de san Martín de Loba sur de Bolívar. [tesis] Colombia Magister en ciencias ambientales en la universidad de Cartagena facultad de ciencias farmacéuticas;2016
 14. Lesbia R.T., Leonardo J.M., Luis A.W., et al (2015) Niveles de Metales Pesados en Muestras Biológicas y su Importancia en Salud: Universidad de Cartagena, Colombia: Water, Air, and Soil Pollution, 115(5-8), 195-345.
 15. Patricia L O. concentración de mercurio en cabello de una muestra de la población adulta. [tesis maestría]Yucatán: Ciencias de Ecología Humana en el centro de investigación y de estudios avanzados del instituto politécnico; 2013
 16. Gabriela A G. Determinación de la concentración mercurio en cabello y uñas de niños en edad escolar de la localidad de Guayacán [tesis] sucre: licenciado en bioanálisis en la universidad de oriente de núcleo de sucre escuela de ciencias de bioanálisis;2011
 17. Jesús Olivero, Claudia Mendoza, Judith Mestre (2011) Mercurio en Cabello de Diferentes Grupos Ocupacionales en Una Zona de Minería Aurífera en el Norte de Colombia: Environment International, 22 (3), 155 - 350.
 18. Ministerio de Salud Guía de práctica para el diagnóstico de la intoxicación por mercurio. Lima 2013.
 19. Portugal T R, Ariza J E, Cornejo D A, et al Estudio integral de la contaminación de la cuenca Ramis Puno 2010.
 20. Bárcena L R. Determinación de Metales Tóxicos en la Leche de Ganado.[tesis maestría] Puno: Gestión en recursos naturales y medio ambiente, Universidad Nacional del Altiplano;2011
 21. Aydee CH Q. presencia de metales pesados (hg, as, pb y cd) en agua y leche en la cuenca del río Coata [tesis]puno: licenciada en nutrición humana; 2015

22. Ayala J, Romero H. Presencia de metales pesado (Arsénico y Mercurio) en leche de vaca al sur del Ecuador. Rev. la granja. 2013; 17(1).[Http://lagranja.ups.edu.ec/documents/1317427/3854707/Ayala_Leche.pdf](http://lagranja.ups.edu.ec/documents/1317427/3854707/Ayala_Leche.pdf). [En línea] 2013. [Citado el: 10 de junio de 2017.]
23. Carrera A, Fernández C. Problemática del arsénico en la llanura sudeste de la provincia de Córdoba.Rev. Argentina cielo, 2007:9(1). [Http://www.redalyc.org/pdf/1791/179120699007.pdf](http://www.redalyc.org/pdf/1791/179120699007.pdf). [En línea] [Citado el: 10 de junio de 2017.]
24. Ruíz C, Marisela Méndez Efectos neurotóxicos de metales pesados (cadmio,plomo,arsénico,talio).[Http://www.medigraphic.com/pdfs/arcneu/ane-2011/ane113f.pdf](http://www.medigraphic.com/pdfs/arcneu/ane-2011/ane113f.pdf). [En línea] Arch Neurociencia (Mex), 2011. [Citado el: 15 de junio de 2017.]
25. Medina.A.Guillen,Medina,O.R.www.academia.edu/4241433/Bioma_Abril_2013. [En línea] abril de 2013. [Citado el: 20 de junio de 2017.]
26. Gerencia Regional de Recursos Naturales y Gestión de Medio Ambiente.[Http://regionpuno.gob.pe/descargas/planes/actualizacion-pdrc-2021/ejes-tematicos/ambiental/2012-diagnostico-ambiental-regional.pdf](http://regionpuno.gob.pe/descargas/planes/actualizacion-pdrc-2021/ejes-tematicos/ambiental/2012-diagnostico-ambiental-regional.pdf). [En línea] 2013. [Citado el: 15 de junio de 2017.]
27. Proyecto Especial Binacional del Lago Titicaca (PELT).[Https://www.oas.org/dsd/publications/Unit/oea31s/oea31s.pdf](https://www.oas.org/dsd/publications/Unit/oea31s/oea31s.pdf). [En línea] 2008. [Citado el: 18 de Julio de 2017.]
28. Hernández D, Soler F, Martinne K. Calidad Físico Químico del agua de bebida.www.eweb.unex.es/eweb/toxicologia/Calidad%20agua%20bebida.pdf. [En línea] octubre de 2005. [Citado el: 25 de junio de 2017.]
29. Mendoza M. Vegetación rivereña indicador de la salud del rio. [Http://colposdigital.colpos.mx:8080/jspui/bitstream/10521/2559/1/Mendoza_Carino_M_DC_Hidrociencias_2014.pdf](http://colposdigital.colpos.mx:8080/jspui/bitstream/10521/2559/1/Mendoza_Carino_M_DC_Hidrociencias_2014.pdf). [En línea] 2014. [Citado el: 18 de junio de 2017.]
30. Contaminación de los ríos de Lima.[Http://www.aquafondo.org.pe/pdf/emprende.mas/4._La_contaminacion_de_los_rios_de_Lima.pdf](http://www.aquafondo.org.pe/pdf/emprende.mas/4._La_contaminacion_de_los_rios_de_Lima.pdf). [En línea] [Citado el: 30 de junio de 2017.]

31. Osores F, Grández A, Fernández J Mercurio y salud en Madre de Dios, Perú. [En línea] 20 de febrero de 2010. [Citado el: 19 de junio de 2017.]
32. Dirección general de Salud ambiental (MINSA).www.ins.gob.pe/insvirtual/images/s/revista/pdf/Revista_251.pdf. [En línea] 2006. [Citado el: 24 de junio de 2017.]
33. Organización mundial de la Salud, <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs372/es/>. [En línea] 2012. [Citado el: 15 de junio de 2017.]
34. Gonsalez.C.[Http://ocw.usal.es/ciencias_experimentales/análisis aplicado-a-la-ingenieria química/contenidos/course_files/Tema_5.pdf](http://ocw.usal.es/ciencias_experimentales/an%C3%A1lisis_aplicado_a_la_ingenier%C3%ADa_qu%C3%ADmica/contenidos/course_files/Tema_5.pdf). [En línea] [Citado el: 12 de junio de 2017.]
35. Higuera,P,Oyarzun,R.[zhttp://www.uclm.es/users/higuera/mga/Tema08/Minerales_salud_1_4.htm](http://www.uclm.es/users/higuera/mga/Tema08/Minerales_salud_1_4.htm). [En línea] [Citado el: 28 de junio de 2017.]
36. Martínez c. Relaciones tróficas e interacciones entre especies, la anunciataikerketa.com/trabajos/plancton/cadena.pdf.[En línea] [Citado el: 17 de junio de 2017.]
37. Bermúdez.[Http://galeon.com/Mauricio,Bermúdez/contaminacion.pdf](http://galeon.com/Mauricio,Bermúdez/contaminacion.pdf). [En línea] 01 de enero de 2010. [Citado el: 22 de junio de 2017.]
38. Determinación de mercurio en orina, método del vapor frío con cloruro de estaño y espectrofotometría de absorción atómica-MTA/MB-019/A94; Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo (INSHT).
39. Flow Injection Mercury/Hydride Analyses - Recommended Analytical Conditions and General Information. July 2000; Perkin Elmer. Connecticut, U.S.A.
40. Flow Injection Cold Vapor Atomic Absorption (CVAA); Laboratory Procedure Manual Method N° 1180B/05-OD. Center for Disease Control – CDC.

ANEXO

Anexo N° 1

MATRIZ DE CONSISTENCIA

Título: BIOACUMULACIÓN DE MERCURIO EN CABELLO Y TIEMPO DE EXPOSICIÓN LABORAL EN HUAQUIRCA

PROBLEMA	OBJETIVOS	HIPÓTESIS GENERAL	VARIABLES	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	INDICADORES	MÉTODOS
<p>¿Qué relación existe entre la bioacumulación de mercurio en cabello con el tiempo de exposición laboral en la comunidad minera Huaquirca?</p> <p>Problemas Específicos</p> <p>P.E.1: ¿La bioacumulación de mercurio en cabello en pobladores con un tiempo de exposición de 0 a 12 meses estará dentro de los valores permisibles por la organización mundial de salud?</p> <p>P.E.2: ¿La bioacumulación de mercurio en cabello en pobladores con un tiempo de exposición de 13 a 24 meses estará dentro de los valores permisibles por la organización mundial de salud?</p> <p>P.E.3: ¿La bioacumulación de mercurio en cabello en pobladores con un tiempo de exposición de 25 a 48 meses estará dentro de los valores permisibles por la organización mundial de salud?</p>	<p>Determinar la relación que existe entre la bioacumulación de mercurio en cabello con el tiempo de exposición laboral en la comunidad minera Huaquirca.</p> <p>Objetivos Específicos</p> <p>O.E.1: Determinar si la bioacumulación de mercurio en cabello de pobladores con un tiempo de exposición de 0 a 12 meses estará dentro de los valores permisibles por la organización mundial de salud</p> <p>O.E.2: Determinar si la bioacumulación de mercurio en cabello en pobladores con un tiempo de exposición de 13 a 24 meses estará dentro de los valores permisibles por la organización mundial de salud</p> <p>O.E.3: Determinar si la bioacumulación de mercurio en cabello en pobladores con un tiempo de exposición de 25 a 48 meses estará dentro de los valores permisibles por la organización mundial de salud</p>	<p>La bioacumulación de mercurio en cabello presenta una relación significativa con tiempo de exposición laboral de la comunidad minera Huaquirca.</p> <p>Hipótesis Especifico</p> <p>H.E.1: La bioacumulación de mercurio en cabello en pobladores con un tiempo de exposición de 0 a 12 meses se encuentra dentro de los valores permisibles según la organización mundial de salud.</p> <p>H.E.2: La bioacumulación de mercurio en cabello en pobladores con un tiempo de exposición de 13 a 24 meses se encuentra dentro de los valores permisibles según la organización mundial de salud.</p> <p>H.E.3: La bioacumulación de mercurio en cabello en pobladores con un tiempo de exposición de 25 a 48 meses se encuentra por encima de los valores permisibles según la organización mundial</p>	<p>Variable Independiente</p> <p>El tiempo de exposición laboral</p> <p>Indicadores</p> <p>- Tiempo de exposición laboral de 0 a 12 meses</p> <p>- Tiempo de exposición laboral de 13 a 24 meses</p> <p>- Tiempo de exposición laboral de 25 a 48 meses</p> <p>Variable Dependiente</p> <p>Bioacumulación de mercurio en cabello</p> <p>Indicadores</p> <p>Niveles permisibles de la Organización mundial de la salud</p> <p>-nivel permisible de mercurio \leq 2.2ppm</p> <p>-nivel no permisibles de mercurio $>$ 2.2ppm</p>	<p>El mercurio o azogue es un metal líquido blanco plateado, volátil a temperatura ambiente se encuentra en estado líquido su temperatura de fusión es de $-38,9^{\circ}\text{C}$ y su temperatura de ebullición es $357,3^{\circ}\text{C}$. Su peso específico es $13,6\text{ g/cm}^3$ (0°C). Mercurio metálico debido a su alta presión de vapor, evapora fácilmente a temperatura ambiental a 20°C su concentración en el aire puede alcanzar hasta $0,014\text{ g/m}^3$, y a 100°C hasta $2,4\text{ g/m}^3$. Generalmente se habla de vapor de mercurio cuando el mercurio elemental se encuentra presente en la atmósfera o de mercurio metálico cuando está en su forma líquida</p>	<p>Indicadores</p> <p>- Tiempo de exposición laboral de 0 a 12 meses</p> <p>- Tiempo de exposición laboral de 13 a 24 meses</p> <p>- Tiempo de exposición laboral de 25 a 48 meses</p> <p>Indicadores</p> <p>Niveles permisibles de la Organización mundial de la salud</p> <p>-nivel permisible de mercurio \leq 1ppm</p> <p>-nivel no permisibles de mercurio $>$ 2.2ppm</p>	<p>Método de Investigación:</p> <p>Deductivo</p> <p>El estudio va de lo general a lo específico Analítico transversal</p> <p>Diseño de investigación:</p> <p>No Experimental:</p>

Anexo Nº 2

TOMA DE MUESTRAS PARA "DETERMINACION DE MERCURIO EN CABELLO Y
TIEMPO DE EXPOSICION EN LA COMUNIDAD MINERA HUAQUIRCA"
CUESTIONARIO PARA PACIENTES

FECHA:	
NOMBRE Y APELLIDOS:	
CODIGO:	EDAD:
SEXO: (F) (M)	TIEMPO DE TRABAJO EN LA COMUNIDAD MINERA (MESES): A) 0 - 12 B) 13 - 24 c) 25 - 48
ACTIVIDADES QUE CUMPLE EN LA MINERIA ARTESANAL DE LA COMUNIDAD MINERA HUAQUIRCA:	
TIENE AMALGAMA DENTAL: (SI) (NO)	
DIRECCIÓN:	

Anexo N° 3

**CONSENTIMIENTO INFORMADO DEL
PROYECTO DE TESIS “BIOACUMULACIÓN DE MERCURIO EN CABELLO Y TIEMPO DE
EXPOSICION EN LA COMUNIDAD MIRA HUAQUIRCA”**

Yo.....

..... Autorizo al Bachiller en farmacia y bioquímica de la Universidad alas peruana, Huillca Alvino Néstor, Realizarme el respectivo análisis de mercurio en cabello.

a) El tratamiento consistirá en:

Tomar muestra de cabello.

Tomar fotografías a la hora de corte de muestra de cabello.

b) Los beneficios del procedimiento son:

Tener el resultado del análisis del grado de contaminación de mercurio en cabello

c) Y mi negación al procedimiento traerían consecuencias tales como:

Desinterés de la salud que podría estar contaminado con el mercurio y por lo tanto no sabría en qué situación se encuentra.

d) Existen riesgos que pueden surgir en el curso del procedimiento, no solo la

Incomodidad a la hora de hacer el corte de muestra de cabello.

e) Autorizo que se obtengan (marque la opción que desee):

- Fotografías (Si) (No)

- Videos (Si) (No)

- Otros registros gráficos (Si) (No)

f) Autorizo la difusión de registros gráficos del procedimiento en

Revistas Médicas y/o ámbitos científicos, no se difundirá el nombre ni datos en publicaciones. (Si) (No)

Existe la posibilidad de revocar este consentimiento en cualquier momento del procedimiento, y asumo las consecuencias de cualquier naturaleza que de ello puedan derivarse.

He comprendido las explicaciones que se me han facilitado en un lenguaje claro y sencillo, y el facultativo que me ha atendido me ha permitido realizar todas las observaciones, aclarando todas las dudas planteadas. Me comprometo a seguir todas las indicaciones y recomendaciones que se realicen para el procedimiento que por este medio acepto.

Habiéndome aclarado dudas y preguntas sobre los procedimientos,

AUTORIZO a iniciar el mismo.

COMUNIDAD MINERA HUAQUIRCA.....

RESPONSABLE DEL PROYECTO
FIRMA DEL BACHILLER
DNI: 43918390

FIRMA DEL PACIENTE

Anexo Nº 4

VALORES LIMITES DE MERCURIO

[Http: www.acgih.org](http://www.acgih.org)

Medio		Valor	Organismo o país	Fuente
Agua	Agua Potable	0,001 mg/l	OMS	LAU-BW, 1989 en: GTZ
		0,001 mg/l	Comunidad Europea, Canadá, Alemania	DVGW, 1985 en: GTZ
		0,001 mg/l	Japón	MERIAN, 1984 en: GTZ
		0,002 mg/l	EE. UU / EPA: Safe drinking wáteract PL93-523 40 CFR 302.4	DVGW 1985 en GTZ;
		0,003 mg/l	Suiza	Merian 1984 en: GTZ
		0,005 mg/l	Ex-USSR	Merian 1984 en: GTZ
	Agua Superficial	0,0005 mg/l	Comunidad Europea Alemania [límite para tratamiento natural]	DVGW 1985 en: GTZ
		0,001 mg/l	Comunidad Europea, Alemania [límite para tratamiento físico y químico]	DVGW/1985 en: GTZ
	Riego	0,002 mg/l	Alemania	DVGW 1985 en: GTZ
Aire	Lugar de Trabajo	0,01 mg/m3	ACGIH / EEUU [valor TWA para compuestos orgánicos]	ACGIH 1984 en: GTZ
		0,01 mg/m3	Alemania [valor MAK para compuestos orgánicos]	DFG 1994 en: GTZ
		0,025 mg/m3	ACGIH / EEUU [valor TLV]	ACGIH Threshold Limit Value (1994) en TEE
		0,03 mg/m3	EEUU [valor STEL para compuestos orgánicos]	MERIAN 1984 en: GTZ
		0,05 mg/m3	Japón, P. Bajos, Suecia, Finlandia	MERIAN 1984 en: GTZ
		0,1 mg/m3	Alemania [valor MAK para Hg metálico]	DFG 1994 en: GTZ
		0,1 mg/m3	OSHA / EEUU ["acceptable ceilingconcentration"]	OSHA: 29 CFR 1910.1000(1993) en: TEE
Suelo		0,3 mg/kg	P. Bajos	Terra Tech 6/94 en: GTZ
		0,8 mg/kg	Suiza	BAFUB 1987 en: GTZ
		1,0mg/kg	Gran Bretaña [huertas]	Sauerbeck 1986 en: GTZ
		1,5 mg/kg	Gran Bretaña [jardines privados]	Sauerbeck 1986 en: GTZ
Alimentos	Límites para consumo humano	0,2 mg/sem.	OMS [consumo máximo semanal de Hg orgánico]	Clark, 1992 en: EDF
		0,3 mg/sem.	OMS [consumo máximo semanal de Hg total]	Clark, 1992 en: EDF
		0,021 mg/día	EEUU / US exposurelimit	Eisler 1987 en: EDF
	Leche, queso	0.01mg/kg	Alemania	Grossklaus 1989 en: GTZ
	Huevos, carne, pollo	0,03mg/kg	Alemania	Grossklaus 1989 en: GTZ
	Embutidos	0,05mg/kg	Alemania	Grossklaus 1989 en: GTZ
	Hígado, riñones	0,1 mg/kg	Alemania	Grossklaus 1989 en: GTZ
	Pescados y mariscos	0,3 mg/kg	Comunidad Europea	CE 1989 en: EDF

Anexo Nº 5

Foto de Toma de Muestra y los Materiales

Materiales para toma de muestra



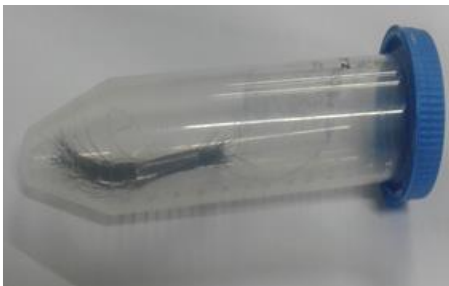
Muestra de cabello 100 hebras



Muestra de cabello



Muestra sellado y codificado



Materiales



Muestra de cabello



Muestra sellado



Total de muestras



Fuente: Elaboración propia - 2017

Anexo Nº 6

Fotos del Proceso de Análisis en el Laboratorio Químico toxico CENSOPAS instituto nacional de salud

Lavando con acetona



Pesando las muestras



Pesando las muestras



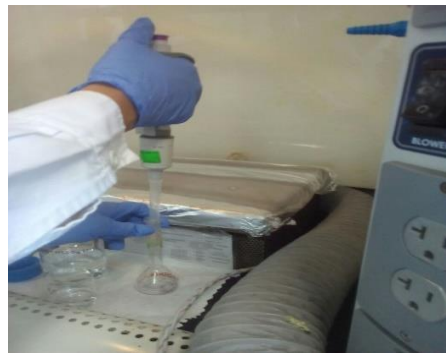
Adicionando ácido sulfúrico



Solución de digestión



Adicionando solución de digestión



Fuente: Elaboración propia - 2017

Adicionando permanganato de potasio



Se enraza a volumen de 50ml con agua destilada



Analizando mercurio con absorción atómica



Fuente: Elaboración propia - 2017

Anexo N°7

LAVADO DEL MATERIAL DE VIDRIO Y PLASTICO PARA LA DETERMINACIÓN DE MERCURIO EN CABELLO

Todo el material de vidrio y plástico utilizado en el análisis se lavan con solución dealconox al 1%, después se enjuaga con agua corriente y posteriormente se sumerge en ácido nítrico al 50% (V/V) como mínimo durante 6 horas, después se enjuaga con agua corriente varias veces, para luego terminar el enjuague con agua destilada.

Dejar secar el material en estufa entre 60°C y 70°C y guardar en un lugar libre de polvo, para evitar la contaminación de cualquier agente externo.

Se puede verificar que el material se encuentre exento de mercurio, para ello se toman al azar dos frascos y/o tubos, se analizan dichos frascos o tubos y realiza la lectura en el sistema de inyección de flujo FIAS – 100, quedando un registro de la verificación de la limpieza de los materiales utilizados en el ensayo.

Anexo N°8

PREPARACION DE SOLUCIONES PATRON Y SOLUCIONES DE TRABAJO

Solución de Triton X-100 (0,2%)

Disolver 1,0 mL de Triton X-100 en 500mL de agua destilada y luego mezclar bien.

Disolución de cloruro de estaño (II) 1,1%

Se pesan 11 g de cloruro de estaño (II), se disuelven en 30 mL de ácido clorhídrico concentrado en caliente y se afora a 1000 mL con agua destilada.

Solución de permanganato de potasio al 5% (KMnO₄)

Se pesan 5 g de permanganato de potasio y se afora a 100 mL con agua destilada

Solución de ácido clorhídrico al 3%

Medir 3,0 mL de ácido clorhídrico al 37% y aforar a 100 mL con agua destilada.

Solución de ácido nítrico al 1%

Medir 1,0 mL de ácido Nítrico al 65% y aforar a 100 mL con agua destilada.

Solución de trabajo de mercurio de 10 ug/mL

Se toma 1 mL de la solución de 1000 mg/L y se lleva a una fiola de 100 mL, se adiciona 1 mL de ácido nítrico concentrado y se diluye hasta el enrase con agua destilada.

Solución de trabajo de mercurio de 100 ug/L

Se toma 1 mL de la solución de 10 mg/L y se lleva a una fiola de 100 mL, se adiciona 1 mL de ácido nítrico concentrado y se diluye hasta el enrase con agua destilada; esta solución tiene una duración de 24 horas.

Anexo N°9

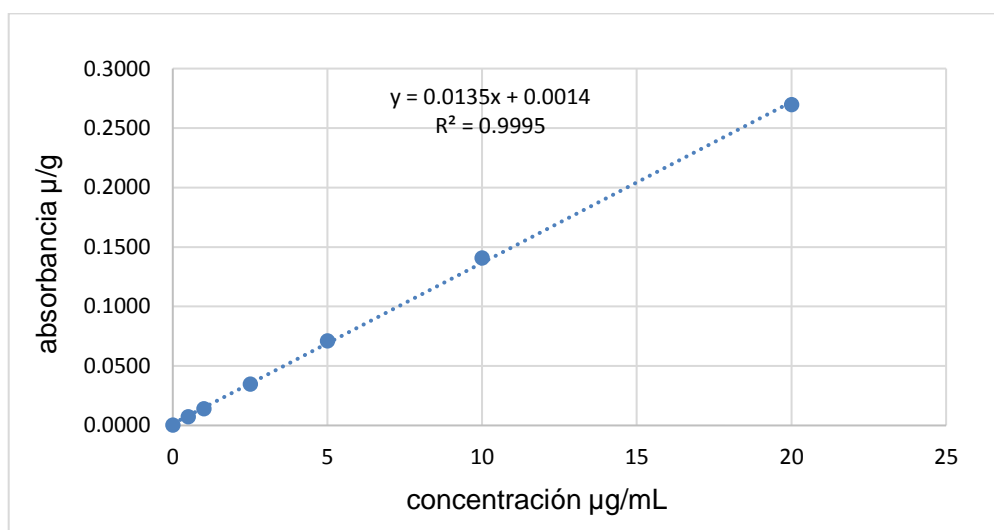
Cuadro de calibración del sistema de absorción atómica

ESTANDAR Hg($\mu\text{g/l}$)	Absorbancia $\mu\text{g/g}$
Std 10	0.1735
0	0.0002
0.5	0.0072
1	0.0141
2.5	0.0347
5	0.0711
10	0.1407
20	0.2696

Fuente: Elaboración propia - 2017

El presente cuadro muestra la calibración de mercurio con solvente estándar de 0 a 20 $\mu\text{g/l}$ de mercurio cuyos valores de absorbancia que van de 0.0002 a 0.2696.

Curva de calibración de estándar de mercurio.



Fuente: Elaboración propia - 2017

Presenta que hay una correlación exacta y precisa de los valores de absorbancia con los valores de concentración y por ello esta curva de calibración es muy buena para determinación de mercurio en cabello y el valor de $R^2 = 0.999$ o coeficiente de determinación es prácticamente 1 por lo tanto la recta es perfecta.

Anexo N^o10

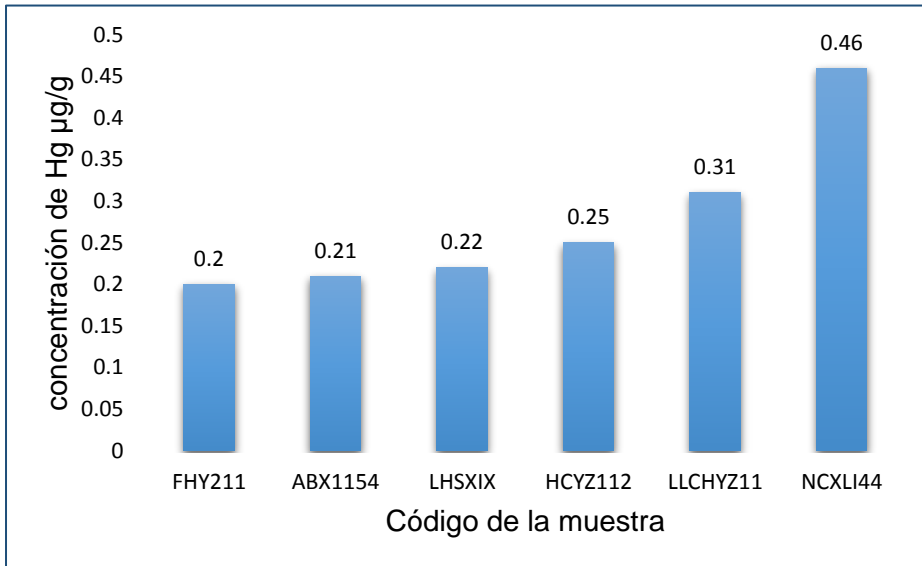
Resultados total de Mercurio con Todo los Datos del Análisis del Laboratorio

código	edad	meses de trabajo	Absorbancia	resultado ABS atómica $\mu\text{g/l}$	$\mu\text{g(hg)}$	mercurio $\mu\text{g/g}$
FHY211	32	12	0.0544	4	0.1	0.2
ABX1154	28	12	0.057	4.2	0.11	0.21
LHSXIX	33	12	0.0594	4.4	0.11	0.22
HCYZ112	45	12	0.068	5	0.13	0.25
LLCHYZ11	29	12	0.084	6.2	0.16	0.31
NCXLI44	28	12	0.124	9.2	0.23	0.46
LFSXY1	45	24	0.2328	17.2	0.43	0.85
CXXL22	40	24	0.2384	17.6	0.44	0.88
LHZX110	25	24	0.2547	18.9	0.47	0.95
NH1211	43	24	0.2594	19.2	0.48	0.98
LAYY1X	43	24	0.2916	21.6	0.54	1.08
GHY2122	38	24	0.334	24.7	0.62	1.12
YAXL32	33	24	0.4255	31.6	0.78	1.58
VVfy11	29	48	0.5008	36.9	0.92	1.86
RCHM104	40	48	0.5251	38.8	0.97	1.95
QRBHM14	36	48	0.6061	44.8	1.12	2.25
LNLMYI	30	48	0.6345	47.1	1.17	2.35
CHGJLL	42	48	0.6871	50.8	1.27	2.55
BRly11	45	48	0.7276	53.8	1.35	2.7
HBjXXII	38	48	0.7978	58.9	1.47	2.96

Fuente: Elaboración propia – 2017

Anexo N°11

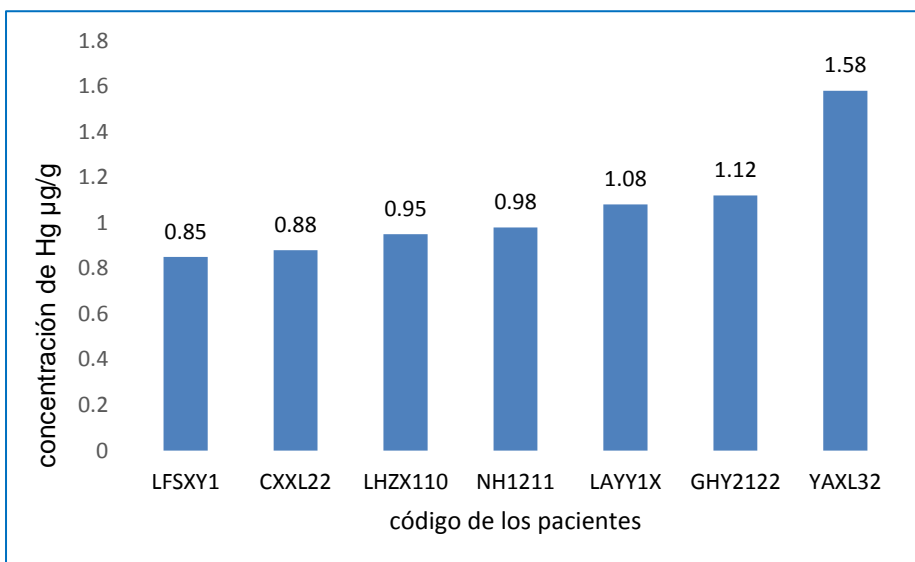
Tiempo de Exposición de 0 a 12 meses



Fuente: Elaboración propia - 2017

En esta grafica presenta los resultados de la concentración de mercurio en cabello de los trabajadores expuestos en un periodo de 0 a 12 mese siendo el valor más alto: 0.46 µg/g.

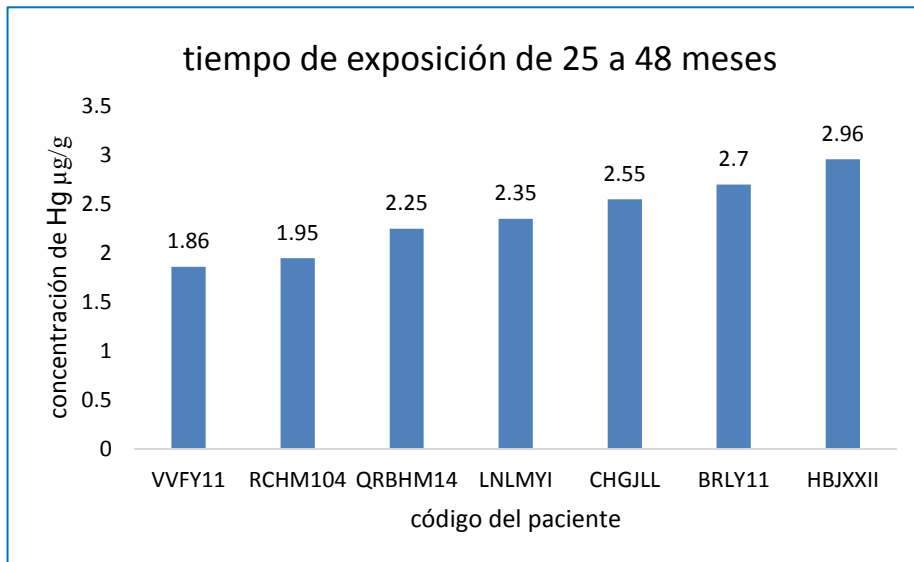
Tiempo de exposición de 13 a 24 meses



Fuente: Elaboración propia – 2017

En esta grafica presenta los resultados de la concentración de mercurio en cabello de los trabajadores expuestos en un periodo de 13 a 24 mese siendo el valor más alto: 1.58 µg/g.

Tiempo de exposición de 25 a 48 meses



Fuente: Elaboración propia – 2017

En esta grafica presenta los resultados de la concentración de mercurio en cabello de los trabajadores expuestos en un periodo de 25 a 24 mese siendo el valor más alto: 2.96 µg/g.

Anexo N°12



INSTITUTO NACIONAL DE SALUD

CENTRO NACIONAL DE SALUD OCUPACIONAL Y PROTECCIÓN DEL AMBIENTE PARA LA SALUD (CENSOPAS)

Las Amapolas N° 350 Urb. san Eugenio – lince
Teléfono: 7480 – 000 Anexo: 7722 o 7728

Solicitante: **HUILLCA ALVINO NESTOR**
Dirección : *Av.26 de noviembre N° 760 nueva esperanza
De villa María del triunfo
2386-2017/N*
Solicitud de ensayo N°: *2386-2017/N*
Cantidad recibida: *20 muestras de cabello*
Presentación: *En frasco polietileno cerrado*
Fecha de recepción: *03 de setiembre del 2017*
Análisis solicitado: **DETERMINACIÓN DE METALES**
Muestra: *Cabello*
Investigación solicitada: **MERCURIO**
Fecha de ejecución del análisis: *Del 25 de setiembre al 04 de octubre*

INFORME DE RESULTADOS

N O	CÓDIGO	APELLIDOS Y NONBRES	EDAD	MESES DE TRABAJO	MERCURIO µg/g
1	FHY211	Leónidas Solís Chacchara	32	12	0.2
2	ABX1154	Apolinario Carbajal Buendía	28	12	0.21
3	LHSXIX	Luciano Huamaní Osorio	33	12	0.22
4	HCYZ112	Feliciano Córdoba Collado	45	12	0.25
5	LLCHYZ11	Celestino Llactahuamaní Huapaya	29	12	0.31
6	NCXLI44	Nicolás Mendosa Pareja	28	12	0.46

Método de ensayo utilizado **MET - CENSOPAS - 001**
Técnica **Mercurio (Absorción Atómico por vapor de frio)**
Valores de Referencia **Personas expuestas ocupacionalmente**
Mercurio - Cabello **2.2µg/g Adultos**

Lince 27 DE octubre del 2017

**INSTITUTO NACIONAL DE SALUD
CENSOPAS**
[Firma]
Q. Manuel Chávez Ruiz
LABORATORIO QUÍMICO TOXICOLÓGICO
C.P. 683

Anexo N°13



INSTITUTO NACIONAL DE SALUD

CENTRO NACIONAL DE SALUD OCUPACIONAL Y PROTECCIÓN DEL AMBIENTE PARA LA SALUD (CENSOPAS)

Las Amapolas N° 350 Urb. san Eugenio – lince
Teléfono: 7480 – 000 Anexo: 7722 o 7728

Solicitante: **HUILLCA ALVINO NESTOR**
Dirección : *Av.26 de noviembre N° 760 nueva esperanza
De villa María del triunfo*
Solicitud de ensayo N°: *2487-2017/N*
Cantidad recibida: *20 muestras de cabello*
Presentación: *En frasco polietileno cerrado*
Fecha de recepción: *03 de setiembre del 2017*
Análisis solicitado: **DETERMINACIÓN DE METALES**
Muestra: *Cabello*
Investigación solicitada: **MERCURIO**
Fecha de ejecución del análisis: *Del 27 de setiembre al 06 de octubre*

INFORME DE RESULTADOS

Nº	CÓDIGO	APELLIDOS Y NOMBRES	EDAD	MESES DE TRABAJO	MERCURIO µg/g
1	LFSXY1	Luz Félix Altamirano	45	24	0.85
2	CXXL22	Julián Huamani Paira	40	24	0.88
3	LHZX110	Leoncio Chipani Huarwa	25	24	0.95
4	NH1211	Nicder López Zamalloa	43	24	0.98
5	LAYY1X	Joaquín Liseras Asto	43	24	1.08
6	GHY2122	Gamaly Surquislla Ancco	38	24	1.12
7	YAXL32	Luciano Huamán Osorio	33	24	1.58

Método de ensayo utilizado **MET - CENSOPAS - 001**
Técnica **Mercurio (Absorción Atómico por vapor de frio)**
Valores de Referencia **Personas expuestas ocupacionalmente**
Mercurio - Cabello **2.2µg/g Adultos**

Lince 27 DE octubre del 2017

**INSTITUTO NACIONAL DE SALUD
CENSOPAS**
[Firma]
Q. Mabel Chávez Ruiz
LABORATORIO QUÍMICO TOXICOLÓGICO
C.R. 663

Anexo N°14



INSTITUTO NACIONAL DE SALUD

CENTRO NACIONAL DE SALUD OCUPACIONAL Y PROTECCIÓN DEL AMBIENTE PARA LA SALUD (CENSOPAS)

Las Amapolas N° 350 Urb. san Eugenio – lince
Teléfono: 7480 – 000 Anexo: 7722 o 7728

Solicitante: **HUILLCA ALVINO NESTOR**
Dirección : **Av.26 de noviembre N° 760 nueva esperanza
De villa María del triunfo**
Solicitud de ensayo N°: **2588-2017/N**
Cantidad recibida: **20 muestras de cabello**
Presentación: **En frasco polietileno cerrado**
Fecha de recepción: **03 de setiembre del 2017**
Análisis solicitado: **DETERMINACIÓN DE METALES**
Muestra: **Cabello**
Investigación solicitada: **MERCURIO**
Fecha de ejecución del análisis: **Del 27 de setiembre al 08 de octubre**

INFORME DE RESULTADOS

N O	CÓDIGO	APELLIDOS Y NONBRES	EDAD	MESES DE TRABAJO	MERCURIO µg/g
1	VVfy11	Manuel Mendoza Narváez	29	48	1.86
2	RCHM104	Julio Bustinza Naveda	40	48	1.95
3	QRBHM14	Wilder Espinoza Narváez	36	48	2.25
4	LNLMI	Ober Valenzuela Cutupa	30	48	2.35
5	CHGJLL	Lucas Delgado Vera	42	48	2.55
6	BRly11	Teófilo Cahuana Achinquipa	45	48	2.7
7	HBJXXII	Domingo Vilca Casaverde	38	48	2.96

Método de ensayo utilizado **MET - CENSOPAS - 001**
Técnica **Mercurio (Absorción Atómico por vapor de frio)**
Valores de Referencia **Personas expuestas ocupacionalmente**
Mercurio - Cabello **2.2µg/g Adultos**

Lince 27 DE octubre del 2017

**INSTITUTO NACIONAL DE SALUD
CENSOPAS**
[Firma]
Q. Manuel Coávez Ruiz
LABORATORIO QUÍMICO TOXICOLÓGICO
C.O.P. 673