

**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO**

**FACULTAD DE INGENIERÍA GEOLÓGICA E  
INGENIERÍA METALÚRGICA**

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA**



**IDENTIFICAR LOS NIVELES DE CONCENTRACION DE  
METALES PESADOS PRESENTES EN LAS AGUAS  
PROVENIENTES DE LA RAMPA SAN MARCELO – CIA DE  
MINAS SILLUSTANI S.A.**

**TESIS**

**PRESENTADA POR:**

**ROYER DAYWIS HUARCAYA QUISPE**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:**

**INGENIERO GEÓLOGO**

**PUNO – PERÚ**

**2018**

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO  
FACULTAD DE INGENIERÍA GEOLÓGICA E INGENIERÍA  
METALÚRGICA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA

IDENTIFICAR LOS NIVELES DE CONCENTRACIÓN DE METALES  
PESADOS PRESENTES EN LAS AGUAS PROVENIENTES DE LA RAMPA  
SAN MARCELO – CIA DE MINAS SILLUSTANI S.A.

TESIS PRESENTADA POR:

ROYER DAYWIS HUARCAYA QUISPE

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO GEÓLOGO

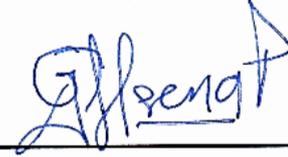


APROBADA POR:

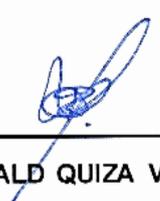
PRESIDENTE:

  
M.Sc. FLAVIO ROSADO LINARES

PRIMER MIEMBRO:

  
M.Sc. GEORGES FLORENCIO LLERENA PEREDO

SEGUNDO MIEMBRO:

  
M.Sc. RONALD QUIZA VILCA

DIRECTO/ASESOR:

  
Dra. SOFIA LOURDES BENAVENTE FERNANDEZ

ÁREA: Seguridad y Medio Ambiente  
TEMA: Metales Pesados

FECHA DE SUSTENTACIÓN: 18 de diciembre del 2018

## DEDICATORIA

En primer lugar, a Dios con todo cariño y amor por ser mi guía espiritual en todo momento y por brindarme fortalezas para seguir adelante.

Con bastante estima y cariño a mis familiares en especial a mi Madre María Alejandrina y mi Abuelita Aurelia, quienes supieron entenderme y apoyarme en todo momento y ser lo que soy ahora.

Con mucha valoración y respeto a mis amigos(as), quienes me enseñaron el verdadero valor de la amistad y la confianza.

## AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Nacional del Altiplano, alma mater de la región de Puno, en especial a la escuela profesional de Ingeniería Geológica, con mucha estima a mis docentes que han sabido orientarnos, guiarnos, aconsejarnos, en todos nuestros objetivos que nos hemos trazado, siendo partícipes de mi realización como profesional.

A mis familiares en especial a mi Madre y mi Abuelita a quienes les agradezco de corazón por todo el apoyo incondicional que me brindaron por ese amor, cariño y respeto, por el gran esfuerzo de toda una vida de arduo trabajo y sacrificio que se me brindo.

Así como toda mi estima personal a mi asesora y señores miembros del jurado calificador, por el aporte de sus experiencias y conocimientos otorgados ya que con su paciencia y valioso conocimiento se trabajó de manera efectiva en el desarrollo de la presente tesis.

## ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE TABLAS .....	9
ÍNDICE DE FIGURAS.....	10
ÍNDICE DE FOTOGRAFÍAS.....	11
ÍNDICE DE ACRONIMOS .....	12
RESUMEN.....	13
ABSTRACT .....	14

### CAPITULO I

#### INTRODUCCIÓN

1.1. Generalidades .....	15
1.2. Problema de la Investigación .....	16
1.3. Formulación del Problema.....	17
1.3.1. Pregunta General.....	17
1.3.2. Preguntas Específicas .....	17
1.4. Antecedentes de la Investigación .....	17
1.5. Justificación.....	20
1.6. Hipótesis de la Investigación .....	20
1.6.1. Hipótesis General .....	20
1.7. Objetivos de la Investigación.....	21
1.7.1. Objetivo General .....	21
1.7.2. Objetivos Específicos.....	21
1.8. Caracterización del Área de Investigación .....	21
1.8.1. Ámbito de estudio .....	21

### CAPITULO II

#### REVISION DE LITERATURA

2.1. Marco Teórico.....	22
-------------------------	----

2.1.1.	Agua .....	22
2.1.2.	Propiedades del agua .....	22
2.1.3.	Contaminación del agua .....	24
2.1.4.	Toxicidad de los metales pesados .....	24
2.2.	Geología Regional.....	26
2.2.1.	Grupo Copacabana Pi-c (Pérmico Superior).....	26
2.2.2.	Grupo Ambo Ci-a (Misisipiano) .....	26
2.2.3.	Grupo Puno P-pu (Terciario Inferior).....	26
2.2.4.	Formación Ayabacas Kis-ay (Cenomaniano – Cretácico Superior) .....	27
2.2.5.	Formación Huancané Ki- hn (Cretáceo Inferior) .....	27
2.2.6.	Formación Ananea SD-a (Silúrico – Devoniano) .....	27
2.2.7.	Depósitos Aluviales Qh-al .....	27
2.2.8.	Depósitos Morrénicos Qpl-mo.....	28
2.3.	Geología local.....	28
2.3.1.	Grupo Copacabana PEc-c .....	28
2.3.2.	Grupo Tarma Cp-t.....	28
2.3.3.	Grupo Ambo Cm-a.....	28
2.3.4.	Depósitos Aluviales Qh-al .....	28
2.3.5.	Depósitos Glaciares Qh-gl .....	28
2.4.	Marco Legal.....	29
2.4.1.	Derechos fundamentales de la persona. ....	29
2.4.2.	Del rol del Estado en materia ambiental. ....	29
2.4.3.	2.4.3. Manejo de los residuos minerales.....	29
2.4.4.	Del principio de sostenibilidad.....	29
2.4.5.	Del principio de responsabilidad ambiental.....	30
2.4.6.	De los planes de descontaminación y el tratamiento de pasivos ambientales.....	30

2.4.7.	Del Estándar de Calidad Ambiental. ....	31
2.4.8.	Del Límite Máximo Permisible.....	32
2.4.9.	De la elaboración de ECA y LMP.....	33
2.4.10.	Del nuevo decreto supremo de ECAs para agua.....	33
2.4.11.	Aprobación de los Estándares de Calidad Ambiental para Agua. .....	34
2.4.12.	Categorías de los Estándares de Calidad Ambiental para Agua. .....	34
2.4.13.	Conservación del ambiente acuático .....	34
2.4.14.	Riesgos y daños ambientales de los PAMs. ....	36
2.4.15.	Contaminación de las aguas superficiales y subterráneas. ...	37
2.5.	Marco Conceptual .....	38
2.5.1.	Metales pesados.....	38
2.5.2.	Estándares de calidad de agua.....	39
2.5.3.	Pasivos ambientales mineros (PAM) .....	40
2.5.4.	Tipos y subtipos de (PAMs). ....	40
2.5.5.	Bocamina .....	41
2.5.6.	Chimenea.....	41
2.5.7.	Cierre de pasivos ambientales mineros .....	41
2.5.8.	Estándares de calidad ambiental .....	41
2.5.9.	Límites máximos permisible.....	42
2.5.10.	Caudal. ....	42
2.5.11.	Monitoreo de la calidad del agua .....	42
2.5.12.	Muestreo de agua .....	42
2.5.13.	Medidor Multiparámetro .....	42

**CAPITULO III****MATERIALES Y MÉTODOS**

3.1.	Tipo y Diseño de Investigación.....	43
3.2.	Población y Muestra de Investigación .....	43
3.3.	Ubicación y caracterización del área del proyecto.....	44
3.3.1.	Ubicación y Acceso del Proyecto.....	44
3.3.2.	Clima.....	45
3.3.3.	Contexto Histórico.....	46
3.3.4.	Hidrología.....	46
3.3.5.	Geología .....	47
3.3.6.	Relaves mineros .....	48
3.4.	Técnicas e Instrumento de Recolección de Datos.....	49
3.5.	Metodología.....	50
3.6.	Procedimiento y Recolección de Datos .....	50
3.7.	Procesamiento y Análisis de Datos .....	52

**CAPITULO IV****RESULTADOS**

4.1.	Metales pesados en la Rampa San Marcelo - CIA de Minas Sillustani S.A. ....	53
4.2.	Niveles de concentración de Metales Pesados acorde a los Decretos.....	62
	<b>CONCLUSIONES.....</b>	<b>64</b>
	<b>RECOMENDACIONES.....</b>	<b>65</b>
	<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>66</b>
	<b>ANEXOS.....</b>	<b>68</b>

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Categoría número 4, conservación del ambiente acuático .....	36
Tabla 2. Pasivos Ambientales Mineros .....	40
Tabla 3. Accesibilidad al área de estudio.....	44
Tabla 4. Precipitación en 24 hr. Para Diferentes Periodos de Retorno .....	47
Tabla 5. Coordenadas de Puntos de Muestreo.....	51
Tabla 6. Determinación de metales pesados de los tres puntos de muestreo Julio 2018 (ICP) .....	54
Tabla 7. Determinación de metales pesados de los tres puntos de muestreo Julio 2018 (ICP) .....	55
Tabla 8 Propiedades Físicoquímicas del punto de muestreo Julio 2018 .....	55
Tabla 9. Niveles de concentración de metales pesados según los Límites Máximos Permisibles D.S. 004 y 010 MINAM.....	62
Tabla 10. Determinación de metales pesados de los tres puntos de muestreo Julio 2018.....	63

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Determinación de Arsénico.....	56
Figura 2. Determinación de Cadmio Disuelto .....	57
Figura 3. Determinación de Cobre .....	58
Figura 4. Determinación de Mercurio.....	59
Figura 5. Determinación de Selenio.....	60
Figura 6. Determinación de Zinc.....	61

**ÍNDICE DE FOTOGRAFÍAS**

Fotografía 1. Pasivos Ambientales Laguna Choquene .....	48
Fotografía 2. Rampa San Marcelo .....	94
Fotografía 3. Rampa San Marcelo .....	94
Fotografía 4. Punto De Toma De Muestra .....	95
Fotografía 5. Planta De Tratamiento (Ptar) .....	95
Fotografía 6. Análisis Físicoquímico De Los Afluentes De La Rampa San Marcelo .....	96
Fotografía 7. Adición De Acido, Para La Conservación De La Muestra.....	96
Fotografía 8. Equipo De Análisis De ICP. Megalaboratorio De La Una-Puno .....	97

## ÍNDICE DE ACRONIMOS

- (Hg): Mercurio
- (Al): Aluminio
- (As): Arsénico
- (Ba): Bario
- (Cd): Cadmio
- (Co): Cobalto
- (Cr): Cromo
- (Cu): Cobre
- (K): Potasio
- (Mn): Manganeso
- (Mo): Molibdeno
- (Ni): Níquel
- (Pb): Plomo
- (Se): Selenio
- (Sr): Estroncio
- (Zn): Zinc
- (DAM): Drenaje Acido de Mina
- (DAR): Drenaje Acido de Roca
- (D.S): Decreto Supremo
- (LMP): Límite Máximo Permisible
- (ECA): Estándares de Calidad Ambiental
- (LGA): Ley General de Aguas
- (MINAM): Ministerio del Ambiente
- (Ph): Potencial de Hidrogeno
- (PAM): Pasivo Ambiental Minero
- (UTM): Universal Transversal Mercator
- (WGS84): Sistema Geodésico Mundial 1984
- (RSM): Rampa San Marcelo
- (PET): Planta de Tratamiento

## RESUMEN

Siendo el agua un recurso hídrico natural no renovable y para su tratamiento y recuperación del mismo es complicado, es por eso que el trabajo de investigación denominado; **“Identificar los Niveles de Concentración de Metales Pesados Presentes en las Aguas Provenientes de la Rampa San Marcelo – Cia de Minas Sillustani S.A.”** ubicado en los distritos de Ananea y Quilcapuncu, provincia de San Antonio de Putina, región de Puno. Se determinó los niveles de concentración de metales pesados disueltos en el efluente de la rampa San Marcelo, que es generado por la actividad minera como; antimonio, arsénico, bario, plomo, cromo, cobre, cadmio, cobalto, níquel, selenio, talio, mercurio, zinc, molibdeno. Después de entrar en contacto con el agua, estos metales son solubles inmediatos, que son los más perjudiciales y dañinos para las poblaciones aledañas que habitan en esta zona. Por tanto, esta concentración y/o lixiviación de metales que son difíciles de degradarse, que a largo plazo presentan consecuencias en la salud y a su entorno. Por consiguiente con el objetivo de identificar y determinar la concentración de metales pesados de los efluentes de la rampa San Marcelo, con el método de investigación experimental, se realizó el respectivo análisis de los puntos de muestreo, para así determinar mediante análisis de ICP, realizado el análisis se encontraron estos metales; Arsénico (RSM-1, 45.4086; RSM-2, 10.4853 y PET-1, 5.49157), Cadmio (RSM-1, .0245066; RSM-2, 0.303957 y PET-1, 0.0371122), Cobre (RSM-1, 19.7396; RSM-2, 12.02167 y PET-1, 12.35874), Mercurio (RSM-1, 5.98172; RSM-2, 1.02591 y PET-1, 0.360694), Selenio (RSM-1, 0.865567; RSM-2, 1.81761 y PET-1, 2.1546), y Zinc (RSM-1, 133.189; RSM-2, 25.82438 y PET-1, 18.334), después de revirar el D.S. N°004-2017-MINAM, de categoría 4, conservación del medio ambiente, E2 Ríos, costa y sierra, finalmente se determinó que los valores son altos, los mismos que están por encima de los Límites Máximos Permisibles, por consiguiente hay contaminación hacia el recurso hídrico con estas concentraciones de metales pesados, que son dañinos para la salud e integridad de los seres bióticos, así como del medio ambiente.

**Palabras Clave:** Concentración, Lixiviación, Metales Pesados, Muestreo, Toxicidad.

## ABSTRACT

Water being a non-renewable natural water resource and for its treatment and recovery of it is complicated, that is why the research work called; "Identificar los Niveles de Concentración de Metales Pesados Presentes en las Aguas Provenientes de la Rampa San Marcelo – Cia de Minas Sillustani S.A." located in the districts of Ananea and Quilcapuncu, province of San Antonio de Putina, Puno region. Was determined the concentration levels of dissolved heavy metals in the effluent of the San Marcelo ramp, which is generated by mining activity as; antimony, arsenic, barium, lead, chromium, copper, cadmium, cobalt, nickel, selenium, thallium, mercury, zinc, molybdenum. After coming into contact with water, these metals are immediately soluble, which are the most badly and harmful to the surrounding populations that inhabit this area. Therefore, this concentration and/or leaching of metals that are difficult to degrade, which in the long term have consequences for health and its environment. Therefore, with the aim of identifying and determining the concentration of heavy metals from the effluents of the San Marcelo ramp, using the experimental research method, the respective analysis of the sampling points was carried out, in order to determine by analysis of ICP, conducted the analysis we found these metals; Arsenic (RSM-1, 45.4086; RSM-2, 10.4853 and PET-1, 5.49157), Cadmium (RSM-1, .0245066; RSM-2, 0.303957 and PET-1, 0.0371122), Copper (RSM-1, 19.7396; RSM-2, 12.02167 and PET-1, 12.35874), Mercury (RSM-1, 5.98172; RSM-2, 1.02591 and PET-1, 0.360694), Selenium (RSM-1, 0.865567; RSM-2, 1.81761 and PET-1, 2.1546), and Zinc (RSM-1, 133.189; RSM-2, 25.82438 and PET-1, 18,334), after reversing D.S. No. 004-2017-MINAM, category 4, environmental conservation, E2 Rivers, coast and saw, finally it was determined that the values are high, the same as those above the Maximum Allowable Limits, therefore there is contamination towards the water resource with these concentrations of heavy metals, which are harmful to the health and integrity of biotic beings, as well as the environment.

**Key Words:** Concentration, Leaching, Heavy metals, Sampling, Toxicity.

## CAPITULO I

### INTRODUCCIÓN

#### 1.1. GENERALIDADES

El proyecto de investigación, que se encuentra dentro del proyecto minero Sillustani S.A., luego de la explotación desmesurada de la minería y la actividad industrial emanando metales tóxicos, los cuales son perjudiciales para la salud y la gran mayoría de las formas de vida, su peligrosidad de estos metales representa un valor muy alto al no ser química ni biológicamente degradables, su afectó en las áreas de influencia directa son claras y notorias dentro de un tiempo determinado se observó su gran impacto local sobre el medio ambiente, haciendo que la contaminación medioambiental derivada de estas actividades constituya un problema de vital importancia. En este caso principalmente el recurso hídrico de las riveras de la laguna Choquene, que está contaminado con los relaves mineros desde que se iniciaron con esta actividad de extracción de recursos minerales desde hace más de tres décadas, principalmente por el Drenaje Acido de Mina (DAM), produciendo así la contaminación del recurso hídrico, alterando la composición natural del mismo y perdiendo sus propiedades que son para el consumo de la actividad antropogénica y de los animales, entonces al contener metales pesados, afectaría a todo ser biótico en un futuro no muy lejano. Para la identificación de los metales pesados que contaminan el agua, se determinó hacer el análisis de los efluentes de la rampa San Marcelo, mediante el análisis de ICP en el mega laboratorio de la Universidad Nacional del Altiplano, una vez que se han obtenido los resultados se han comparado con el D.S 004-2017-MINAM, para así determinar si los niveles de concentración de los metales pesados si son altos o están por debajo del límite máximo permisible.

## 1.2. PROBLEMA DE LA INVESTIGACIÓN

Las actividades mineras a nivel global que entre sus principales impactos tenemos la destrucción de la corteza, contaminación del agua su efecto en la flora y fauna, así como el entorno próximo a la explotación y sus efectos hacia la salud humana y poblaciones próximas a la mina. Las actividades productivas como: actividades primarias, en donde el hombre extrae la materia prima del medio ambiente y actividades secundarias, donde son procesados listos para el consumo y la industria a su vez son comercializados y exportados, es por eso que estas actividades que se realizan en algunos casos sin una medida de control o remediación generan contaminación del medio ambiente y hacia los recursos naturales de manera irreversible en algunos casos. Las actividades primarias como: Agricultura, Ganadería, Silvicultura, Extracción de madera, Extracción de canteras, Minería, Etc. Depredan el medio ambiente cambiando su espacio geográfico, siendo las industrias extractivas las más nocivas para los recursos hídricos. La minería intensiva explota los recursos naturales y en muchos de los casos no se cuenta con un plan de mitigación de efluentes mineros y un plan de desarrollo sostenible para la población y el medio ambiente.

En la región de Puno la minería procesa de distintas formas los metales extraídos, los cuales son explotados masivamente y es aquí donde no existe una regulación estricta por parte de las autoridades, la tecnología utilizada en la extracción de estos minerales utiliza sustancias como el cianuro, llegando a los cuerpos subterráneos causando impactos ecológicos en la agricultura local.

La investigación que se realizó se puso en énfasis a la actividad minera porque es la más antigua y la principal actividad que genera movimiento económico del país, entonces también es la principal fuente de contaminación del espacio geográfico y en principal prioridad el elemento vital que es el agua, por consiguiente, todo ser abiótico tiene derecho a un ambiente saludable y en un estado natural.

### 1.3. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

#### 1.3.1. Pregunta General

- ¿Cuál es el nivel de concentración de los metales pesados presentes en la rampa San Marcelo- CIA de Minas Sillustani S.A.?

#### 1.3.2. Preguntas Específicas

- ¿Qué metales pesados están presentes en la rampa San Marcelo- CIA de Minas Sillustani S.A.?
- ¿Qué metal pesado presenta mayor concentración en la rampa San Marcelo- CIA de Minas Sillustani S.A.?

### 1.4. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN

- (Fernando B. Salas U. - 2014) “DETERMINACION DE METALES PESADOS EN LAS AGUAS DEL RIO ANANEA DEBIDO A LA ACTIVIDAD AURIFERA, PUNO-PERU”, Revista de Investig. (Esc. Posgrado) V 5, N°4,2009. Los metales pesados se encuentran entre los contaminantes ambientales más tóxicos de los últimos tiempos, debido a su permanencia y tendencia a acumularse en los organismos acuáticos. El objetivo de este trabajo fue determinar los niveles de Arsénico, Cadmio, Cobre, Cromo, Mercurio, Plomo y Zinc del río Ananea. Se programaron tres campañas de muestreo, realizados en los meses de marzo, junio y agosto (período de estiaje). Las concentraciones de los metales pesados se determinaron por espectrometría de absorción atómica, por la técnica del ICP (Inductively Coupled Plasma) EPA: 200.8. Revisión 5,4. 1994. Los resultados mostraron que las concentraciones de Arsénico, Cobre, Cromo, Plomo y Zinc, por encima de los límites máximos permisibles y para metales como Cadmio y Mercurio resultaron valores por debajo de los límites máximos permisibles. Las descargas de agua de la actividad minera aurífera hacia los ríos llegan a sobrepasar los límites permisibles, siendo una fuerte amenaza para la calidad del agua y para la biodiversidad asociada.

- (Fernando B. Salas U. - 2010) “ESTUDIO DE LOS NIVELES DE CONTAMINACION POR METALES PESADOS EN LA ZONA DE ANANEA DE LA CUENCA DEL RIO RAMIS) Escuela de Posgrado, Maestría en ciencias de la Ingeniería Agrícola – UNA-PUNO. EPG177-00238-01. Menciona que la exploración aurífera en la zona de Ananea, se encuentra ubicada en la cordillera oriental, distrito de Ananea Provincia de San Antonio de Putina, Región de Puno a 4,600 m.s.n.m aproximadamente. Actualmente se han propiciado la aparición de 2,500 mineros artesanales que realizan labores de explotación minera, llegando a movilizar hasta 45,000 m<sup>3</sup>/día de material morrenico aurífero y que ha generado la concentración de metales tóxicos en todo el sistema ambiental, donde el presente trabajo de investigación tuvo como objetivos realizar el estudio de los niveles de contaminación por metales pesados en la zona de Ananea, donde los ensayos de laboratorio se realizaron en los Laboratorios de Calidad Ambiental (LCA) Bolivia y en Inspestorate Services Peru SAC. Los resultados sirvieron para determinar los elementos y sus niveles de concentración de metales tóxicos. Los resultados del laboratorio de análisis físico-químico de las aguas de la zona de Ananea indica que los valores de As, Cu, Cr, Pb y Zn, se encuentran en los meses de estiaje por encima de los límites máximos permisibles (LMP), mientras que el Cd y Hg tanto en épocas de estiaje y épocas de lluvia se mantienen por debajo de los LMP, de acuerdo al DS. 010-2010-MINEN.
  
- (Ernesto S. Machacca H. – 2013) “DETERMINACION DE METALES PESADOS EN LA LAGUNA CHOQUENE, QUILCAPUNCO – PUTINA – PUNO”). Rev. Investig. Altoandin. 2013; Vol 15 Nro 2: 213 – 224. El cual se ha realizado en mina Regina Palca 11, con el objetivo de determinar la concentración de los metales pesados y el grado de toxicidad en la Laguna Choquene Quilcapunco Putina. La metodología aplicada fue analítica experimental y descriptiva de las tareas de investigación propuesta en el presente trabajo en los tres puntos de muestreo. El comportamiento geoquímico de los metales pesados (de arsénico, cobre, plomo, plata), en los diques de colas y escombros de la mina, que sus lixiviados son vertidos

a la laguna; la oxidación de los minerales sulfurados (arsenopirita, galena, calcopirita, pirita), se encuentran al alcance del oxígeno; más por el contrario, por la disolución del agua de escorrentía de superficie, si son afectados en periodos de fuertes avenidas de precipitaciones pluviales y periodos de sequía. El resultado de las investigaciones realizadas en la laguna y suelos actuales de la mina Regina Palca 11 sin ningún proceso de tratamiento de remediación; la concentración de los metales pesados caracterizados en la laguna y escombros; es cobre (0.40 – 0.08), arsénico (0.10 – 2.50), plomo (0.06 – 0.12), hierro (0.06 – 0.60) y plata (0.00 – 0.02) expresados ppm; las concentraciones anómalas de cobre (24.5 ppm), plomo de 27.6 ppm, As (1400 ppm), minerales que son responsables de generar el drenaje ácido de mina, antes de la etapa de restauración.

- (Franklin W. Graza E. y Ronal Quispe P. – 2015) “DETERMINACION DE Pb, Cd, As EN AGUAS DEL RIO SANTA EN EL PASIVO MINERO AMBIENTAL DE RECUAY, TICAPAMPA; RECUAY – ANCASH” Tesis de la Universidad Nacional Mayor de San Marcos – Facultad de Farmacia y Bioquímica – E.A.P. de Farmacia y Bioquímica – Lima-Perú 2015. Durante el desarrollo de este trabajo se realizó la cuantificación de arsénico, cadmio y plomo en las aguas de un tramo del río Santa en el tramo adyacente al Pasivo Ambiental Minero de Recuay, Ticapampa, en la provincia de Recuay el cual forma parte del departamento de Ancash. Las muestras de agua, se tomaron en nueve (09) puntos consecutivos que están conformados además de tres (03) blancos (blanco viajero, blanco muestreo y blanco lago), analizándose cada una de las muestras mediante el método de Espectrometría de Absorción Atómica. Donde la concentración de As fue de 0.0404 mg/L, del Pb 0.6402 mg/L, y del Cd 0.0396 mg/L, siendo todos superiores a los Límites Máximos Permisibles establecidos por los “Estándares Nacionales de Calidad para Agua”.
- (Ángel L. Blanco H. y otros – 1998) “ESTUDIO DE LOS NIVELES DE PLOMO, CADMIO, ZINC Y ARSENICO, EN AGUAS DE LA PROVINCIA DE SALAMANCA” Rev. Esp. Salud Publica 1998, Vol. 72, N, °1. Realizaron un estudio para conocer el grado de contaminación de Plomo, Cadmio, Zinc y

Arsénico en las aguas de la provincia de salamanca y su relación con la zona de procedencia de las muestras como, redes de abastecimiento, fuentes, manantiales, pozos, ríos, riveras y lagunas de la provincia de Salamanca analizándose los contenidos de Plomo, Cadmio, Zinc y Arsénico de 180 muestras mediante espectrometría de absorción atómica, los resultados indicaron que un 56% de las muestras analizadas superan las concentraciones máximas admisibles de Cadmio, y un 28% del total de muestras analizadas supera las concentraciones máximas admisibles de Plomo, según la legislación vigente presentando niveles tolerables de Zinc y Arsénico. Llegando a la conclusión de que las aguas de la provincia de Salamanca presentan de forma natural altos contenidos de Cadmio y Plomo probablemente debido a las características geológicas del terreno.

## 1.5. JUSTIFICACIÓN

En la actualidad a nivel mundial y específicamente en el Perú la minería tiene un gran auge debido a que sus recursos minerales son explotados mediante procesos de explotación o artesanalmente él fin de esta investigación experimental será para conocer el estado actual de las aguas de los alrededores de las empresas vinculadas a la explotación minera.

La determinación de los niveles de concentración de metales pesados nos permitirá conocer con que cantidad de metales pesados están contaminados nuestros ríos y lagunas, así poder adoptar medidas de un desarrollo sostenible en la comunidad y las empresas mineras.

## 1.6. HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN

### 1.6.1. Hipótesis General

- Con el análisis de ICP (Inductively Coupled Plasma) del efluente líquido de la Rampa San Marcelo será posible identificar los metales pesados presentes como: aluminio, bario, cromo, cobre, potasio, manganeso, molibdeno, selenio, níquel, arsénico, plomo, cobre, cadmio, cobalto,

mercurio, zinc, para así poder evaluarlos según los Estándares de Calidad Ambiental del Agua y ver el grado de contaminación.

## **1.7. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN**

### **1.7.1. Objetivo General**

- Identificar los niveles de concentración de metales pesados presentes en los efluentes provenientes de la rampa San Marcelo – CIA DE MINAS SILLUSTANI S.A.

### **1.7.2. Objetivos Específicos**

- Identificar metales pesados de las aguas de la rampa San Marcelo – CIA de Minas Sillustani S.A.
- Comparar los niveles de concentración de metales pesados totales de la rampa San Marcelo – CIA de Minas Sillustani S.A. De acuerdo a los estándares de calidad ambiental (ECAS).

## **1.8. CARACTERIZACIÓN DEL ÁREA DE INVESTIGACIÓN**

### **1.8.1. Ámbito de estudio**

El ámbito de estudio de la investigación está dentro de la empresa minera Sillustani S.A, unidad minera Regina dentro de la región de Puno, Provincia de San Antonio de Putina entre los Distritos de Ananea y Quillcapuncu. (ver plano de ubicación, Plano N° G-01).

## CAPITULO II

### REVISION DE LITERATURA

#### 2.1. MARCO TEÓRICO

##### 2.1.1. Agua

El agua como requisito necesario para vivir juega un papel primordial en el desarrollo de todo ser vivo. Esta especie química es determinante de muchas de las características físico-químicas y biológicas imperantes en el planeta tierra.

El agua era considerada como una sustancia homogénea, hasta el descubrimiento de los isótopos de hidrógeno y oxígeno. Más adelante se comprobó que era una mezcla en la cual varía las cantidades relativas de distintos constituyentes.

Este líquido fundamental contiene grandes anomalías en sus propiedades. Los valores elevados en sus puntos de fusión y ebullición, vaporización y sublimación, conductividad térmica, capacidad térmica, tensión superficial y constante dieléctrica. Todas estas propiedades juegan un papel que podemos considerar fundamental en el desarrollo de la vida.

##### 2.1.2. Propiedades del agua

- Densidad del Agua

La densidad del agua es 1 (exactamente 0,9999 a 20° C). La congelación del agua es bastante distinta a la de otros líquidos. Los puentes de hidrógeno producen un reordenamiento cristalino que hace que el hielo se expanda más allá del volumen del líquido original, de forma que su densidad resulta menor y flota. Si no fuese así los cuerpos de agua se congelarían en el fondo y la vida, en la forma que conocemos no existiría.

➤ Conductividad

El agua es ligeramente conductora de electricidad, aumentando su conductividad si se añaden sales u otros materiales ionizantes. Su unidad es microsiemens por centímetro ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ ).

➤ Color

El agua pura no es incolora, tiene un tinte azul verdoso en grandes volúmenes. El color afecta estéticamente a la potabilidad de las aguas y afecta como colorante de ciertos productos cuando se utiliza en su fabricación.

Las medidas de color se hacen por comparación con un estándar arbitrario a base de cloruro de cobalto  $\text{Cl}_2\text{Co}$  y cloroplatino de potasio  $\text{Cl}_6\text{PtK}_2$  y se expresa en una escala de unidades de Pt-Co (unidades Hazen) o simplemente escala Pt.

➤ Turbidez

Es la dificultad del agua para transmitir la luz de los materiales en suspensión, coloidales o muy finos. Son materiales difíciles de decantar y filtrar.

La medición se hace por comparación con la turbidez inducida por diversas sustancias. Se utilizan unos aparatos llamados turbidímetros de los que existen varios tipos.

El color, la turbidez y la conductividad se utilizan como parámetros de la calidad del agua.

### 2.1.3. Contaminación del agua

La contaminación del agua se define como la presencia de sustancias u organismos extraños en un cuerpo de agua en tal cantidad y con tales características que impiden su utilización con propósitos determinados.

La contaminación puede ser natural o antropogénica:

**Contaminación natural:** que se debe a fenómenos naturales como la erosión y las erupciones volcánicas y está relacionada con la composición de suelos, aguas y los componentes de algunos alimentos pero que no es tan grave como la antropogénica.

**Contaminación antropogénica:** que es generada por las actividades que realiza el hombre como son las industriales, mineras, agropecuarias, artesanales y domésticas y es más grave por su naturaleza y la gran variedad de contaminantes que genera.

### 2.1.4. Toxicidad de los metales pesados

Desde el punto de vista biológico, se distinguen dos grupos de metales pesados, los que son requeridos por el organismo en pequeñas cantidades, pero que pasado cierto umbral se hacen tóxicos como el Co, Cr, Mo, Mn, Se y Zn, y los metales pesados que no tienen función biológica conocida y que se acumulan en los organismos vivos, además, su presencia en determinadas cantidades produce disfunciones en los organismos vivos y resultan altamente tóxicos y son principalmente Cd, Hg, Pb, Sb, Bi. Los metales pesados más tóxicos son el Sb, As, Cd, Cu, Cr, Hg, Ni, Pb, Se y Zn.

El aporte de estos metales al ciclo hidrológico procede de diversas fuentes, siendo una de ellas de origen litogénico a partir de los minerales que, por causas de erosión, lluvias, etc. son arrastrados al agua. La actividad productiva y los

residuos domésticos son fuentes importantes de contaminación, puesto que los aportan metales al aire, agua y suelos. (Álvarez, 2004).

Las actividades humanas producen diferentes tipos de vertidos que incrementan la concentración de los metales pesados en los sedimentos fluviales. Según su forma de asociación, los metales son susceptibles o no, a solubilizarse durante las modificaciones fisicoquímicas estacionales (estiaje, crecida, etc.). La desoxigenación de las capas profundas durante el verano, ocasiona la reducción química de los óxidos asociados a la fase sólida, produciendo así, la disminución de la concentración de Fe y Mn en el sedimento. La reducción de estos dos elementos puede ocasionar la solubilización de ciertos metales adsorbidos en el sedimento como el Zn, Cr y Ni. (Álvarez, op cit).

La concentración de metales pesados puede tener efectos positivos o negativos sobre los seres vivos. Algunos de ellos, en determinadas concentraciones siempre menores al 0,01% de la masa total del organismo, son elementos esenciales para la vida, así el V, Cr, Mo, Mn, Fe, Co, Ni, Cu y Zn lo son para el hombre, sin embargo, pequeñas variaciones de sus concentraciones, tanto disminuciones como incrementos, pueden producir efectos nocivos, a veces graves, crónicos e incluso letales sobre los seres vivos. Iguales efectos nocivos pueden ser causados por otros metales traza, no esenciales, que de forma natural o, principalmente, como consecuencia de la actividad humana, se encuentran actualmente en el medio ambiente de forma accesible. (Rosas, 2005).

Los metales tienen tres vías principales de entrada en el medio acuático:

**La vía atmosférica**, se trata de la sedimentación de partículas emitidas a la atmósfera por procesos naturales o antropogénicos (principalmente combustión de combustibles fósiles y procesos de fundición de metales).

**La vía terrestre**, producto de filtraciones de vertidos, de la escorrentía superficial de terrenos contaminados (minas, utilización de lodos como abono,

lixiviación de residuos sólidos, precipitación atmosférica, etc.) y otras causas naturales.

**La vía directa**, son los vertidos directos de aguas residuales industriales y urbanas a los cauces fluviales.

En los sistemas acuáticos continentales (ríos, lagos, embalses, etc.), los metales pesados están presentes como resultados de la acción de procesos naturales y antropogénicos. Así, se distingue entre un origen natural de metales pesados y otro antropogénico. En la práctica la distinción entre una contaminación de origen industrial, doméstico o natural y la producida por actividades mineras resulta difícil de discernir. (Álvarez, op cit)

## 2.2. GEOLOGÍA REGIONAL

Esta comprendido de los siguientes Grupos y Formaciones.

### 2.2.1. Grupo Copacabana Pi-c (Pérmico Superior)

Constituidos por afloramientos de pizarras gris oscuras, lutitas, calizas grises azuladas y niveles dolomíticos. Aflora al noreste del poblado de Caminaca (cuadrángulo de Huancané). Su potencia aproximada es de 1800 m. (Ingemmet, proyecto GE 33, Pg.8).

### 2.2.2. Grupo Ambo Ci-a (Misisipiano)

En el área el Grupo Ambo ha sido reconocido en el cuadrángulo de Puno y tiene su mejor desarrollo en el cuadrángulo de Juliaca. Consiste en areniscas, lutitas carbonosas, niveles conglomerádicos, limolitas rojas, lentes delgadas de carbón y a veces tufos volcánicos. Aflora al norte del poblado de Palca. Alcanza una potencia aproximada de 2700 m. (Ingemmet, proyecto GE 33, Pg.7).

### 2.2.3. Grupo Puno P-pu (Terciario Inferior)

Constituido por sedimentos molásicos (capas rojas), areniscas arcósicas, areniscas tufáceas, conglomerados y lutitas yesíferas. Su localidad tipo se encuentra alrededor de la ciudad de Puno. (Ingemmet, proyecto GE 33, Pg.8).

#### 2.2.4. Formación Ayabacas Kis-ay (Cenomaniano – Cretácico Superior)

Constituido por calizas grises y calizas lutáceas. Su localidad tipo se encuentra en el poblado de Ayabacas. Tiene una potencia aproximada de 300 m. (Ingemmet, proyecto GE 33, Pg.8).

#### 2.2.5. Formación Huancané Ki- hn (Cretáceo Inferior)

Presenta areniscas gruesas, cuarzosas con estratificación cruzada, lentes de arenisca conglomerádicas y delgados lechos de lutitas. Aflora en los alrededores del poblado de Huancané y alcanza una potencia aproximada de 600 m. (Ingemmet, proyecto GE 33, Pg.8).

#### 2.2.6. Formación Ananea SD-a (Silúrico – Devoniano)

Secuencia gruesa de lutitas negras afectadas con esquistosidad de flujo, finamente estratificadas que afloran en la localidad de Ananea, en el valle, así como en la Cordillera Oriental descansando en aparente concordancia sobre la Formación Sandía. Esta formación se encuentra ampliamente distribuida en el cuadrángulo de la Rinconada. El espesor de la Formación puede sobrepasar los 800 m a la altura de Queluma. Esta Formación al parecer es carente de fósiles por lo que la edad de acuerdo a la posición estratigráfica y considerando que la Formación Sandía es de edad Caradociano, estas pizarras esquistosas cuarzosas podrían ser Siluro-Devoniano. (Ingemmet, proyecto GE 33, Pg.10).

#### 2.2.7. Depósitos Aluviales Qh-al

Son aquellos depósitos que se acumulan en los flancos de los valles y quebradas tributarias, también se encuentran formando superficies subhorizontales. (Ingemmet, proyecto GE 33, Pg.11).

#### 2.2.8. Depósitos Morrénicos Qpl-mo

Estos depósitos se encuentran rellenando valles glaciares antiguos, por encima de los 4200 m, son generalmente morrenas que están constituidas por brechas de composición variada. (Ingemmet, proyecto GE 33, Pg.11).

### 2.3. GEOLOGÍA LOCAL

#### 2.3.1. Grupo Copacabana PEc-c

Calizas grises con intercalaciones de lutitas negras.

#### 2.3.2. Grupo Tarma Cp-t

Areniscas de coloración verdosa, son de grano medio a fino, micáceas.

#### 2.3.3. Grupo Ambo Cm-a

Cuarcitas de color gris blanquecina, de coloración amarillenta, presentan laminación paralela, con intercalaciones de lutitas negras.

#### 2.3.4. Depósitos Aluviales Qh-al

Se presentan en las márgenes de los ríos a manera de terrazas, están constituidas por gravas con clastos redondeados envuelto en una matriz arenosa.

#### 2.3.5. Depósitos Glaciares Qh-gl

Depósitos conformados por clastos, gravas, arenas, el tamaño de los fragmentos varían entre 10 cm y 30 cm.

## 2.4. MARCO LEGAL

### 2.4.1. Derechos fundamentales de la persona.

Que en su artículo 2 numeral 22 de la constitución política del Perú dice “A la paz, a la tranquilidad, al disfrute del tiempo libre y al descanso, así como a gozar de un ambiente equilibrado y adecuado al desarrollo de su vida” (constitución política del Perú).

### 2.4.2. Del rol del Estado en materia ambiental.

También el estado es en ente regulador y verificador para garantizar un ambiente adecuado, “El Estado, a través de sus entidades y órganos correspondientes, diseña y aplica las políticas, normas, instrumentos, incentivos y sanciones que sean necesarios para garantizar el efectivo ejercicio de los derechos y el cumplimiento de las obligaciones y responsabilidades contenidas en la presente Ley”. (Ley General del Ambiente 28611. Art. 3).

### 2.4.3. 2.4.3. Manejo de los residuos minerales.

La Autoridad de Aguas o la Sanitaria exigirá que los residuos minerales sean depositados en áreas especiales o “canchas de relave” dotadas de los elementos necesarios de control y seguridad, o sean evacuados por otros sistemas de manera que se evite la contaminación de las aguas o tierras agrícolas de actual o futura explotación. (Ley general de aguas 17752. Art. 54°).

### 2.4.4. Del principio de sostenibilidad.

La gestión del ambiente y de sus componentes, así como el ejercicio y la protección de los derechos que establece la presente Ley, se sustentan en la integración equilibrada de los aspectos sociales, ambientales y económicos del desarrollo nacional, así como en la satisfacción de las necesidades de las actuales y futuras generaciones. (Ley General del Ambiente 28611. Art. V).

#### 2.4.5. Del principio de responsabilidad ambiental.

El causante de la degradación del ambiente y de sus componentes, sea una persona natural o jurídica, pública o privada, está obligado a adoptar inexcusablemente las medidas para su restauración, rehabilitación o reparación según corresponda o, cuando lo anterior no fuera posible, a compensar en términos ambientales los daños generados, sin perjuicio de otras responsabilidades administrativas, civiles o penales a que hubiera lugar. (Ley General del Ambiente 28611. Art. IX).

#### 2.4.6. De los planes de descontaminación y el tratamiento de pasivos ambientales.

- 30.1 Los planes de descontaminación y de tratamiento de pasivos ambientales están dirigidos a remediar impactos ambientales originados por uno o varios proyectos de inversión o actividades, pasados o presentes. El Plan debe considerar su financiamiento y las responsabilidades que correspondan a los titulares de las actividades contaminantes, incluyendo la compensación por los daños generados, bajo el principio de responsabilidad ambiental.
- 30.2 Las entidades con competencias ambientales promueven y establecen planes de descontaminación y recuperación de ambientes degradados. La Autoridad Ambiental Nacional establece los criterios para la elaboración de dichos planes.
- 30.3 La Autoridad Ambiental Nacional, en coordinación con la Autoridad de Salud, puede proponer al Poder Ejecutivo el establecimiento y regulación de un sistema de derechos especiales que permita restringir las emisiones globales al nivel de las normas de calidad ambiental. El referido sistema debe tener en cuenta:
  - a. Los tipos de fuentes de emisiones existentes;
  - b. Los contaminantes específicos;

- c. Los instrumentos y medios de asignación de cuotas;
- d. Las medidas de monitoreo; y,
- e. La fiscalización del sistema y las sanciones que correspondan. (Ley General del Ambiente 28611. Art. 30).

#### 2.4.7. Del Estándar de Calidad Ambiental.

- 31.1 El Estándar de Calidad Ambiental - ECA es un indicador que establece el nivel de concentración o del grado de elementos, sustancias o parámetros físicos, químicos y biológicos, presentes en el aire, agua o suelo, en su condición de cuerpo receptor, fijando metas que representen el nivel a partir del cual puede afectar significativamente el ambiente y la salud humana, es un indicador que se mide para que no represente un riesgo significativo para la salud de las personas ni al ambiente. Según el parámetro en particular a que se refiera, la concentración o grado podrá ser expresada en máximos, mínimos o rangos.
- 31.2 El ECA es obligatorio en el diseño de las normas legales y las políticas públicas. Es un referente obligatorio en el diseño y aplicación de todos los instrumentos de gestión ambiental.
- 31.3 No se otorga la certificación ambiental establecida mediante la Ley del Sistema Nacional de Evaluación del Impacto Ambiental, cuando el respectivo EIA concluye que la implementación de la actividad implicaría el incumplimiento de algún Estándar de Calidad Ambiental. Los Programas de Adecuación y Manejo Ambiental también deben considerar los Estándares de Calidad Ambiental al momento de establecer los compromisos respectivos.
- 31.4 Ninguna autoridad judicial o administrativa podrá hacer uso de los estándares nacionales de calidad ambiental, con el objeto de sancionar bajo forma alguna a personas jurídicas o naturales, a menos que se demuestre que existe causalidad entre su actuación y la transgresión de dichos estándares. Las sanciones deben basarse en el incumplimiento de

obligaciones a cargo de las personas naturales o jurídicas, incluyendo las contenidas en los instrumentos de gestión ambiental. (Ley General del Ambiente 28611. Art. 31).

#### 2.4.8. Del Límite Máximo Permissible.

- 32.1 El Límite Máximo Permissible - LMP, los LMP miden la concentración de ciertos elementos, sustancias y/o aspectos físicos, químicos y biológicos que se encuentran en las emisiones de efluentes, así como de descargas hacia el medio ambiente, que al ser excedida causa o puede causar daños a la salud, al bienestar humano y al ambiente. Su cumplimiento es exigible legalmente por la respectiva autoridad competente. Según el parámetro en particular a que se refiera, la concentración o grado podrá ser expresada en máximos, mínimos o rangos. (\*).

(\*). Numeral modificado por el Artículo 1 del Decreto Legislativo N° 1055, publicado el 27 junio 2008, cuyo texto es el siguiente:

- 32.1 El Límite Máximo Permissible - LMP, es la medida de la concentración o grado de elementos, sustancias o parámetros físicos, químicos y biológicos, que caracterizan a un efluente o una emisión, que al ser excedida causa o puede causar daños a la salud, al bienestar humano y al ambiente. Su determinación corresponde al Ministerio del Ambiente. Su cumplimiento es exigible legalmente por el Ministerio del Ambiente y los organismos que conforman el Sistema Nacional de Gestión Ambiental. Los criterios para la determinación de la supervisión y sanción serán establecidos por dicho Ministerio.
- 32.2 El LMP guarda coherencia entre el nivel de protección ambiental establecido para una fuente determinada y los niveles generales que se establecen en los ECA. La implementación de estos instrumentos debe asegurar que no se exceda la capacidad de carga de los ecosistemas, de acuerdo con las normas sobre la materia. (Ley General del Ambiente 28611. Art. 32).

#### 2.4.9. De la elaboración de ECA y LMP.

- 33.1 La Autoridad Ambiental Nacional dirige el proceso de elaboración y revisión de ECA y LMP y, en coordinación con los sectores correspondientes, elabora o encarga, las propuestas de ECA y LMP, los que serán remitidos a la Presidencia del Consejo de Ministros para su aprobación mediante Decreto Supremo.
- 33.2 La Autoridad Ambiental Nacional, en el proceso de elaboración de los ECA, LMP y otros estándares o parámetros para el control y la protección ambiental, debe tomar en cuenta los establecidos por la Organización Mundial de la Salud (OMS) o de las entidades de nivel internacional especializadas en cada uno de los temas ambientales.
- 33.3 La Autoridad Ambiental Nacional, en coordinación con los sectores correspondientes, dispondrá la aprobación y registrará la aplicación de estándares internacionales o de nivel internacional en los casos que no existan ECA o LMP equivalentes aprobados en el país.
- 33.4 En el proceso de revisión de los parámetros de contaminación ambiental, con la finalidad de determinar nuevos niveles de calidad, se aplica el principio de la gradualidad, permitiendo ajustes progresivos a dichos niveles para las actividades en curso. (Ley General del Ambiente 28611. Art. 33).

#### 2.4.10. Del nuevo decreto supremo de ECAs para agua.

La presente norma tiene por objeto compilar las disposiciones aprobadas mediante el Decreto Supremo N° 002-2008-MINAM, el Decreto Supremo N° 023-2009-MINAM y el Decreto Supremo N°015-2015-MINAM, que aprueban los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Agua, quedando sujetos a lo establecido en el presente Decreto Supremo y el Anexo que forma parte integrante del mismo. Esta compilación normativa modifica y elimina algunos valores, parámetros, categorías y subcategorías de los ECA, y mantiene otros,

que fueron aprobados por los referidos decretos supremos. (DS. N°004-2017-MINAM, Art. 1).

#### 2.4.11. Aprobación de los Estándares de Calidad Ambiental para Agua.

Apruébese los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Agua, que como Anexo forman parte integrante del presente Decreto Supremo. (DS. N°004-2017-MINAM, Art. 2).

#### 2.4.12. Categorías de los Estándares de Calidad Ambiental para Agua.

Para la aplicación de los ECA para Agua se debe considerar las siguientes precisiones sobre sus categorías:

- Categoría 1: Poblacional y recreacional
- Categoría 2: extracción, cultivo y otras actividades marino costeras y continentales.
- Categoría 3: riego de vegetales y bebida de animales.
- Categoría 4: conservación del ambiente acuático. (DS. N°004-2017-MINAM, Art. 3).

#### 2.4.13. Conservación del ambiente acuático

Entiéndase como aquellos cuerpos naturales de agua superficiales que forman parte de ecosistemas frágiles, áreas naturales protegidas y/o zonas de amortiguamiento, cuyas características requieren ser protegidas.

##### a. Subcategoría E1: Lagunas y lagos

Entiéndase como aquellos cuerpos naturales de agua lénticos, que no presentan corriente continua, incluyendo humedales.

##### b. Subcategoría E2: Ríos

Entiéndase como aquellos cuerpos naturales de agua lóticos, que se mueven continuamente en una misma dirección:

- Ríos de la costa y sierra

Entiéndase como aquellos ríos y sus afluentes, comprendidos en la vertiente hidrográfica del Pacífico y del Titicaca, y en la parte alta de la vertiente oriental de la Cordillera de los Andes, por encima de los 600 msnm.

- Ríos de la selva

Entiéndase como aquellos ríos y sus afluentes, comprendidos en la parte baja de la vertiente oriental de la Cordillera de los Andes, por debajo de los 600 msnm, incluyendo las zonas meándricas.

c. Subcategoría E3: Ecosistemas costeros y marinos

- Estuarios

Entiéndase como aquellas zonas donde el agua de mar ingresa en valles o cauces de ríos hasta el límite superior del nivel de marea. Esta clasificación incluye marismas y manglares.

- Marinos

Entiéndase como aquellas zonas del mar comprendidas desde la línea paralela de baja marea hasta el límite marítimo nacional.

Precísese que no se encuentran comprendidas dentro de las categorías señaladas, las aguas marinas con fines de potabilización, las aguas subterráneas, las aguas de origen minero - medicinal, aguas geotermales, aguas atmosféricas y las aguas residuales tratadas para reusó. (DS. N°004-2017-MINAM, Art. 3, categoría 4).

Tabla 1. Categoría número 4, conservación del ambiente acuático

Parámetros	Unidad de medida	E1: Lagunas y lagos	E2: Ríos		E3: Ecosistemas costeros y marinos	
			Costa y sierra	Selva	Estuarios	Marinos
<b>FÍSICOS- QUÍMICOS</b>						
Aceites y Grasas (MEH)	mg/L	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0
Cianuro Libre	mg/L	0,0052	0,0052	0,0052	0,001	0,001
Color (b)	Color verdadero Escala Pt/Co	20 (a)	20 (a)	20 (a)	**	**
Clorofila A	mg/L	0,006	**	**	**	**
Conductividad	(µS/cm)	1 000	1 000	1 000	**	**
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO <sub>5</sub> )	mg/L	5	10	10	15	10
Fenoles	mg/L	2,56	2,56	2,56	5,0	5,0
Fósforo total	mg/L	0,035	0,05	0,05	0,124	0,062
Nitratos (NO <sub>3</sub> ) (c)	mg/L	13	13	13	200	200
Amoníaco Total (NH <sub>3</sub> )	mg/L	(1)	(1)	(1)	(2)	(2)
Nitrógeno Total	mg/L	0,315	**	**	**	**
Oxígeno Disuelto (valor mínimo)	mg/L	≥ 5	≥ 5	≥ 5	≥ 4	≥ 4
Potencial de Hidrógeno (pH)	Unidad de pH	6,5 a 9,0	6,5 a 9,0	6,5 a 9,0	6,6 – 8,5	6,6 – 8,5
Sólidos Suspendidos Totales	mg/L	≤ 25	≤ 100	≤ 400	≤ 100	≤ 30
Sulfuros	mg/L	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002
Temperatura	°C	Δ 3	Δ 3	Δ 3	Δ 2	Δ 2
<b>INORGÁNICOS</b>						
Antimonio	mg/L	0,64	0,64	0,64	**	**
Arsénico	mg/L	0,15	0,15	0,15	0,036	0,036
Bario	mg/L	0,7	0,7	1	1	**
Cadmio Disuelto	mg/L	0,00025	0,00025	0,00025	0,0005	0,0005
Cobre	mg/L	0,1	0,1	0,1	0,05	0,05
Cromo VI	mg/L	0,011	0,011	0,011	0,05	0,05
Mercurio	mg/L	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001
Níquel	mg/L	0,052	0,052	0,052	0,0062	0,0062
Plomo	mg/L	0,0025	0,0025	0,0025	0,0061	0,0061
Selenio	mg/L	0,005	0,005	0,005	0,071	0,071
Talio	mg/L	0,0006	0,0006	0,0006	**	**
Zinc	mg/L	0,12	0,12	0,12	0,061	0,061

Fuente: MINAM (ver anexo)

#### 2.4.14. Riesgos y daños ambientales de los PAMs.

Un PAM constituye un potencial riesgo de contaminación ambiental, y también, un riesgo para la salud humana y animal, y la pérdida de bienes y servicios ambientales.

Existen PAMs que contaminan fuentes de agua superficial y subterránea, suelos y el aire de sus alrededores, y otros que han causado daños ambientales, pero el Estado aún no cuenta con adecuados mecanismos y estrategias para su atención. Cabe mencionar que la Ley General del Ambiente define daño ambiental como “todo menoscabo material que sufre el ambiente y/o alguno de

sus componentes, que puede ser causado contraviniendo o no disposición jurídica, y que genera efectos negativos actuales o potenciales” (Artículo 142.2). Se entiende como sus componentes a los elementos físicos, químicos y biológicos de origen natural o antropogénico que, en forma individual o asociada, conforman el medio en el que se desarrolla la vida.

Para los daños ambientales generados por los PAMs no existe un marco legal de indemnización o reparación. Lo que se viene desarrollando son instrumentos de prevención, remediación y compensación.

Un determinado PAM causa diferentes efectos negativos. En la Tabla 2 se puede apreciar los efectos más comunes asociados a los PAMs.

#### 2.4.15. Contaminación de las aguas superficiales y subterráneas.

El mayor riesgo ambiental de los PAMs (pasivos ambientales mineros) es la contaminación de las aguas superficiales y subterráneas. La contaminación de las aguas se debe a liberación de contaminantes tóxicos contenidos en los residuos mineros y desde las obras mineras, los tajos abiertos y los socavones entre otros. Existen diferentes fuentes y mecanismos de liberación de estos contaminantes. El potencial de liberación de estos elementos y el riesgo asociado dependen de las condiciones específicas del sitio, incluyendo el diseño y la operación de la extracción, del procesamiento, la gestión de los residuos, la calidad de las medidas de mitigación, aspectos ambientales como el clima y la cercanía a posibles receptores.

Los principales mecanismos de transporte a las aguas superficiales y subterráneas son las descargas directas de las aguas de proceso, las aguas de mina, el escurrimiento superficial y la infiltración. Impactos adversos también al agua superficial lo conforman la descarga superficial de sedimentos contaminados, la reducción del pH, la destrucción de ecosistemas hídricos y la contaminación del agua potable.

La presencia de sulfuros en los residuos mineros y en las labores abiertas y la consecuente formación de drenajes ácidos de mina (DAM) con altos contenidos de metales pesados y arsénico han sido reconocidos ampliamente como uno de los grandes problemas ambientales no solo en el Perú sino en muchas regiones en el mundo.

La formación de Drenaje Acido de Mina (DAM) se debe a la oxidación de minerales sulfúricos en presencia del agua y oxígeno, reaccionando para formar ácidos sulfúricos que fácilmente disuelven metales tales como el hierro, el cobre el aluminio y el plomo. Este proceso puede ser natural, pero el desarrollo minero puede acelerar en gran medida la velocidad a la que se producen tales reacciones que finalmente generaran procesos contaminantes adversos principalmente para los cursos de aguas.

Las aguas superficiales se pueden contaminar debido a la erosión y descarga de sedimentos y materiales provenientes de los tajos abiertos, pilas de lixiviación, tanques de relaves, desmontes, etc. hacia los cuerpos acuáticos. Una alta o elevada concentración de sedimentos o una concentración elevada de contaminantes en el sedimento en el agua pueden producir efectos adversos a la vida acuática. (Red Muqui 2015, Pg. 11)

## **2.5. MARCO CONCEPTUAL**

### **2.5.1. Metales pesados.**

Los metales pesados son altamente peligrosos y dañinos, cambian la alcalinidad de los suelos dependiendo de su concentración, pueden hasta llegar a degradar el suelo disminuyendo su productividad hasta llegar a producir desertificación (Karla P. Romero, 2009).

Los metales pesados son de toxicidad extrema porque, como iones o en ciertos compuestos, son solubles en agua y el organismo lo absorbe con facilidad. Dentro del cuerpo, tienden a combinarse con las enzimas y a inhibir su

funcionamiento. Hasta dosis muy pequeñas producen consecuencias fisiológicas o neuronales graves.

Los defectos congénitos incapacitantes que causa el envenenamiento con mercurio o el retraso mental debido al saturnismo causado por el Plomo, con ejemplos bien conocidos (Nebel y Wrigth, 1999).

Los metales se clasifican en dos grandes grupos:

- 1. Oligoelementos o micronutrientes.** Algunos de estos metales son necesarios en pequeñas cantidades para los organismos, por consiguiente, son perjudiciales una vez rebasados cierto umbral. En otras palabras, son tóxicos y estos son: Arsénico (As), Boro (Bo), Cobalto (Co), Cromo (Cr), Cobre (Cu), Molibdeno (Mo), Manganeseo (Mn), Níquel (Ni), Selenio (Se) y Zinc (Zn).
- 2. Sin función biológica conocida.** Son metales altamente tóxicos para todo ser biótico y estos son: Bario (Ba), Cadmio (Cd), Mercurio (Hg), Plomo (Pb), Antimonio (Sb) y Bismuto (Bi). Su presencia y acumulación progresiva y/o su transferencia a otros sistemas supone una amenaza para la salud humana y la de los ecosistemas (Navarro et al., 2007).

#### 2.5.2. Estándares de calidad de agua

El agua contiene diversas sustancias químicas, físicas y biológicas disueltas o suspendidas en ella. Desde el momento en que se condensa en forma de lluvia, el agua disuelve los componentes químicos de sus alrededores a medida que cae a través de la atmosfera, corre sobre la superficie del suelo y se filtra a través del mismo. Además, el agua contiene organismos vivos que reaccionan con sus elementos físicos y químicos. Por estas razones suele ser necesario tratarla a fin de hacerla adecuada para su uso.

El agua que contiene ciertas sustancias químicas u organismos microscópicos puede ser perjudicial para determinados procesos industriales y al mismo tiempo

perfectamente idónea para otros. Los organismos causantes de enfermedades (patógenos) del agua la hacen peligrosa para consumo humano. las aguas subterráneas de áreas con piedra caliza pueden contener un alto contenido de bicarbonato de calcio (dureza) y requerir ablandamiento previo a su uso (J. Glynn H. & Gary W. Heinke p.389).

### 2.5.3. Pasivos ambientales mineros (PAM)

Son aquellas instalaciones, efluentes, emisiones, restos o depósitos de residuos producidos por operaciones mineras, en la actualidad abandonadas o que constituyen un riesgo permanente y potencial para la salud de la población, el ecosistema circundante y la propiedad (Art. 2° Ley N°28271, ley que regula los pasivos ambientales de la actividad minera).

### 2.5.4. Tipos y subtipos de (PAMs).

El ministerio de energía y minas considera 3 tipos de PAMs y más de 10 subtipos, como se muestran en la tabla.

Tabla 2. Pasivos Ambientales Mineros

TIPO	SUBTIPO
Labor minera	Bocaminas, chimeneas, piques, tajeo, comunicados, trincheras y tajos abiertos.
Residuo minero	Relaves, desmontes de mina, botaderos de lixiviación.
Infraestructura	Campamentos, oficinas, talleres, plantas de procesamiento y otras instalaciones relacionadas con el proyecto minero.

*Fuente: Adaptación del Ministerio de Energía de Minas*

#### 2.5.5. Bocamina

Es el espacio físico por donde se hace el ingreso a una mina subterránea. Se puede decir que es el límite entre el espacio exterior y el espacio interior donde se realizan las actividades mineras de explotación de minerales. Sus características estén en función de tamaño (ancho y alto) que le dan facilidades para los accesos de los trabajadores, los equipos de transporte para la extracción del mineral y/o los camiones.

#### 2.5.6. Chimenea

Es una perforación vertical que se ejecuta en la roca y que tiene la misión de comunicar a más de una galería en el interior de las minas subterráneas, las que salen a superficie generalmente sirven para la ventilación de la mina.

#### 2.5.7. Cierre de pasivos ambientales mineros

Se refiere al conjunto de actividades a ser implementadas a fin de cumplir con los criterios ambientales específicos y alcanzar los objetivos sociales deseados después de la etapa de identificación y aprobación del Plan de Cierre de Pasivos Ambientales Mineros.

El cierre de pasivos ambientales mineros requiere del diseño e implementación de diferentes medidas como desmantelamiento, demolición, estabilización física y química e hidrológica, tratamiento de drenaje ácido de mina y lixiviación de metales, recuperación o rehabilitación de terrenos, revegetación y rehabilitación de hábitats acuáticos.

#### 2.5.8. Estándares de calidad ambiental

Los ECA son las medidas que establecen el nivel de concentración o del grado de elementos, sustancias o parámetros físicos, químicos y biológicos, presentes en el aire, agua o suelo —en su condición de cuerpo receptor—, que no

representa riesgo significativo para la salud de las personas ni para el ambiente. (Instrumentos Básicos para la Fiscalización Ambiental, OEFA Pg. 5).

#### 2.5.9. Límites máximos permisible

Son la medida de concentración o del grado de elementos, sustancias o parámetros físicos, químicos y biológicos, que caracterizan al efluente o una emisión, que al ser excedido causa o puede causar daños a la salud, al bienestar humano y al ambiente. (Instrumentos Básicos para la Fiscalización Ambiental, OEFA Pg. 6).

#### 2.5.10. Caudal.

Es la cantidad de agua que pasa por una sección determinada en una unidad de tiempo.

#### 2.5.11. Monitoreo de la calidad del agua

Es el proceso que permite obtener como resultado la medición de la calidad de agua, con el objeto de realizar el seguimiento sobre la exposición de contaminantes a los usos de agua y el control a las fuentes de contaminación.

#### 2.5.12. Muestreo de agua

Es una herramienta del monitoreo. Su función básica es la extracción de una parte del cuerpo de agua para determinar sus características y condiciones actuales.

#### 2.5.13. Medidor Multiparámetro

Instrumento que puede medir varios parámetros contenidos en el agua, tales como pH, temperatura, conductividad eléctrica, sólidos totales disueltos y oxígeno disuelto. (Instrumentos Básicos para la Fiscalización Ambiental, OEFA Pg. 31).

## **CAPITULO III**

### **MATERIALES Y MÉTODOS**

#### **3.1. TIPO Y DISEÑO DE INVESTIGACIÓN.**

Los parámetros fisicoquímicos son indicadores de contaminación y la concentración de metales pesados presentes en las aguas que son los efluentes de la rampa San Marcelo, determinando así la calidad del agua, muestreándose así tres muestras en las riveras de la laguna Choquene.

El tipo de investigación es experimental, se realizó la caracterización fisicoquímica de las muestras, así como la determinación de la concentración de los metales pesados en las aguas de la rampa San Marcelo y de las aguas provenientes de las aguas de la planta de tratamiento y se finalizó con la comparación de la concentración de acuerdo a los Límites Máximos Permisibles y los Estándares de Calidad Ambiental.

#### **3.2. POBLACIÓN Y MUESTRA DE INVESTIGACIÓN**

➤ Población

El presente trabajo se realizará dentro del proyecto minero CIA de minas Sillustani S.A. de la unidad minera Regina, Ubicado en los distritos de Ananea y Quilcapuncu, Provincia de San Antonio de Putina en el departamento de Puno.

➤ Muestra

Las muestras estarán compuestas por el efluente proveniente de la rampa San Marcelo y de la planta de tratamiento que están ubicadas en la laguna Choquene dentro del proyecto minero CIA de minas Sillustani, se tomarán tres muestras dos de las cuales serán de la rampa San Marcelo en los horarios de 12:00 pm de la misma rampa y una del efluente cercano a la planta de tratamiento, también se tomara una muestra fuera de la planta de tratamiento.

➤ Muestreo

El muestreo se hará en frascos de vidrio de 500 ml, los cuales deben de estar bien enjuagados, una vez tomado las muestras se colocarán en un Cooler para la respectiva conservación de sus propiedades físicas y químicas, una vez en el laboratorio de hará su respectivo tratamiento y respectivo análisis.

### **3.3. UBICACIÓN Y CARACTERIZACIÓN DEL ÁREA DEL PROYECTO**

#### **3.3.1. Ubicación y Acceso del Proyecto**

El trabajo de investigación se encuentra ubicado dentro de la propiedad del proyecto minero minero Sillustani, a una elevación que varía entre los 4500 m.s.n.m. hasta los 5000 msnm. Políticamente situada dentro de los distritos de Ananea y Quilcapuncu, Provincia de San Antonio de Putina en el Departamento de Puno.

Tabla 3. Accesibilidad al área de estudio

RUTA	VIA	TRAMO	DISTANCIA (Km)	CARRETERA	TIEMPO (HORAS)	ESTADO
1	Aérea	Lima- Juliaca	-	-	1.5	-
2	Terrestre	Lima – Juliaca	1300	Asfaltada	20	Buena
		Juliaca	123	Asfaltada	2	Buena
3	Terrestre	– ananea Desvio ananea – proyecto Sillustani	26	Afirmada	1	Regular

*Fuente: Elaboración Propia*

### 3.3.2. Clima

El clima de la zona en estudio está caracterizado principalmente por ser frío y seco, asimismo presentan dos temporadas claramente definidas: La época seca entre los meses de abril hasta noviembre y la época de lluvia entre los meses de diciembre hasta marzo, observándose la presencia de granizos y nevadas esporádicos.

La variación de la temperatura es:

- Máxima y mínima en verano: 16.5 °C y 2.8 °C respectivamente.
- Máxima y mínima en invierno: 19.7 °C y -7.8 °C respectivamente.

Con respecto a las precipitaciones se presenta una estación lluviosa y otra seca, la variación de la precipitación es:

- Precipitación mensual máxima extremo: 700 mm.
- Precipitación promedio mensual: 280 mm.
- Precipitación mensual mínima: 33 mm.
- Precipitación anual: 1950 mm.

En tanto la velocidad máxima anual del viento es del orden de 2.1 m/s. La

dirección dominante de vientos registra un azimut de 301°.

### 3.3.3. Contexto Histórico

La mina Sillustani estuvo en funcionamiento hace más de treinta años atrás a cargo de la minera Regina Palca 11, empresa subsidiaria de Avocat Mining ING

(con sede en Canadá y Reino Unido) y de propiedad del grupo Arias. El 2006 la

mina fue transferido a la Empresa Minera Sillustani S.A., perteneciente a MINSUR S.A. del grupo Breca, asumiendo todo activo y pasivo de la anterior empresa, entre ellos, los pasivos ambientales mineros.

El proyecto minero Sillustani (anteriormente Regina Palca 11), ha sido un importante productor de minerales de Tungsteno (W), y anteriormente se han explotado Ag, Pb, Cu, Zn.

### 3.3.4. Hidrología

Hidrográficamente, El proyecto minero Sillustani está en la parte alta de la cuenca del río Huancané. Las aguas de esta zona drenan por el río Condoraque (Choquene) que se une con el río Tococono, y luego con el río Huancané, hasta su desembocadura en el lago Titicaca.

En el área de estudio se cuenta con información de la estación Putina, una estación regional administrada por SENAMHI esta estación cuenta con datos el

cual dispuso con registros de precipitaciones máximas en 24 horas correspondientes al periodo 1962 – 2013, con un total de 53 años. En la tabla 3.2, presenta la precipitación máxima para distintos periodos de retorno en la estación Putina.

Tabla 4. Precipitación en 24 hr. Para Diferentes Periodos de Retorno

TR (años)	PUTINA (mm)	TR (años)	PUTINA (mm)
500	68.8	25	53.8
200	64.7	20	53
100	61.4	10	48.9
50	58	-	-

*Fuente: Compañía Minera Sillustani.*

### 3.3.5. Geología

El área en estudio se emplaza en la Cordillera Oriental, caracterizándose por su continuidad y elevación. Los rasgos estructurales están en estrecha relación con las características de las rocas precámbricas y paleozoicas existentes; producto del tectonismo del Hercínico, el mismo que fue controlado por fallas regionales longitudinales.

La morfología actual es el resultado del intenso plegamiento y fallamiento, asimismo, se encuentra caracterizada por relieve moderadamente abrupto y accidentado donde destacan los ambientes glaciares, destacan algunas montañas de cima truncada disecada por innumerables valles; asimismo, paralelo a las quebradas se aprecian terrazas aluviales antiguas y depósitos de conos de deyección laterales.

La secuencia estratigráfica regional, está constituida por rocas sedimentarias mesozoicas, deformadas por el intenso plegamiento, fallamiento inverso y grandes sobrescurrimientos. Las rocas intrusivas del terciario tienen afloramientos de gran amplitud y distribución, estas rocas varían en composición desde diorita (que es una roca plutónica compuesta de feldespatos, plagioclasas, hornblenda y piroxenos), tonalita (roca ígnea plutónica compuesta de cuarzo 35-10%, plagioclasa 50-80%, hornblenda y biotita 35-10%), granodiorita (compuesta de cuarzo 35-10%, feldespatos potásicos 20-40%, plagioclasas sódicas 25-45% y otros como moscovita, biotita, piroxenos y anfíboles en un 30-

10%) y dacita (compuesta de feldespatos en un >90% así como biotitas y hornblendas).

### 3.3.6. Relaves mineros

Los relaves mineros abandonados contienen aproximadamente 1'200,000 toneladas métricas de material con un promedio de 0.6 % de tungsteno. Presenta desbordes varios sitios, cuyo material llega a la laguna Choquene.

También se observa que el depósito de relaves aguas arriba de la laguna Choquene, no se observa vegetación en la superficie del depósito de relaves; se observa un color amarillo rojizo debido a la oxidación de minerales sulfurados, entre ellos también se encuentra los relaves mineros en las riberas como en la laguna Choquene.



Fotografía 1. *Pasivos Ambientales Laguna Choquene*

Fuente: Toma Local

### 3.4. TÉCNICAS E INSTRUMENTO DE RECOLECCIÓN DE DATOS

#### ➤ Tamaño de muestra

La toma de muestra se realizó durante el mes de julio del 2018. Se recogieron muestras de 500 ml, la secuencia de las tomas fue solo de tres muestras tomadas el mismo día, dos de la rampa San Marcelo y una de la planta de tratamiento, tomándose para cada una de ellas una muestra simple.

#### ➤ Técnicas

La técnica de toma de muestras fue una toma simple, donde se recolecto las muestras solo en los puntos designados de manera lineal para así poder determinar las características físico-químicas y luego la concentración de metales pesados mediante el análisis en el laboratorio de ICP, dentro de la universidad nacional del altiplano.

#### ➤ Material de análisis

- Cooler
- Vaso precipitado de 1000 mL
- Ácido Nítrico de 69 – 70%
- GPS
- Balanza
- Tiras indicadoras de Ph

#### ➤ Equipos

- Equipo de análisis de IPC (Inductively Coupled Plasma) o Espectrómetro de Plasma Inducido. (megalaboratorio).
- Multiparámetro de calidad de agua (Horiba, distribuido por ENVIROEQUIP S.A.C.).

### 3.5. METODOLOGÍA

La metodología de muestreo de los efluentes de la rampa San Marcelo, se tomaron muestras representativas, para determinar el nivel de concentración de los metales pesados del agua. El muestreo se realizó en forma lineal en tres puntos para así identificar la persistencia de los mismos en el trayecto.

### 3.6. PROCEDIMIENTO Y RECOLECCIÓN DE DATOS

➤ Etapa preliminar

- Recopilación de información técnica de desarrollo de CIA de minas Sillustani Ex Placa XI.
- Planificación y coordinación de fecha de muestreo de las aguas de la rampa San Marcelo.

➤ Etapa de campo

- Visita y reconocimiento de la unidad minera.
- Ubicación de los puntos de muestreo para el respectivo análisis de las muestras y la realización de la tesis, las cuales se detallan a continuación.
- Se consideró tres puntos de muestreo teniendo en cuenta que las características fisicoquímicas son lo más importante para el momento de obtener la muestra.
- MUESTRA 01: en la bocatoma de la rampa San Marcelo.
- MUESTRA 02: del efluente, afueras de la rampa San Marcelo a unos 50 mts de la bocamina.
- MUESTRA 03: de las aguas que salen de la planta de tratamiento

Tabla 5. Coordenadas de Puntos de Muestreo

PUNTO	COORDENADAS	
	ESTE	NORTE
RSM-01	426673	8373278
RSM-02	426989	8373133
PET-01	427322	8373021

*Fuente: GPS (Sistema de Procesamiento Global)*

➤ Etapa de análisis de muestras

- Se tomaron muestras uniformes en envases de vaso precipitado de 1000 mL, luego se trasvaso a envases botellas de vidrio de 500 mL. Se trasladaron las muestras en un Cooler hasta las instalaciones del Megalaboratorio, también se tomaron datos fisicoquímicos con el multiparámetro Horiba tomados en casa, trayéndose una muestra aparte de 1000 mL.
- A las muestras restantes que se llevaron al Megalaboratorio se le adiciono ocho a diez gotas de HNO<sub>3</sub>, para su respectiva conservación de las propiedades de las muestras y se almacenaron en un Frish.
- En el megalaboratorio de hizo el respectivo análisis mediante el análisis de ICP (Inductively Coupled Plasma) o Espectómetro de Plasma Inducido, donde se realizó el análisis de Dieciséis elementos químicos (metales pesados), tales como: Mercurio, Aluminio, Bario, Cadmio, Cobalto, Cromo, Cobre, Potasio, Manganeseo, Molibdeno, Níquel, Plomo, Selenio, Estroncio y Zinc. Para luego así poder identificar cuáles son los metales pesados presentes en los efluentes de la Rampa San Marcelo CIA de minas Sillustani.

### 3.7. PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS DE DATOS

➤ Tratamiento de las muestras

- Luego de realizar el respectivo análisis de las muestras en el Megalaboratorio de ICP de la UNA-PUNO (Inductively Coupled Plasma) o Espectrómetro de Plasma Inducido, se realizó el procesamiento de datos en el Programa de Excel, para su respectivo tratamiento y la realización de la comparación con los Límites Máximos Permisibles que se dan en el Decreto Supremo N°004-2017-MINAM, Aprueban Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Agua y establecen Disposiciones Complementarias.
- Se hará el respectivo tratamiento con la categoría 4, que corresponde a la conservación del medio ambiente y sub categoría E2: Ríos, Ríos de la Costa y Sierra, entiéndase como aquellos ríos y sus efluentes comprendidos en la vertiente hidrográfica del pacífico y del Titicaca, y en la parte alta de la vertiente oriental de la cordillera de los andes, por encima de los 600 msnm.

## CAPITULO IV

### RESULTADOS

#### 4.1. METALES PESADOS EN LA RAMPA SAN MARCELO - CIA DE MINAS SILLUSTANI S.A.

En las siguientes tablas 6 y 7; se presentan los resultados obtenidos del análisis de ICP de los metales pesados evaluados durante el periodo de investigación realizado en el mes de Julio del 2018, siendo tres puntos de muestreo RSM-01, RSM-02 y PET-01. Estas tablas en mención muestran los resultados de los tres puntos de muestreo la concentración de cada uno de ellos expresados en mg/L.

En las figuras N°01, N°02, N°03, N°04, N°05 y N°06 se observa la tendencia de la concentración de los metales pesados durante el mes de mayo del 2018, tiempo en el cual se tomó las muestras en los tres puntos de muestreo, haciendo la respectiva comparación con los LMP del metal pesado que está en forma horizontal.

Tabla 6. Determinación de metales pesados de los tres puntos de muestreo Julio 2018 (ICP)

METALES PESADOS	UNIDAD	RSM-1	RSM-2	PET-1
ANTIMONIO	mg/L	ND	ND	ND
ARSENICO	mg/L	45.4086	10.4853	5.49157
BARIO	mg/L	ND	ND	ND
CADMIO DISUELTO	mg/L	0.245066	-0.303957	0.0371122
COBRE	mg/L	19.7396	12.02167	12.35874
CROMO	mg/L	ND	ND	ND
MERCURIO	mg/L	5.98172	1.02591	0.360694
NIQUEL	mg/L	ND	ND	ND
PLOMO	mg/L	ND	ND	ND
SELENIO	mg/L	0.865567	1.81761	2.1546
TALIO	mg/L	ND	ND	ND
ZINC	mg/L	133.189	25.85438	18.334

*Fuente: Megalaboratorio de la Universidad Nacional del Altiplano*

En la tabla N°6 se muestran las concentraciones de los metales pesados obtenidos como: arsénico, cadmio, cobre, mercurio, selenio y zinc los cuales fueron identificados mediante análisis de ICP.

Tabla 7. Determinación de metales pesados de los tres puntos de muestreo Julio 2018 (ICP)

DETERMINACION	UNIDAD	RSM-1	RSM-2	PET-1
ALUMINIO	mg/L	ND	ND	ND
COBALTO	mg/L	0.361382	017391	0.08944
POTASIO	mg/L	ND	ND	ND
MANGANESO	mg/L	ND	ND	ND
MOLIBDENO	mg/L	1.47731	1.24332	1.12819
ESTRONCIO	mg/L	ND	ND	ND

*Fuente: Megalaboratorio de la Universidad Nacional del Altiplano.*

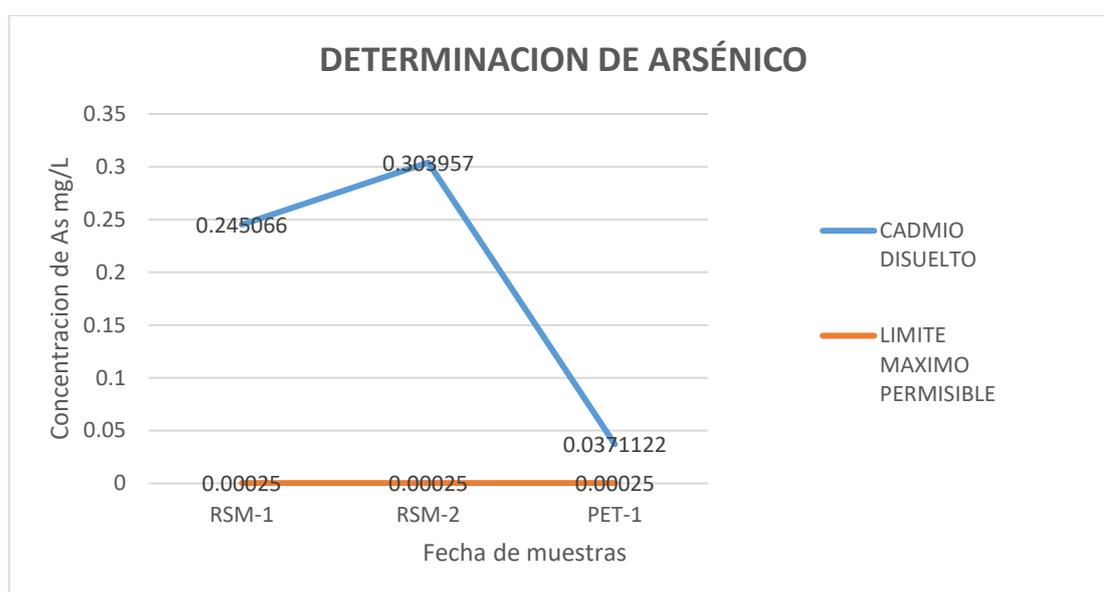
En la tabla N°7 se muestran los metales como: Cobalto y Molibdeno, pues también presentan concentraciones elevadas, pero en el D.S 004-2017-MINAM, no presentan sus Límites Máximos Permisibles.

Tabla 8 Propiedades Fisicoquímicas del punto de muestreo Julio 2018

PARAMETROS F-Q	MEDIDA	UNIDAD
Potencial de Hidrogeno	4.85	pH
Conductividad Eléctrica	0.999	S/m
Turbidez	0	JTU
Oxígeno Disuelto	12.08	Ppm
Temperatura	19.8	°C
Profundidad	0	M
Salinidad	1.15	Ppm
Solidos Totales Disueltos	12.1	Ppm
Potencial Oxido Reducción	231	mV

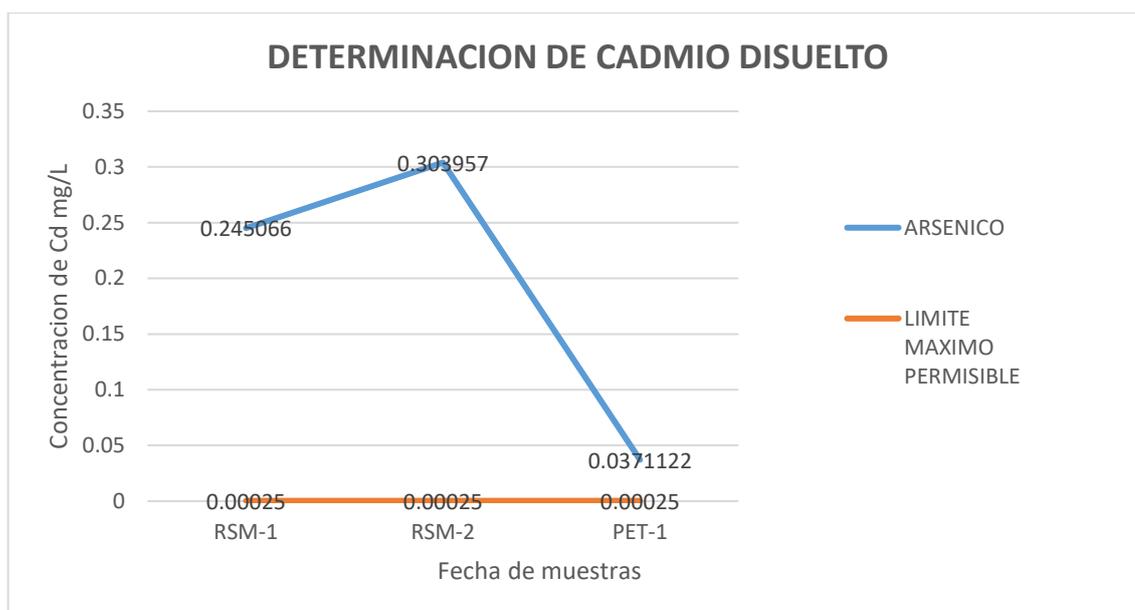
*Fuente: Instrumento Multiparámetro Horiba.*

En la tabla N°8 se muestran los valores físico-químicos de la muestra k fue tomada de la rampa San Marcelo, presenta un nivel de pH ácido lo cual no es recomendable para el consumo humano ni animal. Lo recomendable el nivel de pH debe de ser en aguas superficiales de 6.5 a 8.5 y para aguas subterráneas de 6 a 8.5.



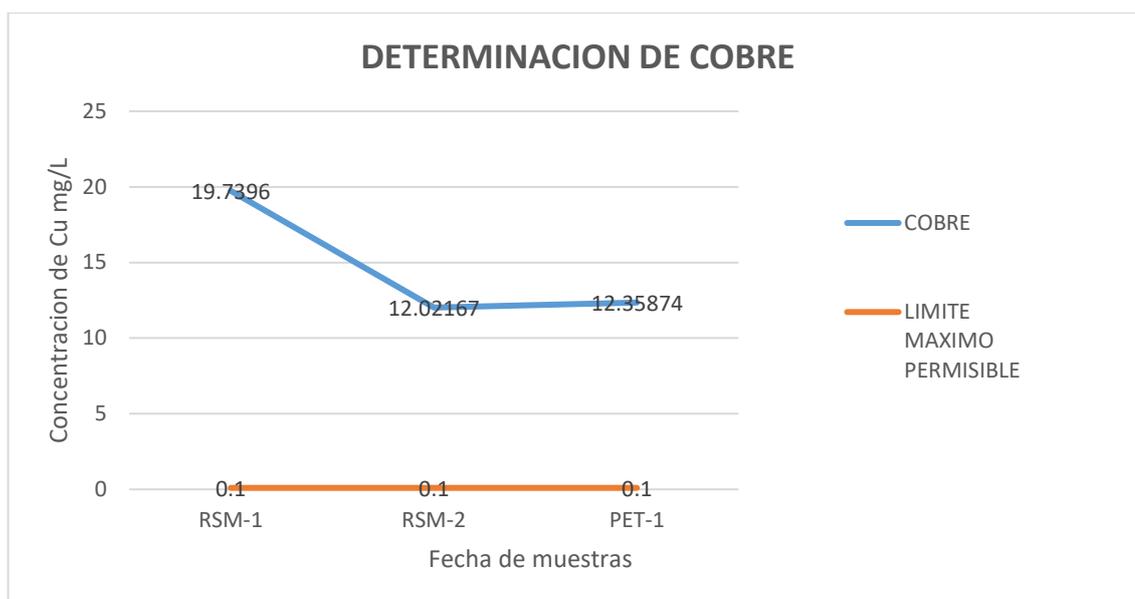
*Figura 1. Determinación de Arsénico*

Según la figura 1 podemos observar que la concentración del Arsénico, el punto tomando en la rampa presenta 45.4086 Mg/L, siendo esta un valor muy alto a comparación del LMP establecido por el MINAM-2017 que es de 0.15 mg/L. También hace denotar que a pesar de que se cuenta con la planta de tratamiento los efluentes salientes presenta una concentración de 5.49157 ml/L el cual es alto para los LMP establecidos. Los daños causados por este metal es cáncer al pulmón y la piel. Entre las tecnologías que permiten remediar el arsénico destacan la oxidación, la coagulación-precipitación, la absorción, el intercambio de iones y diversas técnicas de membranas.



*Figura 2. Determinación de Cadmio Disuelto*

Según la figura 2 podemos observar que la concentración del Cadmio Disuelto, el punto 1 tomando en la rampa presenta 0.245066 Mg/L, siendo un valor muy alto a comparación del LMP establecido por el MINAM-2017 que es de 0.00025 mg/L. Se puede apreciar también que la concentración del efluente de la planta de tratamiento presenta una concentración de 0.0371122 ml/L el cual es alto para los LMP establecidos por el MINAM. Los efectos en la salud k pueden causar son diarreas, dolor de estómago y vómitos severos.



*Figura 3. Determinación de Cobre*

Según la figura 3 se observa que la concentración del Cobre, el punto 1 tomando en la rampa presenta 19.7336 Mg/L, siendo un valor alto a comparación del LMP establecido por el MINAM-2017 que es de 0.00025 mg/L, el cual va disminuyendo en el trayecto con una concentración de 12.02167 ml/L. Se puede apreciar también que la concentración del efluente de la planta de tratamiento presenta una concentración de 12.35874 ml/L, aumentando en un pequeño porcentaje el cual sobrepasa los LMP establecidos por el MINAM. Los efectos en la salud son la irritación de la nariz, boca, los ojos y dolores de cabeza y si son en cantidades muy altas pueden causar daños al hígado y los riñones incluso causar la muerte.

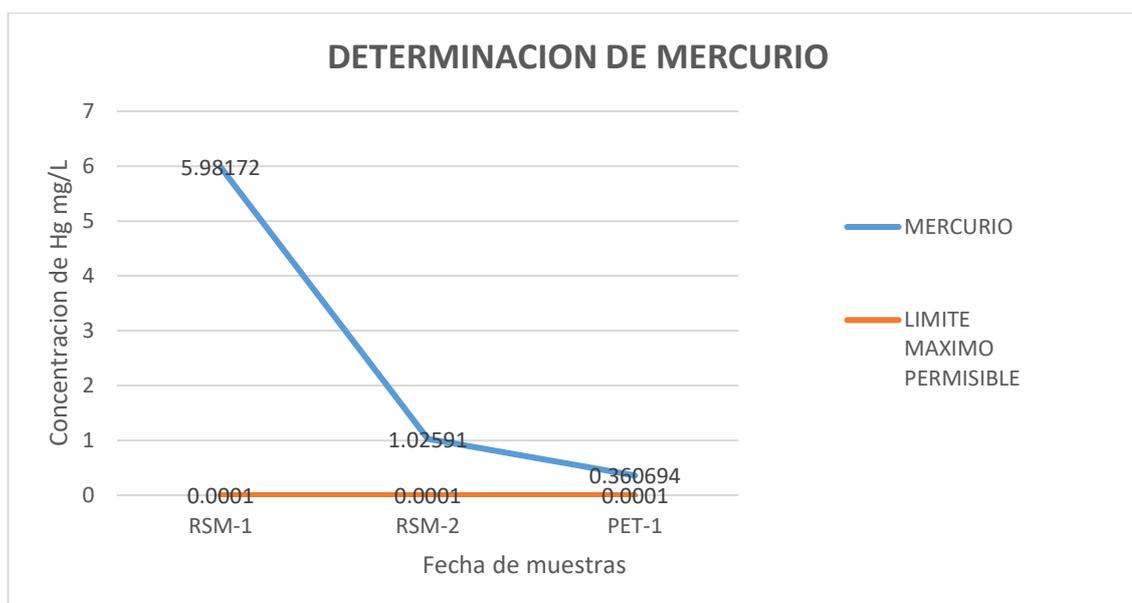
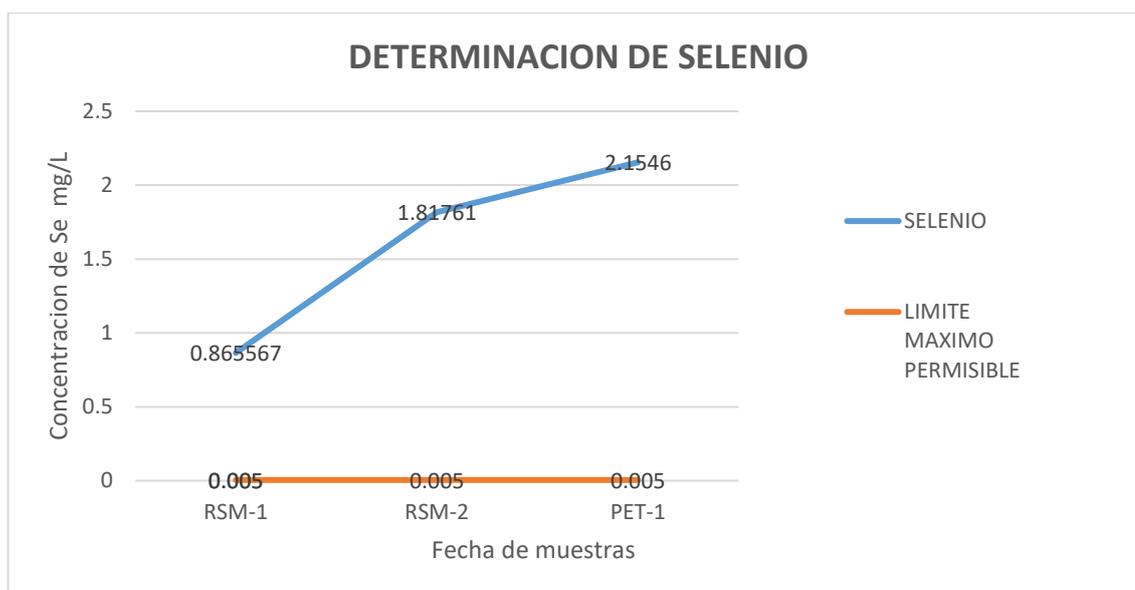


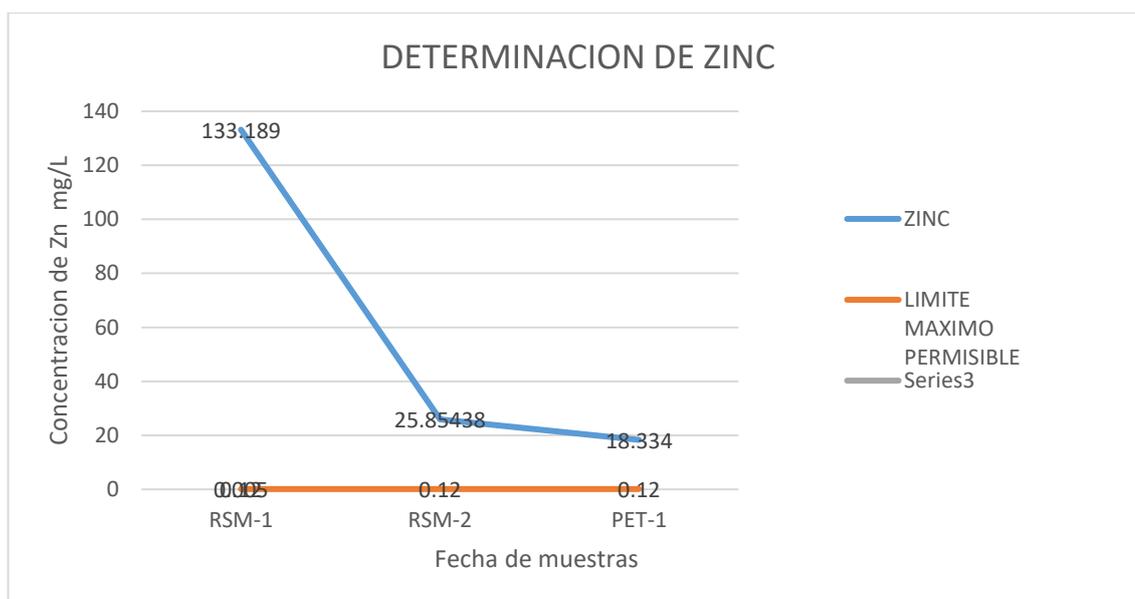
Figura 4. Determinación de Mercurio

Según la figura 4 se observa que la concentración del Mercurio, el punto RM-1 tomando en la rampa presenta 5.98172 Mg/L, siendo un valor alto a comparación del LMP establecido por el MINAM-2017 que es de 0.0001 mg/L, el cual va disminuyendo en el trayecto con una concentración de 1.02591 ml/L. Se puede apreciar también que la concentración del efluente de la planta de tratamiento presenta una concentración de 0.360694 ml/L, al igual que los demás gráficos, los valores están por encima de los LMP establecidos por el MINAM. Sus consecuencias en la salud afectan principalmente al sistema nervioso e inmunitario, al aparato digestivo, los pulmones y los riñones. Para poder mitigar y disminuir el uso de mercurio en las minerías artesanales y pequeña minería se pueden implementar las retortas y reactivadores de mercurio.



*Figura 5. Determinación de Selenio*

Según la figura 5 se observa que la concentración del Selenio, el punto RM-1 tomando en la rampa presenta 0.865567 Mg/L, siendo un valor alto a comparación del LMP establecido por el MINAM-2017 que es de 0.005 mg/L, el cual va aumentando en el trayecto con una concentración de 1.81761 ml/L. Al igual que en los resultados del laboratorio mediante ICP, Se puede apreciar también que la concentración del efluente de la planta de tratamiento presenta una concentración de 2.1546 ml/L, al igual que los demás gráficos, los valores están muy por encima de los LMP establecidos por el MINAM. En cantidades pequeñas es necesario para el organismo para mantener la buena salud sin embargo en dosis altas pueden producir náuseas, vómitos y diarreas.



*Figura 6. Determinación de Zinc*

Según la figura 6 se observa que la concentración del Zinc, en el punto RM-1 tomando en la rampa presenta una concentración de 133.189 7 Mg/L, el cual es un valor muy alto a comparación del LMP establecido por el MINAM-2017 que es de 0.12 mg/L, el cual va disminuyendo en el trayecto con una concentración de 25.85438 ml/L. Al igual que en los gráficos anteriores el nivel de concentración del efluente de la planta de tratamiento presenta un valor de 18.334 ml/L, de igual manera los valores están muy por encima de los LMP establecidos por el MINAM. En cantidades elevadas producen daños a la salud como úlceras de estómago, irritación de la piel, vómitos, náuseas y anemia.

#### 4.2. NIVELES DE CONCENTRACIÓN DE METALES PESADOS ACORDE A LOS DECRETOS.

Al observar los resultados en cuanto se han obtenido después del análisis en el laboratorio de ICP, el mes de Julio del 2018, la concentración de metales pesados que se encuentran en los efluentes de la Rampa San Marcelo CIA de minas Sillustani S.A, tomados en los tres puntos de muestreo, se realizó la comparación con los Estándares de Calidad Ambiental según el D.S N°004-2017- MINAM, donde Aprueban Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Aguas y establecen Disposiciones Complementarias de categoría 4, y sub clase E2. Ríos costa y sierra; en la tabla N°5 se observa concentraciones de Arsénico, Cadmio Disuelto, Cobre, Mercurio, Selenio, Zinc. No encontrándose concentraciones de Antimonio, Bario, Cromo, Níquel, Plomo y Talio. Por consiguiente, las concentraciones determinadas están por encima de los Límites Máximos Permisibles (LMP) según el D.S N°004-2017- MINAM.

Tabla 9. Niveles de concentración de metales pesados según los Límites Máximos Permisibles D.S. 004 y 010 MINAM

DETERMINACION	UNIDAD	RSM-1	RSM-2	PET-1	LIMITE	LIMITE
					MAXIMO PERMISIBLE D.S N°004-2017-MINAM	MAXIMO PERMISIBLE D.S N°010-2010-MINAM
ANTIMONIO	mg/L	ND	ND	ND	0.64	-
ARSENICO	mg/L	45.4086	10.4853	5.49157	0.15	0.1
BARIO	mg/L	ND	ND	ND	0.7	-
CADMIO DISUELTO	mg/L	0.245066	-0.303957	0.0371122	0.00025	0.05
COBRE	mg/L	19.7396	12.02167	12.35874	0.1	0.5
CROMO	mg/L	ND	ND	ND	0.011	0.1
MERCURIO	mg/L	5.98172	1.02591	0.360694	0.0001	0.002
NIQUEL	mg/L	ND	ND	ND	0.052	-
PLOMO	mg/L	ND	ND	ND	0.0025	0.2
SELENIO	mg/L	0.865567	1.81761	2.1546	0.005	-
TALIO	mg/L	ND	ND	ND	0.0008	-
ZINC	mg/L	133.189	25.85438	18.334	0.12	1.5

*Fuente: Megalaboratorio y D.S. N°004 y D:S.N°010*

En la tabla N°9 se muestran las concentraciones de los metales pesados como: arsénico, cadmio, cobre, mercurio, selenio y zinc. En cuanto a los Límites Máximos Permisibles según D.S. N°004-2017-MINAM y arsénico, cadmio, cobre, cromo, mercurio, plomo y zinc del D.S.N°,010-2010-MINAN podemos ver que la concentración de los metales sobrepasa los valores máximos permisibles.

Así como también se encontraron la presencia de otros metales pesados como: Cobalto, Molibdeno que tienen las siguientes concentraciones.

Tabla 10. Determinación de metales pesados de los tres puntos de muestreo  
Julio 2018

<b>DETERMINACION</b>	<b>UNIDAD</b>	<b>RSM-1</b>	<b>RSM-2</b>	<b>PET-1</b>
COBALTO	mg/L	0.361382	0.017391	-0.08944
MOLIBDENO	mg/L	1.47731	1.24332	1.12819

*Fuente: Megalaboratorio de la universidad nacional del altiplano – análisis de ICP.*

En los gráficos N°01, 02, 03, 04, 05 y 06, de la determinación de metales pesados; Arsénico, Cadmio Disuelto, Cobre, Mercurio, Níquel, Plomo, Selenio y Zinc, respectivamente, se observó que el nivel de concentración de todos estos metales está por encima de los Límites Máximos Permisibles y en cantidades muy altas.

## CONCLUSIONES

- En conclusión se determinó la concentración de metales pesados identificados y medidos en mg/L como: Arsénico (RSM-1, 45.4086; RSM-2, 10.4853 y PET-1, 5.49157), siendo su LMP (0.15) - Cadmio (RSM-1, .0245066; RSM-2, 0.303957 y PET-1, 0.0371122) siendo su LMP (0.00025) - Cobre (RSM-1, 19.7396; RSM-2, 12.02167 y PET-1, 12.35874), siendo su LMP (0.1) - Mercurio (RSM-1, 5.98172; RSM-2, 1.02591 y PET-1, 0.360694), siendo su LMP (0.0001) Selenio (RSM-1, 0.865567; RSM-2, 1.81761 y PET-1, 2.1546), siendo su LMP (0.005) y Zinc (RSM-1, 133.189; RSM-2, 25.82438 y PET-1, 18.334), siendo su LMP (0.12), proveniente de los efluentes de la Rampa San Marcelo presentan valores muy altos, estos resultados fueron obtenidos mediante análisis de ICP. En el megalaboratorio de la Universidad Nacional del Altiplano, presentando valores altos.
- Al comparar los niveles de concentración obtenidos de la Rampa San Marcelo con los Límites Máximos Permisibles que establece el D.S N°004-2017-MINAM, y el D.S N°010-2010-MINAM se muestra que el nivel de concentración es alto en todos los metales pesados como: Antimonio, Arsénico, Cadmio, Cobre, Mercurio, Selenio y Zinc. Así como también se encontró metales como cobalto y molibdeno con valores altos, los cuales no se muestran en los decretos supremos. Los metales pesados tienen efectos en la salud y también afectan diferentes órganos, en el medio ambiente cambiando la alcalinidad del suelo produciendo alteraciones en las plantas, degradando el suelo y disminuyendo así la productividad, en otras palabras, puede llegar a producir desertificación.

## RECOMENDACIONES

- Continuar realizando las investigaciones en los efluentes de la rampa san Marcelo, en forma semestral o anual ya que los indicadores de metales pesados sobrepasan los Límites Máximos Permisibles, llegando a tener una buena concentración de los mismos.
- Verificar si la planta de tratamiento de la unidad minera realizará un buen tratamiento de los efluentes de las rampas y aguas contaminadas para así no poder generar un desequilibrio ambiental y perjudicar a las poblaciones aledañas en un futuro.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Blanco H., Á. (1998). Estudio de los Niveles de Plomo, Cadmio, Zinc y Arsenico, en Aguas de la Provincia de Salamanca. *Revista Española Salud Pública*, 72, 1.
- Campos C., N. (1990). La Contaminacion Por Metales Pesados En La Ciénaga Grande De Santa Marta, Caribe Colombiano. *Instituto de Ciencias Naturales*, 16.
- Choque, E., & Carrasco, A. (2008). Implicancias Ambientales Por La Actividad Minera De La Zona De Ananea En La Cuenca Del Rio Ramis. *Boletín N°5*.
- Contreras P., J., Mendoza, C., & G., A. (2004). Determinacion De Metales Pesados En Aguas Y Sediementos Del Rio Haina. *Ciencia y Sociedad*, 29(1), 3871.
- G., H., A., F., C., G., & T., M. (2007). Metales Pesados Y Toxicidad De Aguas Del Rio Aconcagua En Chile. *Nova*, 30(4).
- González, J. (2012). *Nivel De Concentracion De Metales Pesados (Pb, Cu, Hg, As Y Fe) En El Rio Toro, Distrito De Huamachuco De La Provincia De Sanchez Carrion Durante Año 2009 – 2010*. Tesis de Maestría, Universidad Nacional de Trujillo, Trujillo.
- Graza E., F., & Quispe P., R. (2015). *Determinacion De Pb, Cd, As En Aguas Del Rio Santa En El Pasivo Minero Ambiental De Recuay, Ticapampa; Recuay – Ancash*. Tesis, Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Lima.
- (2008). *Implicancias Ambientales Por La Actividad Minera De La Zona De Ananea En La Cuenca Del Rio Ramis*. Boletín N°5, Intitución Geocientífica al Servicio Del Pais, Lima, Lima.
- Italo R., J., V., M., & F., A. (2011). *Metalogénica y Geología económica de por regiones*. Proyecto GE33, Lima, Lima.
- López, C. (2012). *Metodología para la descontaminación de Aguas Procedentes De Lavaderos De Instalaciones Mineras*. Universidad Politécnica de Cartagena, Cartagena.
- M., M., D., F., R., I., & C., L. (2002). Evaluacion De La Contaminacion Por Arsenico Y Metales Pesados (Pb, Cu, Zn) Y Analisis De Riesgo En Salud En Villa De La Paz-Matehuala, S.L.P. Matehuala.

- Machaca Hanco, E. (2013). Determinación de Metales Pesados En La Laguna Choquene Quilcapuncu - Putina - Puno. *Investigación Altoandina*, 15, 213-224.
- MINAM. (1969). *Ley General De Aguas*. Decreto de Ley N°17752.
- Ministerio Del Ambiente. (2017). *Aprueban Estandares De Calidad Ambiental Para Agua Y Establecen Disposiciones Complementarias*. Decreto Supremo N°004-2017-MINAM, MINAM, Lima.
- P., S., S., M., L., T., Q., C., & C., A. (2006). Contaminación De Metales Pesados En Suelo Provocada Por La Industria Minera. *Ecología Aplicada*, 5(1-2).
- Romero L., K. (2009). Contaminación Por Metales Pesados. *Científica Ciencia Médica SCEM*, 12(1).
- Romero, A., Flores, S., & M., R. (2008). Estudio de los Metales Pesados en el Relave Abandonado de Ticapampa. *Revista del Instituto de Investigaciones FIGMMG*, 11(22), 13-16.
- Salas U., F. (2010). Estudio de los Niveles De Contaminación Por Metales Pesados En La Zona De Ananea De La Cuenca Del Rio Ramis. *Maestría en Ciencias de la Ingeniería Agrícola*.
- Salas U., F. (2014). Determinación De Metales Pesados En Las Aguas Del Rio Ananea Debido A La Actividad Aurífera, Puno-Peru. 5(4).

## ANEXOS

ANEXO 1: Decretos Supremos

ANEXO 2: Planos y Mapas

ANEXO 3: Resultados de los Análisis de Laboratorio

ANEXO 4: Panel Fotográfico