



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



**“NIVELES DE PLOMO Y MERCURIO EN AGUA DE LA CUENCA  
LLALLIMAYO DURANTE EL PROCESO DE CIERRE DE LA  
MINA ARASI S.A.C. – REGIÓN PUNO”**

**TESIS**

**PRESENTADA POR:**

**DAVID SOLOISOLO CUTIPA**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:**

**MÉDICO VETERINARIO Y ZOOTECNISTA**

**PUNO – PERÚ**

**2022**



## DEDICATORIA

A mis padres quienes me dieron vida, educación, salud y consejos.

A mis compañeros de aulas, a mis docentes y amigos.

Para aquellos que no creyeron en mí, aquellos que apostaban a que me rendiría a medio camino, a todos los que supusieron que no lo lograría, a todos ellos dedico esta tesis. Se los agradezco desde el fondo de mi alma.

*David Soloisolo Cutipa*



## AGRADECIMIENTOS

A mi Alma Mater Universidad Nacional del Altiplano por mi formación académico-profesional.

Al Dr. Julio Málaga Apaza por su colaboración durante la ejecución y redacción de esta investigación.

A los miembros del jurado: Dr. Alberto Ccama Sullca, Dr. Oscar Henry Espezua Flores, Dr. Celso Zapata Coacalla, etc. quienes en forma desprendida y con sus excelentes conocimientos aportaron a través de sus observaciones respecto a la coherencia en las correcciones y contribuciones en la redacción del trabajo de investigación.

*David Soloisolo Cutipa*



# ÍNDICE GENERAL

	Pág.
<b>DEDICATORIA</b>	
<b>AGRADECIMIENTOS</b>	
<b>ÍNDICE GENERAL</b>	
<b>ÍNDICE DE FIGURAS</b>	
<b>ÍNDICE DE TABLAS</b>	
<b>ÍNDICE DE ACRÓNIMOS</b>	
<b>RESUMEN .....</b>	<b>10</b>
<b>ABSTRACT.....</b>	<b>11</b>
<b>CAPÍTULO I</b>	
<b>INTRODUCCIÓN</b>	
<b>1.1. OBJETIVO DE LA INVESTIGACIÓN.....</b>	<b>14</b>
1.1.1. Objetivo general .....	14
1.1.2. Objetivos específicos .....	14
<b>CAPÍTULO II</b>	
<b>REVISIÓN DE LITERATURA</b>	
<b>2.1. MARCO CONCEPTUAL .....</b>	<b>15</b>
2.1.1. Agua .....	15
2.1.2. Calidad de agua .....	15
2.1.3. Cuenca hidrográfica .....	16
2.1.4. Metales pesados.....	16
2.1.5. Principales fuentes de contaminación por metales pesados .....	17
2.1.6. Efectos de contaminación por metales pesados en la salud. ....	19



2.1.7. Efectos de metales pesados en el medio ambiente.....	20
2.1.8. Plomo.....	20
2.1.9. Mercurio.....	23
2.1.10. Estándares internacionales y límites permisibles nacionales para plomo y mercurio.....	24
2.1.11. Métodos de análisis de contaminación de aguas con mercurio.....	26
2.1.12. Cierre de minas.....	29
2.1.13. Cierre de mina y situación posterior al cierre.....	29
2.1.14. Residuos mineros .....	31
<b>2.2. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN.....</b>	<b>33</b>
2.2.1. Antecedentes internacionales.....	33
2.2.2. Antecedentes nacionales.....	33

## CAPÍTULO III

### MATERIALES Y MÉTODOS

<b>3.1. UBICACIÓN DEL LUGAR DE ESTUDIO.....</b>	<b>39</b>
<b>3.2. MATERIAL DE ESTUDIO.....</b>	<b>39</b>
<b>3.3. METODOLOGÍA.....</b>	<b>40</b>
3.3.1. Recolección de muestras .....	40
3.3.2. Fundamento de la prueba “Espectrofotometría de absorción atómica por la técnica de horno de grafito”.....	40
3.3.3. Determinación de plomo total por espectrofotometría de absorción atómica por la técnica de horno de grafito. ....	41
3.3.4. Determinación de mercurio total por espectrofotometría de absorción atómica por la técnica de horno de grafito. ....	42
3.3.5. Análisis estadístico .....	44



## CAPÍTULO IV

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

<b>4.1. NIVELES DE PLOMO .....</b>	<b>45</b>
<b>4.2. NIVELES DE MERCURIO.....</b>	<b>48</b>
<b>V. CONCLUSIONES.....</b>	<b>51</b>
<b>VI. RECOMENDACIONES .....</b>	<b>52</b>
<b>VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>53</b>
<b>ANEXOS.....</b>	<b>57</b>
ANEXO A .....	58
ANEXO B .....	65

**Área : Salud Pública y Salud Animal.**

**Tema : Niveles de plomo en agua en la Cuenca Llallimayo.**

**Fecha de sustentación: 28 de enero de 2022**



## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Ilustración 1:</b>	Plano de monitoreo de niveles de plomo y mercurio en agua de la cuenca Llallimayo durante el proceso de cierre de la mina ARASI S.A.C – region Puno.....	60
<b>Ilustración 2:</b>	Preparación de frascos de muestreo y localización geográfica (GPS). .....	61
<b>Ilustración 3:</b>	Zona de muestreo Jatun Ayllu (punto 1) .....	61
<b>Ilustración 4:</b>	Zona de muestreo Puka Chupa (punto 2) .....	62
<b>Ilustración 5:</b>	Zona de muestreo Koripuna (punto 3).....	62
<b>Ilustración 6:</b>	Zona de muestreo Llalli (punto 4) .....	63
<b>Ilustración 7:</b>	Zona de muestreo Chuquibambilla (punto 5).....	63
<b>Ilustración 8:</b>	Embalaje y envío de muestras. ....	64
<b>Ilustración 9:</b>	Resultados de laboratorio para concentración de Plomo en agua de rio Llallimayo.....	65
<b>Ilustración 10:</b>	Resultado de análisis de concentración de mercurio en muestras de agua de rio Llallimayo. ....	69
<b>Ilustración 11:</b>	Análisis de plomo por horno de grafito por corrección de fondo (background).....	73
<b>Ilustración 12:</b>	Análisis de temperatura programada de plomo por horno de grafito.	73
<b>Ilustración 13:</b>	Análisis de mercurio por horno de grafito por corrección de fondo (background).....	74
<b>Ilustración 14:</b>	Análisis de temperatura programada de mercurio por horno de grafito. .....	74



## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1:</b> Principales actividades industriales generadoras de metales pesados.....	17
<b>Tabla 2:</b> Fuentes de exposición al plomo. ....	22
<b>Tabla 3:</b> Límite máximo permisible de mercurio y plomo.....	24
<b>Tabla 4:</b> Categoría 2: Extracción, cultivo y otras actividades marino costeras y continentales.....	25
<b>Tabla 5:</b> Límites máximos permisibles de parámetros químicos inorgánicos en agua de bebida. ....	25
<b>Tabla 6:</b> Límites de exposición para factores de riesgo por exposición e intoxicación por metales pesados y metaloides.....	26
<b>Tabla 7:</b> Distribución de muestras de agua de la cuenca Llallimayo - Melgar. ....	39
<b>Tabla 8:</b> Concentración de plomo (mg/Lt) en aguas de río de la cuenca Llallimayo - Melgar. ....	45
<b>Tabla 9:</b> Concentración de mercurio en aguas de río de la cuenca Llallimayo. ....	48





## ÍNDICE DE ACRÓNIMOS

<b>AID</b>	: Área de Influencia Directa
<b>AII</b>	: Área de Influencia Indirecta
<b>ANA</b>	: Autoridad Nacional del Agua
<b>DAM</b>	: Drenaje Ácido de Mina
<b>DS</b>	: Decreto Supremo
<b>EIA</b>	: Estudio de Impacto Ambiental
<b>EIA-d</b>	: Estudio de Impacto Ambiental Detallado
<b>EIA-sd</b>	: Estudio de Impacto Ambiental Semi-detallado
<b>MINEM</b>	: Ministerio de Energía y Minas
<b>OEFA</b>	: Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental
<b>OD</b>	: Oxígeno Disuelto
<b>SST</b>	: Solidos Suspendidos Totales
<b>SAC</b>	: Sociedad Anónima Cerrada



## RESUMEN

La contaminación del agua con metales pesados, es un factor de riesgo para la salud pública; por lo que, la investigación tuvo por objetivo de cuantificar los niveles de plomo y mercurio en agua del río Llallimayo durante el proceso de cierre de la mina Arasi S.A.C., que irriga los campos de pastoreo, en el distrito de Ocuwiri de la provincia de Lampa; Llalli y Umachiri de la provincia de Melgar - Región Puno. Se ubicó cinco puntos de muestreo, y se colectó un total de 50 muestras envasados en frascos estériles de polietileno de 500 ml, rotulados con la identificación respectiva y embalados con conservantes de hielo para el traslado, al laboratorio de Unidad de Servicios de Análisis Químicos - UNMSM - Lima, donde se procesó mediante técnica de espectrofotometría de absorción atómica con horno de grafito. Los datos se analizaron mediante diseño completo al azar. Los resultados de la concentración de plomo en el agua del río de la cuenca Llallimayo fueron 1.918, 1.486, 1.416, 1.124, 0.540 mg/lit en los puntos 2, 3, 1, 4 y 5 respectivamente; y los niveles de mercurio encontrado fueron de 0.2640, 0.2600, 0.1860, 0.1420 y 0.1360 mg/lit en los puntos 2, 4, 1, 5 y 3; respectivamente encontrándose diferencia estadística significativa para ambos metales ( $P < 0.05$ ). En conclusión, estos hallazgos permiten afirmar que, los niveles de contaminación con plomo y mercurio son superiores a los valores máximos permisibles, que establecen las normas internacionales de la OMS y MINSa, aun después del cierre de la mina.

**Palabras Claves:** Cierre de mina, agua, contaminación, plomo y mercurio.



## ABSTRACT

Water contamination with heavy metals is a risk factor for public health; Therefore, the objective of the research was to quantify the levels of lead and mercury in the water of the Llallimayo river during the closure process of the Arasi S.A.C. mine, which irrigates the grazing fields of the Ocuvirí district of the Lampa province; Llalli and Umachiri from the province of Melgar - Puno Region. Five sampling points were located, and a total of 50 samples were collected, packaged in 500 ml sterile polyethylene bottles, labeled with the respective identification and packed with ice preservatives for transfer, to the Chemical Analysis Services Unit laboratory - UNMSM - Lima, where it was processed using the graphite furnace atomic absorption spectrophotometry technique. Data were analyzed using a completely randomized design. The results of the lead concentration in the river water of the Llallimayo basin were 1.918, 1.486, 1.416, 1.124, 0.540 mg/lit in points 2, 3, 1, 4 and 5 respectively; and the mercury levels found were 0.2640, 0.2600, 0.1860, 0.1420 and 0.1360 mg/lit at points 2, 4, 1, 5 and 3; respectively, finding a significant statistical difference for both metals ( $P < 0.05$ ). In conclusion, these findings allow us to affirm that the levels of contamination with lead and mercury are higher than the maximum permissible values, established by the international standards of the WHO and MINSa, even after the closure of the mine.

**Keywords:** Mine closure, water, contamination, lead and mercury.



# CAPÍTULO I

## INTRODUCCIÓN

El amplio uso de los metales pesados y metaloides como el plomo y mercurio en actividades humanas causa contaminación del medio ambiente y graves problemas de salud pública (Mancilla *et al.*, 2011). Por cuanto, existe una preocupación mundial por la exposición del hombre a compuestos y sustancias químicas que ponen en riesgo la salud (Mancilla *et al.*, 2011; PNUMA, 2005).

Muchas sustancias al entrar en contacto con el agua, reaccionan y liberan compuestos nocivos (Mancilla *et al.*, 2011). La gravedad radica en que muchos compuestos son altamente tóxicos, biodisponibles y no biodegradables, lo que facilita su circulación en el compartimento biótico del ecosistema (Loza & Ccancapa, 2020).

La unidad minera ARASI. S.A.C., está focalizado entre la intersección de dos vertientes que forman una “y”. El río que baja de las zonas altas, que se llama Pataqueña, cuyo caudal es transparente. Paralelamente este río pasa por un costado del campamento de la empresa. Es donde ahí los afluentes se unen y forman parte del río de Hatun Ayllu (OEFA, 2017). Los relaves mineros representan aproximadamente entre el 90% al 98% en peso del mineral alimentado a una planta metalúrgica, esto sumado al contenido de agua con el que salen del proceso metalúrgico, el cual puede llegar a representar hasta un 75% de la masa total del relave, genera un residuo de gran volumen que se debe manejar para su adecuado almacenamiento, siendo este un factor clave para la continuidad de la operación (Travezaño, 2021).



Las contaminaciones del agua por metales pesados provenientes de actividades antropogénicas constituye un tema de gran interés actual (ANA, 2012), debido a ingreso a la cadena trófica y tiene efectos nocivos sobre la salud humana y animal tales como daños a nivel del sistema nervioso central, función hepática y renal, alteraciones hematológicas, efectos carcinogénicos en los infantes y adultos mayores, que representan las poblaciones más sensibles (Chata, 2015). Esto repercute en costos de tratamientos médicos y disminución de la productividad de los habitantes de la zona (Pabón *et al.*, 2020).

Los distritos afectados por contaminación en la cuenca Llallimayo son Llalli, Cupi, Umachiri y Ayaviri (Condori, 2019); cuyos habitantes vienen realizando medidas de protesta exigiendo el cierre definitivo de actividades de la minera Arasi SAC, asimismo la remediación urgente e implementación de medidas de biorremediación de agua en la cuenca Llallimayo. Esto ha conllevado a las autoridades competentes a declarar la zona como un foco de conflictividad social en la región Puno (Ministerio del Ambiente - MINAM, 2019), asimismo a proponerse proyectos de ley que buscan la descontaminación de dicha cuenca (Apaza, 2020).

Considerando el contexto se ha planteado en el presente trabajo de investigación con la finalidad de contrastar la contaminación de minerales como el plomo y mercurio en el agua del río de la cuenca Llallimayo durante el proceso de cierre de la mina ARASI S.A.C., ya que hasta el momento, el agua del río muestra una coloración fuera de lo normal que no es transparente; ante ello, estaríamos expuestos a un serio problema o más aun una amenaza en la salud pública de los pobladores del área influencia directa e indirecta; por lo se planteó alcanzar los siguientes objetivos:



## **1.1. OBJETIVO DE LA INVESTIGACIÓN**

### **1.1.1. Objetivo general**

Determinar los niveles de plomo y mercurio en agua del río de la cuenca Llallimayo durante el proceso de cierre de la mina ARASI S.A.C. de la región Puno.

### **1.1.2. Objetivos específicos**

- a) Cuantificar la concentración de plomo en agua del río de la cuenca Llallimayo en el proceso de cierre de la mina ARASI S.A.C.
- b) Cuantificar la concentración de mercurio en agua del río de la cuenca Llallimayo en el proceso de cierre de la mina ARASI S.A.C.



## CAPÍTULO II

### REVISIÓN DE LITERATURA

#### 2.1. MARCO CONCEPTUAL

##### 2.1.1. Agua

Proviene del término en latín agua, popularmente se refiere a la sustancia en su estado líquido, pudiendo presentarse en estado sólido y gaseoso, constituyendo el 71 % de la superficie terrestre, en océanos 96,5% del total de agua, los casquetes polares y glaciares constituyen el 1,74 %, las subterráneas, permafrost y glaciares el 1,72 %, el resto 0,04 % distribuyéndose entre lagos, suelo, atmósfera, embalses, ríos y seres vivos (Atajo, 2019; Belaire & Jacobs, 2017).

##### 2.1.2. Calidad de agua

Es un conjunto de sustancias en el agua que indican si puede ser usada para diferentes propósitos como: doméstico, riego, recreación e industria. Se expresa también como características del agua que pueden afectar su idoneidad para un uso específico, la relación entre calidad del agua y las siete necesidades del usuario. También es definida por el contenido de sólidos y gases, en suspensión y en solución (Atajo, 2019; Martínez, 2004).

En Perú, (MINSA, 2010) determina niveles permisibles de metales pesados disueltos en agua para consumo humano están considerados por la Norma Técnica Peruana, regulada y emitida a través del Ministerio de Salud Perú, el cual se detalla a continuación:



### **2.1.3. Cuenca hidrográfica**

Es un área superficial terrestre impermeable, donde la precipitación se agrupa y se drena a un mismo punto denominado punto de salida. La definición dada anteriormente es referida a una cuenca superficial, ya que existe también a cuenca subterránea que está asociada a la superficial cuya forma es semejante o igual a la superficial, si lo observamos desde el punto de salida, se pueden diferenciar dos tipos de cuencas: la exorreica y las endorreicas. En el primer caso el punto de salida se encuentra ubicado dentro de la misma cuenca la cual generalmente termina en un lago; o como el segundo caso, el punto de salida está ubicado en los límites externos de la misma cuenca, normalmente su desembocadura termina en el mar (Condori, 2019).

### **2.1.4. Minerales tóxicos**

El metal pesado es tóxico en el ambiente y muy peligroso. Sus características más comunes son: persistencia, bioacumulación, biotransformación y elevada toxicidad, se encuentran en los ecosistemas por largos periodos, ya que su degradación natural es difícil (OEFA, 2016).

Llamado también metales pesados a aquellos elementos químicos que poseen un peso atómico comprendido entre 63.55 (Cu) y 200.59 (Hg), y que presentan un peso específico superior a 4 (g cm<sup>-3</sup>). Cabe destacar que en esta categoría entran prácticamente todos los elementos metálicos de interés económico, por tanto, de interés minero, los cuales incluso en bajas concentraciones, pueden ser nocivos para las plantas y los animales (OEFA, 2016; Posada & Arroyave, 2006).



La gravedad de los efectos depende del nivel de concentración en la que se encuentren las sustancias tóxicas, de su persistencia y su biodisponibilidad; pudiendo ocasionar desde efectos no letales, como el desplazamiento temporal de algunas especies, hasta la muerte de poblaciones entera (Nureña & Padilla, 2013).

### 2.1.5. Principales fuentes de contaminación por metales pesados

Entre los principales factores que afectan los ecosistemas por contaminación por metales pesados, se encuentra las actividades humanas donde destacan las operaciones de tipo minero y de fundición de tipo industrial y urbana, donde se tiene que la tasa de contaminación del agua puede rondar cerca de los 200 millones de metros cúbicos diarios (Pabón *et al.*, 2020).

**Tabla 1:** Principales actividades industriales generadoras de metales pesados.

Industria	Metales	Contaminación derivada
Minería de metales ferrosos	Cd, Ni, Cr, Zn	Drenaje ácido de mina, relaves, escombros
Extracción de los minerales	As, Cd, Cu, Pb	Presencia en las menas y subproductos
Fundición	As, Cd, Pb, Tl	Procesado del mineral
Metalúrgica	Cr, Cu, Mn, Pb	Procesado térmico de minerales
Aleaciones y aceros	Pb, Mo, Cd, U	Fabricación, eliminación y reciclaje de metales
Gestión de residuos	Zn, Cu, Pb, Hg	Incineración de residuos o lixiviados
Corrosión metálica	Fe, Cr, Pb, Co	Inestabilidad de los metales expuestos al medio ambiente
Galvanoplastia	Cr, Ni, Zn, Cu	Efluentes de procesos de recubrimiento
Pinturas y pigmentos	Pb, Sb, Ni, Hg	Residuos acuosos de fabricación y deterioro de pintura vieja
Baterías	Pb, Hg, Sb, Ni	Fluido de la pila de residuos
Electrónica	Pb, Cd, Hg, Pt	Residuos metálicos acuosos y sólidos
Agricultura y ganadería	Cd, Cr, Pb, V	Contaminación de escorrentía, aguas superficiales y subterráneas

Fuente: Pabón *et al.*, 2020

En las posibles fuentes de contaminación de los recursos hídricos por metales pesados, se incluyen: el drenaje ácido de mina, la lixiviación en pilas, la lixiviación in situ, fallas en las presas de relave, el incremento de la concentración de sólidos



suspendidos debido a la erosión, y la inadecuada disposición del agua de procesos de la minería (Martínez, 2004).

Los procesos mineros están muy extendidos en el Perú, estando además prevista la iniciación de importantes nuevos proyectos de explotación. Según el Observatorio de Conflictos Mineros en Perú, en 2012, 25 millones de hectáreas a escala nacional eran objeto de concesiones mineras, lo que representa un aumento de un millón de hectáreas con respecto a 2011. Justamente esta actividad, mayormente en su forma de minería ilegal es causante de la mayor parte de contaminación ambiental de fuentes de agua y recursos hídricos en nuestro país (FIDH, 2013).

La migración de los metales pesados a partir de estas fuentes, hacia los cuerpos de agua cercanos, producen efectos nocivos en los organismos acuáticos, que tienden a acumular estos metales (OEFA, 2016).

El amplia difusión de metales pesados en los diversos ecosistemas es de preocuparse, dado que muchos seres vivos dependen del adecuado equilibrio en su lugar de alimentación o de vivienda, el cómo llegan dichos metales a los distintos ecosistemas varía según el tipo de actividad que se desarrolla por el hombre, por ejemplo, para el mercurio se han identificado seis fuentes de contaminación que son la deposición atmosférica, erosión, descargas humanas, materiales agrícolas, minería y las descargas industriales y de combustión, como tal en las aguas subterráneas naturales y aguas superficiales el contenido de este metal está por debajo de  $0.5 \mu\text{g/L}$ , sin embargo en aguas residuales descargadas cerca de depósitos minerales locales y otros sitios contaminados la concentración de mercurio es mucho mayor (Londoño et al., 2016; Posada & Arroyave, 2006).



El plomo también es liberado al ambiente debido a la industria minera y la quema de combustibles fósiles, está involucrado en la fabricación de baterías, municiones, productos metálicos y otros dispositivos (Pacco, 2018).

Como se puede ver el mayor aporte a la contaminación de las aguas por metales pesados es por descargas de aguas residuales producto de diversas actividades antropogénicas principalmente de tipo industrial, cada día es mayor el grado de contaminación de las fuentes hídricas debido al constante uso de estos metales en la industria, por ende aumenta el riesgo para los organismos vivos al aumentar la probabilidad de quedar expuestos a estos metales (Pabón et al., 2020).

#### **2.1.6. Efectos de contaminación por metales pesados en la salud.**

Cada elemento químico contaminante tiene un mecanismo de acción y un lugar de acumulación preferido. Como tal, una vez el metal pesado entra en un ecosistema inicia un proceso de cambios en el entorno, (suelos, agua y seres vivos que habitan en el medio) (Pabón et al., 2020).

Es crucial tener presentes los valores de toxicidad de los metales pesados, en especial en asentamientos humanos cercanos a zonas donde las actividades realizadas promueven la contaminación con metales pesados. Para ello se recomienda tener presentes los límites permisibles de este tipo de metales en diferentes materiales como lo son el suelo, el agua, los lodos entre otros y que la comunidad internacional ya ha establecido dichos parámetros en oficinas gubernamentales como el Ministerio de Ambiente, entre otras (PNUMA, 2005).



Los daños varían dependiendo de cada metal, pero en general se puede decir que hay lesión celular. Los síntomas de la intoxicación por metales pesados pueden parecerse al de otras enfermedades, como por ejemplo la esclerosis, que es una enfermedad incurable muy complicada en cuanto a sus síntomas (Pacco, 2018).

#### **2.1.7. Efecto de metales pesados en el medio ambiente.**

Los efectos de los metales pesados son bastantes graves, que depende mucho de la concentración. También está influenciado por el tipo de sustrato al que contaminan, sea aire, suelo agua de bebida o agua para regar los cultivos. Por ejemplo, ante la cantidad excesiva de plomo se llegan a producir algunas alteraciones en las plantas, degradación del suelo, disminuyendo su productividad, e incluso llegar a la desertificación en casos extremos (PNUMA, 2005).

La contaminación con metales pesados en el agua de los ríos y lagos, afecta principalmente la fauna; dado que su efecto es silencioso, no se ve, y cuando nos damos cuenta del daño que producen, ya es tarde y enmarcan muchos efectos peligrosos para la salud (Pacco, 2018; PNUMA, 2005).

#### **2.1.8. Plomo**

El plomo es un mineral no esencial, que se encuentra ampliamente distribuido en la naturaleza. La especie humana lo viene usando desde hace 6 000 años, así los antiguos egipcios utilizaban compuestos de plomo como pigmentos, cosméticos y para la fabricación de estatuillas. La primera civilización que utilizó el plomo a gran escala fue Roma para fabricar tuberías del acueducto, en aleaciones con estaño para fabricar vajillas y como pigmento blanco (Fontana et al., 2013).



El plomo (del latín *plumbum*) se denomina con el símbolo Pb, es un metal gris azulado, blando y maleable, presente de forma natural en la corteza terrestre. Es un catión divalente que se une fuertemente a los grupos sulfhidrilo de las proteínas. Su uso generalizado ha tenido gran impacto en la contaminación ambiental y, en consecuencia, un incremento considerable en su exposición a la población que ha generado graves problemas de salud pública (Azcona et al., 2015; Chata, 2015).

Las principales fuentes de contaminación ambiental destacan la explotación minera, la metalurgia, las actividades de reciclaje, el uso persistente de pinturas y gasolinas con plomo, fabricación de baterías de plomo, insumos de soldadura, vidrieras, vajillas de cristal, municiones, esmaltes, artículos de joyería y juguetes, así como en algunos productos cosméticos (Fontana et al., 2013). Igual, puede contener plomo el agua potable canalizada a través de tuberías de plomo o con soldadura a base de este metal (Chata, 2015).

La absorción de plomo puede constituir un grave riesgo para la salud pública. En los diez últimos años los contenidos de plomo de los productos alimenticios se redujeron sensiblemente porque aumentó la sensibilización ante el problema sanitario que puede representar el plomo y por los esfuerzos realizados para reducir la emisión de plomo en su origen (Fontana et al., 2013).

El dictamen del 19 de junio de 1992, estableció que, el contenido medio de plomo en los productos alimenticios no debe ser causa de alarma, pero que debe de proseguirse la monitorización con el objetivo de continuar reduciendo los contenidos medios de plomo en los productos alimenticios (Azcona et al., 2015).

**Tabla 2:** Fuentes de exposición al plomo.

Procesos industriales	Tabaquismo/ alimentación	Agua Potable	Fuentes domesticas
Baterías plomo-acido, materiales de plomería, cables de revestimiento, pinturas, esmaltes y municiones, gasolinas y sus aditivos, exposición ocupacional	Fumadores activos. Alimentos contaminados con polvo, hortalizas en suelos contaminados (minas y fundiciones)	Sistemas de plomería que contiene tuberías de plomo, soldaduras, accesorios o agua en contacto con plomo durante un periodo prolongado	Juguetes, medicinas tradicionales, cosméticos, pintura de las paredes de casas antiguas y polvo.

Fuente: OMS (2010)

### 2.1.8.1. Toxicidad

El Pb ingresa al organismo usualmente por vía respiratoria y digestiva. Una vez en el torrente sanguíneo, se acumula dentro de los glóbulos rojos, donde interfiere en la síntesis del grupo hemo, ocasionando anemia (Rangel, 2017).

Luego de aproximadamente 30 días, se redistribuye a diferentes órganos y tejidos, generando alteraciones en el sistema nervioso, hematopoyético, cardiovascular, reproductivo y renal. Finalmente, se deposita en tejidos duros como huesos, uñas y dientes, donde puede permanecer acumulado durante toda la vida. Cabe destacar que el Plomo es teratógeno, porque atraviesa con facilidad la barrera placentaria, encontrándose concentraciones comparables del metal en la sangre de la madre y del recién nacido (Fontana et al., 2013). El daño neurológico se viene evidenciado por la neuropatía por plomo se produce por daños de las neuronas motrices de la asta anterior de la medula espinal o degeneración de las terminaciones axónicas y el recubrimiento de la mielina. El plomo es un neurotóxico periférico y central interfiere la liberación de la acetilcolina, la síntesis consecuente de acetilcolina, la adenil-ciclasa del SNC e inhibe a la enzima del glóbulo rojo delta aminolevulinico dehidratasa (Chata, 2015).



### 2.1.9. Mercurio.

El mercurio es uno de los metales pesados que se conoce y utiliza desde la antigüedad; la muestra de mercurio líquido más antigua de que se tiene noticias se encontró en una tumba egipcia en Kurna y data de 1 600 a.C. En China e India también se conocía el mercurio en la misma época (Martínez, 2004; Velarde, 2021).

El Hg o azogue es un metal líquido blanco plateado, volátil a temperatura ambiente debido a su alta presión de vapor, convirtiéndolo en un contaminante óptimo 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 Hg se transforman en metil mercurio  $Hg_2^+$  en el agua por reacción con  $O_2$  el metil mercurio es hidrosoluble y liposoluble (Ministerio de Salud Chile, 2014; PNUMA, 2005).

El Hg es uno de los metales pesados que mayor preocupación está causando en el mundo por su acción sumamente tóxica para los organismos y para el hombre. Se considera poco peligroso en forma metálica y en sales minerales, pero en compuestos orgánicos su acción se torna muy tóxica para el hombre como último consumidor de pescados y mariscos, que tienen la propiedad de acumularlo en sus tejidos (Pacco, 2018; Posada & Arroyave, 2006). Ya que, el mercurio elemental tiene una alta tensión superficial, forma gotas pequeñas, compactas y esféricas cuando es liberado en el medio ambiente. Aunque las gotas mismas son estables, la alta presión del vapor de mercurio, comparado con otros metales, hace que el mercurio se evapore. En lugares cerrados el mercurio puede constituir un riesgo por inhalación. Al aire libre el mercurio elemental se evapora y entra en la atmósfera (PNUMA, 2005).

El mercurio se halla en diferentes estados de oxidación y puede formar un número variado de compuestos orgánicos. Sus tres formas primarias conocidas son:

- Hg elemental o metálico (0+).
- Compuestos inorgánicos mercuriosos (1+) y mercúricos (2+).
- Compuestos orgánicos como el alquilo, fenilo, que se unen en enlace covalente a un átomo de Carbono (Martínez, 2004; Osoreo et al., 2012)

La forma más frecuente en la naturaleza es como cinabrio mineral compuesto de sulfato mercúrico (HgS). El mercurio asociado al azufre es relativamente estable a los agentes atmosféricos (CO<sub>2</sub>, O<sub>2</sub> y H<sub>2</sub>O) y difícilmente ingresa las cadenas tróficas alimenticias de manera significativa (Londoño et al., 2016; Osoreo. et al., 2010).

#### **2.1.10. Estándares internacionales y límites permisibles nacionales para plomo y mercurio.**

La Organización Mundial de la Salud (OMS) y la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO), son los organismos encargados de establecer los límites máximos permitidos de contaminantes. En el Perú es el Ministerio del Ambiente, siendo el responsable de aprobar los Estándares de Calidad Ambiental o ECA, que son indicadores de calidad ambiental, miden la concentración de elementos, sustancias, parámetros físicos, químicos y biológicos, presentes en el aire, agua o suelo, pero que no representan riesgo significativo para la salud de las personas ni al ambiente.

**Tabla 3:** Límite máximo permisible de mercurio y plomo.

<b>Metal</b>	<b>Indicador</b>	<b>Límite máximo permisible</b>
Plomo	mg/L	0.01
mercurio	mg/L	0.001

Fuente: Organización Mundial de la Salud - OMS



La normatividad vigente en Perú establece los Estándares de Calidad Ambiental para Agua, donde se mide el mercurio en aguas continentales o marítimas (Alvarez et al., 2011)

**Tabla 4:** Categoría 2: Extracción, cultivo y otras actividades marino costeras y continentales.

Parámetros	Unidad de medida	C1	C2	C3	C4
		Obtención y cultivo de moluscos, equinodermos y tunicados en aguas marino costeras	Producción y cultivo de otras especies hidrobiológicas en aguas marino costeras	Actividades marino portuarias, industriales o de saneamiento en aguas marino costeras	Producción y cultivo de especies hidrobiológicas en lagos o lagunas
<b>Hg</b>	mg/L	0,00094	0,0001	0,0018	0,00077
<b>Pb</b>	mg/L	0,0081	0,0081	0,03	0,0025

Fuente: (Alvarez *et al.*, 2011)

El límite de exposición recomendado de acuerdo a la norma técnica para factores de riesgos por exposición e intoxicación por metales pesados y metaloides establece y admite el Reglamento sobre Valores Límite Permisibles para Agentes Químicos en el ambiente de trabajo es:

**Tabla 5:** Límites máximos permisibles de parámetros químicos inorgánicos en agua de bebida.

Límites máximos permisibles de parámetros químicos inorgánicos y orgánicos		
Parámetros inorgánicos	Unidad de medida	Límite máximo permisible
Antimonio	mg Sb /L	0.020
Arsénico	mg As/L	0.010
Bario	mg Ba/L	0.700
Boro	mg B/L	1.500
Cloro	mg Cl/L	5.000
Clorato	mg/L	0.700
Cromo total	mg Cr/L	0.050
Flúor	mg F/L	1.000

Mercurio	mg Hg/L	0.001
Níquel	mg Ni/L	0.020
Nitratos	mg NO <sub>3</sub> /L	50.000
Plomo	mg Pb/L	0.010
Selenio	mg Se/L	0.010
Molibdeno	mg Mo/L	0.070
Uranio	mg U/L	0.015

Fuente: Ministerio de Salud - MINSA.

**Tabla 6:** Límites de exposición para el factor de riesgo por exposición e intoxicación por metales pesados y metaloides.

N° CAS	Factor químico	Límites adoptados		Peso Molecular	Notas
		mg/m <sup>3</sup>	mg/m <sup>3</sup>		
7439-97-6	Mercurio elemental y compuestos inorgánicos como Hg	0.025		200.59	vía dérmica, VLB
	Alquil compuestos como Hg	0.01	0.03		vía dérmica
	aril compuestos como Hg	0.1			Vía dérmica

Fuente: (MINSA, 2015)

### 2.1.11. Métodos de análisis de contaminación de aguas con mercurio.

Por la alta contaminación que se genera se vuelve imperativo encontrar adecuados métodos de análisis que permitan un adecuado y exacto conocimiento de los niveles de un metal en el agua en especial si dichas aguas están cerca de zonas de alta actividad industrial y son fuente de suministro del recurso para comunidades aledañas con el fin de determinar la calidad del agua que se consume. Es entonces que técnicas como la absorción atómica, las técnicas fotométricas, electroquímicas entre otras surgen como alternativa para ayudar en la determinación del contenido de metales en el agua (Pabón et al., 2020).



### *a. Espectrometría de Absorción Atómica*

Puede ser una de las técnicas más usadas en el ámbito de la determinación del contenido de metales en una muestra. La técnica de absorción es ampliamente usada para la investigación en laboratorios, así como en la industria alimenticia, investigación ambiental, farmacéutica, y otros sectores. Como tal esta técnica presenta la particularidad de permitir la atomización de la muestra a analizar por medio de tres procesos diferentes los cuales son: espectrometría de absorción atómica por flama (FAAS), por atomización electrotérmica (ETAAS) y por generación de vapores químicos o de hidruros (CVG-AAS). Sin embargo, en la elección de la técnica adecuada entre los factores que afectan: están la naturaleza química del analito y su contenido en el tipo de muestra a analizar, además de la composición de la muestra y su estado físico. Si bien la técnica más usada es la técnica por llama, esta presenta poca sensibilidad respecto a las otras dos y en el caso de los metales pesados los cuales se encuentran generalmente en bajas cantidades de forma natural, la técnica de llama no es la más adecuada (Pabón et al., 2020).

Está la técnica electrotérmica, en la cual se pueden analizar muestras solidas directamente y presenta mayor sensibilidad que la técnica por flama, sin embargo, requiere de una eficiente optimización de la temperatura programada, además de la elección de modificadores químicos adecuados para obtener resultados válidos (PNUMA, 2005).

Finalmente la última técnica es la generación de hidruros o vapores químicos la cual posee gran sensibilidad, trabaja por medio de la formación de hidruros de los metales a analizar los cuales luego son atomizados para su medición, esta técnica se ha visto restringida a cierto grupo de metales que se consideran más difíciles de trabajar en las otras técnicas de absorción atómica como As, Sb, Se, Bi, Cd, Pb entre otros y en el caso del Hg, se desarrolló una técnica derivada de la generación de hidruros la cual se conoce



como vapor frío, la cual es una de las más recomendadas para la determinación de mercurio (Pabón et al., 2020).

#### ***b. Espectrometría de plasma de acoplamiento inductivo***

Como tal esta técnica espectral es un método conjunto, es decir suele ir de la mano con otros métodos como lo son la espectrometría de masas, la espectroscopia de emisión óptica, entre otros. Donde el plasma permite el análisis de los analitos que son ionizados en la flama conocida como el plasma sobre el cual se realiza el análisis a diferentes alturas según el analito, sin embargo, es una técnica que consume en exceso el gas que forma el plasma que generalmente es argón lo cual hace que los usos de técnicas acopladas con plasma tiendan a ser costosas (Pabón et al., 2020).

#### ***c. Técnicas fotométricas.***

No siempre se cuenta con los equipos como para llevar a cabo análisis de alta eficiencia en cuanto al poder de detección de los equipos como por ejemplo con la espectrometría de absorción atómica vista en la sección IV-A, donde se requiere de una inversión de tiempo y costos considerable, es entonces que se usan técnicas más simples como el análisis fotométrico para la determinación de metales pesados en muestras de agua, donde por lo general la prueba consiste en hacer reaccionar los metales en el medio con un agente fotométrico como la ditizona para posteriormente someter el complejo formado a un análisis con un fotómetro a una determinada longitud de onda para darnos una idea del contenido de un metal determinado en la muestra analizada (Pabón et al., 2020).

#### ***d. Técnicas electroquímicas***

Si bien con el tiempo se han desarrollado cada vez más técnicas en el ámbito del análisis de metales pesados a niveles mucho más bajos como los niveles de trazas y ultra-



trazas como se vio en las secciones IV-A, IV-B, IV-C entre otras, una nueva técnica ha surgido que le permite al investigador medir estos metales y consiste en un método espectral de tipo electroquímico. Este método consiste en la combinación de un método electroquímico para un pre-enriquecimiento selectivo junto con un método espectroscópico para lograr el análisis tanto cualitativo como cuantitativo de estos contaminantes. Hasta ahora métodos como la electrodeposición o electro adsorción han sido usados en conjunto con técnicas como la absorción atómica, espectrometría de Raman de superficie mejorada, fluorescencia de rayos X entre otras (Pabón et al., 2020).

#### **2.1.12. Cierre de la mina**

El cierre de minas puede definirse como el conjunto de actividades a ser implementadas a lo largo del ciclo de vida de la mina a fin de cumplir con los criterios ambientales específicos y alcanzar los objetivos sociales deseados después de la etapa de minado. El cierre de minas es un proceso progresivo que empieza en la primera etapa del proyecto con el diseño conceptual y termina sólo cuando se han alcanzado de manera permanente los objetivos específicos de cierre (Ministerio del Ambiente - MINAM, 2006).

#### **2.1.13. Cierre de mina y ocurrencia posterior al cierre**

El cierre de la mina implica la ejecución de los planes de mantenimiento y monitoreo elaborados en las primeras fases, así como la realización de estudios para confirmar que los resultados y los criterios son acordes a los objetivos trazados en el plan de cierre. Las actividades realizadas en esta etapa incluyen:

- Demolición y eliminación de la infraestructura
- Acondicionamiento de los terrenos de explotación restantes
- Supervisión y medición del rendimiento de las actividades de cierre en relación con los estándares y criterios aprobados



- Confinamiento o tratamiento de los residuos mineros (relaves, desmonte, etc.)
- Tratamiento de efluentes
- Monitoreo ambiental
- Comunicación del cierre a las autoridades y las comunidades.

Uno de los principales objetivos del cierre satisfactorio de una mina es garantizar que la salud pública y la seguridad futura de la comunidad no estén en peligro. La fase de cierre de la mina puede también entrañar riesgos crecientes de seguridad para los empleados.

La finalidad del cierre es abandonar la mina en condiciones seguras para el medio ambiente. Para ello, es necesario adoptar medidas que eviten o disminuyan el riesgo de contaminación de los cuerpos de agua (superficiales y subterráneos) o los suelos. Cabe destacar que esas medidas deben garantizar el control del riesgo ambiental a largo plazo, habida cuenta de que las posibles fuentes de contaminación, como los depósitos de relave, permanecen usualmente en el sitio y requieren, por ende, un mantenimiento y monitoreo continuo sin un fin definido. Finalmente, el cierre debe considerar también otros posibles impactos negativos de los componentes mineros abandonados en la fauna, la flora o los ecosistemas del lugar (Rodríguez & Julca, 2020).

La Actualización del Plan de Cierre de Minas de la unidad minera Arasi, indica lo siguiente:

- Cierre Progresivo: Desde el año 2014 al 2017 (cuatro años).
- Cierre Final: Desde el año 2018 al 2019 (dos años).
- Post-Cierre: Desde el año 2020 al 2024 (cinco años).

De acuerdo al Cronograma Aprobado por la Autoridad Certificadora en la renovación del Plan del Cierre de Mina - APCM 2014, al culminar el segundo trimestre



del 2019, el titular minero debió cumplir con realizar sus compromisos ambientales de cierre de sus actividades con la finalidad de garantizar que los impactos ambientales negativos.

Según reporte de OEFA, emite la Resolución Directoral N°1110-2019-OEFA/DFAI del 28 de julio de 2019 y 1181-2019-OEFA/DFAI. Dando a conocer Paralización y cierre de mina. De la unidad minera ARASI S.A.C. de forma inmediata.

#### **2.1.14. Residuos mineros**

Según la Guía ambiental para el manejo de relaves mineros, toda operación minero metalúrgica produce residuos conocidos como residuos mineros; estos residuos, dadas las características de los procesos internos de la operación minero-metalúrgica, pueden presentarse en estado sólido, líquidos, gaseoso o en una combinación de estos (Ministerio del Ambiente - MINAM, 2006).

Luego, se describen aquellos residuos que son producidos en mayor cantidad, estos reciben una denominación de acuerdo con la etapa de la operación en donde son producidos.

##### ***Desmante***

Es un residuo sólido originado en la etapa de extracción, correspondiente a las rocas que no poseen mineral valioso o con un valor económico bajo, pero que son extraídas como parte de la operación para alcanzar zonas que si poseen mineral valioso o como parte del corte de la roca que se realiza durante la extracción del mineral de valor. Normalmente, el desmante está compuesto principalmente por rocas de tamaños entre 10 a 1200 milímetros y con un bajo contenido de humedad. Dadas sus características son depositados en lugares de gran extensión denominados botaderos, en la mayoría de los casos, dispuesto tal y como salen del proceso de extracción minera. El desmante es



acarreado desde la mina y vertido en el botadero formando una estructura de tierra y roca estable (Travezaño, 2021).

Aquellos botaderos deben estar adecuadamente acondicionados para la disposición del desmonte, de manera que este no sean una fuente de contaminación.

### ***Relaves***

Son los residuos generados a partir del procesamiento metalúrgico en la planta de beneficio. El mineral proveniente de la extracción minera es ingresado a la planta, y es triturado y molido hasta un tamaño adecuado para los subsiguientes procesos fisicoquímicos que separan el producto conteniendo la parte valiosa de aquella que no posee valor comercial, esta última conocida como relave. Al no poder ser comercializado, el relave debe ser manejado y almacenado, bajo la responsabilidad de la empresa minera (Ministerio del Ambiente - MINAM, 2006).

### ***Efluentes***

Los efluentes son residuos líquidos con una mínima cantidad de sólidos (generalmente menor al 5% en peso), generados en todas las etapas de la operación minero-metalúrgica. Se forman cuando el agua entra en contacto con material perteneciente a la operación minero-metalúrgica, ya sea mineral, desmonte, concentrado, relave, reactivos, equipos o infraestructura. Esto sucede por las necesidades propias de la operación. Por ejemplo, durante el procesamiento metalúrgico; así como también por medio de la interacción natural de las aguas lluvias, aguas superficiales o subterráneas con áreas dentro de la unidad minera. Se le denomina efluente cuando estas aguas no pueden ser reutilizadas en la operación y tienen que ser vertidas al medio ambiente previo tratamiento (Travezaño, 2021).





El efluente minero puede contener además de sólidos suspendidos, metales disueltos, compuestos orgánicos, reactivos, iones no metálicos y compuestos químicos complejos, cuya presencia depende de las características físico – químicas del agua y de los materiales en contacto implicados (Travezaño, 2021).

## **2.2. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN.**

### **2.2.1. Antecedentes internacionales.**

Según (Mancilla et al., 2011) en su investigación titulada “*Metales pesados totales y arsénico en el agua para riego de Puebla y Veracruz, México*” en el cual, analizó muestras de agua a través del uso de un ICP (“Inductively Coupled Plasma”). El resultado obtenido mostró valores bajos en la concentración de metales pesados en agua para riego agrícola y uso urbano, no así, para el criterio de consumo humano, logrando un resultado, donde el 50.0 % de las muestras tomadas presentaron concentraciones por encima de los límites máximos permisibles para Cd, 20 % para Hg y 2 % para Pb. Los niveles de concentración y dispersión la presentó el As con valores de 0.0 a 0.78 mg L<sup>-1</sup>, mientras que la menor con 0.0 a 0.03 mg L<sup>-1</sup>, fue para el Hg. Las descargas de agua residual hacia los ríos, contaminan gravemente y llevan a sobrepasar los límites permisibles para Cd, Hg y Pb en agua para uso y consumo humano.

### **2.2.2. Antecedentes nacionales.**

Según (Chata, 2015) en su estudio de investigación titulada “*Presencia de metales pesados (Hg, As, Pb y Cd) en agua y leche en la cuenca del río Coata 2015.*” con el objetivo de determinar los niveles de metales pesados (Hg, As, Pb y Cd) en agua y leche de la cuenca del río Coata. El método que se aplicó fue espectrofotometría de absorción atómica-llama, se analizó seis muestras de agua y seis muestras de leche. Como resultado muestra que: las concentraciones de mercurio en agua fueron inferiores a 0.00020mg/l,



en el caso del plomo la concentración promedio fue de 0.014mg/l, ninguno de los metales pesados analizadas en muestras de agua supera los estándares nacionales de calidad ambiental para bebida de animales y riego de vegetales de consumo crudo establecidos por el Ministerio del Ambiente peruano.

(Arce & Calderón, 2018) en su trabajo de investigación denominado “*suelos contaminados con plomo en la Ciudad de La Oroya- Junín y su impacto en las aguas del Río Mantaro*” con el siguiente objetivo de evaluar el contenido de pb en el agua del rio Mantaro, se encontró valores que llegan de más 0.1 mg Pb/L en la zona del depósito de escorias de Huanchan, fundamentalmente después de las lluvia lo que indica que si hay impacto de la contaminación de los suelos frente a la contaminación de fuentes de agua, limitando la vida en este medio acuático ya que el Estándar de Calidad Agua Peruano es de 1 ug Pb/L, tampoco es apta para el riego y bebida de animales.

(OEFA, 2016) “*Informe de Evaluación en la Cuenca Pucara durante el año 2016.*” trabajo realizado con el objetivo de la evaluación ambiental de la cuenca Pucará, para proveer un diagnóstico ambiental, mediante la evaluación de los principales componentes ambientales que podrían estar influenciados por actividades antropogénicas desarrolladas en el ámbito de estudio; dicha evaluación fue realizada durante el año 2016 por la Dirección de Evaluación del OEFA. El ámbito de evaluación comprendió los principales ríos (Azufrini, Pataqueña, Chaquella, Antaymarca, Chacapalca, Ocuvi, Llallimayo, Santa Rosa, Macarimayo, Ayaviri, Pucará) y quebradas (Azufrini, Luchusani, Huarucani, Joillone y Sequeña) de la cuenca Pucará, donde se tomaron muestras de los componentes ambientales: agua, sedimento e hidrobiología, que permitieron evaluar la calidad de los mismos. En los puntos de evaluación, tanto en el río principal, como en los tributarios, las concentraciones de plomo se encuentran dentro de lo establecido en el ECA para agua; a excepción, del punto E-1 3-B, en el cual se registró una concentración de 0,05 mg/L. La



concentración de plomo en el punto E- 1 3-B, podría estar asociado al punto de vertimiento V-1 (efluente industrial tratado procedente del botadero No 1), o a algún otro factor fisicoquímico que haya favorecido su liberación a partir del mineral que lo contiene. El mercurio total se presentó principalmente en los tributarios E-46 (quebrada sin nombre), E-48 (quebrada sin nombre), E-29 (río Ocuvi) y E-22 (río Macarimayo), registrándose concentraciones que varían desde 0,51 hasta 2,05 los cuales incumplen el valor de norma CECG-PEL (0,486 mg/kg MS) y los puntos de monitoreo E-1 2 (río Pataqueña), E-1 8 (río Macarimayo) y E-44 (río Chacapalca) presentan concentraciones entre 0,29 y 0,46 ambos incumplen en valor establecido en la norma canadiense CECG- ISGQ (0,17 mg/kg MS).

(Pacco, 2018) en su tesis de pre grado llamado *“Determinación de metales pesados en leche y pelo de vacas de la cuenca del río Llallimayo - Melgar -Puno.”* determinó la concentración de metales pesados: mercurio, cadmio y plomo, en leche y pelos de vacas alimentadas con pastos regados con aguas del río Llallimayo, provincia de Melgar - Puno. Se colectaron un total de 12 muestras de leche y 12 muestras de pelos, las cuales fueron analizadas en el laboratorio de la Unidad de Servicios de Análisis Químicos (USAQ) Facultad de Ingeniería Química de la Universidad Nacional Mayor de San Marcos. Los promedios de las concentraciones de metales pesados en leche fueron: plomo 0.0256 mg/kg; mercurio 0.0022 mg/kg y cadmio 0.0012 mg/kg de leche, mientras que las concentraciones de metales pesados en pelo fueron: 0.0138mg/kg mercurio, cadmio 0.0098 mg/kg de pelo respectivamente. Los valores encontrados en este estudio indican que la concentración de metales pesados tanto en leche como en pelos de vacas alimentadas con pastos regados con aguas del río Llallimayo superan los límites máximos permisibles.



(Laime, 2019), En su investigación denominada “*Evaluación del cumplimiento del plan cierre de minas en la unidad minera Arasi*” indica que, en el Perú la mayoría de conflictos sociales ambientales activos están relacionados con la minería, según el reporte de conflictos sociales N° 185 de la Defensoría del Pueblo (Julio del 2019), de los 123 conflictos socio ambientales registrados durante el mes de Julio, el 64.2% (79 casos) corresponde a conflictos relacionados a la actividad minera. Este trabajo de investigación presenta la evaluación del cumplimiento del plan cierre de la Unidad Minera Arasi ubicado en la provincia de Lampa distrito de Ocuwiri región Puno, además describe los incumplimientos que influenciaron en el cierre definitivo de la Unidad Minera Arasi, y también realizó un análisis al cronograma de cierre del instrumento de gestión ambiental y a las supervisiones realizadas por los Organismos de Fiscalización Ambiental, se detalla el riesgo ambiental de la demora del cierre de minas.

(Velarde, 2021) en su trabajo de investigación titulada “*Metales pesados en leche de vaca, pasto y agua de la microcuenca del río Llallimayo - Melgar - Puno.*” con el siguiente objetivo: Determina cuantitativamente las concentraciones de metales pesados como cadmio, plomo y mercurio, en agua, pastos y leche de vacas alimentadas a base de pastos naturales y cultivados regados con aguas del río Llallimayo, Melgar, Puno. Se utilizaron un total de 08 muestras de leche, 08 muestras de pasto y 08 muestras de agua que fueron procesados en el laboratorio de la Unidad de Servicios de Análisis Químicos (USAQ) de la Facultad de Química e Ingeniería Química de la Universidad Nacional Mayor de San Marcos - Lima, empleando la técnica absorción atómica con horno de grafito. Los resultados del nivel de plomo reflejan de 0.0199 mg de Pb/Lt de leche, 0.0746 mg/kg de pasto y 0.0880 mg/Lt de agua ( $P > 0.05$ ), y los de mercurio en la leche de vaca fueron de 0.0026 mg/Lt de leche, 0.0021 mg/kg de pasto y 0.0017 mg/Lt de agua ( $P > 0.05$ ). Los niveles de metales pesados encontrados en la leche de vaca, agua y pastos



regados con aguas de la cuenca del río Llallimayo no superan los límites máximos permisibles, a excepción de los niveles de plomo.

(Juárez, 2020), en su trabajo de investigación evaluó el riesgo ambiental del relave minero – metalúrgico de la planta de beneficio Tiquillaca, UNA –Puno. Indica que los relaves mineros sin un sistema de gestión ni un plan de contingencia tienen potencial de causar daño al medio ambiente, como el resultado del análisis de metales pesados y metaloide (As), indicaron valores altos en ppm de (As), 474.74; 177.72; 306.99 y 203.54; (Cd), 120.29; 31.96; 36.56 y 114.11; (Cr), 16.83; 11.99; 55.88 y 41.69; (Cu), 495.4; 238.8; 1449 y 1815; (Pb), 7636; 2446; 10000 y 10000; (Zn), 8791; 3556; 5377 y 9185, cabe resaltar que de estos elementos mencionados se rescatan al Cu, Fe, Pb y Zn como elementos de interés económico, los mismos que son elementos con potencial de causar daño, por su toxicidad, al medio ambiente y la salud humana, teniendo dos impactos significativos negativos: Modificación de la calidad del agua por erosión del relave y modificación de la calidad del agua por el incremento de metales pesados en su concentración así como un impacto negativo moderado relevante: modificación de la calidad del aire por dispersión de metales pesados producidos por condiciones climáticas. Llegando a una conclusión que se tiene un riesgo ambiental por el relave del CIP Tiquillaca como pasivo ambiental en estado inactivo; obteniendo como resultado en base a los ya mencionados dos impactos significativos negativos y un impacto negativo moderado relevante; un 74.67% de riesgo ambiental en el entorno humano, 57.33% de riesgo ambiental en el entorno natural y 40.00% para el entorno socioeconómico, teniendo como promedio aritmético 57.33% de riesgo ambiental.

(Menéndez & Muñoz, 2021) en el trabajo de investigación titulada “*contaminación de agua y suelo por relaves mineros*” indica que, la actividad económica se basa principalmente en la explotación de los minerales, siendo exclusivos el oro y el uranio. En



dichas actividades mineras es imposible la degradación de los desechos provenientes de los relaves, los mismos que contaminan los suelos, aguas superficiales, subterráneas y por ende en los ecosistemas tanto terrestres, como marinos y sus productos a consumir, como los peces y productos agrícolas, en detrimento de la salud de las poblaciones aledañas a las mineras. La presencia de elementos químicos y su alta toxicidad de sus componentes agrava su peligrosidad y su potencial como generador de impactos contaminantes en la salud de las personas y que sufran alteraciones altamente nocivas. La conclusión es que, los relaves mineros y el impacto medioambiental ante un proyecto de minería es inevitable, sobre todo en la degradación de los suelos, aguas superficiales, subterráneas y el aire. Esta contaminación provoca la presencia de elementos, minerales y metaloides, que originan perturbaciones en los modos de vida de las poblaciones humanas. Es necesaria la promulgación de las normas que puedan regular e impedir que la contaminación de los relaves siga afectando a la población y al medio ambiente.

## CAPÍTULO III

### MATERIALES Y MÉTODOS

#### 3.1. UBICACIÓN DEL LUGAR DE ESTUDIO

El trabajo de investigación se ejecutó en la cuenca del río Llallimayo, en las zonas de: Jatun Ayllu (punto - 1), Pukachupa (punto - 2), Koripuna (punto - 3), Llalli (punto - 4) y Chuquibambilla (punto - 5) pertenecientes a los distritos de Ocuvi-Lampa, Llalli-Melgar, y Umachiri-Melgar - Región Puno; que están ubicados a una altitud de 3970 m.s.n.m. El proceso de monitoreo de la cuenca se realizó en el mes de diciembre del 2020, con la finalidad de ubicación de los puntos de muestreo.

Los análisis de las muestras de agua se realizaron en el laboratorio Unidad de Servicios de Análisis Químicos - Universidad Nacional Mayor de San Marcos – Lima.

#### 3.2. MATERIAL DE ESTUDIO.

La cantidad de muestras a recolectarse se ha obtenido a través del muestreo no probabilístico por conveniencia; con lo que se cuantificó los niveles de contaminación de plomo y mercurio en agua del río de la cuenca Llallimayo, y la distribución de puntos de muestreo fue como se detalla en la siguiente tabla N° 5:

**Tabla 7: Distribución de muestras del agua de la cuenca Llallimayo - Melgar.**

Zonas de muestreo	Puntos de muestreo	Distrito	Provincia	MUESTRA DEL AGUA		Total, de Análisis
				Plomo	Mercurio	
Jatun Ayllu (pendiente)	Punto 1	Ocuvi	Lampa	5	5	10
Pukachupa (pendiente)	Punto 2	Ocuvi	Lampa	5	5	10
Koripuna (Planicie)	Punto 3	Ocuvi	Lampa	5	5	10
Llalli(Planicie)	Punto 4	Llalli	Melgar	5	5	10
Chuquibambilla (Planicie)	Punto 5	Umachiri	Melgar	5	5	10
<b>Total</b>				<b>25</b>	<b>25</b>	<b>50</b>



### **3.3. METODOLOGÍA**

#### **3.3.1. Recolección de muestras**

- El reconocimiento de la cuenca para definir los puntos de muestreo
- Se ubicó cinco puntos de recolección de muestras.
- Se colectó 5 muestras de agua en cada punto.
- Se juntó un total de 25 muestras envasados en frascos estériles de polietileno de 500 ml, rotulados con la identificación respectiva; estas fueron embalados con conservantes de hielo en una caja de Tecnopor.
- Las muestras fueron trasladados al laboratorio de la Unidad de Servicios de Análisis Químicos - Universidad Nacional Mayor de San Marcos – Lima, para el análisis mediante técnica de espectrofotometría de absorción atómica con horno de grafito, con el equipo de marca SHIMADZU AA-7000.

#### **3.3.2. Fundamento de la prueba “Espectrofotometría de absorción atómica por la técnica del horno de grafito”.**

Según (Beaty & Kerber, 2007) manifiesta que, es una de las formas de EAA de mayor sensibilidad (permite detectar concentraciones hasta 1000 inferiores que las detectables con llama), siendo por tanto muy útil en el análisis de ultra-trazas. Otra gran ventaja es que se requiere muy poca cantidad de muestra (pocos microlitros, normalmente).

La energía requerida para la atomización es obtenida aplicando una diferencia de potencial eléctrico a través de un tubo de grafito dentro del cual ha sido colocada la muestra. El tubo está alineado con la luz procedente de la lámpara espectral. Así, el vapor atómico generado por la muestra cuando el horno está encendido, absorberá luz proveniente de la lámpara del elemento a determinar. En este caso, la señal de absorción es transitoria, en forma de pico, de tal modo que se eleva la concentración y





posteriormente cae a medida que los átomos difunden fuera del horno. En el proceso de atomización existen 4 etapas esenciales:

- **Secado:** permite eliminar el disolvente o diluyente.
- **Mineralización o Calcinación:** destruye la matriz orgánica.
- **Atomización:** consigue llevar los átomos al estado fundamental.
- **Barrido o limpieza:** elimina los restos que puedan quedar en el tubo.

### 3.3.3. Cuantificación del plomo total por espectrofotometría de absorción atómica por la técnica de horno de grafito.

#### *Materiales:*

- Fiolas de 10 mL y 100 mL clase A
- Pipetas de 5 mL y 10 mL clase A
- Probetas de 100 mL
- Vasos de 150 mL
- Lunas de reloj

#### *Equipos:*

- Equipo de absorción atómica SHIMADZU AA-7000
- Computadora
- Balón de Aire acetileno, 99.999% de pureza

#### *Reactivos:*

- El estándar certificado de plomo de 1000 mg/L
- Ácido nítrico, HNO<sub>3</sub>, concentrado ultrapuro, con contenido de 0.07 x 10<sup>-1</sup> µg/L de plomo, para preparación de estándares.



- Ácido nítrico,  $\text{HNO}_3$ , concentrado para análisis de trazas, con contenido de 0.7  $\mu\text{g/L}$  de plomo, para la digestión de las muestras.
- Diluyente, Ácido nítrico, 0.2 %: Medir 2 mL de ácido nítrico concentrado ultrapuro y diluir en una fiola de 1 litro, enrasar a la marca con agua ultrapura.
- Ácido perclórico al 70%.

***Procedimiento:***

La muestra se homogeniza mecánicamente, luego se procede a pesar 5 g de muestra en un vaso de precipitado, para someterlo a una digestión ácida con 5 ml de  $\text{HNO}_3$  (CC) (1:1) sobre una plancha térmica a una temperatura de 700C (calentamiento moderado para evitar evaporación total del ácido). Agitar el vaso de precipitado conteniendo la muestra constantemente para eliminar totalmente los vapores nitrosos y llevar hasta sequedad, luego se agrega 2 ml de  $\text{HClO}_4$  y llevar a sequedad. Finalmente se deja enfriar, se agrega agua destilada hasta disolver el contenido del vaso y se transfiere a una fiola de 50 mL y se enrasa con la solución diluyente. (Laboratorio de Unidad de Servicios de Análisis Químicos – UNMSM-Lima, 2020).

**3.3.4 Determinación de mercurio total por espectrofotometría de absorción atómica por la técnica de horno de grafito.**

***Materiales:***

- Fiolas de 10 mL y 100 mL clase A
- Pipetas de 5 mL y 10 mL clase A
- Probetas de 100 mL
- Vasos de 150 mL
- Lunas de reloj

***Equipos:***



- Equipo de absorción atómica SHIMADZU AA-7000
- Computadora
- Plancha térmica
- Balón de Aire acetileno, 99.999% de pureza.

***Reactivos:***

- Estándar certificado de mercurio de 1000 mg/L
- Ácido nítrico, HNO<sub>3</sub>, concentrado ultrapuro, con contenido de 0.07 x 10<sup>-1</sup> µg/L de mercurio, para preparación de estándares.
- Ácido nítrico, HNO<sub>3</sub>, concentrado para análisis de trazas, con contenido de 0.7 µg/L de mercurio, para la digestión de las muestras.
- Diluyente, Ácido nítrico, 0.2 %: Medir 2 mL de ácido nítrico concentrado ultrapuro y diluir en una fiola de 1 litro, enrasar a la marca con agua ultrapura.
- Ácido perclórico al 70%.

***Procedimiento:***

La muestra se homogeniza mecánicamente, luego se procede a pesar 5 g de muestra en un vaso de precipitado, para someterlo a una digestión ácida con 5 ml de HNO<sub>3</sub> (CC) (1:1) sobre una plancha térmica a una temperatura de 700C (calentamiento moderado para evitar evaporación total del ácido). Agitar el vaso de precipitado conteniendo la muestra constantemente para eliminar totalmente los vapores nitrosos y llevar hasta sequedad, luego se agregó 2 mL de HClO<sub>4</sub> y llevar a sequedad. Finalmente se deja enfriar, se agrega agua destilada hasta disolver el contenido del vaso y se transfiere a una fiola de 50mL y se enrasa con la solución diluyente (Unidad de Servicios de Análisis Químicos – UNMSM-Lima, 2020).



### 3.3.5. Análisis estadístico

Los datos generados del laboratorio fueron procesadas en la hoja Excel del Microsoft Excel y analizada mediante la prueba estadística F (Anexos), en un diseño completo al azar, y cuyo modelo aditivo lineal el siguiente:

$$Y_{ij} = \mu + Z_i + E_{ij}$$

Donde:

$Y_{ij}$  = Variable Respuesta

$\mu$  = Media Poblacional

$Z_i$  = Efecto del i-esimo tratamiento (Puntos de muestreo)

$E_{ij}$  = Error Experimental.

Los promedios se contrastaron mediante la prueba múltiple de significación de Duncan al  $\alpha = 0.05$ .

## CAPÍTULO IV

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 4.1. NIVELES DE PLOMO

Según ANVA (anexo A), muestra que, se encontró diferencias estadísticas significativas en la variación de los niveles de plomo en el agua del río Llallimayo en el proceso de cierre de la mina ARASI S.A.C., según los puntos de muestreo ( $P < 0.05$ ) (diferencia entre promedios); las diferencias entre puntos se detallan en la siguiente tabla:

**Tabla 8:** Concentración de plomo (mg/Lt) en aguas de río de la cuenca Llallimayo - Melgar.

ZONAS	PUNTOS DE MUESTREO	N° DE MUESTRAS	PROMEDIO	D.S.	VALORES EXTREMOS
Pukachupa (con pendiente)	Punto 2	5	1.918 <sup>a</sup>	0.350	1.56 - 2.40
Koripuna (con pendiente)	Punto 3	5	1.486 <sup>ab</sup>	1.280	0.13 - 3.20
Hatun ayllu (planicie)	Punto 1	5	1.416 <sup>ab</sup>	0.530	0.83 - 2.08
Llalli (planicie)	Punto 4	5	1.124 <sup>ab</sup>	0.290	0.89 - 1.60
Chuquibambilla (planicie)	Punto 5	5	0.540 <sup>b</sup>	0.380	0.18 - 1.0

a y b Letras diferentes indican que hay diferencias significativas ( $P \leq 0.05$ ), D.S.= desviación estándar

La tabla 6, muestra la concentración de plomo en el agua del río de la cuenca Llallimayo en el proceso de cierre de la mina ARASI S.A.C., en donde el punto 2 refleja valores de 1.918 mg de Pb/lit de agua, punto 3, 1.486 mg de Pb/lit de agua, punto 1, 1.416 mg de Pb/lit de agua, y el punto 4, 1.124 mg de Pb/lit de agua, que se asemejan estadísticamente, pero se nota la superioridad de estos sobre el punto 5, que refleja 0.540 mg de Pb/lit de agua; estos indicadores reflejan diferencias significativas a la prueba estadística ( $P < 0.05$ ). Esta variación se debe al comportamiento del flujo que, el agua del río, en algunos lugares ocurre el estancamiento, debido a que existen zonas como: Jatun Ayllu y Pukachupa muestran pendiente, por otro lado, Koripuna, Llalli y Chuquibambilla



demuestran planicies con inclinaciones de diferente proporción, lo que respaldaría a la variación de niveles de plomo.

Los valores de plomo (pb) encontrados en el agua del río Llallimayo en el proceso de cierre de la mina ARASI S.A.C., superan ampliamente los límites máximos permisibles de plomo reportados por (MINSA, 2010) que es de 0.010 mg/litro de agua; lo que evidencia un gravísimo factor de riesgo para la salud pública. Asimismo superan los reportes de Arce & Calderón, (2018) quien encuentra niveles mayores a 0.1 mg Pb/litro de agua en el río Mantaro, con lo que manifiesta no apto para el consumo humano, riego y agua de bebida de animales. Asimismo, Bianchini & Grassi, (2018), registran valores como 0.035 mg Pb/litro de agua en aguas del río San Juan - Pasco; como podemos apreciar los reportes de diferentes ámbitos, donde la actividad minera contamina el ambiente. Por lo tanto, en el proceso de la actividad minera y/o cierre de mina hay acumulación de desechos provenientes de los relaves, los mismos que contaminan los suelos, aguas superficiales, subterráneas; donde la calidad de agua está por encima de límites máximos permisibles y, por ende, que es un factor de riesgo para la salud pública

Autores como Velarde, (2021) encontró valores de 0.0880 mg de Pb/Litro de agua, en la cabecera de cuenca Llallimayo y Pacco, (2018), encuentra 0.0256 mg/kg de plomo en leche de vacas que pastoreaban en pastos cultivados regados con el agua del río Llallimayo; siendo evidencias válidas para afirmar que es consecuencia directa de la actividad minera Arasi SAC, que se muestra ya en la cadena trófica de la zona. En síntesis, el grado de contaminación en la Cuenca Llallimayo se ha tipificado como contaminado debido a que sobrepasan límites máximos permisibles (LMPs) de las Estándares de Calidad Ambiental (ECAS). A esto coadyuva Juárez, (2020), mencionado que, los relaves



mineros son elementos con potencial de causar daño, por su toxicidad, al medio ambiente y la salud pública. Ya que, el objetivo del cierre de mina es dejar la mina en condiciones seguras para el medio ambiente; para lo cual, implica la ejecución de los planes de mantenimiento y monitoreo elaborados en el año 2014 (aprobación de plan de cierre de minas – ARASI S.A.C.).

Además, se evidencia que pese a la implementación de ciertas medidas de mitigación de la contaminación por desechos mineros, Bianchini & Grassi, (2018) demuestran que la presencia de lluvias juega un papel importante pues permite que los metales pesados alcancen los cursos del agua y lleguen hasta los ríos, que muchas veces son fuente de agua para plantas de tratamiento del agua potable, riego agrícola, etc., esto también se evidencia en el informe final, producto de la evaluación ambiental de la cuenca Pucara (OEFA, 2016) tras lo cual concluye, tanto en el río principal, como en los tributarios, las concentraciones de plomo en el agua se encuentran dentro de lo establecido en el ECA; a excepción, del punto E-1 3-B, en el cual se registró una concentración de 0,05 mg/L, valor que está por encima de lo establecido en normas internacionales. La concentración de plomo en el punto E- 1 3-B, podría estar asociado al punto de vertimiento V-1 (efluente industrial tratado procedente del botadero No 1), o a algún otro factor fisicoquímico (lluvia) que haya favorecido su liberación a partir del mineral que lo contiene”; estos hallazgos cobran gran importancia en nuestra región puesto que hay importantes cantidades de precipitaciones en la época lluviosa (diciembre – marzo).

Podemos referir también, a lo que indica Rodríguez & Julca, (2020), manifestando las posibles fuentes de contaminación, como los depósitos de relave, permanecen usualmente en el sitio y requieren, un mantenimiento y monitoreo continuo; y el cierre de

mina debe considerar también otros posibles impactos negativos de los componentes mineros abandonados en la fauna, la flora o los ecosistemas del lugar. Y (Travezaño, 2021), menciona que los relaves mineros sin ningún plan de contingencia causa daño al medio ambiente, y como resultado de los análisis de metales pesados y metaloide (As), indica que los valores son altos en ppm de (As) 474.74; (Cd) 120.29; (Cr) 16.83; (Cu) 495.4; (Pb) 7636; (Zn), 8791; y resalta que, de estos elementos mencionados, se rescatan al Cu, Fe, Pb y Zn como elementos de interés económico, los mismos que son elementos con potencial de causar daño, por su toxicidad, al medio ambiente y la salud pública.

#### 4.2. NIVELES DE MERCURIO

Según ANVA (anexo A), se evidencia que existe diferencias estadísticas significativas en la variación de los niveles de mercurio en el agua del río Llallimayo durante el periodo del cierre de la mina ARASI S.A.C., según los puntos de muestreo ( $P < 0.05$ ) (diferencia entre promedios); tales diferencias se presentan en la siguiente tabla:

**Tabla 9: Concentración de mercurio en aguas del río de la cuenca Llallimayo.**

Zonas	PUNTOS DE MUESTREO	N	PROMEDIO	D.S.	V. E.
Pukachupa ( <i>con pendiente</i> )	Punto 2	5	0.2640 <sup>a</sup>	0.105	0.12 – 0.40
Llalli ( <i>planicie</i> )	Punto 4	5	0.2600 <sup>a</sup>	0.074	0.14 – 0.33
Hatun ayllu ( <i>con pendiente</i> )	Punto 1	5	0.1860 <sup>ab</sup>	0.087	0.098 – 0.30
Chuquibambilla ( <i>planicie</i> )	Punto 5	5	0.1420 <sup>b</sup>	0.065	0.062 – 0.22
Koripuna ( <i>planicie</i> )	Punto 3	5	0.1360 <sup>c</sup>	0.024	0.11 – 0.17

a y b Letras diferentes indican que hay diferencias significativas ( $P \leq 0.05$ ), D.S.= desviación estándar V.E. = valores extremos

La tabla 7, muestra concentraciones de mercurio en el agua del río Llallimayo en el proceso de cierre de la mina ARASI S.A.C.; en donde el punto 2, 4 y 1 expresan valores de 0.2640, 0.2600 y 0.1860mg de Hg/lit de agua, respectivamente; estos superan a los puntos 5 y 3 que registran 0.1420 y 0.1360 mg de Hg /lit de agua; estos dos últimos son inferiores a los 3 puntos anteriores; los mismos muestran diferencias estadísticas significativas ( $P < 0.05$ ). Estas diferencias posiblemente se deba al comportamiento del





trayecto por lo que el agua del río transcurre en diversas direcciones o confluyen hasta el río Chuquibambilla; además ocurre el estancamiento en ciertos lugares que presenta zonas planicies tales como: Koripuna, (punto 3), Llalli (punto 4) y Chuquibambilla (punto 5), de ahí el flujo de aguas es lento o rápido, que contribuiría en la concentración de niveles de mercurio; como se puede apreciar, que estos valores sobrepasan los límites máximos permisibles de parámetros químicos inorgánicos en agua de bebida que es de 0.001 mg/l de agua según normas internacionales de OMS (MINSA, 2015).

Los valores encontrados en el presente estudio son superiores al reporte de Pacco, (2017) quién realizó en la misma cuenca Llallimayo, y registra 0.0022 mg de Hg/kg de leche; y 0.0138 mg de Hg/kg de pelo de la vaca. Similar estudio realizó, Velarde, (2018), que registra 0.0026 mg de Hg/Lt de leche, 0.0021 mg de Hg/kg de pasto y 0.0017 mg de Hg/Lt de agua; estos últimos valores se encuentran por debajo de los límites máximos permisibles. Diferencia que podría deberse al periodo de muestreo por efecto época, ya que el riego solamente se utiliza desde el mes de Julio a diciembre, que es época de estiaje, y el pasto es consumido por los animales en forma permanente; con lo que se encontraría bajos niveles. Además, en el estudio el tipo de muestra que es el agua concentra niveles mayores; que la leche y pasto son muestras indirectas, lo que reflejaría la diferencia.

Según Laime, (2019), evalúa el cumplimiento del plan cierre de la mina ARASI S.A.C; en el que, describe que la minera incumple lo establecido durante el proceso de cierre definitivo, y finalmente realiza un análisis del cronograma de cierre del instrumento de gestión ambiental y a las supervisiones realizadas por los Organismos de Fiscalización Ambiental, llega a una conclusión que existe riesgo ambiental por demora de cierre de la mina. Hasta el momento los niveles de metales en estudio sobrepasan los Límites



Máximos Permisibles, la cual indica que continua la contaminación en la cuenca Llallimayo afectando los pastos cultivados y forrajeros mediante canales de irrigación como son Canal “N” (Cupi), Canal Sora-Umasi (Umachiri), Canal centro Paylla y Miraflores (Umachiri), Canal Llalli (Llalli).

Los resultados encontrados también se atribuyen a lo que, manifiestan Menéndez & Muñoz, (2021), quienes indican que, los relaves mineros y el impacto medioambiental ante un proyecto de minería es inevitable, sobre todo en la degradación de los suelos, aguas superficiales, subterráneas y el aire. Esta contaminación provoca la presencia de elementos, minerales y metaloides, que originan perturbaciones a la salud pública. Por lo que, es necesario la promulgación de las normas que puedan regular e impedir que la contaminación de los relaves siga afectando a la población y al medio ambiente. Asimismo contribuiría el Ministerio de Salud Chile, 2014; PNUMA, (2005), indicando que, el Hg o azogue es un metal líquido blanco plateado, volátil a temperatura ambiente debido, a su alta presión de vapor, convirtiéndolo en un contaminante óptimo 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.



## V. CONCLUSIONES

La concentración de los niveles de plomo en el agua del río de la cuenca Llallimayo en el proceso de cierre de la mina ARASI S.A.C.-Región Puno, aún concentra valores superiores a los límites máximos permisibles según estándares internacionales de OMS y MINSA

El agua del río de la cuenca Llallimayo en el proceso de cierre de la mina ARASI S.A.C. Región Puno, posee valores de 0.260 a 0.1862 mg de Hg/litro de agua, y estos superan los límites máximos permisibles según estándares internacionales de OMS y MINSA.



## VI. RECOMENDACIONES

Las conclusiones indican que en el río de la cuenca Llallimayo se debe implementarse el proceso de vigilancia durante y post cierre de la Mina Arasi SAC.

Realizar supervisión semestral por parte de instituciones del estado, a través del Ministerio de Energía y Minas de la región Puno y OEFA, para el cumplimiento de los compromisos.



## VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alvarez, J., Sotero, V., Brack, A., & Ipenza, C. (2011). Minería aurífera en Madre de Dios y contaminación con mercurio: Una bomba de tiempo. In *Ministerio Del Ambiente*.
- ANA. (2012). Monitoreo de la calidad de agua superficial de los ríos Llallimayo, Santa Rosa, Ayaviri y Pucara. In *Dirección de Gestión de la Calidad de los Recursos Hídricos - Autoridad Nacional del Agua*.  
<http://siar.minam.gob.pe/puno/sites/default/files/archivos/public/docs/164.pdf>
- Apaza, M. Y. (2020). *Ley remediación Llallimayo 2020 Peru.pdf* (pp. 1–4).
- Arce, S., & Calderón, M. (2018). Suelos contaminados con plomo en la Ciudad de La Oroya-Junín y su impacto en las aguas del Río Mantaro. *Revista Del Instituto de Investigación de La Facultad de Ingeniería Geológica, Minera, Metalúrgica y Geográfica*, 20(40), 48–55.
- Atajo, J. M. (2019). Calidad del agua de la irrigación canal N del río Llallimayo para uso agrícola distrito Cupi - Melgar 2018. *Universidad Privada San Carlos-Puno*, 1, 1–201.  
[http://repositorio.upsc.edu.pe/bitstream/handle/UPSC/4399/Ronald\\_Baroni\\_CHEC\\_ALLA\\_CARBAJAL.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://repositorio.upsc.edu.pe/bitstream/handle/UPSC/4399/Ronald_Baroni_CHEC_ALLA_CARBAJAL.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Azcona, M., Ramirez, R., Ayala, G., & Flores, V. (2015). Efectos tóxicos del Plomo. *Revista de Especialidades Médicas Quirúrgicas*, 20, 72–77. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(00\)49863-6](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(00)49863-6)
- Beaty, R., & Kerber, J. (2007). Concepts, Instrumentation and Techniques in Atomic Absorption Spectrophotometry. In *North*.
- Belaire, C. A. C., & Jacobs, F. B. (2017). Tratamiento de aguas contaminadas con Plomo (II) mediante una técnica en continuo de bioadsorción en columna de corcho. *Publicaciones Universidad Autónoma de Barcelona*, Ii, 98.  
<http://zaguan.unizar.es/TAZ/EUCS/2014/14180/TAZ-TFG-2014-408.pdf>
- Bianchini, F., & Grassi, L. (2018). *Biomonitoreo de Metales en Niños y Niñas del Centro Poblado de Paragsha Cerro de Pasco - Perú*.  
<http://www.laborpascoperu.org.pe/images/adjuntos/Estudios Cerro de Pasco.pdf>



- Chata, A. (2015). Presencia de metales pesados (Hg, As, Pb y Cd) en agua y leche en la cuenca del río Coata 2015. In *Universidad Nacional del Altiplano*. [http://repositorio.unap.edu.pe/bitstream/handle/UNAP/1930/Chata\\_Quenta\\_Ayde.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://repositorio.unap.edu.pe/bitstream/handle/UNAP/1930/Chata_Quenta_Ayde.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Condori, W. (2019). Efecto del cambio de uso del suelo sobre la producción de agua y sedimentos en la subcuenca del río Llallimayo - Melgar - Puno. In *file:///D:/TESIS DAVID/NTP Norma Tecnica Peruana Calidad AGUA.pdfRepositorio Tesis Universidad Andina Nestor Caceres Velazquez*.
- FIDH. (2013). *Complejo Metalurgico de La Oroya: Donde la inversion se protege por encima de los derechos humanos* (Issue 602).
- Fontana, D., Lascano, V. M., Solá, N., Martínez, S., Virgolini, M., & Mazzieri, M. R. (2013). Intoxicación por plomo y su tratamiento farmacológico. *Revista de Salud Pública*, 17(1), 49–59. <https://doi.org/10.31052/1853.1180.v17.n1.6823>
- Juárez, B. (2020). Evaluación De Riesgo Ambiental Del Relave Minero- Metalúrgico De La Planta De Beneficio Tiquillaca, Una - Puno Tesis [Universidad Nacional del Altiplano - Puno]. In *Tesis* (Issue 051). [http://repositorio.unap.edu.pe/bitstream/handle/UNAP/14563/Juarez\\_Chahuara\\_Bryan\\_Raul.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://repositorio.unap.edu.pe/bitstream/handle/UNAP/14563/Juarez_Chahuara_Bryan_Raul.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Laime, J. (2019). *Evaluacion del cumplimiento del plan de cierre de minas de la unidad minera Arasi* (Issue 051). Universidad Nacional del Altiplano - Puno.
- Londoño, L. F., Londoño Muñoz, P. T., & Muñoz Garcia, F. G. (2016). Los riesgos de los metales pesados en la salud humana y animal. *Biotechnología En El Sector Agropecuario y Agroindustrial*, 14(2), 145. [https://doi.org/10.18684/bsaa\(14\)145-153](https://doi.org/10.18684/bsaa(14)145-153)
- Loza, A. L., & Ccancapa, Y. (2020). Mercury in a high altitude andes stream with strong impact by artisanal aurifer mining (La Rinconada, Puno, Peru). *Revista Internacional de Contaminacion Ambiental*, 36(1), 33–44. <https://doi.org/10.20937/RICA.2020.36.53317>
- Mancilla, H. M., Ramírez-Ayala, C., Uscanga-Mortera, E., Ramos-Bello, R., & Reyes-Ortigoza, Amada Lauraila, Ó. R. (2011). Metales pesados totales y arsénico en el agua para riego de Puebla y Veracruz, México. *Revista Internacional de*



*Contaminacion Ambiental*, 28(1), 39–48.

- Martínez, X. (2004). El mercurio como contaminante global: Desarrollo de metodologías para su determinación en suelos contaminados y estrategias para la reducción de su liberación al medio ambiente. *Universitat Autònoma de Barcelona*, 0, 246. <https://www.tdx.cat/bitstream/handle/10803/3174/xgm1de1.pdf>
- Menéndez, J., & Muñoz, S. (2021). Contaminación del agua y suelo por los relaves mineros. *Paideia*, 11, 2519–5700. <https://doi.org/10.31381/paideia.v11i1.3622>
- MINAM. (2019). *Puno: Mesa de trabajo para el abordaje de la problemática socio ambiental - Cuenca LLallimayo*. [https://www.minam.gob.pe/oficina-general-de-asuntos-socio-ambientales/wp-content/uploads/sites/49/2019/05/MINISITE\\_MARZO19.pdf](https://www.minam.gob.pe/oficina-general-de-asuntos-socio-ambientales/wp-content/uploads/sites/49/2019/05/MINISITE_MARZO19.pdf)
- Ministerio de Salud Chile. (2014). Guía Clínica: Vigilancia Biológica De La Población Expuesta a Mercurio, Beneficiario De La Ley 20.590. In *Publicaciones MINSAL Chile*. [http://web.minsal.cl/sites/default/files/files/Guia\\_Clinica\\_Vigilancia\\_Mercurio\\_final.pdf](http://web.minsal.cl/sites/default/files/files/Guia_Clinica_Vigilancia_Mercurio_final.pdf)
- Ministerio del Ambiente - MINAM. (2006). Guía para la Elaboración de Planes de Cierre de Minas. In *Guía Para La Elaboración De Planes De Cierre De Minas: Vol. Primera Ed.* [http://www.minem.gob.pe/minem/archivos/file/DGAAM/guias/guia\\_cierre.pdf](http://www.minem.gob.pe/minem/archivos/file/DGAAM/guias/guia_cierre.pdf)
- MINSA. (2010). Reglamento de la Calidad del Agua para Consumo Humano DS N ° 031-2010-SA . Dirección General de Salud Ambiental Ministerio de Salud Lima – Perú. In *Dirección General de Salud Ambiental - Ministerio de Salud*. <http://bvs.minsa.gob.pe/local/MINSA/1590.pdf>
- MINSA. (2015). Norma Técnica de Salud que establece la vigilancia epidemiológica en salud pública de factores de riesgo por exposición e intoxicación por metales pesados y metaloides. *Nts N° 111-2014-Minsa/Dge-V.01*, 52. <http://bvs.minsa.gob.pe/local/MINSA/3477.pdf>
- Nureña, B., & Padilla, S. E. (2013). Efecto ecotoxicológico del plomo sobre la germinación y crecimiento radicular de *Raphanus sativus* y *Beta vulgaris* en condiciones de laboratorio. *Sciéndo*, 16(1), 28–36.



- OEFA. (2016). Informe de Evaluación en la Cuenca Pucara durante el año 2016. In *Publicaciones OEFA -Ministerio del Ambiente*.  
[http://visorsig.oeffa.gob.pe/datos\\_DE/PM0203/PM020302/01/IF/IF\\_0100-2016-OEFA-DE-SDLB-CEAI.pdf](http://visorsig.oeffa.gob.pe/datos_DE/PM0203/PM020302/01/IF/IF_0100-2016-OEFA-DE-SDLB-CEAI.pdf)
- OEFA. (2017). *Informe 077 - 2017- OEFA*. 23.
- Osores, F., Grandez, J., & Fernandez, J. (2010). Mercurio y Salud en Madre de Dios, Perú. *Acta Médica Peruana*, 27(4), 310–314.
- Osores, F., Rojas, E., & Manrique, E. (2012). Minería informal e ilegal y contaminación con mercurio en Madre de Dios: un problema de salud pública. *Acta Médica Peruana*, 29(1), 38–42.
- Pabón, S., Benítez, R., Sarria, R., & Gallo, J. (2020). Contaminación del agua por metales pesados, métodos de análisis y tecnologías de remoción. Una Revisión. *Entre Ciencia e Ingeniería*, 14(27), 9–18.  
[http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1909-83672020000100009&lng=en&nrm=iso&tlng=es](http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1909-83672020000100009&lng=en&nrm=iso&tlng=es)
- Pacco, D. (2018). Determinacion de metales pesados en leche y pelo de vacas de la cuenca del rio Llallimayo - Melgar -Puno. *Tesis*.
- PNUMA. (2005). Evaluación mundial sobre el mercurio. *Panorama PNUMA ONU*, 1–303.
- Posada, M., & Arroyave, M. (2006). Efectos del mercurio sobre algunas plantas acuáticas tropicales. *Revista EIA*, 6, 57–67. <https://doi.org/10.24050/reia.v3i6.159>
- Rangel, R. (2017). Metales Toxicos en Alimentos. *Revista Del Instituto Nacional de Higiene*, 48, 6–8.
- Rodríguez, C., & Julca, D. (2020). Gestión del cierre de minas en el Peru. In *Estudio técnico-legal sobre el alcance de la legislación peruana en el cierre de operaciones mineras*.
- Travezaño, K. (2021). *Servicio de Análisis Integral de Relaves y Efluentes en el Perú*. Universidad ESAN.
- Velarde, J. (2021). *Determinación de metales pesados en leche de vaca, pasto y agua de la microcuenca del rio Llallimayo - Melgar - Puno*.





## ANEXOS



## ANEXO A

### PLOMO

Nueva tabla : 11/01/2021 - 9:15:27 a. m. - [Versión : 30/04/2020]

#### Promedios resumen

TRAT	Variable	n	Media	D.E.	Mín	Máx
PUNTO 1	PLOMO	5	1.42	0.53	0.83	2.08
PUNTO 2	PLOMO	5	1.92	0.35	1.56	2.40
PUNTO 3	PLOMO	5	1.49	1.28	0.13	3.20
PUNTO 4	PLOMO	5	1.12	0.29	0.89	1.60
PUNTO 5	PLOMO	5	0.54	0.38	0.18	1.10

Nueva tabla : 11/01/2021 - 9:09:01 a. m. - [Versión : 30/04/2020]

#### ANVA PARA PLOMO

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
PLOMO	25	0.36407	0.23689	51.92922

#### Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	5.19250	4	1.29813	2.86251	0.0502
TRAT	5.19250	4	1.29813	2.86251	0.0502
Error	9.06984	20	0.45349		
Total	14.26234	24			

#### Test: Duncan Alfa=0.05

Error: 0.4535 gl: 20

TRAT	Medias	n	E.E.	
PUNTO 5	0.54000	5	0.30116	A
PUNTO 4	1.12400	5	0.30116	A B
PUNTO 1	1.41600	5	0.30116	A B
PUNTO 3	1.48600	5	0.30116	A B
PUNTO 2	1.91800	5	0.30116	B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0.05$ )

### MERCURIO

Nueva tabla : 11/01/2021 - 9:17:40 a. m. - [Versión : 30/04/2020]

#### PROMEDIOS RESUMEN

TRAT	Variable	n	Media	D.E.	Mín	Máx
PUNTO 1	MERCURIO	5	0.18560	0.08699	0.09800	0.30000
PUNTO 2	MERCURIO	5	0.26400	0.10526	0.12000	0.40000
PUNTO 3	MERCURIO	5	0.13600	0.02408	0.11000	0.17000
PUNTO 4	MERCURIO	5	0.26000	0.07416	0.14000	0.33000
PUNTO 5	MERCURIO	5	0.14160	0.06593	0.06200	0.22000

Nueva tabla : 11/01/2021 - 9:19:10 a. m. - [Versión : 30/04/2020]

#### ANVA PARA Hg

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
MERCURIO	25	0.39800	0.27760	38.62151



Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	0.07689	4	0.01922	3.30565	0.0311
TRAT	0.07689	4	0.01922	3.30565	0.0311
Error	0.11629	20	0.00581		
Total	0.19318	24			

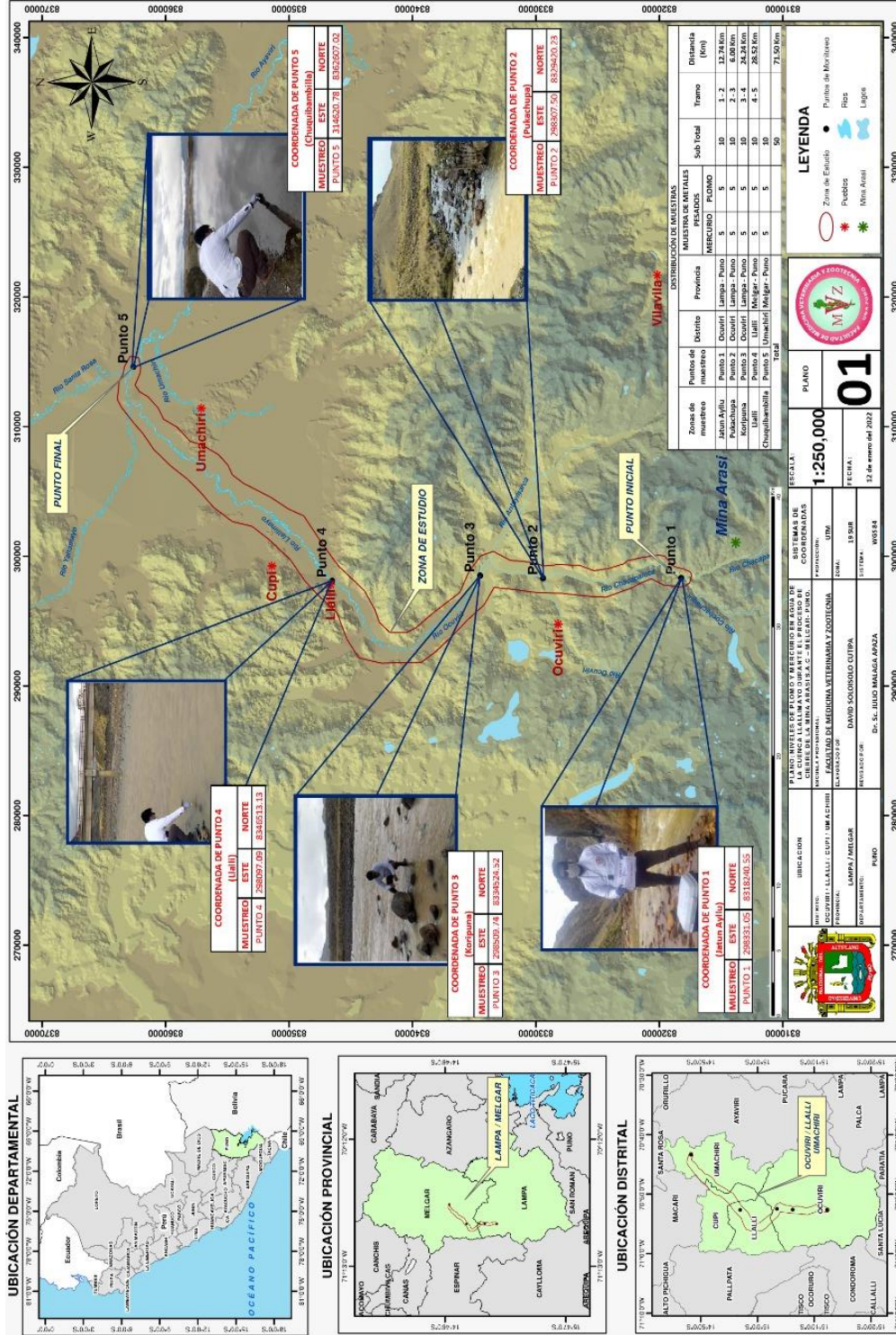
Test: Duncan Alfa=0.05

Error: 0.0058 gl: 20

TRAT	Medias	n	E.E.	
PUNTO 3	0.13600	5	0.03410	A
PUNTO 5	0.14160	5	0.03410	A
PUNTO 1	0.18560	5	0.03410	A B
PUNTO 4	0.26000	5	0.03410	B
PUNTO 2	0.26400	5	0.03410	B

Medias con una letras común no son significativamente diferentes (p > 0.05)

*Ilustración 1: Plano de monitoreo de metales en agua de la cuenca Llalimayo en el proceso de cierre de la mina ARASI S.A.C. - Puno.*



**Ilustración 2:** Preparación de frascos de muestreo y localización geográfica (GPS).



**Ilustración 3:** Zona de muestreo Jatun Ayllu (Zona ó punto 1)



**Ilustración 4:** Zona de muestreo Puka Chupa (Zona ó punto 2)



**Ilustración 5:** Zona de muestreo Koripuna (Zona ó punto 3)



**Ilustración 6:** Zona de muestreo Llalli (Zona ó punto 4)



**Ilustración 7:** Zona de muestreo Chuquibambilla (Zona ó punto 5)









## ANEXO B

### Ilustración 9: Resultados de laboratorio para concentración de Plomo en agua de río Llallimayo.



**INFORME DE ENSAYO** N° 276-2020

Cliente	DAVID SOLOISOLO CUTIPA
Dirección del cliente	PUNO
Referencia USAQ	356
Denominación de la muestra	Aguas superficiales
Fecha de recepción	10/12/2020
Fecha de análisis	14/12/2020
Fecha de emisión de informe	05/01/2021
Características de muestra	Muestras de aguas superficiales

Referencia USAQ	Determinación o Parámetro	Especificación	Resultado	Unidades
356-01	Plomo (Río HATUN AYLLU)	1/1	1.2	ppm
356-02	Plomo (Río HATUN AYLLU)	1/2	1.1	ppm
356-03	Plomo (Río HATUN AYLLU)	1/3	0.83	ppm
356-04	Plomo (Río HATUN AYLLU)	1/4	2.08	ppm
356-05	Plomo (Río HATUN AYLLU)	1/5	1.87	ppm
356-06	Plomo (Río PUKACHUPA)	2/1	2.4	ppm
356-07	Plomo (Río PUKACHUPA)	2/2	1.56	ppm

**Límites de detección y Métodos**

Determinación o parámetro	Límite de detección	Método
Plomo	0.002 ppm	USAQ-ME-04 AAS

  
 PERCY YAQUE LÓPEZ  
 RESPONSABLE DE LABORATORIO



	<b>UNIVERSIDAD NACIONAL MAYOR DE SAN MARCOS</b> FACULTAD DE QUÍMICA E INGENIERÍA QUÍMICA  UNIDAD DE SERVICIOS DE ANÁLISIS QUÍMICOS	
---	---	---

<b>INFORME DE ENSAYO</b>	<b>N° 276-2020</b>
--------------------------	--------------------

Cliente	DAVID SOLCISOLO CUTIPA
Dirección del cliente	PUNO
Referencia USAQ	356
Denominación de la muestra	Aguas superficiales
Fecha de recepción	10/12/2020
Fecha de análisis	14/12/2020
Fecha de emisión de informe	05/01/2021
Características de muestra	Muestras de aguas superficiales

Referencia USAQ	Determinación o Parámetro	Especificación	Resultado	Unidades
356-08	Piomo (Río PUKACHUPA)	2/3	2.03	ppm
356-09	Piomo (Río PUKACHUPA)	2/4	2	ppm
356-10	Piomo (Río PUKACHUPA)	2/5	1.6	ppm
356-11	Piomo (Río KORIPUNA)	3/1	1.34	ppm
356-12	Piomo (Río KORIPUNA)	3/2	2.3	ppm
356-13	Piomo (Río KORIPUNA)	3/3	0.46	ppm
356-14	Piomo (Río KORIPUNA)	3/4	2.2	ppm

**Límites de detección y Métodos**

Determinación o parámetro	Límite de detección	Método
Piomo	0.002 ppm	USAQ-ME-04 AAS



**RESPONSABLE DE LABORATORIO**



**INFORME DE ENSAYO** N° 276-2020

Cliente	DAVID SOLOISOLO CUTIPA
Dirección del cliente	PUNO
Referencia USAQ	356
Denominación de la muestra	Aguas superficiales
Fecha de recepción	10/12/2020
Fecha de análisis	14/12/2020
Fecha de emisión de informe	05/01/2021
Características de muestra.	Muestras de aguas superficiales

Referencia USAQ	Determinación o Parámetro	Especificación	Resultado	Unidades
356-15	Piombo (Río KORIPUNA)	3/5	0.13	ppm
356-16	Piombo (Río LLALLI)	4/1	1.03	ppm
356-17	Piombo (Río LLALLI)	4/2	1.2	ppm
356-18	Piombo (Río LLALLI)	4/3	1.6	ppm
356-19	Piombo (Río LLALLI)	4/4	0.89	ppm
356-20	Piombo (Río LLALLI)	4/5	0.9	ppm
356-21	Piombo (Río CHUQUIBAMBILLA)	5/1	1.1	ppm

Limites de detección y Métodos

Determinación o parámetro	Límite de detección	Método
Piombo	0.002 ppm	USAQ-ME-04 AAS

PERCY YAQUE LÓPEZ MANILUZ  
QUÍMICO  
OQP. 878

**RESPONSABLE DE LABORATORIO**



**INFORME DE ENSAYO** N° 276-2020

Ciente	DAVID SOLOISOLO CUTIPA
Dirección del cliente	PUNO
Referencia USAQ	356
Denominación de la muestra	Aguas superficiales
Fecha de recepción	10/12/2020
Fecha de análisis	14/12/2020
Fecha de emisión de informe	05/01/2021
Características de muestra.	Muestras de aguas superficiales

Referencia USAQ	Determinación o Parámetro	Especificación	Resultado	Unidades
356-22	Piomo (Río CHUQUIBAMBILLA)	5/2	0.50	ppm
356-23	Piomo (Río CHUQUIBAMBILLA)	5/3	0.2	ppm
356-24	Piomo (Río CHUQUIBAMBILLA)	5/4	0.72	ppm
356-25	Piomo (Río CHUQUIBAMBILLA)	5/5	0.18	ppm

**Límites de detección y Métodos**

Determinación o parámetro	Límite de detección	Método
Piomo	0.002 ppm	USAQ-ME-04 AAS

**RESPONSABLE DE LABORATORIO**



**Ilustración 10:** Resultado de análisis de concentración de mercurio en muestras de agua de río Llallimayo.



**INFORME DE ENSAYO** N° 283-2020

Cliente	DAVID SOLOISOLO CUTIPA
Dirección del cliente	Puno
Referencia USAQ	363-01/25
Denominación de la muestra	Aguas superficiales
Fecha de recepción	10/12/2020
Fecha de análisis	14/12/2020
Fecha de emisión de informe	05/01/2021
Características de muestra.	Muestras de aguas superficiales

Referencia USAQ	Determinación o Parámetro	Especificación	Resultado	Unidades
363-01	Mercurio (Río HATUN AYLLU)	1/1	0.23	ppm
363-02	Mercurio (Río HATUN AYLLU)	1/2	0.1	ppm
363-03	Mercurio (Río HATUN AYLLU)	1/3	0.068	ppm
363-04	Mercurio (Río HATUN AYLLU)	1/4	0.30	ppm
363-05	Mercurio (Río HATUN AYLLU)	1/5	0.2	ppm
363-06	Mercurio (Río PUKACHUPA)	2/1	0.12	ppm
363-07	Mercurio (Río PUKACHUPA)	2/2	0.4	ppm

Limites de detección y Métodos

Determinación o parámetro	Límite de detección	Método
Mercurio	0.003 ppm	USAQ-ME-04 AAS

PERCY YAGUE LÓPEZ MARILLAZ  
QUÍMICO  
C.C.P. 878

**RESPONSABLE DE LABORATORIO**



INFORME DE ENSAYO

N° 283-2020

Cliente	DAVID SOLOISOLO CUTIPA
Dirección del cliente	Puno
Referencia USAQ	363-0125
Denominación de la muestra	Aguas superficiales
Fecha de recepción	10/12/2020
Fecha de análisis	14/12/2020
Fecha de emisión de informe	05/01/2021
Características de muestra.	Muestras de aguas superficiales

Referencia USAQ	Determinación o Parámetro	Especificación	Resultado	Unidades
363-08	Mercurio (Río PUKACHUPA)	2/3	0.32	ppm
363-09	Mercurio (Río PUKACHUPA)	2/4	0.22	ppm
363-10	Mercurio (Río PUKACHUPA)	2/5	0.20	ppm
363-11	Mercurio (Río KORIPUNA)	3/1	0.17	ppm
363-12	Mercurio (Río KORIPUNA)	3/2	0.11	ppm
363-13	Mercurio (Río KORIPUNA)	3/3	0.12	ppm
363-14	Mercurio (Río KORIPUNA)	3/4	0.15	ppm

Límites de detección y Métodos

Determinación o parámetro	Límite de detección	Método
Mercurio	0.003 ppm	USAQ-ME-04 AAS



PERCY ENRIQUE LÓPEZ MAMILLAT  
QUÍMICO

RESPONSABLE DE LABORATORIO



	<b>UNIVERSIDAD NACIONAL MAYOR DE SAN MARCOS</b> FACULTAD DE QUÍMICA E INGENIERÍA QUÍMICA  UNIDAD DE SERVICIOS DE ANÁLISIS QUÍMICOS	
---	---	---

**INFORME DE ENSAYO** N° 283-2020

Cliente	DAVID SOLCISOLO CUTIPA
Dirección del cliente	Puno
Referencia USAQ	363-01/25
Denominación de la muestra	Aguas superficiales
Fecha de recepción	10/12/2020
Fecha de análisis	14/12/2020
Fecha de emisión de informe	05/01/2021
Características de muestra	Muestras de aguas superficiales

Referencia USAQ	Determinación o Parámetro	Especificación	Resultado	Unidades
363-15	Mercurio (Río KORIPUNA)	3/5	0.13	ppm
363-16	Mercurio (Río LLALLI)	4/1	0.25	ppm
363-17	Mercurio (Río LLALLI)	4/2	0.31	ppm
363-18	Mercurio (Río LLALLI)	4/3	0.27	ppm
363-19	Mercurio (Río LLALLI)	4/4	0.14	ppm
363-20	Mercurio (Río LLALLI)	4/5	0.33	ppm
363-21	Mercurio (Río CHUQUIBAMBILLA)	5/1	0.18	ppm

**Límites de detección y Métodos**

Determinación o parámetro	Límite de detección	Método
Mercurio	0.003 ppm	USAQ-ME-04 AAS

  
 PERCY INQUE LÓPEZ MARILLUZ  
 QUÍMICO  
 C.O.P. 878

**RESPONSABLE DE LABORATORIO**



**INFORME DE ENSAYO** N° 283-2020

Cliente	DAVID SOLOISOLO CUTIPA
Dirección del cliente	Puno
Referencia USAQ	383-01/25
Denominación de la muestra	Aguas superficiales
Fecha de recepción	10/12/2020
Fecha de análisis	14/12/2020
Fecha de emisión de informe	05/01/2021
Características de muestra	Muestras de aguas superficiales

Referencia USAQ	Determinación o Parámetro	Especificación	Resultado	Unidades
383-22	Mercurio (Río CHUQUIBAMBILLA)	5/2	0.22	ppm
383-23	Mercurio (Río CHUQUIBAMBILLA)	5/3	0.16	ppm
383-24	Mercurio (Río CHUQUIBAMBILLA)	5/4	0.088	ppm
383-25	Mercurio (Río CHUQUIBAMBILLA)	5/5	0.062	ppm

Limites de detección y Métodos

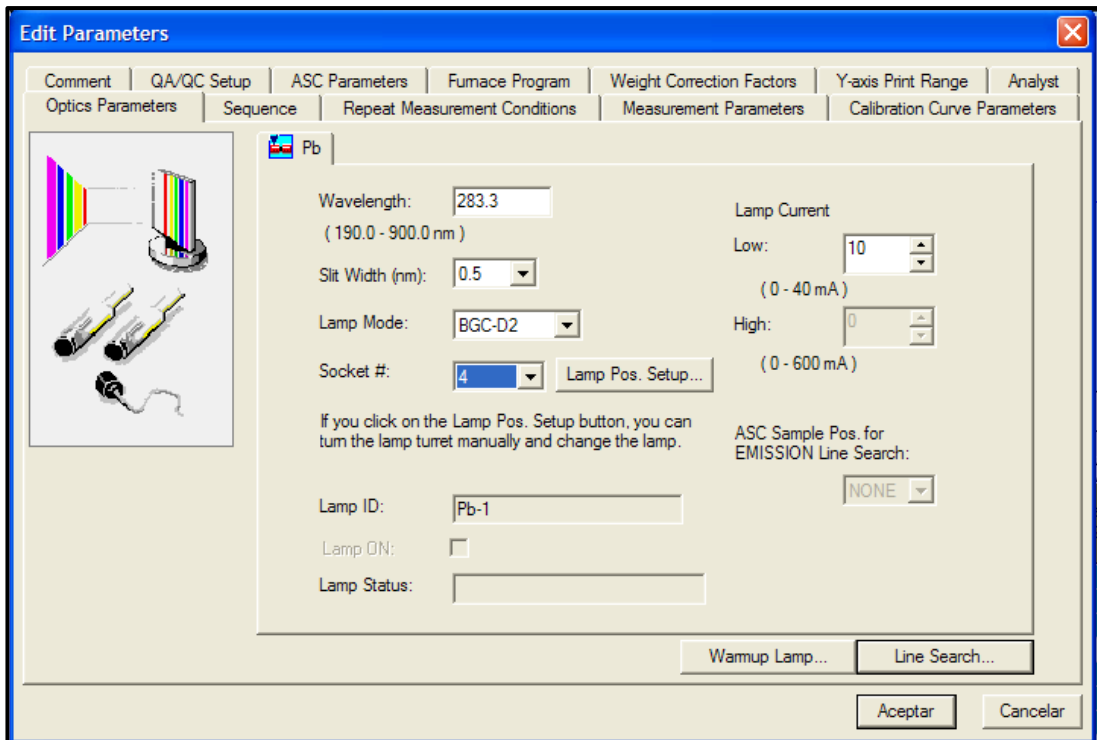
Determinación o parámetro	Límite de detección	Método
Mercurio	0.003 ppm	USAQ-ME-04 AAS

PERCY YAGUE LOPEZ MARCOLIO  
QUÍMICO-Q  
CQP-878

**RESPONSABLE DE LABORATORIO**

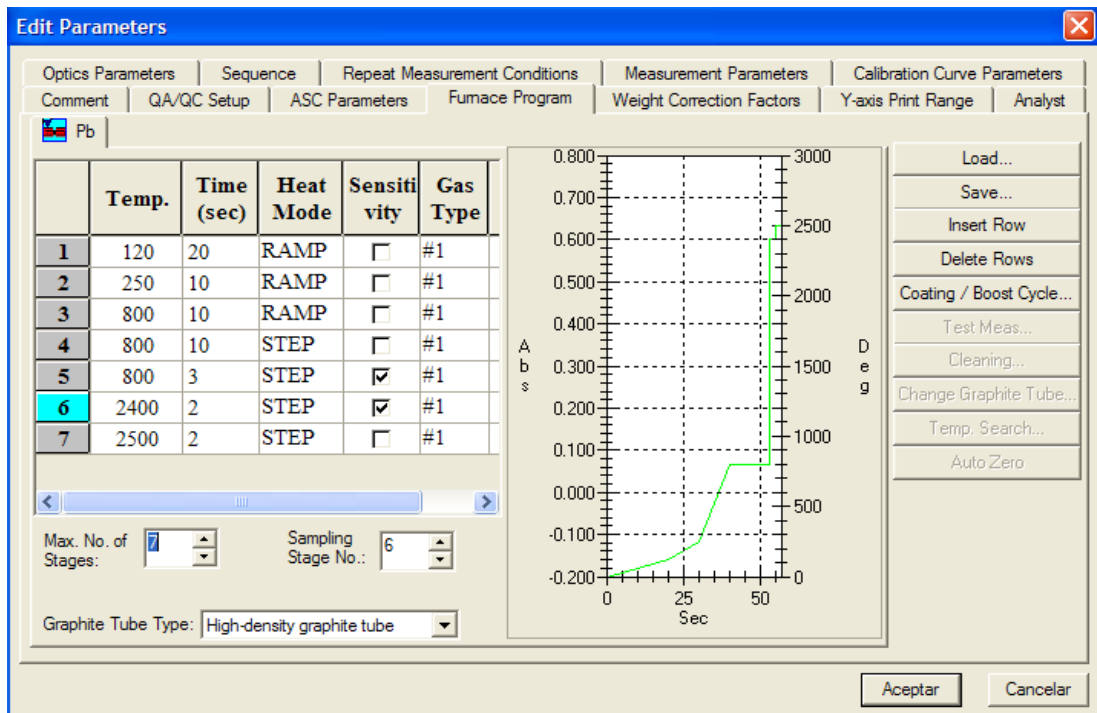


**Ilustración 11:** Análisis de plomo por horno de grafito por corrección de fondo (background)



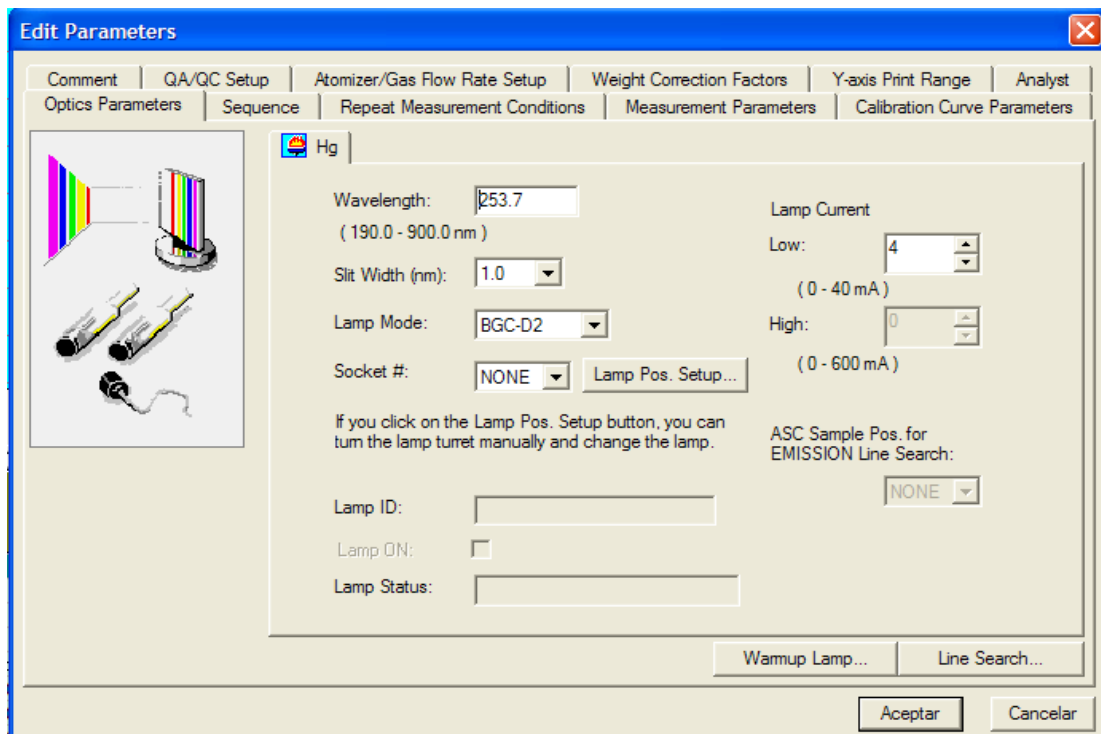
Fuente: Laboratorio Unidad de Servicios de Análisis Químicos – UNMSM-Lima.

**Ilustración 12:** Análisis de temperatura programada de plomo por horno de grafito.



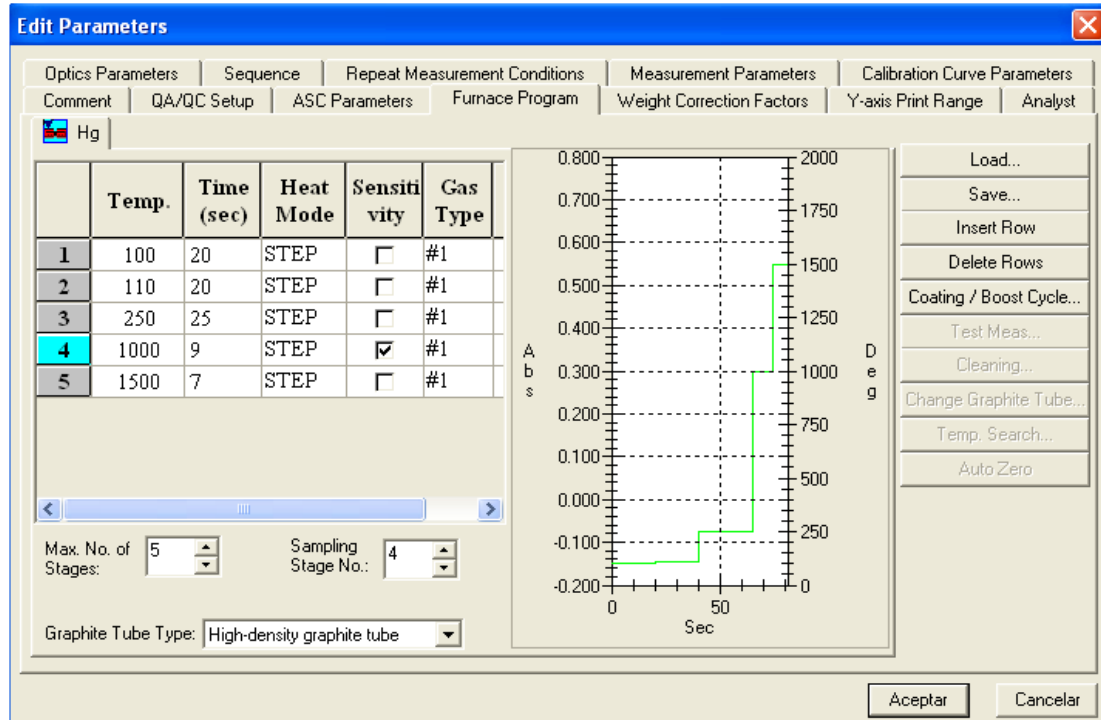
Fuente: Laboratorio Unidad de Servicios de Análisis Químicos – UNMSM-Lima.

**Ilustración 13:** Análisis de mercurio por horno de grafito por corrección de fondo (background)



Fuente: Laboratorio Unidad de Servicios de Análisis Químicos – UNMSM-Lima.

**Ilustración 14:** Análisis de temperatura programada de mercurio por horno de grafito.



Fuente: Laboratorio Unidad de Servicios de Análisis Químicos – UNMSM-Lima.