

**UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES CARRIÓN**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA**  
**ESCUELA DE FORMACIÓN PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL**



**T E S I S**

**Evaluación de la calidad de aguas acidas generadas por el  
botadero Jessica, perteneciente a la Unidad Minera Arasi –  
Compañía Minera Aruntani - Puno 2019**

**Para optar el Título Profesional de:  
Ingeniero Ambiental**

**Autor:**

**Bach. Billy Stive POZO SALVADOR**

**Asesor:**

**Mg. Lucio ROJAS VITOR**

**Cerro de Pasco - Perú – 2020**

**UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES CARRIÓN**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA**  
**ESCUELA DE FORMACIÓN PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL**



**T E S I S**

**Evaluación de la calidad de aguas acidas generadas por el  
botadero Jessica, perteneciente a la Unidad Minera Arasi –  
Compañía Minera Aruntani - Puno 2019**

**Sustentada y aprobada ante los miembros del jurado:**

---

**Mg. Julio Antonio ASTO LIÑAN**  
**PRESIDENTE**

---

**Mg. Luis Alberto PACHECO PEÑA**  
**MIEMBRO**

---

**Mg. Luis Villar REQUIS CARBAJAL**  
**MIEMBRO**

## **DEDICATORIA**

A mis padres, por su sacrificio, apoyo constante, motivación cuando me hacía falta, los logros en mi vida se los debo a ellos... Walter Pozo Palacín y Marisela Salvador Rivera... mi investigación es para ustedes...eternamente...

## **AGRADECIMIENTO**

En retribución a las facilidades y otras condiciones que me ha brindado a través de los años que estuve como alumno de mi Alma Mater, quiero expresar el agradecimiento sincero a quienes como parte de esta institución supieron forjar en mi un profesional, por ello muchas gracias Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión.

## RESUMEN

Cumpliendo con el Reglamento de Grados y Títulos de la facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión al presentar la tesis titulada "Evaluación de la calidad de aguas acidas generadas por el botadero Jessica, perteneciente a la Unidad Minera Arasi - Compañía Minera Aruntani - Puno 2019" con el objetivo de obtener el Título Profesional de Ingeniero Ambiental.

La oxidación química y biología de la pirita producen aguas acidas de la minería. Cuando las rocas con estos sulfuros entran en contacto con aire o agua, ocurre este fenómeno. Además, es importante destacar que el agua acida producida en cantidad por rocas y minerales contiene una gran concentración de metales en disolución, lo que contribuye a la toxicidad del efluente. Por lo tanto, los drenajes ácidos de las minas a cielo abierto son una de las fuentes principales de contaminación de las aguas superficiales y subterráneas de su entorno. Es por ello su importancia de su Estudio y evaluación ya que en la Unidad Minera Arasi de la Compañía Minera Aruntani se viene generando con gran presencia las aguas acidas en los botaderos principalmente en el botadero Jessica, Para prevenir este daño ambiental, se deben tomar medidas preventivas (o pasivas) y activas para tratar estos efluentes ácidos.

Concluida la investigación pudimos verificar la calidad de aguas acidas, se pudo identificar que el punto M-4 antes del tratamiento, estas aguas acidas no cumplen con el D.S. 010-2010-MINAM Límites Máximos Permisibles para la descarga de efluentes líquidos de actividades Minero – Metalúrgicas específicamente en los parámetros físico y químicos como son el (pH, Conductividad eléctrica, Solidos Suspendidos Totales, Hierro Disuelto, Aluminio, Arsénico, Cadmio, Cobre, Cromo, Plomo y Zinc.). Posteriormente después del tratamiento activo y pasivo descrito en la investigación, esta calidad de agua mejora cumpliendo con el D.S. 010-2010-MINAM Límites Máximos Permisibles para la descarga de efluentes líquidos de actividades Minero – Metalúrgicas.

**Palabras clave:** Aguas acidas, Límites Máximos Permisibles, Botadero Jessica y compañía Minera Aruntani.

## ABSTRACT

Complying with the Regulations of Degrees and Titles of the Faculty of Engineering of the Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión by presenting the thesis entitled "Evaluation of the quality of acidic waters generated by the Jessica dump, belonging to the Arasi Mining Unit - Aruntani Mining Company - Puno 2019" with the aim of obtaining the Professional Title of Environmental Engineer.

The chemical and biological oxidation of pyrite produces acidic mining waters. When rocks with these sulfides come into contact with air or water, this phenomenon occurs. In addition, it is important to note that the acidic water produced in quantity by rocks and minerals contains a high concentration of metals in solution, which contributes to the toxicity of the effluent. Therefore, acid mine drainage from open-pit mines is one of the main sources of contamination of the surrounding surface and groundwater. That is why it is important to study and evaluate it, since in the Arasi Mining Unit of the Aruntani Mining Company acid waters are being generated with great presence in the dumps, mainly in the Jessica dump. To prevent this environmental damage, preventive (or passive) and active measures must be taken to treat these acid effluents.

Once the investigation was completed, we were able to verify the quality of the acidic water. We were able to identify that at point M-4 before treatment, this acidic water does not comply with D.S. 010-2010-MINAM Maximum Permissible Limits for the discharge of liquid effluents from mining and metallurgical activities, specifically in the physical and chemical parameters (pH, electrical conductivity, total suspended solids, dissolved iron, aluminum, arsenic, cadmium, copper, chromium, lead and zinc). Subsequently, after the active and passive treatment described in the research, this water quality improves complying with the D.S. 010-2010-MINAM Maximum Permissible Limits for the discharge of liquid effluents from mining and metallurgical activities.

**Keywords:** Acid waters, Maximum Permissible Limits, Jessica Landfill and Aruntani Mining Company.

## INTRODUCCIÓN

El botadero Jessica, inicio sus operaciones en el año 2011 y que actualmente se encuentra en etapa de cierre, este botadero pertenece a la Unidad Minera Arasi se encuentra situado en el distrito de Ocuvi, provincia de Lampan en el departamento de Puno con una altitud de 4940 m.s.n.m. el área está ubicada en las siguientes coordenadas UTM georreferenciado en el Datum WGS-84, para más detalles de su ubicación en el Anexo N.º 3 se detalla su ubicación y el detalle de la planta de tratamiento de aguas ácidas generadas en el botadero Jessica.

El objetivo de la presente investigación es determinar la calidad de las aguas ácidas generadas en el botadero Jessica, perteneciente a la Unidad Minera Arasi - Compañía Minera Aruntani - Puno 2019

La presente Investigación demostrara si las aguas acidas generadas por el botadero Jessica, perteneciente a la Unidad Minera Arasi – Compañía Minera Aruntani están cumpliendo con la normativa ambiental minero en el Perú. Y si estas podrían estar afectando a los factores ambientales al entorno de la unidad minera. La metodología es evaluar mediante monitoreo y análisis de aguas acidas, para luego ser analizados por un laboratorio acreditado.

El Autor.



## ÍNDICE

DEDICATORIA	
AGRADECIMIENTO	
RESUMEN	
ABSTRACT	
INTRODUCCIÓN	
ÍNDICE	

### CAPITULO I

#### PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1	IDENTIFICACIÓN Y DETERMINACIÓN DEL PROBLEMA.....	1
1.2	DELIMITACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN.....	2
1.3	FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.....	3
	1.3.1. <i>Problema General:</i> .....	3
	1.3.2. <i>Problemas Específicos:</i> .....	3
1.4	FORMULACIÓN DE OBJETIVOS.....	3
	1.4.1. <i>Objetivo General</i> .....	3
	1.4.2. <i>Objetivos Específicos</i> .....	3
1.5	JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN.....	4
1.6	LIMITACIONES DE LA INVESTIGACIÓN.....	5

### CAPITULO II

#### MARCO TEÓRICO

2.1.	ANTECEDENTES DE ESTUDIO.....	6
2.2.	BASES TEÓRICAS - CIENTÍFICAS.....	10
2.3.	DEFINICIÓN DE TÉRMINOS BÁSICOS.....	19
2.4.	FORMULACIÓN DE HIPÓTESIS.....	20
	2.4.1. <i>Hipótesis General.</i> ....	20
	2.4.2. <i>Hipótesis Específicas.</i> .....	21
2.5.	IDENTIFICACIÓN DE VARIABLES.....	21
2.6.	DEFINICIÓN OPERACIONAL DE VARIABLES E INDICADORES.....	21

### CAPITULO III

#### MÉTODOLOGIA Y TECNICAS DE INVESTIGACIÓN

3.1.	TIPO DE INVESTIGACIÓN.....	23
3.2.	NIVEL DE INVESTIGACIÓN.....	23
3.3.	MÉTODOS DE INVESTIGACIÓN.....	23
3.4.	DISEÑO DE INVESTIGACIÓN.....	24

3.5. POBLACIÓN Y MUESTRA .....	24
3.6. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS .....	24
3.7. SELECCIÓN, VALIDACIÓN Y CONFIABILIDAD DE LOS INSTRUMENTOS DE INVESTIGACIÓN.....	24
3.8. TÉCNICAS DE PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS DE DATOS.....	25
3.9. TRATAMIENTO ESTADÍSTICO .....	25
3.10. ORIENTACIÓN ÉTICA FILOSÓFICA Y EPISTÉMICA .....	25

## **CAPÍTULO IV**

### **RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

4.1. DESCRIPCIÓN DEL TRABAJO DE CAMPO .....	26
4.2. PRESENTACIÓN, ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS.....	37
4.3. PRUEBA DE HIPÓTESIS .....	58
4.4. DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....	59

CONCLUSIONES

RECOMENDACIONES

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANEXOS

## ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1: Límites Máximos permisible para la descarga de Efluentes Líquidos de Actividades Minero Metalúrgica. ....	16
Cuadro 2: Balance Hídrico de Botadero – Año Húmedo.....	28
Cuadro 3: Ubicación del Punto de Control.....	36
Cuadro 4: Ubicación de los Puntos de Monitoreo Antes y Después del Tratamiento	38
Cuadro 5 Resultados de Análisis de Agua Ácidas M-4.....	41
Cuadro 6 Resultados de Análisis de Agua V-J.....	42

## INDICE DE FIGURAS

Figura 1 Potencial de Hidrogeno (pH)- M-4 Efluente Botadero Jessica .....	43
Figura 2 Potencial de Hidrogeno (pH)-V-J Efluente Después de Tratamiento .....	43
Figura 3 Conductividad Eléctrica (CE) M-4 Efluente Botadero Jessica .....	44
Figura 4 Conductividad Eléctrica (CE) – V-J Efluente Después de Tratamiento.....	45
Figura 5 Conductividad Eléctrica (CE) – V-J Efluente Después de Tratamiento.....	46
Figura 6 Solidos Suspendidos Totales (SST)- V-J Efluente Después de Tratamiento	46
Figura 7 Hierro Disuelto M-4 Efluente Botadero Jessica .....	47
Figura 8 Hierro Disuelto V-J Efluente Después de Tratamiento .....	48
Figura 9 Aluminio Total M-4 Efluente Botadero Jessica .....	49
Figura 10 Aluminio Total V-J Efluente Después de Tratamiento .....	49
Figura 11 Arsénico Total M-4 Efluente Botadero Jessica .....	50
Figura 12 Arsénico Total V-J Efluente Después de Tratamiento .....	51
Figura 13 Cadmio Total M-4 Efluente Botadero Jessica.....	52
Figura 14 Cadmio Total V-J Efluente Después del Tratamiento .....	52
Figura 15 Figura Cobre Total M-4 Efluente Botadero Jessica .....	53
Figura 16 Cobre Total V-J Efluente Después del Tratamiento.....	54
Figura 17 Cromo Total M-4 Efluente Botadero Jessica .....	55
Figura 18 Cromo Total V-J Efluente Después del Tratamiento.....	55
Figura 19 Plomo Total M-4 Efluente Botadero Jessica.....	56
Figura 20 Plomo Total V-J Efluente Después del Tratamiento .....	56
Figura 21 Zinc Total M-4 Efluente Botadero Jessica .....	57
Figura 22 Zinc Total V-J Efluente Después del Tratamiento .....	58

## **CAPITULO I**

### **PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN**

#### **1.1. Identificación y determinación del problema**

La oxidación química y biológica de la pirita producen aguas acidas de la minería. Cuando las rocas con estos sulfuros entran en contacto con aire o agua, ocurre este fenómeno. Además, es importante destacar que el agua acida producida en cantidad por rocas y minerales contiene una gran concentración de metales en disolución, lo que contribuye a la toxicidad del efluente.

Por lo tanto, los drenajes ácidos que ocurren en las minas a cielo abierto y subterráneos son una de las principales fuentes de contaminación de las aguas superficiales y subterráneas cercanas.

Es por ello que su importancia de su estudio y evaluación ya que en la Unidad Minera Arasi de la Compañía Minera Aruntani se viene generando con gran presencia las aguas acidas en los botaderos principalmente en el botadero Jessica, para protegerse de este daño medioambiental Se deben llevar a cabo acciones tanto preventivas (o pasivas) como activas para tratar estos afluentes ácidos.

Antes de ser vertidas a los reservorios naturales, las aguas ácidas derivadas de la actividad minera metalúrgica deben ser tratadas para reducir su impacto en el medio ambiente. En el contexto de su política ambiental, Arasi

SAC. a propiciado el tratamiento pasivo de las descargas de los drenes subterráneos del Botadero de Mina de la Unidad de Producción Arasi en el departamento de Puno, para remediar aguas ácidas con altas concentraciones de hierro, aluminio y un pH ácido.

La interacción de procesos físicos y bioquímicos ha sido innovada por la metodología de tratamiento pasivo utilizado en Arasi. Para el caso de las aguas acidas del efluente de la Unidad de Producción, Arasi reducirá las concentraciones de hierro, el pH, etc.

Por medio de un proceso de neutralización con piedra caliza, compost, seguida de un tratamiento pasivo aeróbico en Wetland artificial, con plantas del lago del Altiplano del Titicaca; lentejas de agua (Lemnaceas), totora (Juncus sp), Llachu (Myriophyllum), han demostrado habilidad para extraer rápidamente de las aguas algunos metales tales como zinc, aluminio y fierro. Estas plantas son útiles para tratar una variedad de aguas residuales producidas por plantas industriales y de procesamiento de animales, así como para mitigar la concentración de metales y productos sintéticos combinados (como insecticidas).

Es por ello de la presente investigación a fin de determinar si el tratamiento dado está siendo eficiente para el correcto vertimiento por la Unidad Minera Arasi.

## **1.2. Delimitación de la investigación.**

La presente investigación por el tiempo requerido para la toma de muestras, envío de análisis y espera de resultados respectivos de las aguas generadas en el botadero Jessica antes y después de ser tratadas en la Planta de Tratamiento de Aguas Acidas del Botadero Jessica, tuvo una durabilidad en la elaboración de 7 meses, realizada en la Unidad Minera Arasi – Compañía Minera Aruntani - 2019, ubicada en el distrito de Ocuwiri, provincia de Lampa, región Puno a una altitud de 4940 m.s.n.m.

### **1.3. Formulación del problema**

#### **1.3.1. Problema general**

¿Cuál es la calidad de las aguas ácidas generadas por el botadero Jessica, pertenecientes a la Unidad Minera Arasi – Compañía Minera Aruntani – Puno 2019?

#### **1.3.2. Problemas específicos**

¿Cuál es la calidad química de las aguas ácidas generadas por el botadero Jessica, perteneciente la Unidad Minera Arasi – Compañía Minera Aruntani – Puno 2019?

¿Cuál es la calidad física de las aguas ácidas generadas por el botadero Jessica, pertenecientes a la Unidad Minera Arasi – Compañía Minera Aruntani – Puno 2019?

¿Cuál es el volumen de aguas acidas generadas por el botadero Jessica, perteneciente a la Unidad Minera Arasi - Compañía Minera Aruntani – Puno 2019?

### **1.4. Formulación de objetivos**

#### **1.4.1. Objetivo general**

Determinar la calidad de las aguas acidas generadas por el botadero Jessica pertenecientes a la Unidad Minera Arasi – Compañía Minera Aruntani – Puno 2019

#### **1.4.2. Objetivos específicos**

Determinar la calidad química de las aguas acidas generadas por el botadero Jessica, perteneciente a la Unidad Minera Arasi – Compañía Minera Aruntani – Puno 2019.

Determinar la calidad física de las aguas acidas generadas por el botadero Jessica, pertenecientes a la Unidad Minera Arasi – Compañía Minera Aruntani – Puno 2019

Determinar el volumen de aguas ácidas generadas por el botadero Jessica, pertenecientes a la Unidad Minera Arasi – Compañía Minera Aruntani – Puno 2019

## **1.5. Justificación de la investigación**

### **1.5.1 Justificación teórica**

Por medio de este trabajo buscamos conceptualizar el tema, si las aguas ácidas generadas por el botadero Jessica, pertenecientes a la Unidad Minera Arasi – Compañía Minera Aruntani como están generando aguas ácidas, de esta manera , los datos podrán ayudar en la creación de iniciativas que contribuyan a reducir las emisiones de gases de efecto invernadero.

### **1.5.2 Justificación práctica**

La investigación actual demostrará si las aguas acidas generadas por el botadero Jessica, pertenecientes a la Unidad Minera Arasi – Compañía Minera Aruntani están cumpliendo con la normativa ambiental minero en el Perú. Y si estas podrían estar afectando a los factores ambientales al contorno de la unidad minera.

### **1.5.3 Justificación metodológica**

La metodología es evaluar mediante monitoreos y análisis de aguas ácidas, para luego ser analizados por un laboratorio acreditado.

### **1.5.4 Justificación ambiental**

Producto a la generación de aguas ácidas generadas por el botadero Jessica, pertenecientes a la Unidad Minera Arasi – Compañía Minera Aruntani, ver si estas están afectando a los factores ambientales a las zonas aledañas al proyecto.



La investigación actual es crucial para la mitigación y el uso de las aguas acidas generadas en la Unidad Minera Jessica.

El alcance de la investigación está enmarcado a brindar información de la calidad física y química de las aguas al distrito de Ocuwiri, provincia de Lampa departamento de Puno y a las entidades reguladoras en el tema ambiental en el Perú.

#### **1.6. Limitaciones de la investigación**

- Acceso a las instalaciones de la Unidad Minera Jessica
- Costos elevados en los análisis de muestras

## **CAPITULO II**

### **MARCO TEÓRICO**

#### **2.1. Antecedentes de estudio**

**2.1.1. Amelia Núñez Aylas, Miguel Anthony; Benites Alfaro, Elmer; Zevallos León, Máximo (2013) Evaluación de la Calidad del Agua asociado al drenaje ácido de mina (DAM), en el río Yauli en época de estiaje distrito de Yauli – Junín, Perú.**

La presente investigación se realizó para determinar la calidad del agua del río Yauli en la zona del distrito del mismo nombre en el departamento de Junín, impactado por el drenaje ácido de mina (DAM) proveniente de los relaves mineros de la actividad minera en la extracción de minerales polimetálico como cobre (Cu) y hierro (Fe) que realizan empresas instaladas circundante al río. La investigación se realizó en época de estiaje (mayo – setiembre) del año 2013. El método consistió en monitorear los puntos RY-1, RY-2, RY-3 y RY-4 señalizados y utilizados por la Dirección General de Salud Ambiental DIGESA para determinar la presencia y cantidad de plomo y fierro en las aguas del río. Además, se utiliza en el Protocolo de Monitoreo de la calidad sanitaria de los recursos hídricos superficiales aprobado por DIGESA para recopilar la información correspondiente. La información recopilada se comparó con los Estándares de Calidad Ambiental para Aguas, en su categoría 3, "Riego de

Vegetales y Bebidas de Animales”. Descubriendo que las aguas del río Yauli contienen iones de hierro debido al drenaje de las bocaminas dejadas sin un plan de cierre adecuado.

### **2.1.2. Salomón Medard Ortiz Quintanilla (2011). Impacto ambiental producido por los botaderos de desmonte y Pads de lixiviación en la mina santa rosa Puno. Perú.**

La minería en su conjunto produce toda una serie de contaminantes gaseosos, líquidos y sólidos, que de una forma u otra van a pasar al suelo. Esto puede ser causado por vertidos directos de líquidos de la actividad minera y metalúrgica o por productos de lixiviación del entorno minero, como aguas de botaderos y minas a cielo abierto, entre otros.

En la presente tesis se va a considerar solo dos elementos generadores de impacto: los botaderos y los Pads de lixiviación determinando la influencia del control físico de ambos en la Mina Santa Rosa aplicando el método de Ishop, Janbu y el sueco de las dovelas de Fellenius, calculando el talud de banco necesario para que tenga buena estabilidad y pueda sostener la cobertura de tierra y arcilla en un plan de cierre y utilizar el método de banquetas. En otro lugar se encuentra la contaminación por aguas ácidas causada por el pad de lixiviación pero no por el botadero, por lo que se deben tomar las medidas de prevención correspondientes.

### **2.1.3. Osvaldo Aduvire (2018). Innovaciones técnicas en el tratamiento de aguas acidas de mina con recuperación de subproductos con valor económico. Perú.**

La actividad minera genera un gran volumen de materiales y residuos. Estos desechos mineros deben almacenarse de manera adecuada en depósitos de desmonte y relaves conocidos como botaderos, escombreras y relaveras o presas de relaves. En general, los sulfuros que contienen estos desechos en contacto con la atmósfera y el agua inician procesos complejos de

transformación física, química y biológica que provocan el drenaje ácido de mina.

En los últimos tiempos, se han creado métodos más efectivos para caracterizar las aguas ácidas de mina que incluyen ácidos minerales además de los ácidos protónicos, lo que normalmente no se considera en los métodos clásicos de caracterización. En el control y tratamiento de efluentes, también se han desarrollado tecnologías emergentes como la de metales de aguas ácidas, tanto si las instalaciones están en funcionamiento como en abandono, mediante el desarrollo de procesos físicos y químicos que alteran las condiciones de Eh y pH de las descargas, lo que favorece la formación de especies insolubles y la retención de la carga metálica disuelta en las aguas..

Este trabajo describe los métodos más efectivos para caracterizar hidrogeoquímicamente las aguas de mina, así como métodos novedosos para extraer metales y/o subproductos y un precio razonable de las aguas ácidas de mina. Además de tomar muestras representativas para su respectivo análisis en concentraciones totales y disueltas, esta metodología de recuperación de subproductos utiliza medidas directas en campo de parámetros como pH, redox, conductividad, oxígeno disuelto, acidez y caudal, Para determinar las zonas de hidrólisis de cada elemento presente en el agua y que serán eliminados, se utiliza esta información para elegir los reactivos y los tipos de ensayos de neutralización y precipitación. Encontramos los rangos de pH y redox de los elementos con mayor concentración a partir de las zonas de hidrólisis o tamponamiento del sistema y seleccionamos los cortes de las diferentes etapas que conformarían el sistema de tratamiento. Utilizando ensayos experimentales a nivel de laboratorio para elegir los sistemas y el tratamiento de aguas de mina utilizando los resultados de la caracterización de los efluentes para determinar el tamaño de las variables de diseño para la planta de tratamiento de aguas de

mina, lo que permite la recuperación u obtención de subproductos con posibilidades de aprovechamiento económico..

Estas técnicas permiten dimensionar sistemas de tratamiento de aguas de mina más eficientes, con un menor consumo de reactivos y un mejor control ambiental. Además, se puede considerar a los efluentes de la minería como fuentes de recuperación de carga metálica y obtención de un subproducto de manera económica. Además, el estudio incluye los casos comparativos de rendimiento económico que se pueden obtener y las recuperaciones para demostrar que esta metodología es viable desde un punto de vista técnico, ambiental y económico.

**2.1.4. Fernando Parada, Froilán Vergara, Mario Sánchez (2018).  
Alternativas para el manejo de la polución de aguas ácidas  
subterráneas en la minería de cobre. Chile.**

Se presenta la situación actual de las principales minas subterráneas de Chile y los problemas relacionados con la contaminación de aguas subterráneas ácidas.

Se presenta una selección de las tecnologías más comunes utilizadas para eliminar la contaminación y/o valorar los efluentes acuosos, algunas de las cuales han sido implementadas en Chile.

Se encontró que en las instalaciones había soluciones ácidas permanentes y esto se debe al escurrimiento natural de los recursos en la alta cordillera. Para recuperar los metales valiosos, especialmente el cobre, se comenzó a canalizar correctamente estos efluentes.

En la actualidad, se ha optado por incorporar agua artificialmente durante la temporada estival para asegurar un flujo continuo de solución que contiene los metales que se deben recuperar. Es una manera de ver un problema ambiental que podría ser muy negativo de una manera positiva..

La situación de drenaje de ácido comienza con una caracterización de la situación para luego elegir varias alternativas que podrían reducir el impacto de cada uno de los reactivos involucrados y detener la generación. Por ejemplo, se puede optar por la recuperación de metales disueltos, lo que valoriza aún mas la operación minera..

El trabajo finaliza con la discusión y evaluación de las tecnologías que son más importantes y utilizadas, las cuales tendrán un mayor impacto en el tratamiento de aguas ácidas de las mineras en el futuro..

## **2.2. Bases teóricas - científicas**

### **2.2.1. El agua**

Es una sustancia abiótica que es la más vital de la tierra y uno de los principales componentes del medio en el que vivimos y de la materia viva. El agua cubre aproximadamente el 75% de la superficie terrestre, la misma que se halla distribuida como: aguas oceánicas (97%), aguas superficiales (2.5%), aguas subterráneas (0,45%) y aguas en estado gaseosos (0.001%), estas aguas por medio del ciclo hidrológico están sujetas a cambios del tipo cíclico. (Jimeno, 1998). En definitiva, el agua es el principal fundamento de la vida vegetal y animal y por tanto, es el medio ideal para la vida, es por eso que las diversas formas de vida prosperan allí donde hay agua. (Jimeno, 1998).

### **Composición**

El agua es una sustancia que químicamente se formula como H<sub>2</sub>O, decir, que una molécula de agua se compone de dos átomos de hidrógeno enlazados covalentemente a un átomo de oxígeno. (Jimeno, 1998).

### **PROPIEDADES FÍSICAS**

- Es una sustancia líquida, incolora, inodora e insípida.
- Se vuelve azul verdoso cuando se acumulan en cantidades significativas.
- A 40 °C y al nivel del mar, su densidad es igual a 1 g/cm<sup>3</sup>.
- Su punto de solidificación (forma de hielo) es de 0 °C.

- Se le conoce como "disolvente universal" porque tiene un gran poder disolvente. Jimeno, en 1998.

### **PROPIEDADES QUÍMICAS**

- Producen óxidos al mezclar con metales y no metales.
- Crea base al mezclar con óxidos metálicos.
- Produce ácidos oxácidos cuando se combina con óxidos no metálicos.
- Se descompone a través de la hidrólisis de hidrógeno y oxígeno.
- Si se desea descomponer mediante un procedimiento diferente, se requieren temperaturas superiores a los 27 °C. (Jimeno).

#### **2.2.2. Calidad del agua**

La calidad y la cantidad del agua son factores importantes en la disponibilidad del agua. Aunque haya agua, si está contaminada y se encuentra en una condición tal que no sea acorde con el uso que se le quiere dar, su empleo se limita. (Jiménez, 2001).

El agua pura no existe en la naturaleza. No hay agua pura en la naturaleza. El agua de lluvia acumula impurezas mientras fluye por el aire. Los ríos y las quebradas llevan las impurezas del suelo y de la descarga de aguas residuales industriales a los lagos, embalses y mares. Existe menos contaminación en las aguas superiores de un Río, donde la población es escasa, pero en ningún caso puede considerarse un agua superficial carente de contaminación a pesar de que la purificación natural ocurre en todo el cuerpo del agua gracias a la sedimentación y muerte de las bacterias patógenas. (Romero & J, 2005).

La calidad del agua en el río cambia tanto en el espacio como en el tiempo debido a los desechos de cada descarga, lo que requiere un análisis continuo. Detectar y controlar puntos de contaminación en aguas superficiales y subterráneas requiere monitoreo. (Hahn et al., 2006).

### **2.2.3. Contaminación**

La contaminación es un cambio indeseable en las características físicas, químicas y biológicas, que pueden afectar negativamente al hombre y a las especies animales y vegetales. (Adame, 1995). Cualquier desviación de la pureza se considera contaminación. Cuando se trata de contaminación ambiental, el término ha llegado a significar desviaciones a partir de un estado normal, en lugar de desviación a partir de uno puro. (Adame, 1995).

### **2.2.4. Aguas acidas.**

#### **¿Cuál es la esencia del drenaje ácido de mina?**

Actualmente se considera que el drenaje de ácido de la mina (DAM) o el drenaje de ácido de la roca (DAR) es el principal responsable del impacto ambiental que enfrenta la industria minera, ya que su desarrollo puede llevar años y siglos. El proceso de beneficio genera un gran volumen de desecho llamado 'Relave', el residuo de mineral que permanece después de haber sido triturado, y que ha sido extraído el metal valioso (por ejemplo con cianuro (oro) o con ácido sulfúrico (cobre) (ELAW, 2010).

El drenaje ácido de la mina es el resultado de la interacción de los sulfuros minerales con el agua y el aire. Puede emanar de varias actividades y lugares en la mina. de ellos:

- Operaciones superficiales y subterráneas.
- Desechos rocosos de la planta de chancado.
- Lugar donde se recolectan desperdicios de molienda u otro tipo.
- Desechos de flotación, embalses de relaves y otros.

Expuestos al aire y al agua, los minerales que contienen azufre, como la pirita ( $\text{FeS}_2$ ) y la pirrotita ( $\text{Fe}_{1-x}\text{S}$ ), se oxidan y reaccionan para producir ácido sulfúrico y hierro disuelto, lo que provoca el drenaje. Parte del hierro puede precipitarse en los lechos, formando una capa roja, naranja o amarilla que



contiene el drenaje de la mina. Estas transformaciones físicas, químicas y biológicas dan lugar a drenajes de mina que generalmente son ácidos y contienen concentraciones elevadas de Fe, Al, SO<sub>4</sub>, además de Zinc, Mn, Mg, Cu, Cd, Pb y As, que provienen de diluciones de sulfuros y otros minerales relacionados. Por lo general, son ácidos (pH de 2 a 4) y contienen cationes y aniones en disolución, con concentraciones predominantes de SO<sub>4</sub>, Fe, Al y otros. Los efluentes son una de las primordiales fuentes potenciales de biodisponibilidad de elementos contaminantes, que deterioran la calidad de las aguas superficiales y subterráneas.

#### **2.2.5. Tipo de drenajes de mina**

La ausencia de oxidación directa de la pirita y la generación de Fe<sup>3+</sup> requiere oxígeno atmosférico (O<sub>2</sub>), por lo que su ausencia inhibiría los procesos de generación de drenajes de ácidos de mina (AOM). La mayoría de los AMO se producen en zonas mineras no saturadas y aerobias. Sin embargo, bajo ciertas condiciones de anoxia, el Fe<sup>3+</sup> oxida a los sulfuros, produciendo acidez. De esta manera, se pueden agrupar los AMO en dos tipos de drenaje: ferroso y férrico, en función del contenido de oxígeno disuelto en el agua y la presencia mayoritaria de una de las fases de hierro (Fe<sup>2+</sup> o Fe<sup>3+</sup>). Esto se ve mejor en un botadero sin vegetación o materiales de cobertura, que soportan la infiltración del agua de lluvia y la erosión de los taludes. Estos drenajes, que van desde el interior de los botaderos (zona anaeróbica) a través de las surgencias a pie de talud y al agua de las labores subterráneas (zona anóxica) que desaguan al exterior por las galerías, tienen un pH bajo (1, 7 a 2,3), un bajo contenido de oxígeno disuelto (0 a +40%), un alto contenido de hierro en forma ferrosa y en ocasiones, el agua tiene un color verdoso debido a la presencia de microorganismos acidófilos hierroxidantes llamados AMO ferrosos, que solo mantienen estas características muy cerca del punto de salida. Estos drenajes se oxigenan rápidamente una vez que entran en contacto con la atmósfera (zona

aerobia y en superficie), y mediante un proceso aerobio catalizado por bacterias de tipo *Thiobacillus ferrooxidans*, transforman el hierro ferroso a hierro férrico, lo que da al agua un color ocre-rojo intenso (pH entre 2 y 3,5) y produce precipitados de oxihidróxidos de hierro. Estas aguas son los AMO férricos. Los drenajes anóxicos con una fase ferrosa predominantemente tienen un pH bajo de 1,7 a 2,3 y suelen mantener una temperatura casi constante durante todo el año. Por otro lado, las aguas en las que predomina la fase férrica tienen un pH de 2,5 a 3,5 y una saturación de oxígeno de 70 a 100%. Su temperatura varía según el año y la hora del día (IGME, 2004).

### 2.2.6. Gestión de sistema de tratamiento de aguas acidas Jessica

En razón a lo indicado ARUNTANI S.A.C., ha realizado las acciones inmediatas para poder cumplir lo establecido. Actualmente la Planta de tratamiento de Aguas Acidas, correspondiente a la zona del Botadero del sector Jessica, viene cumpliendo en la captación del 100% de afloramientos de agua indicados, que incluye nuestro sistema, y así poder iniciar el proceso de Tratamiento en sus distintas etapas y obtener un agua de Calidad según lo establece el D.S. N° 10- 2010-MINAM (Aprueban Límites Máximos Permisibles para efluentes de actividades mineras metalúrgicas).



**Fotografía 1: Vista panorámica del Sistema de Tratamiento de Aguas Acidas – Wetland Jessica.**

En razón a los dispuesto en la RD N° 058-2017-OEFA/DS y en la RD N° 033-2018-OEFA/DSEM; ARUNTANI ha implementado instalaciones para poder mejorar la eficiencia del tratamiento de aguas residuales y superficiales, correspondiente a la zona de Botadero Jessica.

Para poder medir la eficiencia de nuestro sistema de tratamiento, se realizó tomas de muestras de agua sin tratar y tratada, con la finalidad de caracterizar y acreditarla eficiencia de nuestro Sistema implementado.

Los resultados obtenidos de la realización de los análisis, han sido comparados con la normativa ambiental vigente D.S. N.º 010-2010-MINAM.

La comparación de resultados se ha efectuado tanto para el agua sin tratamiento y el agua tratada, con el fin de poder evaluar la efectividad de nuestro sistema de tratamiento.

#### **2.2.7. Marco legal**

La herramienta actual se basa en las regulaciones vigentes en relación a la gestión de los recursos hídricos en el país.

- Ley N.º 29338, "Ley de Recursos Hídricos", que fue promulgada el 31 de marzo de 2009, otorgó a la Autoridad Principal del Sistema Nacional de Gestión de los Recursos Hídricos la autoridad para garantizar la protección del agua.
- Reglamento de la Ley N.º 29338 "Ley de Recursos Hídricos" fue aprobado por el Decreto Supremo N.º 001-2010-AG del 24 de marzo de 2010.
- Aprueban los límites máximos permitidos para la descarga de efluentes líquidos de actividades mineras y metalúrgicas. DECRETO SUPREMO NÚMERO 010-2010-MINAM

Cuadro 1: Límites Máximos permisible para la descarga de Efluentes Líquidos de Actividades Minero Metalúrgica.

Parámetro	Unidad	Límite en cualquier momento	Límite para le Promedio anual
pH		6 - 9	6 – 9
Solidos Totales en Suspensión	mg/L	50	25
Aceites y Grasas	mg/L	20	16
Cianuro Total	mg/L	1	0.8
Arsénico Total	mg/L	0.1	0.08
Cadmio Total	mg/L	0.05	0.04
Cromo Hexavalente (*)	mg/L	0.1	0.08
Cobre Total	mg/L	0.5	0.4
Hierro (Disuelto)	mg/L	2	1.6
Plomo Total	mg/L	0.2	0.16
Mercurio Total	mg/L	0.002	0.0016
Zinc Total	mg/L	1.5	1.2

Fuente: Decreto Supremo N.º 010-2010-MINAM

### 2.2.8. Protocolo nacional de monitoreo de la calidad en cuerpos naturales de aguas superficiales

El Protocolo Nacional de Monitoreo de la Calidad en Cuerpos Naturales de Agua Superficial de la Autoridad Nacional del Agua (ANA) servirá como base para la investigación. Todas las entidades públicas y privadas del territorio nacional que realizan actividades relacionadas con el recurso hídrico (usos, vertimientos, y/o reúsos) deben seguir el protocolo.

### 2.2.9. Metodología de monitoreo

Antes de comenzar el monitoreo, es esencial familiarizarse con el cuerpo de agua donde se llevará a cabo el monitoreo y con los expertos clave que determina la calidad del recurso hídrico. Esto ayudara a definir los parámetros a controlar, el número de puntos de monitoreo, la frecuencia y el plan de trabajo para el desarrollo del monitoreo, considerando el uso principal de los recursos hídricos en estudio, según la Resolución Jefatural No 202-2010-ANA.

#### 2.2.9.1. Selección de parámetros

La calidad de las aguas continentales varía según los procesos morfológicos, hidrológicos, químicos y biológicos a los que se exponen. Además, su entorno natural, incluidas las precipitaciones, las escorrentías, el material sólido transportado, el agua subterránea y la atmósfera en general. Además, las actividades humanas pueden tener un impacto significativo en la calidad de los cuerpos de agua naturales, como los vertimientos de aguas residuales industriales y domésticas, el movimiento de tierras, la erosión, el uso de pesticidas y las obras hidráulicas, entre otros (ANA, Autoridad Nacional de Agua, 2011).

### **Parámetros físicos**

#### ✓ **Temperatura**

La temperatura del agua es un parámetro crucial debido a su impacto en el crecimiento de la vida acuática, las reacciones químicas y las velocidades de reacción, así como en la capacidad del agua para usos específicos. (GESTA AGUA, Grupo de Estudio Técnico Ambiental para El Agua, 2002)

El pH, el déficit de oxígeno, la conductividad eléctrica y otras variables fisicoquímicas son otros indicadores de la calidad del agua que se ven afectados por la temperatura.

#### ✓ **Conductividad eléctrica (CE)**

Es una medida numérica de su capacidad para transportar corriente eléctrica, que depende de la concentración total de sustancias disueltas ionizadas en el agua y de la temperatura del agua a la que se realiza la determinación.

Por lo tanto, cualquier cambio en el parámetro de conductividad está relacionada con un cambio en la de sustancias disueltas, la movilidad de los iones disueltos y su valencia. Como resultado, el valor

de la conductividad se utiliza ampliamente en el análisis de aguas para obtener una estimación rápida del contenido de sólidos disueltos en el agua.

✓ **Sólidos Disueltos Totales (TDS)**

Las sales inorgánicas (principalmente de calcio, magnesio, potasio, sodio, bicarbonatos, cloruros y sulfatos) y pequeñas cantidades de materia orgánica disueltas en agua constituyen los sólidos disueltos totales. Los TDS que se encuentran en líquidos destinados a consumir provienen de fuentes naturales, residuos, escorrentías urbanas y residuos industriales. Organización Mundial de la Salud (OMS), en el año 2003.

**Parámetro Químicos**

Los riesgos de los componentes químicos del agua difieren de los de la contaminación microbiana y se deben principalmente a la capacidad de los componentes químicos de causar efectos perjudiciales para la salud después de exposiciones prolongadas. Organización Mundial de la Salud OMS, 2006.

✓ **Potencial de Hidrógeno (pH)**

El pH influye en la biodisponibilidad de la mayoría de los metales pesados al alterar el equilibrio entre la especiación metálica, la solubilidad, la adsorción y el intercambio de iones en el suelo. Al aumentar el pH, los metales pesados se eliminan de la solución del suelo y se adsorben por los coloides, lo que reduce su biodisponibilidad. Como resultado, el suelo o el agua se acidifica, lo que reduce la retención de cationes metálicos. Mancilla (2012).

✓ **Oxígeno Disuelto (OD)**

La temperatura y la salinidad del agua determinan la cantidad de oxígeno disuelto en agua, que debe estar en equilibrio con la atmósfera. La ausencia total de oxígeno concede a la presencia de malos olores como consecuencia de la descomposición de la materia orgánica. (Verástegui, 2001). El análisis del oxígeno disuelto es una prueba clave de la contaminación de agua y control del proceso de tratamiento de aguas residuales. (Verástegui, 200).

### **2.3. Definición de términos básicos**

#### **2.3.1. Acidez**

El número de átomos de hidrógeno determina la capacidad cuantitativa del agua para neutralizar una base, expresada en equivalente de carbonato de calcio en PPM o en mg/l. En la mayoría de los casos, se realiza una evaluación utilizando una solución estándar de hidróxido sódico para medir.

#### **2.3.2. Agua ácida**

Agua con sustancias ácidas que hacen que el pH esté por debajo de 7,0.

#### **2.3.3. Agua superficial**

Toda agua natural que se encuentra en el medio ambiente, incluyendo ríos y lagos. Los reservorios, las charcas, las corrientes, los océanos, los mares, los estuarios y los humedales.

#### **2.3.4. Depósito de desmonte**

Es el área donde se encuentran los materiales que se extrajeron del interior de la mina o del área de explotación a tajo abierto, que no contienen valores extraíbles o que su extracción no es rentable, por lo que se han dispuesto en un lugar donde no se realizan actividades de explotación.

#### **2.3.5. Estación de muestreo:**

Es un lugar específico en el que se recolecta la muestra, ya sea cerca o en un cuerpo receptor de agua. El éxito del programa de sondeo depende de su ubicación.

#### **2.3.6. Cuerpo receptor:**

Es el recurso que recibe o al que se arrojan directa o indirectamente los residuos de cualquier actividad humana. Es decir, son lagos, ríos, acequias, pozos, suelos, aire, etc.

#### **2.3.7. Estándar de calidad:**

Es el que cumple con los requisitos mínimos de calidad del agua.

#### **2.3.8. Monitoreo:**

La ISO (Organization for Standardization) lo define como: "El procesamiento programado de análisis y posterior registro o alerta (o ambos) de varias características del agua, con el propósito de evaluar la observancia de objetivos especificados" ..

#### **2.3.9. Metales totales:**

Son todos los iones metálicos en una muestra no filtrada (Al, B, Ca, Mg, Ag, Ni, K, Si, Ba, Cd, Cr, Pb, Zn, Mn, Fe, Cu, Hg y As).

#### **2.3.10. Parámetros:**

Son las características físicas y químicas del agua que se pueden medir.

### **2.4. Formulación de hipótesis**

#### **2.4.1. Hipótesis general**

La calidad de las aguas ácidas generadas por el botadero Jessica, perteneciente a la Unidad Minera Arasi – Compañía Minera Aruntani – no cumple con Límites Máximos Permisibles del D.S. N° 010-2010-MINAM.



### 2.4.2. Hipótesis específicas

La calidad química de las aguas ácidas generadas por el botadero Jessica, perteneciente a la Unidad Minera Arasi - Compañía Minera Aruntani no cumple con Límites Máximos Permisible del D.S. N° 010-2010-MINAM.

La calidad física de las aguas ácidas generadas por el botadero Jessica, perteneciente Unidad Minera Arasi - Compañía Minera Aruntani no cumple con Límites Máximos Permisible

El volumen de aguas acidas generadas por el botadero Jessica, perteneciente Unidad Minera Arasi - Compañía Minera Aruntani supera los 100 l/min

### 2.5. Identificación de variables

#### 2.5.1. Variable independiente:

La calidad de las aguas acidas

#### 2.5.2. Variable dependiente:

Botadero Jessica, perteneciente a la Unidad Minera Arasi

#### 2.5.3. Variable interviniente:

Límites Máximos Permisibles del D.S. N° 010-2010-MINAM.

### 2.6. Definición operacional de variables e indicadores

Variable	Dimensión	Indicadores	Escala	Método Instrumento
Metales Pesados generadores de aguas acidas provenientes del botadero Jessica	Compilado de monitoreos realizados en los punto M-4(antes del tratamiento y V-J(después del tratamiento)	* Numero de Metales que sobrepasan los LMP * Cantidad de agua acida generada * Calidad del agua de contacto	Unidad Volumen mg/l	* Monitoreos fisicoquímicos de la Calidad de agua. * Calculo volumétrico de la cantidad de agua * Toma de muestras de Agua Acida

Planta de tratamiento de Aguas Acidas del Botadero Jessica	neutralización de aguas acidas, precipitación de metales desionizados.	* Reducción de metales pesados presentes en el agua * Cantidad de Agua Acida Tratada * calidad del agua de vertimiento	Unidad Volumen mg/l	* Planta de tratamiento de Aguas Acidas de Doble Sistema (Activo - Pasivo) *Análisis de laboratorio (ICP-MS)
--	--	---	---------------------------	---

## CAPITULO III

### MÉTODOLOGIA Y TECNICAS DE INVESTIGACIÓN

#### 3.1. Tipo de investigación

El tipo de investigación que se desarrolla está enmarcado en el tipo descriptivo, cuantitativo y de campo, donde se explica el proceso que se cumple en el botadero Jessica, pasando por acciones de control periódico de las aguas ácidas y se ha desarrollado completamente *in situ*, es decir con la presencia del investigador en la zona de trabajo.

#### 3.2. Nivel de investigación

En cuanto al nivel desarrollado es de carácter descriptivo y analítica, por cuanto se describieron y analizaron los parámetros según la normativa peruana Límites Máximos Permisibles del D.S. Nº 010-2010-MINAM. Y longitudinal ya se analizará resultados en distintas épocas del año.

#### 3.3. Métodos de investigación

La investigación se llevará a cabo siguiendo el siguiente procedimiento.:

##### 3.3.1. Trabajo de Gabinete

Recibir información del botadero Jessica sobre la generación de aguas acidas.

##### 3.3.2. Trabajo de Campo

Monitoreo, análisis y evaluación de aguas acidas del botadero Jessica

### 3.4. Diseño de investigación

Para determinar la calidad de las aguas acidas producidas en el botadero Jessica, se utilizó un diseño de corte transversal no experimental..

### 3.5. Población y muestra

#### 3.5.1. Población y Muestra:

##### **Población**

La población está compuesta por todos los componentes de la Unidad Minera Arasi perteneciente a la Compañía Minera Aruntani.

##### **Muestra**

La muestra este compuesto por el botadero Jessica, ya que esta es una de las fuentes más representativas de aguas acidas, para lo cual tomaremos 3 puntos de monitoreo y análisis para su evaluación de calidad de aguas acidas.

### 3.6. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

#### **Técnicas**

- ✓ **Recolección de Datos:** Consiste en recopilar datos de los monitoreos de agua llevados a cabo.
- ✓ **Observación:** incluye un método de visualización de campo que produce drenaje de ácido de mina.
- ✓ **Monitoreo:** recopilación de muestras en el terreno
- ✓ **Análisis:** evaluación y seguimiento de los monitoreos realizados por un laboratorio acreditado por INACAL

#### **Instrumentos**

- ✓ Multiparámetro
- ✓ Laboratorio Acreditado
- ✓ Materiales de Campo

### 3.7. Selección, validación y confiabilidad de los instrumentos de investigación

Para la validación y confiabilidad de los resultados y análisis de agua obtenidos del efluente del botadero Jessica antes del tratamiento, así como los resultados obtenidos después del tratamiento en el punto de control V-J; fueron acreditados mediante el Informe de Ensayo N° MA19050155 con valor oficial, por parte del LABORATORIO DE SERVICIOS AMBIENTALES *J. RAMON DEL PERU S.A.C.*, el mismo que es acreditado por el Instituto Nacional de Calidad – INACAL.

### **3.8. Técnicas de procesamiento y análisis de datos**

- ✓ Ordenar y codificar datos.
- ✓ Tabular.
- ✓ Analizar e Interpretar.

### **3.9. Tratamiento estadístico**

- ✓ Usar hojas de cálculo de Microsoft Excel.

### **3.10. Orientación ética filosófica y epistémica**

La presente investigación está orientada a la toma de conciencia antes de verter las aguas en la producción minera, sabiendo que los metales pesados presentes en el agua en una alta concentración generan la pérdida de un ecosistema acuático asimismo resulta perjudicial a la ganadería y agricultura del entorno ya que la contaminación de un recurso hídrico elimina a todo organismo y microorganismo vivo de ríos, lagos y lagunas, así como al medio terrestre al degradar los suelos por la oxidación propia al contacto de con aguas acidas, volviendo toxico tanto al agua y pastizales que son alimentos de los animales en la zonas alto andinas y deteriorando el suelo agrícola por donde discurren las aguas con metales pesados, degradándose así los recursos naturales y provocando el cambio climático que genera desastres naturales a nivel mundial.

## CAPÍTULO IV

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 4.1. Descripción del trabajo de campo

**Ubicación:** coordenada UTM WGS 84: E 304664, N 8312398

El botadero Jessica, inició sus operaciones en el año 2011 y que actualmente se encuentra en etapa de cierre, este botadero pertenece a la Unidad Minera Arasi se encuentra ubicado en el distrito de Ocuvi, provincia de Lampa Departamento de Puno a una altitud e 4940 m.s.n.m. el área está ubicada en las siguientes coordenadas UTM georreferenciado en el Datum WGS-84, para mas detalle de su ubicación en el Anexo N<sup>a</sup> se detalla su ubicación y el detalle de la planta de tratamiento de aguas acidas generadas en el botadero Jessica.

- E: 304926.15
- N: 8313386.15
- Z: 4967.00

El proyecto tiene dos rutas de accesos principales:

1. Vía aérea o terrestre de Lima hacia Arequipa, de esta ciudad se toma la ruta Juliaca hasta el km. 170 (localidad de Imata), siendo esta una vía asfaltada y de doble calzada; en este punto se toma el acceso hacia la

mina Billinton Tintaya hasta el km. 45, de aquí se dirige por una trocha carrozable de 40 km. Que llega directamente hasta el proyecto Jessica.

2. La segunda ruta es tomar vía aérea de la ciudad de Lima hasta Juliaca, de aquí se va por una vía asfaltada hasta la ciudad de Lampa, de este punto se toma una carretera afirmada hasta la localidad de Chivay, el ingreso al proyecto se realiza mediante una trocha carrozable de 16 km.

### **Descripción de componente**

El depósito de desmonte de roca proveniente del tajo Jessica, se ubicará al Noreste del Pad de Lixiviación, Esta estructura cubre una superficie aproximada de 568 000 m<sup>2</sup>, y proporciona una capacidad de almacenamiento estimada de 33 900 000 t (21 200 000 m<sup>3</sup>), de esta forma, cumpliendo con las necesidades de operación señaladas por Arasi.

a disposición del depósito de desmonte se ha diseñado teniendo en cuenta los taludes generales con una inclinación media de 2,5H: 1V. La geometría del depósito toma en cuenta capas de 8m de altura con superficies planas y banquetas (retiros) entre capas de 9,4 m de ancho. Se ha desarrollado la configuración de cada capa asumiendo que el material de desmonte se apilará con un ángulo de reposo de 1,3H; 1V y que cada capa tendrá un retiro tal que permita obtener el talud total. Para la operación del depósito de desmonte incluye la construcción de una berma de protección en el pie del depósito, sistema de subdrenaje en toda el área del depósito y una poza para monitorear la calidad del agua de subdrenaje.

### **Características o principios fundamentales para el diseño implementado**

#### **A. CAUDAL DEL DISEÑO**

Para el cálculo del caudal de diseño de la planta participan no sólo las escorrentías sino también la infiltración del botadero de desmonte, esto señala un total de 8.59 l/s y como contingencia el caudal de diseño de la planta será

como mínimo un 12.5 % mayor al caudal estimado, Además, por la capacidad de la planta, las pozas tendrán la capacidad de almacenamiento de tres días.

Cuadro 2: Balance Hídrico de Botadero – Año Húmedo

Zona de Estudio	Área (ha)	ESCORRENTIA			RECARGA PROFUNDA			FILTRACIÓN DE LA BASE		
		mm	m3	l/s	mm	m3	l/s	mm	m3	l/s
Botadero	50.59	535.49	270,904.39	8.59	37.8	19,123.02	0.61	56.7	28,684.53	0.91

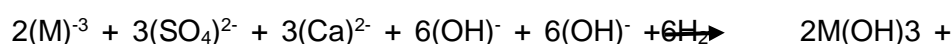
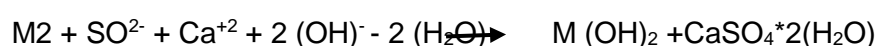
## B. PROCESO DE FLOCULACIÓN

Con el fin de mejorar la sedimentación de los sólidos en el menor tiempo posible, el proceso de floculación transforma las partículas pequeñas en grandes aglomerados. El proceso global de floculación incluye las etapas de desestabilización (neutralización de la carga) y la aglomeración de las partículas.

## C. NEUTRALIZACIÓN Y PRECIPITACIÓN CON LECHADA DE CAL

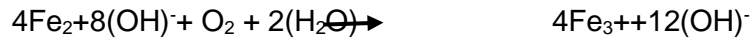
Se usa principalmente como neutralizante para soluciones de agua de minas ácidas. Si el agua es muy ácida, primero se usa caliza y luego se le agrega cal. El níquel, el manganeso, el cobre, el plomo, el hierro, el cobalto y otros elementos pueden precipitar en forma de hidróxidos gracias a esta tecnología. Aunque esto no es cierto para la mayoría de los problemas relacionados con la minería y la metalurgia, con pequeñas modificaciones precipitan constantemente elementos altamente perjudiciales como el cromo, el cadmio y el selenio, así como los elementos necesarios para el agua potable.

Las siguientes ecuaciones químicas describen las reacciones químicas principales que componen el proceso de neutralización:



La siguiente ecuación química muestra la reacción de oxidación del hierro ferroso al hierro férrico:





La función de esta oxidación es crear compuestos más estables y evitar la redisolución, lo que provoca la redisolución de otros elementos pesados, lo que afecta negativamente la calidad del efluente líquido tratado.

El porcentaje de sólidos que sedimentan en los lodos durante el proceso de neutralización es crucial y depende del tipo de sulfato de calcio formado con una o más moléculas de agua. Este porcentaje surgirá de los parámetros del proceso y de la concentración de iones de sulfato en el efluente tratado. Los compuestos del tipo "gypsum" precipitarán como compuestos.

#### **D. NEUTRALIZACIÓN Y PRECIPITACIÓN CON SODA CAUSTICA**

Al usar soda cáustica, se puede neutralizar de una manera más efectiva, pero el costo del material neutralizante es demasiado alto a pesar de que se necesitan menores cantidades de soda cáustica en comparación con la cal debido a su mayor basicidad. Tiene la ventaja que no aumenta la dureza del agua. Generalmente un proceso de neutralización viene acompañado de un proceso de precipitación removiendo elementos metálicos tóxicos por sedimentación.

#### **E. ESQUEMA DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO**

Debido a la presencia de metales como excedidos en los LMP como arsénico, cadmio, cobre, mercurio, plomo y zinc determinados mediante la caracterización de las aguas del compósito en la poza de homogenización de 6000m<sup>3</sup>, se ha instalado, el sistema actual de la Planta de Tratamiento de Aguas Ácidas, la cual tratará las aguas ácidas del botadero y Tajo Jessica, otros afloramientos indicados por OEFA y en paralelo las posibles aguas ácidas que se puedan originar por la explotación de la cantera Jessica norte la cual tiene un tiempo de operatividad de un año, dicha planta garantizará la estabilidad

geoquímica de estos componentes durante la actividad de cierre; este sistema de tratamiento contará con el siguiente proceso:

Almacenamiento de las aguas colectadas del Tajo y Botadero hacia una poza de recepción de 6000 m<sup>3</sup>. Esta capacidad brindara autonomía a las entradas provenientes de los componentes durante la época lluviosa de hasta 03 días de acumulación continua

Primer tren de reacción de neutralización, compuesto por 02 tanques reactores de 20 y 40 m<sup>3</sup> de capacidad respectivamente y la dosificación con la lechada de cal, con el objetivo de aumentar el pH a 6 a 7. homogenizando por agitación.

El primer paso es precipitar metales como el hierro, el cobre y el zinc; estas aguas tratadas sedimentaran en poza de sedimentación de diferentes capacidades, las mismas que se detallaran.

La primera etapa de neutralización se contará con 4 pozas de sedimentación las cuales poseen una capacidad de 650 m<sup>3</sup>, 650m<sup>3</sup>, 866m<sup>3</sup>, 972m<sup>3</sup>.

El segundo tren de neutralización sugiere manejar el manganeso que precipita un pH de 7 a 8,5 en su estado Mn+4. En este estado, la dosificación de lechada de cal será menor y podremos oxidar la solución para que precipitara en una quinta poza de sedimentación de 860 m<sup>3</sup> (separada en 2)., a diferencia del tren anterior los lodos generados alcanzan una concentración del 2% de sólidos.

Las pozas de secado de lodos servirán para la colección de los lodos de la Planta de Tratamiento, dichos lodos serán conducidos finalmente al depósito de desmontes.

## **Estructuras e instalaciones construidas**

### **a. Captación**

Captación de las aguas de contacto del Botadero de desmonte Jessica para su posterior tratamiento. Sumando a ellas la captación de afloramientos ubicadas en la zona baja del Botadero Jessica y afloramientos de la vía de acceso.

**b. Poza de Homogenización**

Destinada a recepcionar los afluentes del Botadero de Desmonte Jessica y otros según necesidad; la poza cuenta con una capacidad de 6000 m<sup>3</sup> y esta forrada con geomembrana de 1.5mm de espesor.

**Diseño de la poza:**

L(mayor) = 76.7m; B(mayor) = 21.6m; l(menor) = 63.0m; b(menor) = 8.0m; H = 6.5m.

Z = 1H: Borde libre = 0.5m variable con berma perimetral.

Ubicación Coordenadas UTM WGS 84; E:304511, N:8312261

**c. Tanque de Lechada de Cal**

Con una capacidad de 20 m<sup>3</sup>, está construida con planchas de hierro de 1/4" de espesor y está destinada a la preparación del medio neutralizante. El mismo tiene un agitador interno.

***Diseño:***

Tanque de 20 m<sup>3</sup>

Htk: Altura del tanque: 2.8m

Dtk: Diámetro del tanque: 1.1 m

Ubicaciones coordenadas UTM WGS 84: E 304667, N 8312385

**d. Tanque de Floculación**

Tiene una capacidad de 10 m<sup>3</sup> y está hecho de planchas de hierro de 1/4" de espesor para preparar el medio coagulante. El mismo tiene un agitador interno.

***Diseño:***

Tanque de 20 m<sup>3</sup>

Htk: Altura del tanque: 2.4m

Dtk: Diámetro del tanque: 1.5m

Ubicación coordinada UTM WGS84: E 304665, N 8312384

**e. Tanque de Neutralización**

Destinada propiamente al tratamiento de las aguas captadas (afluentes); en una primera etapa se tiene dos tanques con una capacidad de 20 m<sup>3</sup> y 40 m<sup>3</sup>; está construido con plancha de hierro de ¼" de espesor y forrado interiormente con geomembrana de 1.5mm de espesor. Asimismo, contara con un sistema de agitación. En la 2 etapa del tratamiento se construyó un tanque de neutralización para elevar el pH que está construido con planchas de hierro de ¼" de espesor con una capacidad de 12 m<sup>3</sup>.

***Diseño:***

Tanque de 20 m<sup>3</sup>

Htk: Altura del tanque: 3.6m

Dtk: Diámetro de tanque: 1.3m

Ubicación Coordinada UTM WGS 84: E 304659, N 8312365 (tanque de 20 m<sup>3</sup>)

Tanque de 40 m<sup>3</sup>

Htk: Altura del tanque: 4.3m

Dtk: Diámetro de tanque: 1.5m

Ubicaciones coordinadas UTM WGS 84: E 304659, N 8312365 (tanque de 40m<sup>3</sup>)

Tanque de 12 m<sup>3</sup>

Htk: Altura del tanque: 2.8m

Dtk: Diámetro de tanque: 1.0m

Ubicaciones coordinadas UTM WGS 84: E 304625, N 8312335 (tanque de 12m<sup>3</sup>)

**f. Poza de Sedimentación 1,2,3**

Destinada a la retención de los sólidos en suspensión que pudieran generarse producto de la neutralización de las aguas. Se cuenta con 05 pozas, de capacidades de 650 m<sup>3</sup>, 650 m<sup>3</sup>, 866 m<sup>3</sup>, 972 m<sup>3</sup>, 860 m<sup>3</sup> (Está última dividida en dos secciones) respectivamente; y 1 poza de monitoreos de 971 m<sup>3</sup>, asimismo todas forradas con doble lamina de geomembrana 1.5mm de espesor para garantizar que no existan filtraciones al medio ambiente.

***Diseño:***

**Poza N° 1 (650 m<sup>3</sup>)**

L (mayor) = 26m; B(mayor) = 18m; l (menor) =10m; b(menor) = 8m; H = 4m

Z = 2H: 1V; Borde libre = 0.75m con berma perimetral.

Ubicación coordinada UTM WGS 84: E 304681, N 8312354

**Poza N° 2 (650 m<sup>3</sup>)**

L (mayor) = 26m; B (mayor) = 18m; l (menor) = 10m; b (menor) = 8m; H = 4m

Z = 2H: 1V; Borde libre = 0.75m con berma perimetral.

Ubicación coordinada UTM WGS 84: E 304683, N 8312363

**Poza N° 3 (866 m<sup>3</sup>)**

L (mayor) = 26m; B (mayor) = 18m; l (menor) = 10m; b (menor) =8m; H = 4m.

Z = 2H: 1V; Borde libre = 0.75m con berma perimetral

Ubicación coordinada UTM WGS84: E 304653, N 8312378

**Poza N° 4 (972 m<sup>3</sup>)**

L (mayor) = 29m; B (mayor) = 21m; l (menor) = 10m; b (menor) = 8m; H = 4m

Z = 2H; 1V; Borde libre = 0.75m con berma perimetral

Ubicación coordenada UTM WGS 84: E 304617, N 8312349

**Poza N° 5 (860 m<sup>3</sup>)**

L (mayor) = 25m; B( mayor) = 18m; l (menor) = 12m; b(menor) = 10m; H = 4.5m.

Z = 2H: 1V; Borde libre = 0.75m con berma perimetral.

Ubicación coordenada UTM WGS 84; E 304597, N 8312323

**g. Sistema de Tratamiento por Humedales**

Este sistema consta de canales donde las aguas residuales se infiltran por un medio poroso, como rocas, grava o arena gruesa utilizando el sistema de raíces vegetales. Las plantas de humedales se desarrollaron para ayudar en la retirada y transformación de la contaminación al proporcionar áreas superficiales activas biológicamente, captar nutrientes y producir rizosfera oxidadas. El transporte activo de oxígeno a las raíces sumergidas de las plantas da como resultado la última característica.

Las profundidades están típicamente entre 0,6 y 1,0 m y el fondo del cauce se inclina para reducir al mínimo el flujo del agua por tierra (Kadlec et al., 2000). Este sistema ofrece algunas ventajas como: (1) menos área requerida, ya que las áreas superficiales para la absorción, filtración, y los biofilms son muchos más altos; y (2) se reducen los insectos y los problemas de olor, puesto que las aguas residuales permanecen debajo de la superficie de la grava (EPA, 1993). Sin embargo, es importante tener en cuenta.

**h. Poza de Lodos**

El sistema de tratamiento de la zona del Botadero Jesica ha contemplado 02 pozas para el secado de lodos, el mismo que se genera en el sistema de tratamiento de aguas ácidas, los lodos provendrán del proceso de sedimentación (pozas de sedimentación N°1, 2 Y 3); de planta de tratamiento los mismos que serán transportados mediante el apoyo de cisternas u otro

medio seguro. Los lodos a trasladar desde el sistema de tratamiento contendrán un porcentaje de humedad para lo cual en las pozas implementadas se realizará el proceso de secado.

Diseño de poza:

L (mayor) 60m; B (mayor) = 51m; l (menor) = 15m; b (menor) = 6m; H = 3m. Z= 2H: 1V; Borde libre = 0.2m con berma perimetral.

Ubicación coordenada UTM WGS 84:

**Poza de lodo N°1:**

E: 304919, N: 8313238

**Poza de lodo N°2:**

E: 304895, N: 8313240

**i. Sistema de Izaje, Almacenamiento y Traslado de Cal**

Las mismas servirán para poder mecanizar el sistema de preparación de solución de lechada de ca E -endonado sistema se encuentra fabricado con estructuras metálicas de acero B cas 6x20 lb/pie), que cuenta con un sistema de Izaje (Tecla mecánico). Que tienen una capacidad de carga de 1.5 TN. La que almacena y moviiza los sacos de cal para preparar la solución.

Ubicación coordenada UTM WGS 84:

E: 304665, N: 8312370

**j. Sistema de tratamiento**

El sistema de tratamiento tiene como finalidad mejorar la calidad de agua mediante el incremento de pH de ácido (2.5 a 3.5 und. pH) a básico 7.0 a 8.3 und. pH) y disminuir la concentración de metales.

Mediante una bomba de acero inoxidable se enviará el agua homogenizada (Poza de 6000 m<sup>3</sup>) hacia los tanques de neutralización, donde se deriva por gravedad una dosificación de lechada de cal previamente preparada en el Tanque de Lechada de Cal, y floculante en proporciones

adecuadas para la neutralización de las aguas y mediante agitación mecánica se asegura la mezcla.

Pasado el tiempo de agitación se apertura la válvula inferior del tanque de neutralización para derivar las aguas hacia la Poza de Sedimentación N°1 mediante tuberías de 6" de HDPE, donde se retendrán los sólidos generados. Las aguas clarificadas (ubicadas en la parte superior) pasaran hacia la Poza de Sedimentación N°2, 3, 4 y 5 donde se retendrán los posibles solidos que no hayan sido retenidos en las pozas anteriores.

El agua tratada de la poza de Sedimentación N°5 se derivará hacia la Poza de Monitoreo que luego pasará hacia el sistema wetland para eliminar las trazas de metales si hubiese.

#### **k. Control Ambiental**

##### Puntos de Monitoreo

El punto de descarga del vertimiento conocido como VJ se encuentra en el cuerpo receptor de la quebrada Lluchusani, encontrado en las siguientes coordenadas:

Cuadro 3: Ubicación del Punto de Control

Código de los puntos de control	Descripción del punto de control	Ubicación del punto de control	Coordenadas UTM WGS-84		Cuerpo Receptor
			Este	Norte	
V-J	Vertimiento del Sistema de Tratamiento	Efluente Industrial proveniente del Tajo y Botadero Jessica	304544	8312233	Qda. Lluchusani

#### **l. Manejo de sustancias químicas**

En razón al uso de sustancias químicas, en el sistema de tratamiento de aguas ácidas provenientes del sistema de subdrenaje del depósito de desmonte Jessica y otros afloramientos de agua que se vienen tratando en este sistema,



precisamos que para el tratamiento de las aguas ácidas se emplea el uso de sustancias o reactivos químicos, que corresponden a los siguientes:

- Cal u oxido de Calcio
- Hidróxido de Sodio

Las sustancias o reactivos químicos, cuentan con un área o zona para su almacenamiento temporal.

**m. Almacén de cal u oxido de calcio**

Esta comprende de una losa de concreto armado la cual tiene un área de 44 m<sup>2</sup>, en la cual se dispone de forma ordenada los sacos de óxido de calcio de 1.5 Tn de capacidad.

La losa de concreto, se encuentra unida mediante rampas al tanque donde se realiza la preparación de la solución de lechada de cal, ello con el fin de que la cal no tenga contacto con el suelo aledaño.

Ubicación coordinada UTM WGS 84: E 304667, N 8312385

**n. Almacén de hidróxido de sodio**

Esta comprende un ambiente cerrado construido en geomembrana y dentro del cual hay una plataforma (piso) con maderas (parihuelas) impermeabilizadas con geomembrana, con el fin de evitar el contacto del reactivo con el suelo.

**4.2. Presentación, análisis e interpretación de resultados**

**4.2.1. Ubicación de los puntos antes y después de tratamiento**

Las estaciones de monitoreo están ubicados y codificado en dos puntos tal como se detalla en el cuadro N° 04 de la presente investigación. Por otro lado, se presenta el diagrama de flujo de proceso de tratamiento, donde asimismo en estos puntos se muestra los puntos de monitoreo mencionado en el cuadro N° 04, donde el punto de monitoreo M-4 es el punto de monitoreo donde son aguas ácidas colectadas del botadero Jessica y el punto de

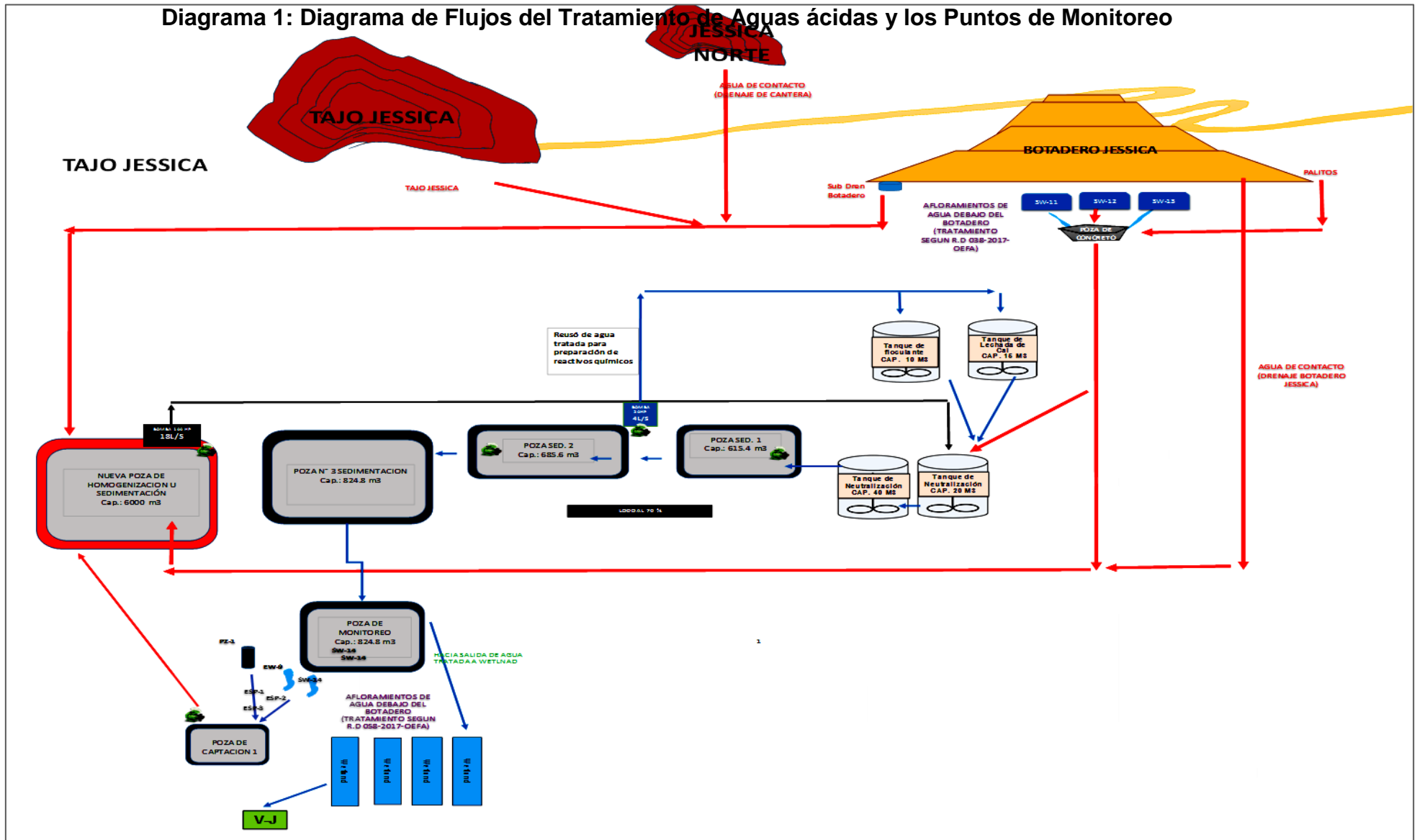
monitoreo V-J, es el punto de monitoreo después de tratamiento de las aguas ácidas.

Cuadro 4: Ubicación de los Puntos de Monitoreo Antes y Después del Tratamiento

Código de los puntos de control	Descripción del punto de control	Ubicación del punto de control	Coordenadas UTM WGS-84		Cuerpo Receptor
			Este	Norte	
M-4	Almacenamiento Colección- Compósito de la poza de homogenización 6000 m <sup>3</sup> (SW-11, SW-12, SW-13, ESP-1, ESP-2, ESP-3, ESP-4, SW-14, EW-9, PZ-1 y otros)	Efluente Industrial proveniente del Botadero Jessica	304548	8312292	Sistema de Tratamiento
V-J	Vertimiento del Sistema de Tratamiento	Efluente Industrial del Botadero Jessica después tratamiento	304544	8312233	Qda. Lluchusani

**Fuente: Elaboración Propio**

Diagrama 1: Diagrama de Flujos del Tratamiento de Aguas ácidas y los Puntos de Monitoreo



#### **4.2.2. Resultados de la calidad de aguas ácidas antes y después de su tratamiento**

En el cuadro N° 5 se presenta los resultados en distintas fechas de monitoreo y análisis de punto de monitoreo M-4 es el punto de monitoreo donde se puede visualizar resultados de las aguas ácidas captados del botadero Jessica. Para tener mejor visualización en el Anexo N° 02 se tienen la información.

En el cuadro N° 6 se presenta los resultados en distintas fechas de monitoreo y análisis de punto de monitoreo V-J es el punto de monitoreo donde se puede visualizar resultados de las aguas después de su tratamiento y vertimiento. Para tener mejor visualización en el Anexo N° 02 se tienen la información.



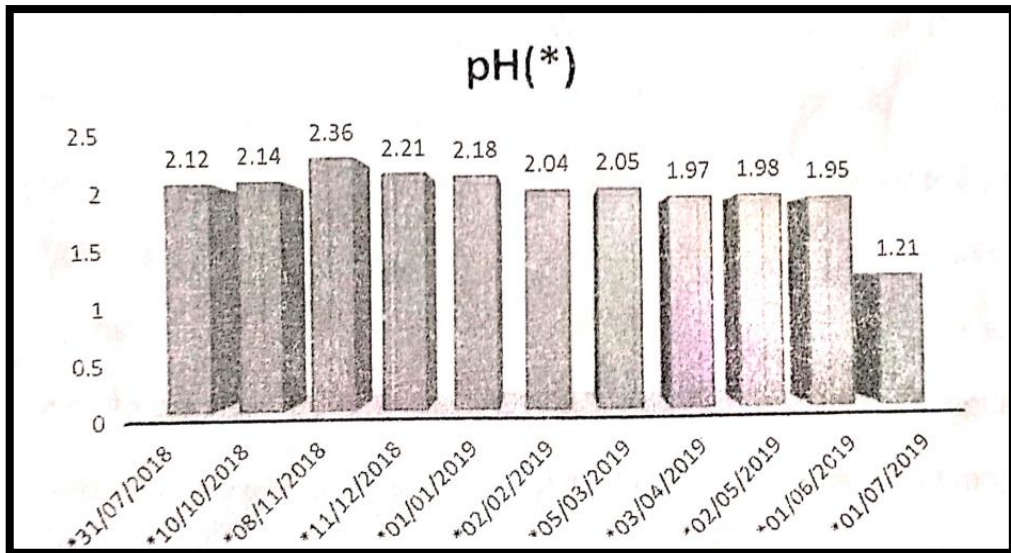


### Interpretación de Resultados

Teniendo en cuenta el D.S. 010 del año 2010 del Ministerio del Ambiente - Límites Máximos Permisibles para la descarga de efluentes líquidos de Actividades Minero - Metalúrgicas y el Decreto Supremo N° 004 del año 2017 del Ministerio del Ambiente, Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para Agua para la categoría 3, se puede interpretar los resultados de los Cuadro N° 05 y 06 de los parámetros siguientes:

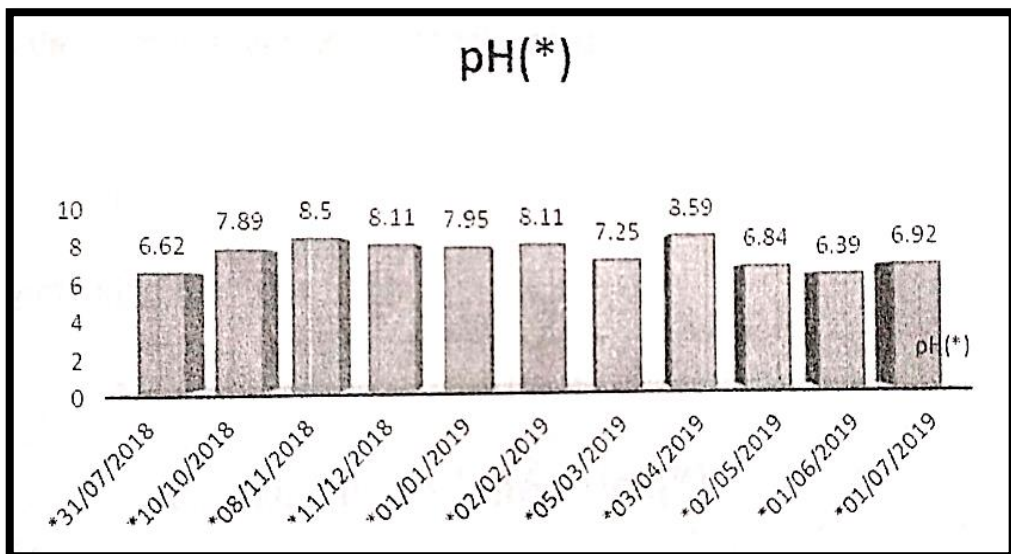
#### Potencial de Hidrogeno (pH)

Figura 1 Potencial de Hidrogeno (pH)- M-4 Efluente Botadero Jessica



Fuente: Elaboración Propia

Figura 2 Potencial de Hidrogeno (pH)-V-J Efluente Después de Tratamiento



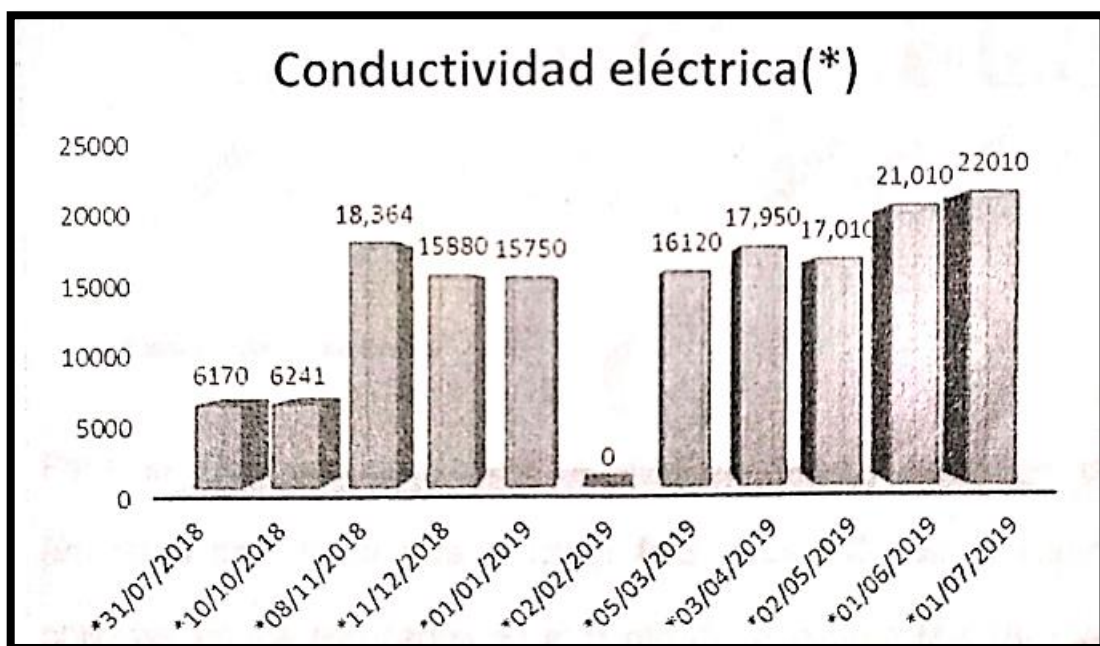
Fuente: Elaboración Propia

Para el caso del Potencial de Hidrogeno (pH) según el D.S. 010 del año 2010 del Ministerio del Ambiente - Límites Máximos Permisibles para la descarga de efluentes líquidos de Actividades Minero - Metalúrgicas el permitido es de 6.0 a 9.0 y según al Estándar Nacional de Calidad Ambiental para Agua para la categoría 3 s de 6.5 -8.5, como se puede observar en os resultados en el punto de Monitoreo M-4 (Almacenamiento Colección-Captación de Aguas Acidas después del Botadero) en las distintas fechas el pH está en un rango de 1.21 2.36 lo cual representa un alta acides y no estaba cumpliendo con la normativas antes mencionadas. Para el caso del punto de monitoreo V-J (Descarga-Aguas Acidas tratadas) se puede en las distintas fechas el pH está en un rango de 6.39 a 8.75 lo cual estos resultados se encuentran dentro de las normativas antes mencionadas.

### **Conductividad Eléctrica (CE)**

*Figura 3 Conductividad Eléctrica (CE) M-4 Efluente Botadero Jessica*

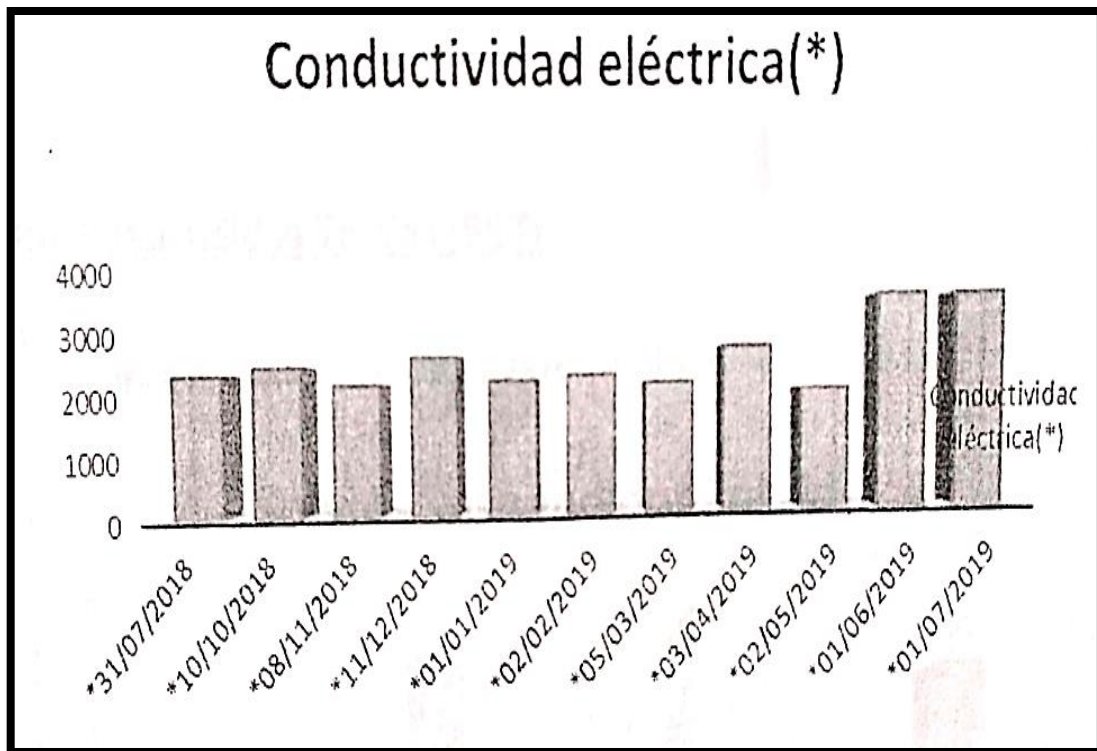
#### **Conductividad eléctrica (\*)**



Fuente: Elaboración Propia



Figura 4 Conductividad Eléctrica (CE) – V-J Efluente Después de Tratamiento

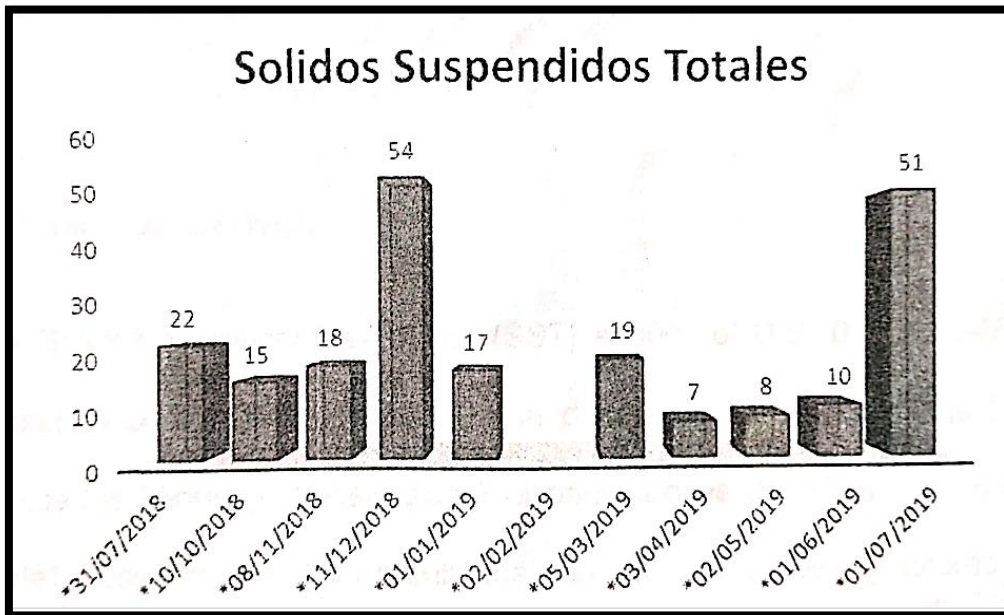


Fuente: Elaboración Propia

Para la Conductividad Eléctrica el Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para Agua para la categoría 3 es de 5000 us/cm, como se puede observar en los resultados en el punto de monitoreo M-4 (Almacenamiento Colección-Captación de Aguas Acidas después del Botadero) en las distintas fechas la conductividad eléctrica está en un rango de 16 us/cm a 22010 us/cm lo cual representa alta presencia de metales totales y no estaría cumpliendo con la normativa antes mencionada. Para el caso del punto de monitoreo V-J (Descarga-Aguas Acidas tratadas) se puede en las distintas fechas la conductividad está en un rango de 2020 us/cm a 3570 us/cm lo cual estos resultados se encuentran dentro de las normativas antes mencionadas, lo cual se puede representar la efectividad del tratamiento.

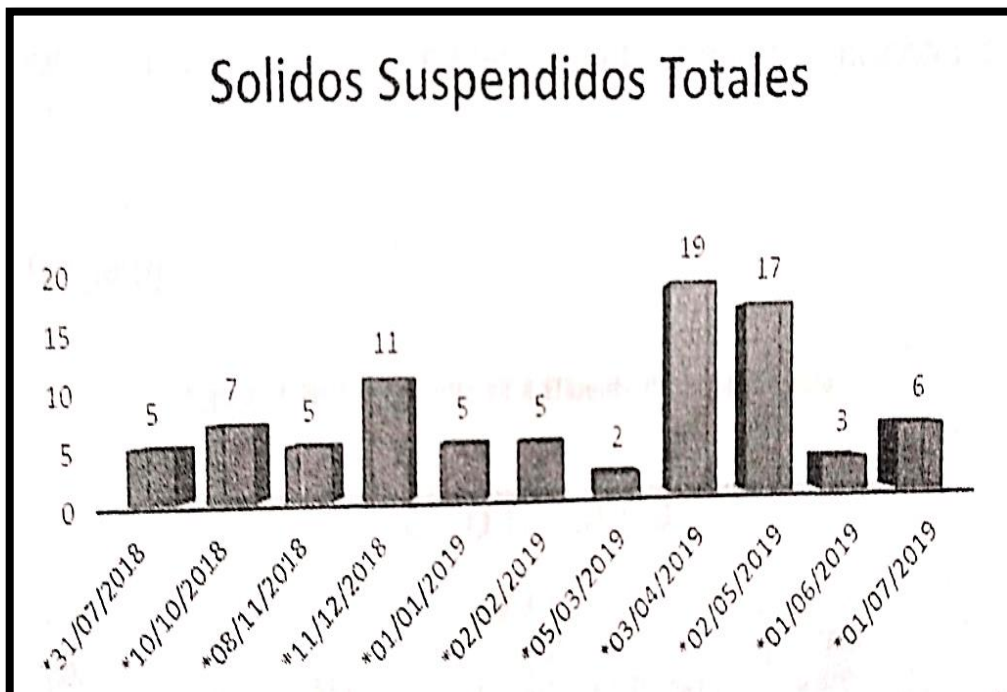
## **Solidos Suspendidos Totales (SST)**

Figura 5 Conductividad Eléctrica (CE) – V-J Efluente Después de Tratamiento



Fuente: Elaboración Propia

Figura 6 Solidos Suspendidos Totales (SST)- V-J Efluente Después de Tratamiento

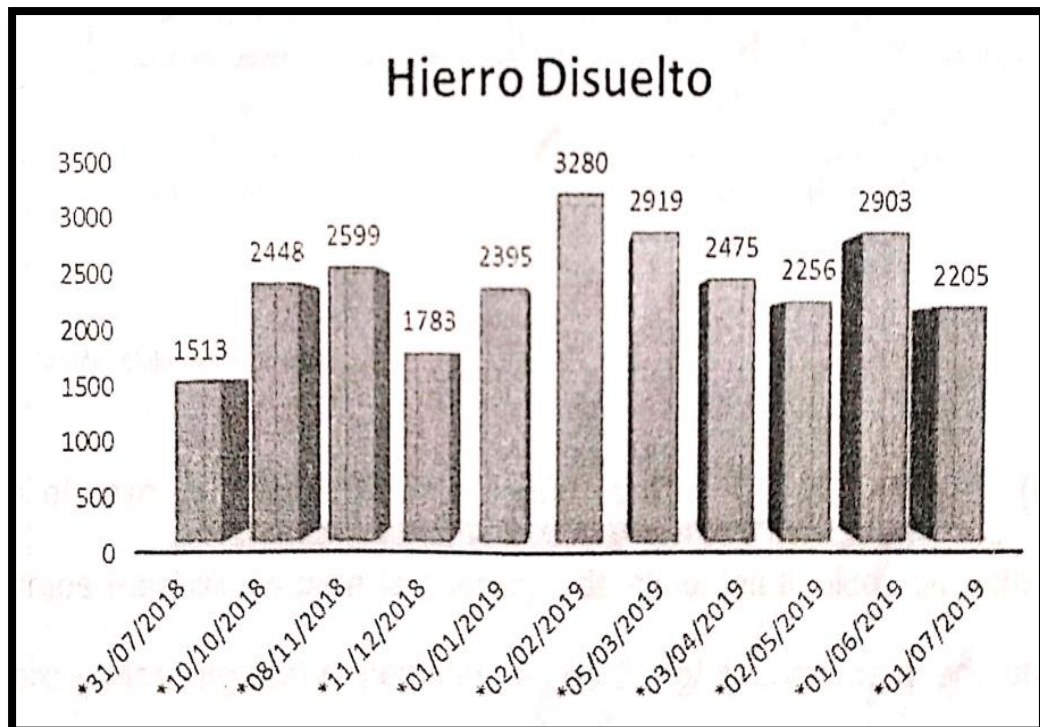


Fuente: Elaboración Propia

Para Solidos Suspendidos Totales (SST) según el D.S. 010-2010-MINAM (Límites Máximos Permisibles para la descarga de efluentes líquidos de Actividades Minero - Metalúrgicas) el permitido es de 50 mg/ Lt, como se puede observar en los resultados en el punto de monitoreo M-4 (Almacenamiento Colección-Captación de Aguas Acidas después del Botadero) los Solidos Suspendidos Totales en 01/07/2019 llego a superar los límites máximos permisibles llegando a 51 mg/lit lo cual representa un alto concentración de este parámetro y no estaría cumpliendo con la normativas antes mencionadas. Para el caso del punto de monitoreo V-J (Descarga- Aguas Acidas tratadas) se puede en las distintas fechas los sólidos suspendidos totales está en un rango de 2 mg/lit a 17 mg/lit lo cual estos resultados se encuentran dentro de las normativas antes mencionadas.

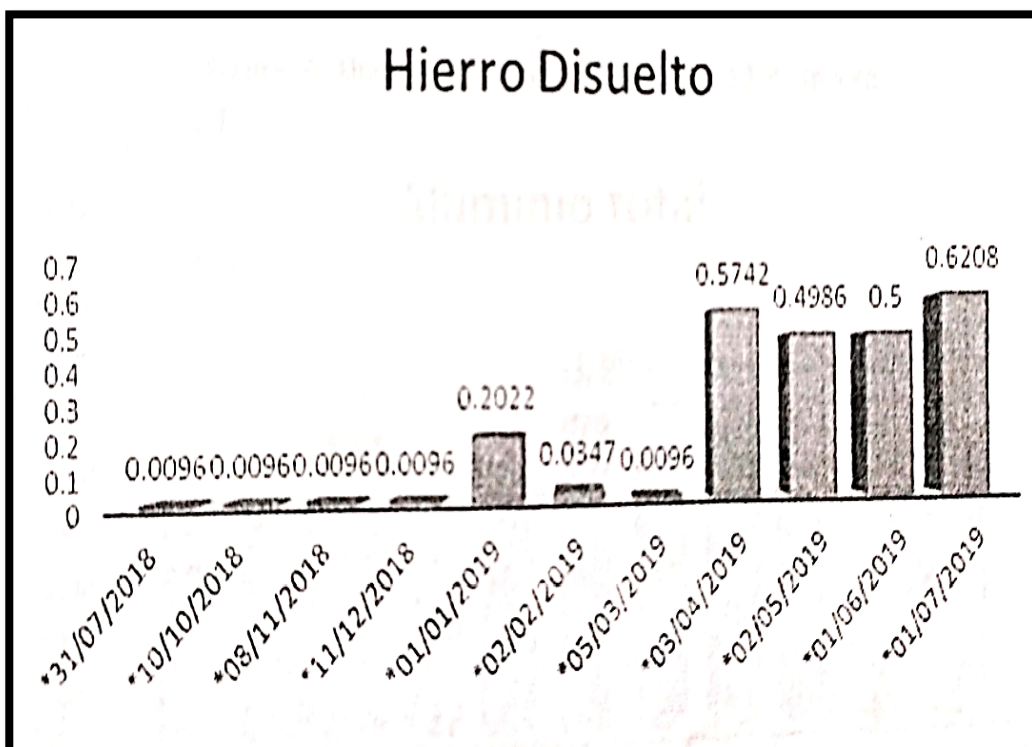
### **Hierro Disuelto**

*Figura 7 Hierro Disuelto M-4 Efluente Botadero Jessica*



Fuente: Elaboración Propia

Figura 8 Hierro Disuelto V-J Efluente Después de Tratamiento

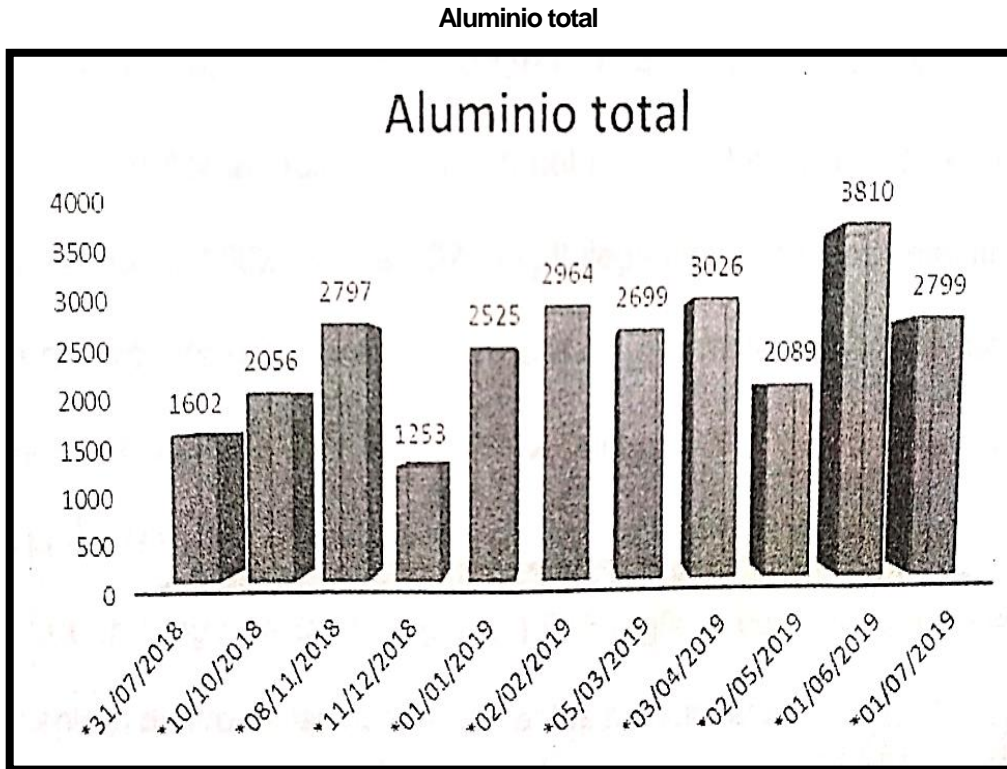


Fuente: Elaboración Propia

Para el caso del Hierro Disuelto según el D.S. 010-2010-MINAM (Límites Máximos Permisibles para la descarga de efluentes líquidos de Actividades Minero - Metalúrgicas) el permitido es de 2 mg/ Lt, como se puede observar en los resultados en el punto de monitoreo M-4 (Almacenamiento Colección-Captación de Aguas Acidas después del Botadero) el Hierro se encuentra en la escala de 1513 mg/lit a 2919 mg/lit llegando lo cual representa un alto concentración de este parámetro y no estaría cumpliendo con la normativas antes mencionadas. Para el caso del punto de monitoreo V-J (Descarga- Aguas Acidas tratadas) se puede en las distintas fechas los Hierro Total está en un rango de 0.0096 mg/lit a 0.6208 mg/lit lo cual estos resultados se encuentran dentro de las normativas antes mencionadas.

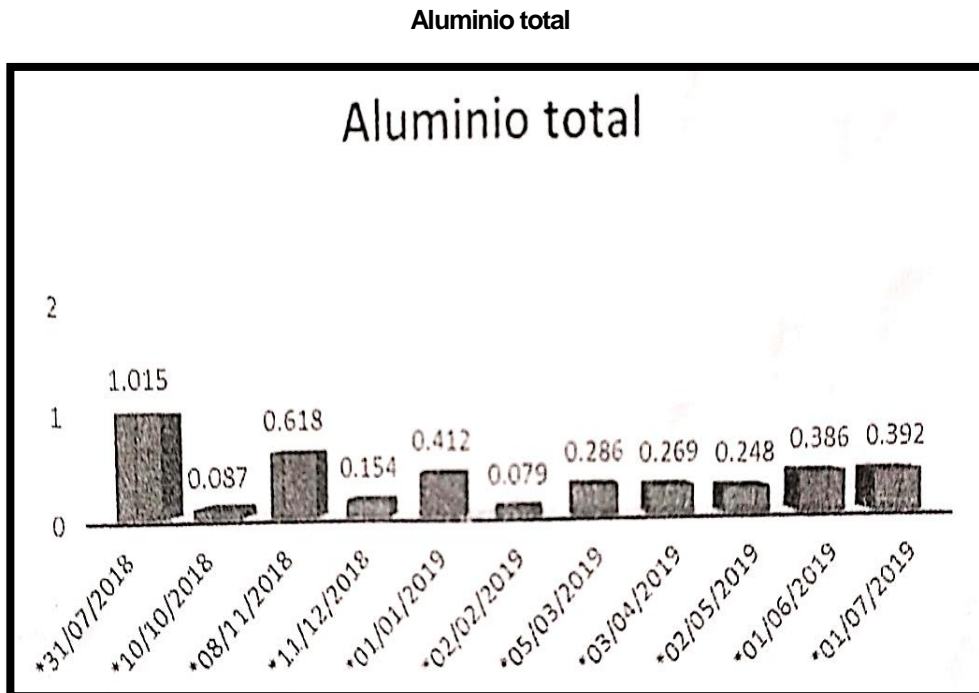
## Aluminio Total

Figura 9 Aluminio Total M-4 Efluente Botadero Jessica



Fuente: Elaboración Propia

Figura 10 Aluminio Total V-J Efluente Después de Tratamiento



Fuente: Elaboración Propia

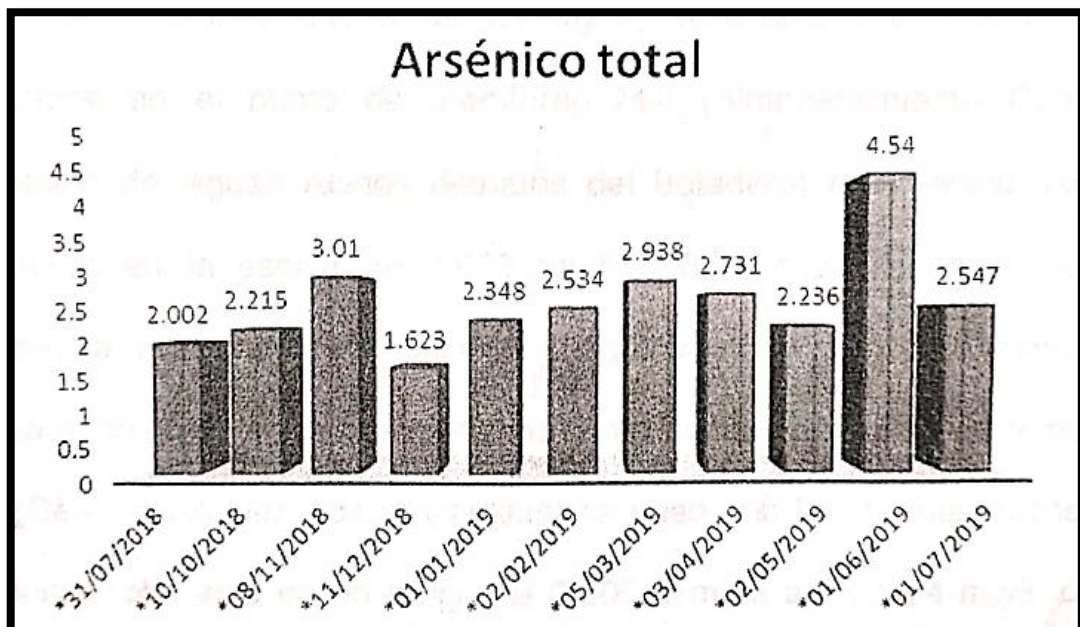


Para el caso del Aluminio Total según el Estándar de Calidad Ambiental Categoría 3 el permitido es de 5 mg/ lt, como se puede observar en los resultados en el punto de monitoreo M-4 (Almacenamiento Colección-Captación de Aguas Acidas después del Botadero) el Aluminio se encuentra en la escala de 1602 mg/lt a 3026 mg/lt llegando lo cual representa un alto concentración de este parámetro y no estaría cumpliendo con la normativas antes mencionadas. Para el caso del punto de monitoreo V-J (Descarga-Aguas Acidas tratadas) se puede en las distintas fechas los Aluminio Total está en un rango de 0.079 mg/lt a 1.015 mg/lt lo cual estos resultados se encuentran dentro de las normativas antes mencionadas.

### Arsénico Total

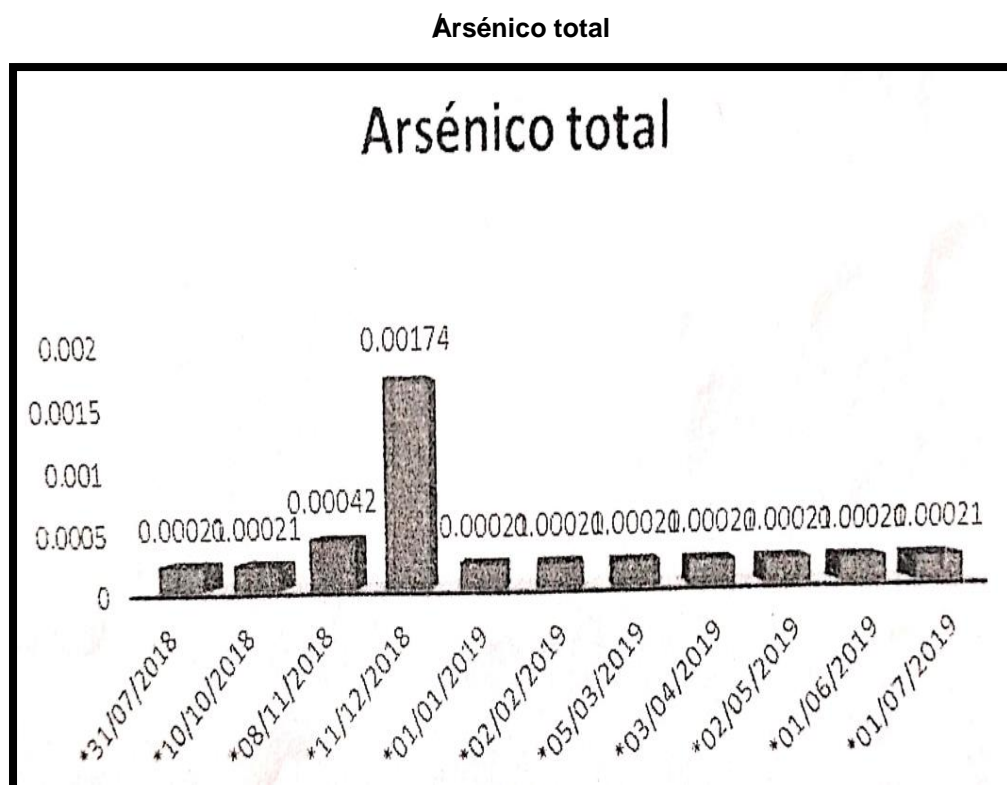
Figura 11 Arsénico Total M-4 Efluente Botadero Jessica

### Arsénico Total



Fuente: Elaboración Propia

Figura 12 Arsénico Total V-J Efluente Después de Tratamiento

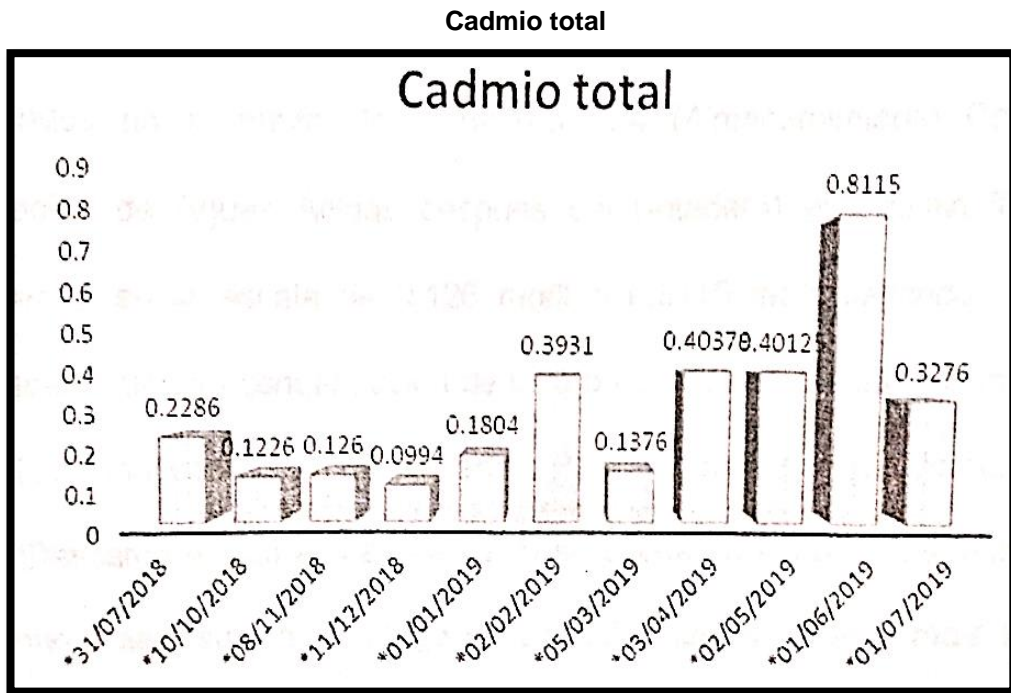


Fuente: Elaboración Propia

Para el Arsénico Total según el D.S. 010-2010-MINAM (Límites Máximos Permisibles para la descarga de efluentes líquidos de Actividades Minero - Metalúrgicas) el permitido es de 0.1 mg/ Lt, como se puede observar en los resultados en el punto de monitoreo M-4 (Almacenamiento Colección-Captación de Aguas Acidas después del Botadero) el Arsénico Total se encuentra en la escala de 1.623 mg/lit a 3.01 mg/lit llegando lo cual representa un alto concentración de este parámetro y no estaría cumpliendo con la normativas antes mencionadas. Para el caso del punto de monitoreo V-J (Descarga-Aguas Acidas tratadas) se puede en las distintas fechas los Arsénico Total está en un rango de 0.00021 mg/lit a 0.00174 mg/lit lo cual estos resultados se encuentran dentro de las normativas antes mencionadas.

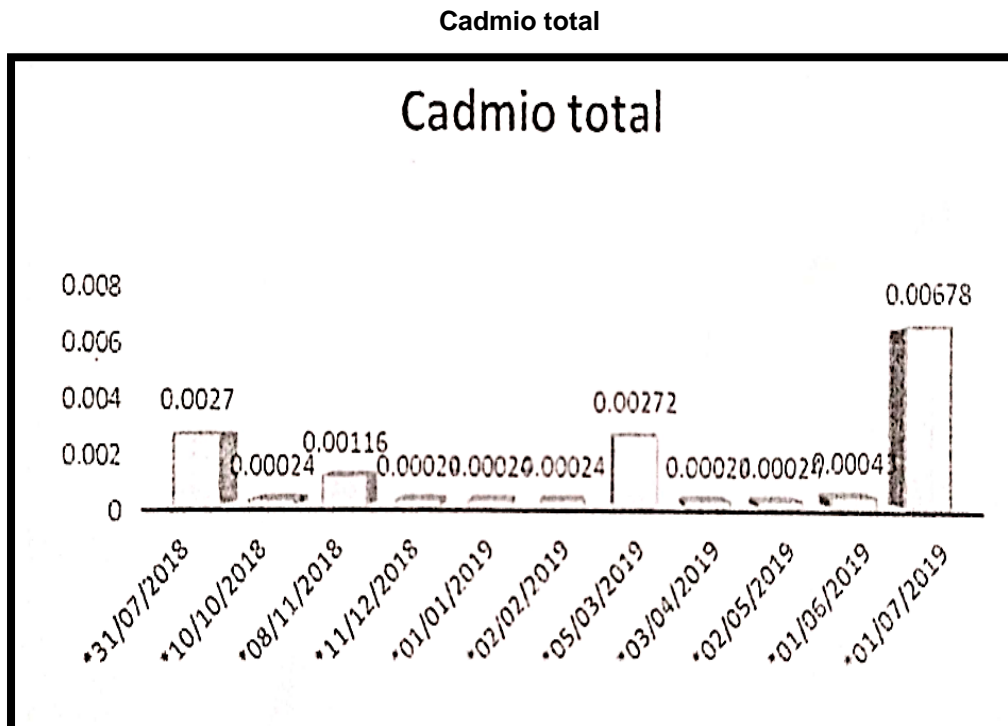
## Cadmio Total

Figura 13 Cadmio Total M-4 Efluente Botadero Jessica



Fuente: Elaboración Propia

Figura 14 Cadmio Total V-J Efluente Después del Tratamiento



Fuente: Elaboración Propia

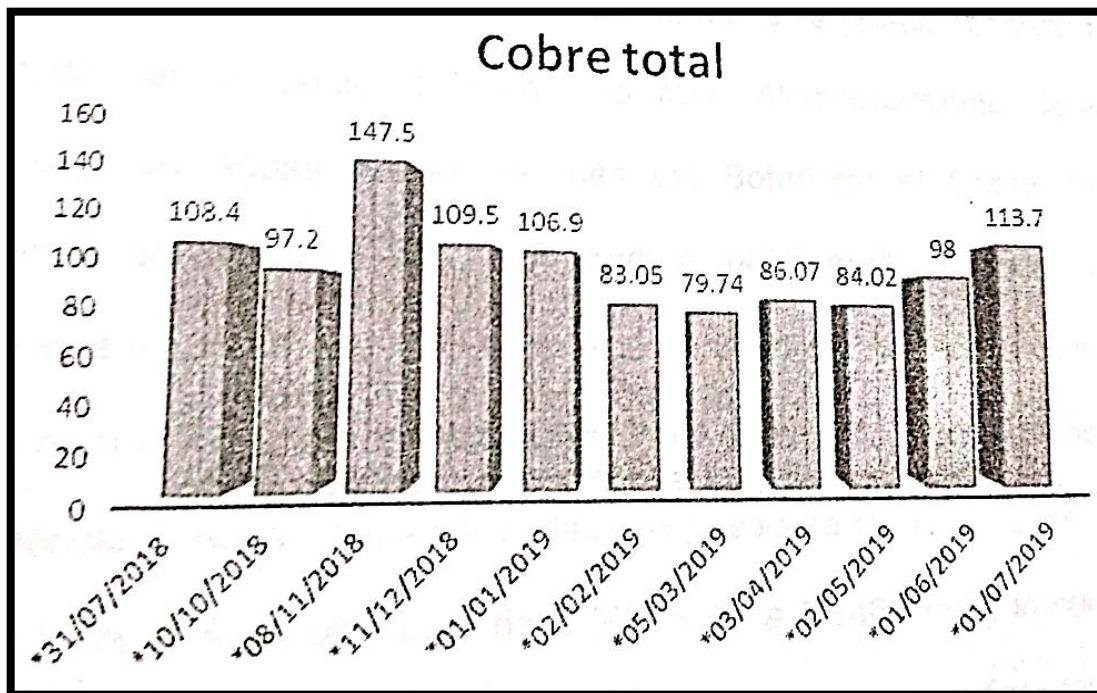


Para el Cadmio Total según el D.S. 010-2010-MINAM (Límites Máximos Permisibles para la descarga de efluentes líquidos de Actividades Minero - Metalúrgicas) el permitido es de 0.05 mg/ Lt, como se puede observar en los resultados en el punto de monitoreo M-4 (Almacenamiento Colección-Captación de Aguas Acidas después del Botadero) el Cadmio Total se encuentra en la escala de 0.126 mg/lit a 0.8115 mg/lit llegando lo cual representa un alto concentración de este parámetro y no estaría cumpliendo con la normativas antes mencionadas. Para el caso del punto de monitoreo V-J (Descarga-Aguas Acidas tratadas) se puede en las distintas fechas los Cadmio Total está en un rango de 0.00024 mg/lit a 0.00678 mg/lit lo cual estos resultados se encuentran dentro de las normativas antes mencionadas.

**Cobre total**

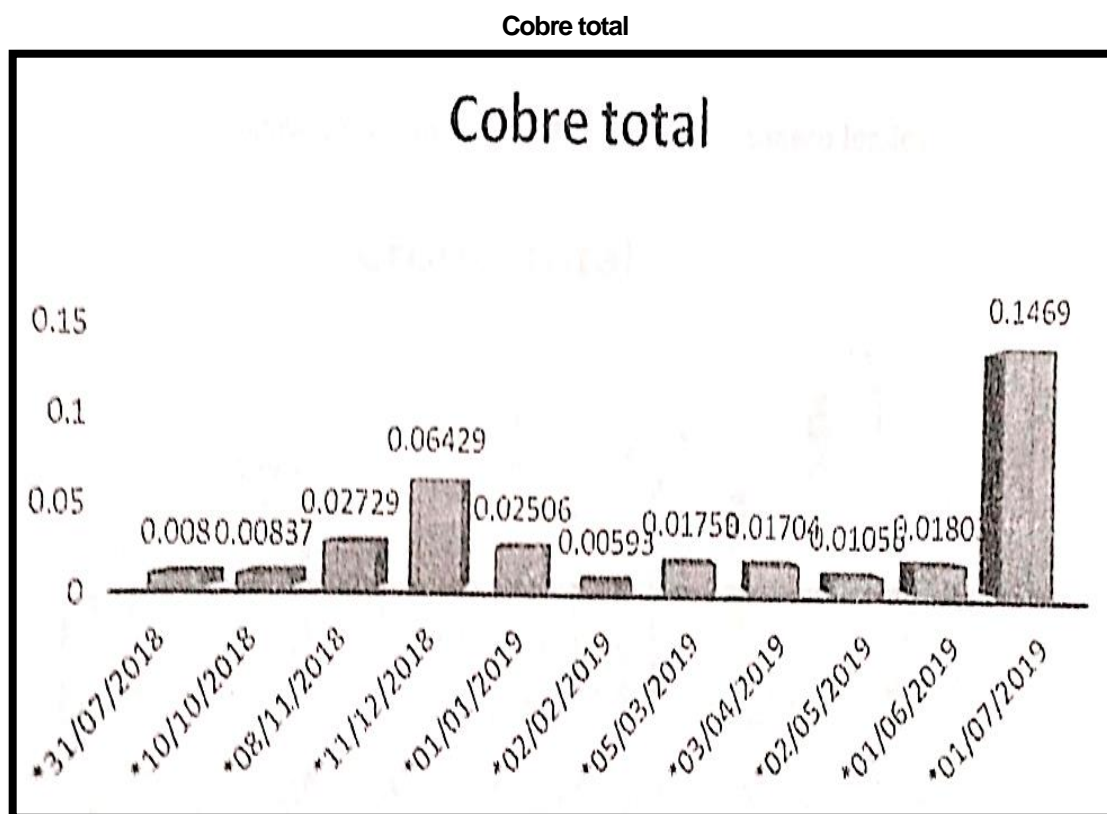
Figura 15 Figura Cobre Total M-4 Efluente Botadero Jessica

**Cobre total**



Fuente: Elaboración Propia

Figura 16 Cobre Total V-J Efluente Después del Tratamiento



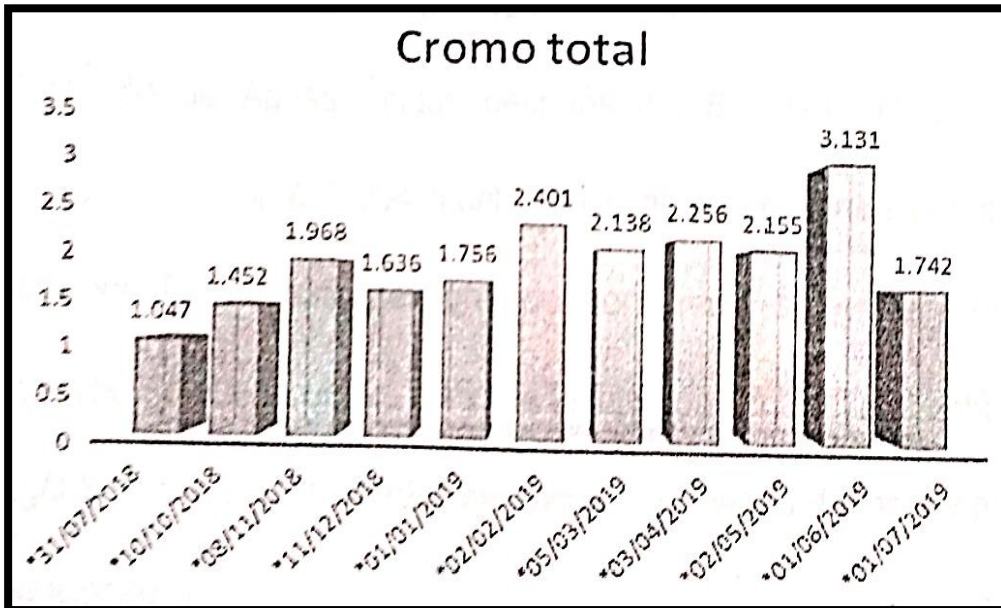
Fuente: Elaboración Propia

Para el Cobre Total según el D.S. 010-2010-MINAM (Límites Máximos Permisibles para la descarga de efluentes líquidos de Actividades Minero - Metalúrgicas) el permitido es de 0.5 mg/ Lt, como se puede observar en los resultados en el punto de monitoreo M-4 (Almacenamiento Colección- Captación de Aguas Acidas después del Botadero) el Cobre Total se encuentra en la escala de 79.74 mg/lit a 147.5 mg/lit llegando lo cual representa un alto concentración de este parámetro y no estaría cumpliendo con la normativas antes mencionadas. Para el caso del punto de monitoreo V-J (Descarga-Aguas Acidas tratadas) se puede en las distintas fechas los Cobre Total está en un rango de 0.008 mg/lit a 0.1469 mg/lit lo cual estos resultados se encuentran dentro de las normativas antes mencionadas.

## Cromo Total

Figura 17 Cromo Total M-4 Efluente Botadero Jessica

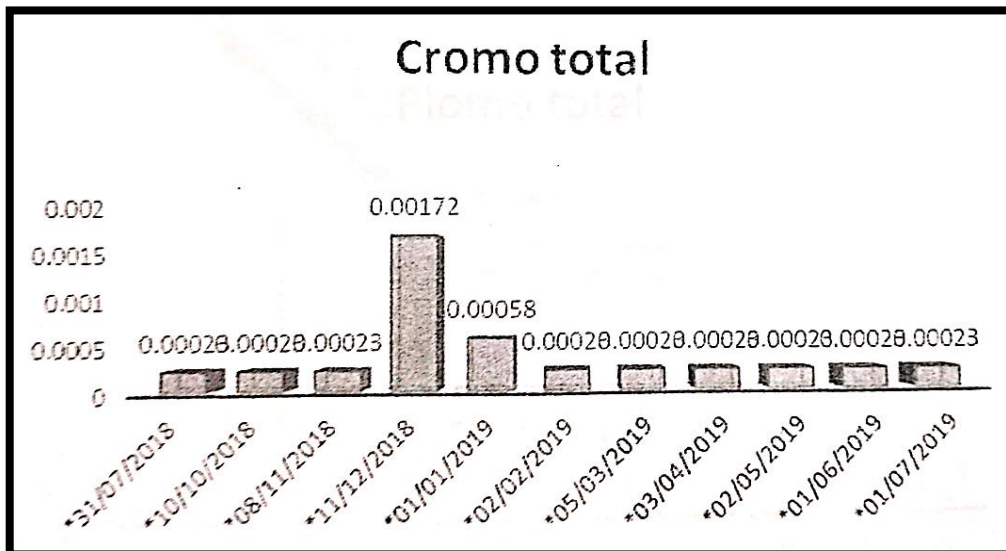
Cromo total



Fuente: Elaboración Propia.

Figura 18 Cromo Total V-J Efluente Después del Tratamiento

Cromo total



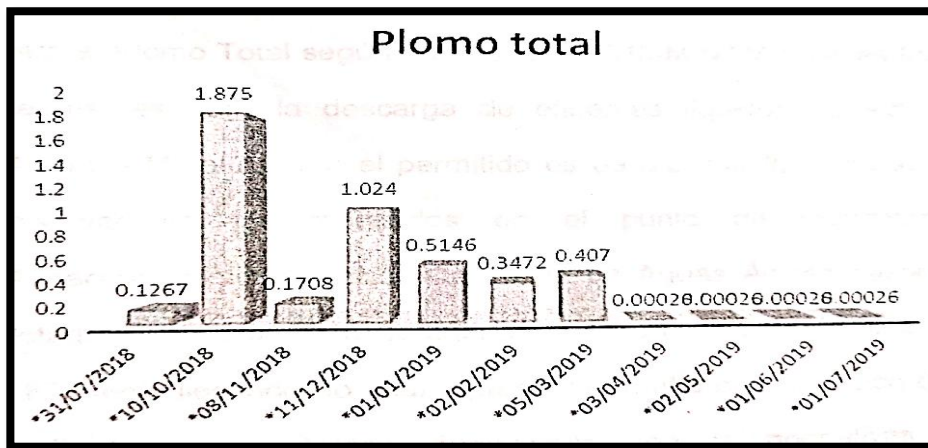
Fuente: Elaboración Propia

Para el Cromo Total según el D.S. 010-2010-MINAM (Límites Máximos Permisibles para la descarga de efluentes líquidos de Actividades Minero - Metalúrgicas) el permitido es de 0.1 mg/ Lt, como se puede observar en los resultados en el punto de monitoreo M-4 (Almacenamiento Colección-

Captación de Aguas Acidas después del Botadero) el Cromo Total se encuentra menor a 0,004 mg/lit lo cual se encuentra por debajo de lo permitido. Para el caso del punto de monitoreo V-J (Descarga-Aguas Acidas tratadas) se puede en las distintas fechas los Cromo Total está en 0.00023 mg/lit lo cual estos resultados se encuentran dentro de las normativas antes mencionadas.

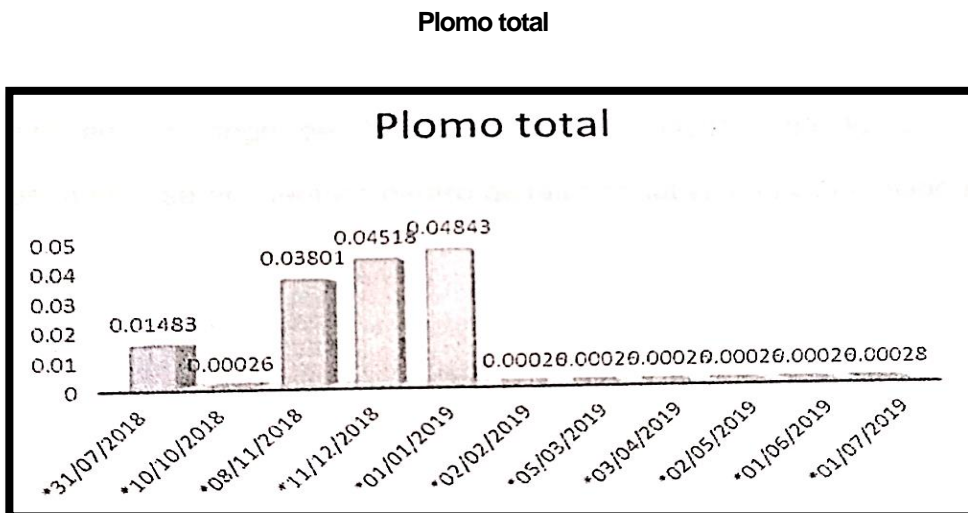
**Plomo total**

Figura 19 Plomo Total M-4 Efluente Botadero Jessica



Fuente: Elaboración Propia

Figura 20 Plomo Total V-J Efluente Después del Tratamiento



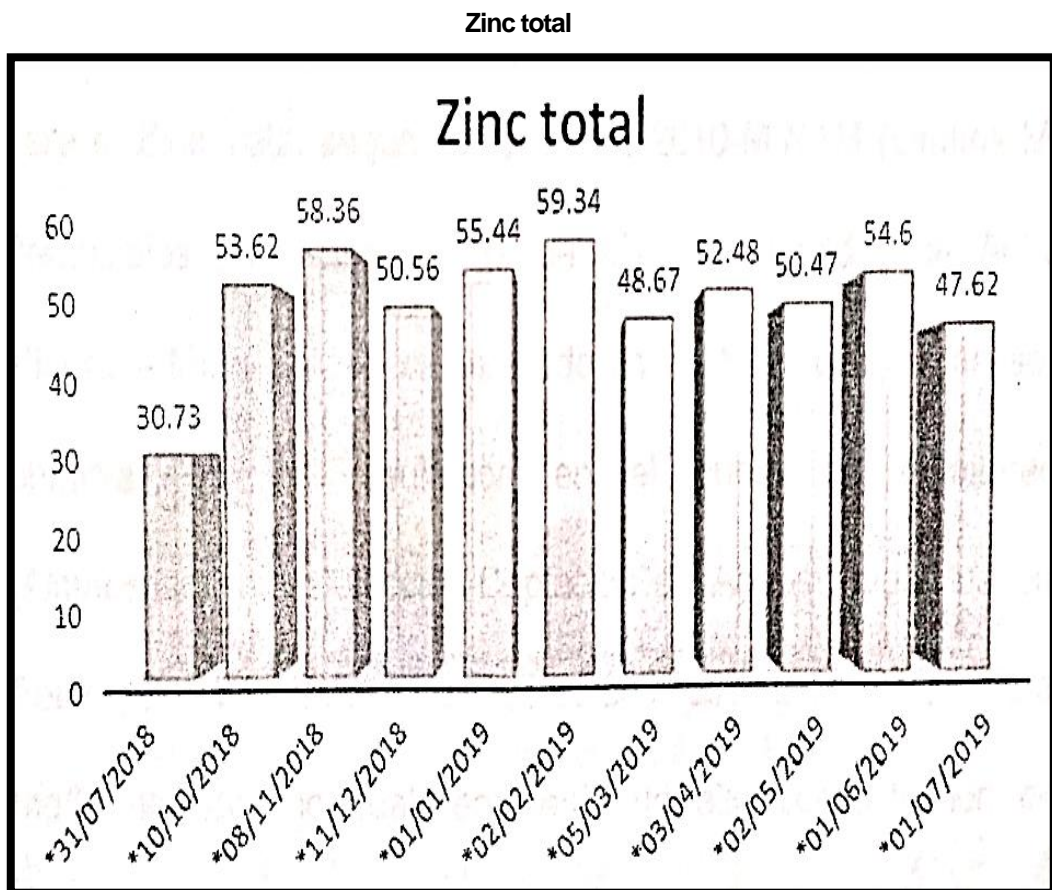
Fuente: Elaboración Propia

Para el Plomo Total según el D.S. 010-2010-MINAM (Límites Máximos Permisibles para la descarga de efluentes líquidos de Actividades Minero - Metalúrgicas) el permitido es de 0.2 mg/ It, como se puede observar en los

resultados en el punto de monitoreo M-4 (Almacenamiento Colección-Captación de Aguas Acidas después del Botadero) el Plomo Total se encuentra en la escala de 0.00026 mg/lit a 1.875 mg/lit llegando lo cual representa un alto concentración de este parámetro y no estaría cumpliendo con la normativas antes mencionadas. Para el caso del punto de monitoreo V-J (Descarga-Aguas Acidas tratadas) se puede en las distintas fechas el Plomo Total está en un rango de 0.00026 mg/lit a 0.04518 mg/lit lo cual estos resultados se encuentran dentro de las normativas antes mencionadas.

**Zinc total**

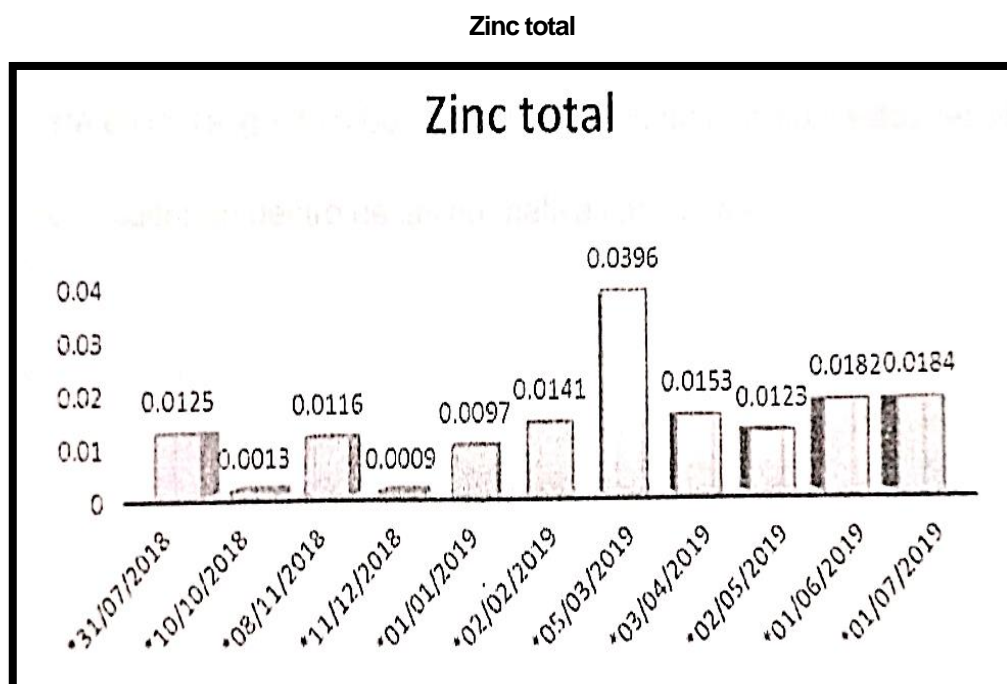
Figura 21 Zinc Total M-4 Efluente Botadero Jessica



Fuente: Elaboración Propia



Figura 22 Zinc Total V-J Efluente Después del Tratamiento



Fuente: Elaboración Propia

Para el Zinc Total según el D.S. 010-2010-MINAM (Límites Máximos Permisibles para la descarga de efluentes líquidos de Actividades Minero - Metalúrgicas) el permitido es de 1.5 mg/ Lt, como se puede observar en los resultados en el punto de monitoreo M-4 (Almacenamiento Colección-Captación de Aguas Acidas después del Botadero) el Zinc Total se encuentra en la escala de 30.73 mg/Lt a 58.36 mg/Lt llegando lo cual representa un alto concentración de este parámetro y no estaría cumpliendo con la normativas antes mencionadas. Para el caso del punto de monitoreo V-J (Descarga-Aguas Acidas tratadas) se puede en las distintas fechas de Zinc Total está en un rango de 0.0013 mg/Lt a 0.0396 mg/Lt lo cual estos resultados se encuentran dentro de las normativas antes mencionadas.

#### 4.3. Prueba de hipótesis

Al inicio de nuestra investigación nuestra hipótesis fue la siguiente:

“La calidad de las aguas acidas generadas por el botadero Jessica, perteneciente a la unidad minera Arasi-Compañía Minera Aruntani -no cumple con Límites Máximos Permisibles del D.S. N° 10-2010-MINAM.”

Finalizada la investigación podemos mencionar que nuestra hipótesis es válida, ya que estas aguas generadas en sus parámetros químicos y físicos por el botadero Jessica, perteneciente a la unidad minera Arasi-Compañía Minera Aruntani - no cumple con Límites Máximos Permisibles del D.S. N° 10-2010-MINAM, pero estas cumple aun recién después del tratamiento de las aguas ácidas.

Asimismo el volumen de caudal es de 8.59 lt/seg lo cual es validad, ya en la hipótesis especifica planteada propusimos que superaba los 1000 l/min.

#### **4.4. Discusión de resultados**

Nuestra investigación es titulada como:

*“Evaluación de la calidad de aguas acidas generadas por el botadero Jesslca, perteneciente a la Unidad Minera Arasi-Compañía Minera Aruntani - Puno 2019”*, los resultados muestran los siguientes resultados:

Como se pudo detallar en la investigación las aguas ácidas generados por el botadero Jessica con un caudal de 8.59 lt/seg, antes del tratamiento que en la actualidad se realiza, este componente ambiental era incontrolable, lo cual estas aguas ácidas producidas por la actividad minera metalúrgicas antes de llegar a los reservorios naturales deben tratarse para reducir su impacto ambiental. En el contexto de su política ambiental, Arasi SAC. ha propiciado el tratamiento pasivo de las descargas de los trenes subterráneos del Botadero de Mina de la Unidad de Producción Arasi en el departamento de Puno, para solucionar aguas acidas con altas concentraciones de hierro, aluminio, pH acido

Para verificar la calidad de aguas acidas se pudo identificar que el punto M-4 antes de tratamiento estas aguas acidas no cumplen con el D.S. 010-2010-

MINAM Límites Máximos Permisibles para la descarga de efluentes 93 líquidos de Actividades Minero -Metalúrgicas específicamente en los parámetros físico y químicos como son el (pH, Conductividad eléctrica, Sólidos Suspendidos Totales, Hierro Disuelto, Aluminio, Arsénico, Cadmio, Cobre, Cromo, Plomo y Zinc). Posteriormente después de tratamiento activo y pasivos descritos en la investigación, esta calidad de agua mejoro cumpliendo con el D.S. 010-2010-MINAM Límites Máximos Permisibles para la descarga de efluentes líquidos de Actividades Minero – Metalúrgicas.

Por consecuente en nuestra investigación se pudo evaluar dos escenarios distintos antes y después del tratamiento que en conclusión el tratamiento implementado por la unidad minera Arasi se pudo determinar que es efectivo previniendo la afectación de los factores ambientales en esta zona del país.



## CONCLUSIONES

Concluida la investigación llego a determinar lo siguiente:

- ✓ El objetivo de la presente investigación fue determinar la calidad de las aguas acidas generadas por el botadero Jessica, perteneciente a la unidad minera Arasi-Compañía Minera Aruntani - Puno 2019.
- ✓ Para verificar la calidad de aguas acidas se pudo identificar que el punto M-4 antes de tratamiento estas aguas acidas no cumplen con el D.S. 010-2010-MINAM Límites Máximos Permisibles para la descarga de efluentes líquidos de Actividades Minero - Metalúrgicas específicamente en los parámetros físico y químicos como son el (pH, Conductividad eléctrica, Solidos Suspendidos Totales, Hierro Disuelto, Aluminio, Arsénico, Cadmio, Cobre, Cromo, Plomo y Zinc). Posteriormente después de tratamiento activo y pasivos descritos en la investigación, esta calidad de agua mejoro cumpliendo con el D.S. 010-2010-MINAM Límites Máximos Permisibles para la descarga de efluentes líquidos de Actividades Minero - Metalúrgicas.
- ✓ En razón a lo indicado ARUNTANI S.A.C., ha realizado las acciones inmediatas para poder cumplir lo establecido. Actualmente la Planta de tratamiento de Aguas Acidas, correspondiente a la zona del Botadero del sector Jessica, viene cumpliendo en la captación del 100 % de afloramientos de agua indicados, que incluye nuestro sistema, y así poder iniciar el proceso de Tratamiento en sus distintas etapas y obtener un agua de Calidad según lo establece el D.S. N° 10-2010-MINAM (Aprueban Límites Máximos Permisibles para efluentes de actividades Mineras Metalúrgicas).

## RECOMENDACIONES

Concluida la Investigación llego a determinar las siguientes recomendaciones:

- ✓ Realizar pruebas para el tratamiento de aguas ácidas con el método pasivos con aguas ácidas con pH menores a 6, ya que este tratamiento tienen dificultades en su tratamiento en pH menores a lo mencionado.
- ✓ Se debe realizar el mantenimiento de las plantas de tratamiento de manera semana a fin de evitar acumulación de sedimentos con contenidos metálicos, lo cual al no cumplir lo recomendado puede bajar la calidad de agua tratado, incrementando los metales totales en el efluente vertido.
- ✓ Realizar actividades de mantenimiento de sistema de colección aguas ácidas ya que estas son con material geo sintético, lo cual por el agua ácida podría estar afectándose.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

**Autoridad Nacional del Agua ANA.** (Marzo de 2011). Protocolo Nacional de Monitoreo de la Calidad de los Cuerpos Naturales de Agua Superficial, 34. Lima, Perú: MINAM.

**Amelia NÚÑEZ AYLAS, Miguel Anthony; BENITES ALFARO, Elmer; ZEVALLOS LEÓN, Máximo** (2013) Evaluación de la calidad del agua asociado al drenaje ácido de mina (DAM), en el río Yauli en época de estiaje distrito de Yauli - Junín, Perú.

**Fernando Parada, Froilán Vergara, Mario Sánchez** (2018). Alternativas para el manejo de la polución de aguas ácidas subterráneas en la minería del cobre. Chile.

**López Gutiérrez, Helmer** (2011). Tratamiento anaeróbico de aguas acidas de mina con travertino y compost a escala de laboratorio.

**Ministerio del Ambiente.** Glosario de Términos Sitios Contaminados. Lima Perú. 2016.

**Oswaldo Aduvire** (2018). Innovaciones técnicas en el tratamiento de aguas acidas de mina con recuperación de subproductos con valor económico. Perú.

**Autoridad Nacional del Agua** (2010). Protocolo de Monitoreo de la Calidad de los Recursos Hídricos Autoridad Nacional Del Agua - DGCRH – Ministerio de Agricultura

**Ministerio del Ambiente** (2017). Modifican los Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para Agua y establecen disposiciones complementarias para su aplicación Decreto Supremo N° 004-2017-MINAM.

**Ministerio del Ambiente** (2010). Límites Máximos Permisibles del D.S. N° 10- 2010-MINAM.

**Universia Argentina** (2015). Cómo hacer una tesis de grado, detalle especifica la elaboración de tesis.

**Universidad Católica Sedes Sapientiae, Facultad de Ciencias de la Salud,** (2018). Guía para la elaboración, desarrollo y presentación del proyecto de tesis.

## **Páginas de Internet:**

### **Páginas de Internet:**

1. **Como Hacer Una Tesis** información extraída de la página web:  
[http://www.sld.cu/galerias/Ddf/sitios/bmn/como hacer una tesis.pdf](http://www.sld.cu/galerias/Ddf/sitios/bmn/como%20hacer%20una%20tesis.pdf)
2. Como estructurar una **tesis.** Información extraída de la página web:  
[http://blog.udlap.mx/blog/2014/10/comoestructurarunatesis /](http://blog.udlap.mx/blog/2014/10/comoestructurarunatesis/) **Glosario de términos,** información extraída de la página web:  
<https://www.lenntech.es/glosario-aqua.htm>
3. **Manual Para la Elaboración de Tesis y Trabajos de Investigación** información extraída de la página web:  
<http://www.uphm.edu.mx/manuales/Manual-para-elaboracion-de-tesis-y-trabajos-de-investigacion.pdf>
4. **Cómo elaborar el planteamiento del problema de tu tesis** información extraída de la página web: <http://normasapa.net/planteamiento-del-problema-tesis/>

# **ANEXOS**

# ANEXO N° 01

## INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS

		ESTACIÓN	V-J	V-J	V-J	V-J	V-J	V-J	V-J
		INFORME DE ENSAYO	MA18080019	MA18080017	MA18090107.01	MA18090107.02	MA18100001.01	MA18100056.01	MA18110094.01
		HORA Y FECHA	27/07/2018	31/07/2018	3/09/2018	5/09/2018	2/10/2018	10/10/2018	8/11/2018
		DESCRIPCIÓN	Efluente industrial tratado proveniente del botadero Jessica	Efluente industrial tratado proveniente del botadero Jessica	15:20 Efluente industrial tratado proveniente del botadero Jessica	11:00 Efluente industrial tratado proveniente del botadero Jessica	11:20 Efluente industrial tratado proveniente del botadero Jessica	08:10 Efluente industrial tratado proveniente del botadero Jessica	10:15 Efluente industrial tratado proveniente del botadero Jessica
		COORDENADAS UTM WGS-84	304544 N: 831223304544	N: 831223304544	N: 831223304544	N: 831223304544	N: 831223304544	N: 831223304544	N: 831223304544
		Unidad	Resultados	Resultados	Resultados	Resultados	Resultados	Resultados	Resultados
<b>Parámetros</b>									
pH(*)	Und. pH		6.75	6.62	6.98	8.75		7.89	8.5
Conductividad eléctrica(*)	us/cm		2849	2370	2350	2512		2500	2193
Aceites y Grasas	mg/L		<1	<1	<1	<1		<1	<1
Cianuro Total	mg/L		0,002	<0,001	<0,001	0,001		<0,001	<0,001
Cromo Hexavalente	mg/L		<0,004	<0,004	<0,004	<0,004		<0,004	<0,004
Hierro Disuelto	mg/L		<0,0096	<0,0096	<0,0096	<0,0096		<0,0096	<0,0096
Solidos Suspendidos Totales	mg/L		5	57	9	10		7	5
<b>Metales Totales (ICP-MS)</b>									
Aluminio total	mg/L		0,645	1,015	0,230	0,208		0,133	0,618
Antimonio total	mg/L		0,00407	0,01018	<0,00028	0,00767		<0,00028	<0,00028
Arsénico total	mg/L		<0,00021	<0,00021	<0,00021	<0,00021		0,16153	<0,00021
Bario total	mg/L		0,0254	0,0187	0,0584	0,0484		0,0336	0,0359
Berilio total	mg/L		0,0006	0,0008	<0,0002	<0,0002		<0,0002	<0,0002
Bismuto total (*)	mg/L		<0,00019	0,00354	0,01448	0,06519		0,03200	0,06639
Boro total (*)	mg/L		<0,001	<0,001	<0,001	<0,001		<0,001	<0,001
Cadmio total	mg/L		0,00152	0,00277	0,00656	0,00224		0,00561	<0,00024
Calcio total (*)	mg/L		574,0	657,6	555,3	562,1		520,9	587,9
Cerio total (*)	mg/L		<0,00022	<0,00022	0,00425	<0,00022		0,03754	<0,00022
Cesio total (*)	mg/L		<0,0002	<0,0002	<0,0002	<0,0002		<0,0002	<0,0002
Cobalto total	mg/L		0,02335	0,01348	0,00138	0,01864		0,00349	<0,00029
Cobre total	mg/L		0,08778	0,00800	0,01197	0,05089		0,00730	0,02729
Cromo total	mg/L		<0,00023	<0,00023	0,00474	0,00056		0,00969	<0,00023
Estaño total (*)	mg/L		0,06665	0,04497	0,00077	0,13934		0,00485	0,06707
Estroncio total (*)	mg/L		0,48360	0,41996	0,57543	0,55192		0,51133	0,63592
Fósforo total (*)	mg/L		0,009	0,093	0,032	0,051		0,064	0,031
Galio total (*)	mg/L		<0,0003	<0,0003	<0,0003	<0,0003		<0,0003	<0,0003
Germanio total (*)	mg/L		<0,0003	<0,0003	<0,0003	<0,0003		<0,0003	<0,0003
Hafnio total (*)	mg/L		<0,0004	<0,0004	<0,0004	<0,0004		<0,0004	<0,0004
Lantano total (*)	mg/L		<0,0002	<0,0002	<0,0002	<0,0002		<0,0002	<0,0002
Litio total (*)	mg/L		0,0552	0,0499	0,1070	0,1042		0,0649	0,0731
Lutecio total (*)	mg/L		<0,00022	<0,00022	<0,00022	<0,00022		<0,00022	<0,00022
Magnesio total (*)	mg/L		48,73	41,66	124,7	143,9		59,44	83,69
Manganeso total	mg/L		1,569	0,58391	1,015	1,173		0,00285	0,14242
Mercurio total	mg/L		<0,00008	<0,00008	<0,00008	<0,00008		<0,00008	<0,00008
Molibdeno total	mg/L		<0,00018	0,01095	<0,00018	0,00878		0,00505	0,02147
Niobio total (*)	mg/L		<0,0007	<0,0007	<0,0007	<0,0007		<0,0007	<0,0007
Niquel total	mg/L		0,03774	0,01522	0,03752	0,02395		0,01090	0,01344
Plata total	mg/L		<0,00021	0,00202	0,00287	0,00248		0,00185	0,00233
Plomo total	mg/L		0,06802	0,01483	0,03978	0,10363		<0,00026	<0,00026
Potasio total (*)	mg/L		48,19	58,43	72,53	70,49		88,07	101,3
Rubidio total (*)	mg/L		<0,0003	<0,0003	<0,0003	<0,0003		<0,0003	<0,0003
Selenio total	mg/L		<0,00033	<0,00033	<0,00033	0,03610		0,12488	0,14153
Silicio total (*)	mg/L		0,803	0,243	0,724	1,199		<0,013	1,133
Sodio total (*)	mg/L		729,7	433,7	668,3	702,4		493	354,4
Talio total	mg/L		<0,00029	<0,00029	0,12895	0,00514		0,23049	<0,00029
Tantalio total (*)	mg/L		<0,0005	<0,0005	<0,0005	<0,0005		<0,0005	<0,0005
Teluro total (*)	mg/L		<0,0005	<0,0005	<0,0005	<0,0005		<0,0005	<0,0005
Thorio total	mg/L		<0,0005	<0,0005	<0,0005	<0,0005		<0,0005	<0,0005
Titanio total (*)	mg/L		0,0164	0,0232	<0,0003	0,0004		<0,0003	0,0007
Uranio total	mg/L		<0,00016	<0,00016	<0,00016	<0,00016		<0,00016	<0,00016
Vanadio total	mg/L		<0,00035	0,00257	0,00146	0,00042		<0,00035	0,00300
Wolframio total (*)	mg/L		<0,00277	<0,00277	<0,00277	<0,00277		<0,00277	<0,00277
Yterbio total (*)	mg/L		<0,00021	<0,00021	<0,00021	<0,00021		<0,00021	<0,00021
Zinc total	mg/L		0,0699	0,0125	0,0160	0,0433		<0,0009	0,0013
Zirconio total (*)	mg/L		<0,00035	<0,00035	<0,00035	<0,00035		<0,00035	<0,00035
Hierro Total	mg/L		1,224	0,5025	0,7870	1,945		<0,0096	0,0857

La tabla continua en la siguiente hoja...





		ESTACIÓN	M-4	MA-4	M-4	M-4	M-4
		INFORME DE ENSAYO	MA18080018.01	MA18100177.01	MA18110093.01	MA18120167.01	
		HORA Y FECHA	31/07/2018 10:49	10/10/2018 07:35	8/11/2018 09:40	11/12/2018 13:40	1/01/2019 08:36
		DESCRIPCIÓN	Compósito de la poza de homogenización 6000 m3 (SW-11, SW-12, SW-13, ESP-1, ESP-2, ESP-3, ESP-4, SW-14, EW-9, PZ-1 y otros)	Compósito de la poza de homogenización 6000 m3 (SW-11, SW-12, SW-13, ESP-1, ESP-2, ESP-3, ESP-4, SW-14, EW-9, PZ-1 y otros)	Compósito de la poza de homogenización 6000 m3 (SW-11, SW-12, SW-13, ESP-1, ESP-2, ESP-3, ESP-4, SW-14, EW-9, PZ-1 y otros)	Compósito de la poza de homogenización 6000 m3 (SW-11, SW-12, SW-13, ESP-1, ESP-2, ESP-3, ESP-4, SW-14, EW-9, PZ-1 y otros)	Compósito de la poza de homogenización 6000 m3 (SW-11, SW-12, SW-13, ESP-1, ESP-2, ESP-3, ESP-4, SW-14, EW-9, PZ-1 y otros)
		COORDENADAS UTM WGS-84	E: 304548 N: 8312292	E: 304548 N: 8312292	E: 304548 N: 8312292	E: 304548 N: 8312292	E: 304548 N: 8312292
		Unidad	Resultados	Resultados	Resultados	Resultados	Resultados
<b>Parámetros</b>							
pH(*)	Und.	pH	2.12	2.14	2.36	2.21	2.18
Conductividad eléctrica	us/cm		6170	6241	18,364	15880	15750
Aceites y Grasas	mg/L		<1	<1	<1	<1	<1
Cianuro Total	mg/L		0,001	0,001	0,001	<0,005	<0,005
Cromo Hexavalente	mg/L		<0,004	<0,004	<0,004	<0,004	<0,004
Hierro Disuelto	mg/L		1 513	2 448	2 599	1 783	2 395
Solidos Suspendidos Totales	mg/L		22	15	18	54	17
<b>Metales Totales (ICP-MS)</b>							
Aluminio total	mg/L		1 602	2 056	2 797	1 253	2 525
Antimonio total	mg/L		0,16273	0,36167	0,22309	0,14804	0,33180
Arsénico total	mg/L		2,002	2,215	3,010	1,623	2,348
Bario total	mg/L		0,0060	0,0032	<0,0003	0,0037	0,0008
Berilio total	mg/L		0,1475	0,2359	0,2855	0,3226	0,3127
Bismuto total (*)	mg/L		0,03313	0,29472	0,27004	0,08003	0,03007
Boro total (*)	mg/L		0,318	0,724	0,786	0,973	1,181
Cadmio total	mg/L		0,22862	0,12262	0,12600	0,09941	0,18042
Calcio total (*)	mg/L		241,5	274,4	421,8	332,6	361,3
Cerio total (*)	mg/L		0,85996	1,272	1,616	1,678	1,758
Cesio total (*)	mg/L		<0,0002	<0,0002	<0,0002	<0,0002	<0,0002
Cobalto total	mg/L		8,250	14,18	17,36	12,94	12,59
Cobre total	mg/L		108,4	97,20	147,5	109,5	106,9
Cromo total	mg/L		1,047	1,452	1,968	1,636	1,756
Estaño total (*)	mg/L		<0,00022	2,806	1,314	2,509	1,712
Estroncio total (*)	mg/L		0,17309	0,15424	0,17252	0,18072	0,18511
Fósforo total (*)	mg/L		48,20	72,47	93,97	82,22	85,56
Galio total (*)	mg/L		<0,0003	<0,0003	<0,0003	<0,0003	<0,0003
Germanio total (*)	mg/L		<0,0003	<0,0003	<0,0003	<0,0003	<0,0003
Hafnio total (*)	mg/L		<0,0004	<0,0004	<0,0004	<0,0004	<0,0004
Lantano total (*)	mg/L		<0,0002	<0,0002	<0,0002	<0,0002	<0,0002
Litio total (*)	mg/L		0,2597	0,2624	0,4459	0,3110	0,4139
Lutecio total (*)	mg/L		<0,00022	<0,00022	<0,00022	<0,00022	<0,00022
Magnesio total (*)	mg/L		359,3	587,1	709,7	754,7	776,4
Manganeso total	mg/L		50,31	81,23	94,78	91,40	95,38
Mercurio total	mg/L		0,03202	0,00635	0,03709	0,02707	0,03577
Molibdeno total	mg/L		0,03430	0,05185	0,02733	0,01434	0,01361
Niobio total (*)	mg/L		<0,0007	<0,0007	<0,0007	<0,0007	<0,0007
Niquel total	mg/L		8,312	12,61	15,53	15,17	15,20
Plata total	mg/L		0,00067	<0,00021	<0,00021	<0,00021	<0,00021
Plomo total	mg/L		0,12673	1,845	0,17088	1,024	0,51460
Potasio total (*)	mg/L		1,614	1,270	2,252	1,398	1,062
Rubidio total (*)	mg/L		<0,0003	<0,0003	<0,0003	<0,0003	<0,0003
Selenio total	mg/L		0,00651	<0,00033	<0,00033	<0,00033	0,02196
Silicio total (*)	mg/L		74,92	89,59	124,6	47,79	99,96
Sodio total (*)	mg/L		9,660	6,726	13,59	6,968	37,52
Talio total	mg/L		0,23606	0,04384	0,55347	0,29532	0,55192
Tantalio total (*)	mg/L		<0,0005	<0,0005	<0,0005	<0,0005	<0,0005
Teluro total (*)	mg/L		<0,0005	<0,0005	<0,0005	<0,0005	<0,0005
Thorio total	mg/L		<0,0005	<0,0005	<0,0005	<0,0005	<0,0005
Titanio total (*)	mg/L		0,0218	0,0377	0,0460	0,0463	0,0396
Uranio total	mg/L		<0,00016	<0,00016	<0,00016	<0,00016	<0,00016
Vanadio total	mg/L		1,016	1,680	1,928	1,896	1,796
Wolframio total (*)	mg/L		<0,00277	<0,00277	<0,00277	<0,00277	<0,00277
Yterbio total (*)	mg/L		<0,00021	<0,00021	<0,00021	<0,00021	<0,00021
Zinc total	mg/L		30,73	53,62	58,36	50,56	55,44
Zirconio total (*)	mg/L		<0,00035	<0,00035	<0,00035	<0,00035	<0,00035
Hierro Total	mg/L			3 122	3 978	1 822	2 830

La tabla continua en la siguiente hoja...



M-4	M-4	M-4	M-4	M-4	M-4	D.S 004-2017-MINAM Estandares Nacionales de Calidad Ambiental para Agua		D.S. 010- 2010-MINAM Limites Máximos Permisibles para la descarga de efluentes liquidos de Actividades Minero - Metalúrgicas
	MA19030100.01		MA19060049	MA19070095				
2/02/2019	5/03/2019	3/04/2019	2/05/2019	1/06/2019	1/07/2019			
07:45	11:40	15:50	11:10	07:15	09:45			
Composito de la poza de homogenizaci n 6000 m3 (SW- 11, SW-12, SW- 13, ESP-1, ESP-2, ESP-3, ESP-4, SW-14, EW-9, PZ-1 y E: 304548 N: 8312292	Composito de la poza de homogenizaci n 6000 m3 (SW- 11, SW-12, SW- 13, ESP-1, ESP- 2, ESP-3, ESP- 4, SW-14, EW-9, PZ-1 y otros) E: 304548 N: 8312292	Composito de la poza de homogenizaci n 6000 m3 (SW- 11, SW-12, SW- 13, ESP-1, ESP-2, ESP-3, ESP-4, SW-14, EW-9, PZ-1 y E: 304548 N: 8312292	Composito de la poza de homogenizaci n 6000 m3 (SW- 11, SW-12, SW- 13, ESP-1, ESP-2, ESP-3, ESP-4, SW-14, EW-9, PZ-1 y E: 304548 N: 8312292	M-4: Composito de la poza de homogenizaci n 6000 m3 (SW- 11, SW-12, SW- 13, ESP-1, ESP-2, ESP-3, ESP-4, SW-14, EW-9, PZ-1 y E: 304548 N: 8312292	M-4: Composito de la poza de homogenizaci n 6000 m3 (SW- 11, SW-12, SW- 13, ESP-1, ESP-2, ESP-3, ESP-4, SW-14, EW-9, PZ-1 y E: 304548 N: 8312292	Riego de Cultivos de Tallo Alto y Bajo	Bebida de Animales	
Resultados	Resultados	Resultados	Resultados	Resultados	Resultados			
2.04	2.05	1.97	1.98	1.95	1.21	6.5-8.5	6.5-8.4	6.0-9.0
16	16120	17,950	17,010	21,010	22010	2500	5000	--
<1	<1	<1	<1	<0,5	<0,5			20
<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005			0,1
<0,004	<0,004	<0,004	<0,004	<0,004	<0,004			0,1
3 280	2 919	2 475	2 256	2 903	2 205			2
	19	7	8	10	51			50
2 964	2 699	3 026	2 089	3 810	2 799	5	5	
0,25596	0,37402	0,27693	0,21653	1,353	0,32459			
2,534	2,938	2,731	2,236	4,540	2,547	0.1	0.2	0.1
0,0018	0,0036	0,0059	0,0053	0,0085	0,0067	0.7		
0,3045	0,2807	0,3006	0,2001	0,605	0,2632	0.1	0.1	
0,09859	0,33831	0,38972	0,37670	0,9325	0,19570			
1,117	1,472	2,104	2,009	3,424	1,139	1	5	
0,39312	0,13765	0,40379	0,40125	0,8115	0,32766	0.01	0.05	0.05
376,5	297,1	352,1	350,2	380,5	281,0			
1,777	1,391	1,547	1,326	1,648	1,369			
<0,0002	<0,0002	<0,0002	<0,0002	<0,0002	<0,0002			
17,56	13,76	13,09	11,12	14,94	10,64	0.05	1	---
83,05	79,74	86,07	84,02	98,0	113,7	0.2	0.5	0.5
2,401	2,138	2,265	2,155	3,131	1,742	0.1	1	0.1
0,01375	<0,00022	<0,00022	<0,00022	0,89101	<0,00022			
0,21459	0,27220	0,22373	0,21173	0,83754	0,23625			
112,9	108,5	117,6	114,3	194,4	85,51			
<0,0003	<0,0003	<0,0003	<0,0003	<0,0003	<0,0003			
<0,0003	<0,0003	<0,0003	<0,0003	<0,0003	<0,0003			
<0,0004	<0,0004	<0,0004	<0,0004	<0,0004	<0,0004			
<0,0002	<0,0002	<0,0002	<0,0002	<0,0002	<0,0002			
0,6029	0,4269	0,6475	0,5879	0,7203	0,5177	2.5	2.5	
<0,00022	<0,00022	<0,00022	<0,00022	<0,00022	<0,00022			
851,5	765,2	826,7	812,5	75,43	691,9		250	
94,89	67,62	72,21	70,21	87,53	69,39	0.2	0.2	
<0,00008	<0,00008	<0,00008	<0,00008	<0,00008	<0,00008	0.001	0.01	
0,00917	0,00567	0,00841	0,00781	<0,00018	0,02875			
<0,0007	<0,0007	<0,0007	<0,0007	<0,0007	<0,0007			
16,23	14,03	14,12	12,13	14,85	12,68	0.2	1	---
0,00607	0,00247	0,00548	0,00532	<0,00021	0,00809			
0,34721	0,40700	<0,00026	<0,00026	<0,00026	<0,00026	0.05	0.05	0.2
0,377	0,798	0,308	0,298	0,456	1,481			
<0,0003	<0,0003	<0,0003	<0,0003	<0,0003	<0,0003			
<0,00033	<0,00033	<0,00033	<0,00033	<0,00033	<0,00033	0.02	0.05	
135,3	86,04	144,0	132,0	188,5	112,0			
9,851	5,216	4,021	3,025	4,960	6,447			
0,11646	0,14763	0,21411	0,21211	<0,00029	0,21585			
<0,0005	<0,0005	<0,0005	<0,0005	<0,0005	<0,0005			
<0,0005	<0,0005	<0,0005	<0,0005	<0,0005	<0,0005			
<0,0005	<0,0005	<0,0005	<0,0005	<0,0005	<0,0005			
0,0579	0,0555	0,0642	0,0636	0,0732	0,0475			
<0,00016	<0,00016	<0,00016	<0,00016	<0,00016	<0,00016			
1,889	2,485	1,970	1,770	2,425	1,453			
<0,00277	<0,00277	<0,00277	<0,00277	<0,00277	<0,00277			
<0,00021	<0,00021	<0,00021	<0,00021	<0,00021	<0,00021			
59,34	48,67	52,48	50,45	54,6	47,72	2	24	1.5
<0,00035	<0,00035	<0,00035	<0,00035	<0,00035	<0,00035			
3 462	3 201	3 083	3 026	3 611	2 361	0.1	0.1	---

# ANEXO N° 02

## RESULTADO DE ANÁLISIS E INFORME DE ENSAYO

Página 1 de 3

### INFORME DE ENSAYO N° MA19050155 CON VALOR OFICIAL

**Nombre del Cliente** : ARUNTANI S.A.C.  
**Domicilio Legal** : AV. JOSE GALVEZ BARRENECHEA NRO. 556 DPTO. 4TO INT. 402 URB. CORPAC LIMA - LIMA - SAN ISIDRO  
**Solicitado Por** : ARUNTANI S.A.C.  
**Referencia** : MONITOREO TRIMESTRAL DE AGUAS RESIDUALES INDUSTRIALES - 2DA MODIFICACION DEL ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL DE ARASI POR \*AMPLIACION DE NUEVAS AREAS Y NUEVOS COMPONENTES, TALICALLI, DPTO. CAJAMARCA, 2019. M.

#### DATOS DE LA MUESTRA

**Procedencia** : U.M. ARASI  
**Plan de Muestreo** : Realizado por J. Ramón del Perú S.A.C.(\*\*)  
**Cantidad de Muestras** : 3  
**Condición de la Muestra** : Frascos de plástico y/o vidrio, preservados y refrigerados

**Fecha de Muestreo** : 08-10/05/2019  
**Fecha de Recepción** : 11/05/2019  
**Fecha Inicio Ensayo** : 11/05/2019

#### METODOS DE ENSAYO

Parámetros	Normas
Aceites y Grasas	SM Part 5520 B,23rd Ed 2017
Cianuro Total	SM Part 4500 CN-C,E, 23rd Ed., 2017
Cromo Hexavalente	SM Part 3500 Cr-B, 23rd Ed., 2017
Hierro disuelto	SM Part 3111 B,23rd Ed.2017.
Hierro Total	SM Part 3111 B,23rd Ed.2017.
Metales Totales (ICP-MS)	EPA 200.8, Rev 5.4, 1994
Solidos Suspendedos Totales	SM Part 2540-D, 23rd Ed, 2017
<b>Desarrollados en campo</b>	
Caudal (volumétrico) (*)	Protocolo Nacional de Monitoreo de la calidad de agua en cuerpos Naturales de Agua Superficial - ANA
Conductividad	SM Part 2510 B, 23rd Ed. (Desarrollados en Campo), 2017
Oxígeno Disuelto	ASTM D888 - 12, Method C . 2012
pH	SM Part 4500-H+ B, 23rd Ed. 2017 (Desarrollado en Campo)
Temperatura	SM 2550-B, 23rd Ed., 2017

(\*) Los métodos indicados no han sido acreditados por el INACAL-DA.

(\*\*) Procedimiento de muestreo de agua - SIG-MO-P-01

SIGLAS: "SM": Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater APHA, AWWA, WEF, "EPA": U.S. Environmental Protection Agency, Methods for Chemical Analysis of Water and Wastes, "ASTM": American Society for Testing and Materials.



Laboratorio: Av. Los Eucaliptos, Sector Santa Genoveva, Parcela 5 Lurin  
Central: +51 1 5133399  
E-mail: jramon@ramoncorp.com

## INFORME DE ENSAYO N° MA19050155 CON VALOR OFICIAL

Cod. Cliente	V-J	V-1	T1-01		
Descripción	Efluente Industrial proveniente del Tajo Jessica y Botadero Jessica	Efluente industrial tratado proveniente del Botadero 1	Efluente industrial tratado proveniente del Campamento		
Cod. Lab.	MA19050155.01	MA19050155.02	MA19050155.03		
Tipo de Producto	Agua R. Industrial	Agua R. Industrial	Agua R. Industrial		
Fecha de Muestreo	10/05/2019	08/05/2019	08/05/2019		
Hora de Muestreo	11:46	16:20	15:20		
Cadena de Custodia	52874	52874	52874		
Parámetros	Unidad	L.D.	Resultados		
<b>Metales Totales (ICP-MS)</b>					
Arsénico total	mg/L	0,00021	<0,00021	<0,00021	<0,00021
Cadmio total	mg/L	0,00024	<0,00024	0,00045	<0,00024
Cobre total	mg/L	0,00037	0,01566	0,02056	0,00200
Mercurio total	mg/L	0,00008	<0,00008	<0,00008	<0,00008
Plomo total	mg/L	0,00026	0,01567	0,05239	<0,00026
Zinc total	mg/L	0,0009	0,0238	0,2746	0,0901

(\*) Los métodos indicados no han sido acreditados por el INACAL-DA.



### INFORME DE ENSAYO N° MA19050155 CON VALOR OFICIAL

Cod. Cliente	V-J	V-1	T1-01		
Descripción	Efluente Industrial proveniente del Tajo Jessica y Botadero Jessica	Efluente industrial tratado proveniente del Botadero 1	Efluente industrial tratado proveniente del Campamento		
Cod. Lab.	MA19050155.01	MA19050155.02	MA19050155.03		
Tipo de Producto	Agua R. Industrial	Agua R. Industrial	Agua R. Industrial		
Fecha de Muestreo	10/05/2019	08/05/2019	08/05/2019		
Hora de Muestreo	11:46	16:20	15:20		
Cadena de Custodia	52874	52874	52874		
Parámetros	Unidad	L.D.	Resultados		
Aceites y Grasas	mg/L	0,5	<0,5	<0,5	<0,5
Cianuro Total	mg/L	0,005	<0,005	<0,005	<0,005
Cromo Hexavalente	mg/L	0,004	<0,004	<0,004	<0,004
Hierro disuelto (aas)	mg/L	0,0096	0,0707	0,1061	0,0472
Hierro Total	mg/L	0,0096	0,0723	0,4381	0,2080
Sólidos Suspendidos Totales	mg/L	2	<2	40	10
<b>Desarrollados en campo</b>					
Caudal (volumétrico) (*)	L/s	N.A.	0,6	0,3	0,45
Conductividad	µS/cm	r	3780	2500	410
Oxígeno Disuelto	mg/L	0,01	4,05	5,06	5,35
pH	Und. pH	r	6,59	7,52	7,63
Temperatura	° C	r	15,3	11,6	13,2

**Leyenda:** LD = Límite de detección r = Resolución N.A. = No aplica

(\*) Los métodos indicados no han sido acreditados por el INACAL-DA.

Tiempo de Percibilidad de Muestras		
TSS : 7días	Actividad, Metales Totales, Cr VI, Aceites y Grasas :	Cianuros : 14días

Lurín, 31 de Mayo del 2019

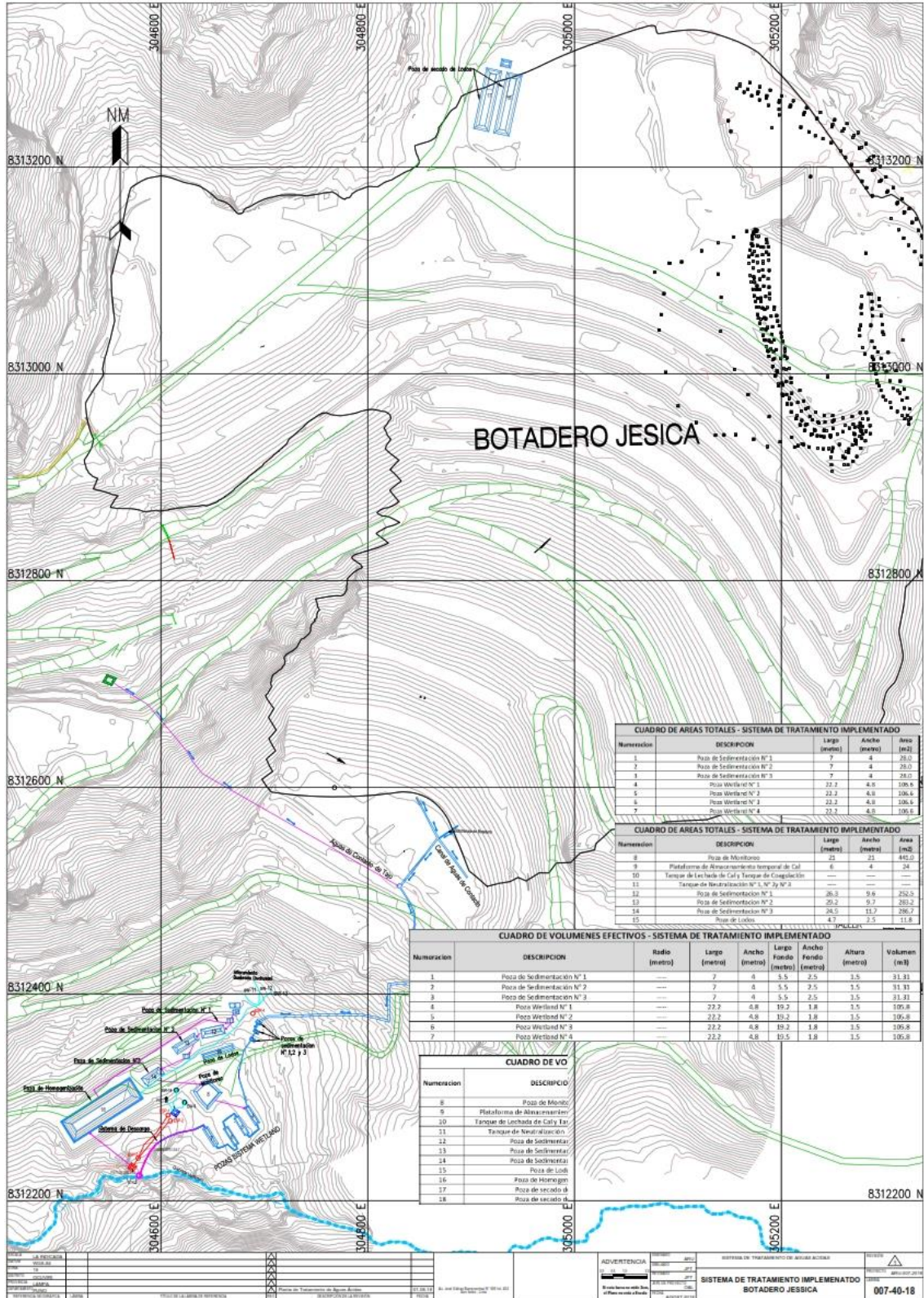
  
**Zaida Contreras Pachette**  
 Supervisora de Laboratorio Químico  
 CQP 1162





# ANEXO N° 03

## MAPA DE UBICACIÓN





## ANEXO N° 04

### IMÁGENES DE LA INVESTIGACIÓN REALIZADA

*Imagen N° 01: Imágenes sobre el Botadero Jessica*



*Imagen N° 02: Imágenes detrás la Planta de Tratamiento de Aguas ácidas*



**Imagen N° 03: Planta de Tratamiento de Aguas Ácidas**



**Imagen 4: Se observa el almacén temporal de hidróxido de sodio, el cual se encuentra bajo techo. Asimismo, se cuenta con un centro de acopio de residuos peligroso.**







**Imagen 5:** Se observa que los sacos de óxido de calcio (cal), se encuentra en una base de concreto, ello con el fin de evitar que el material entre en contacto con el suelo natural de la zona, asimismo cuenta con un peldaño elevado con el fin de asegurar la estabilidad.



**Imagen 6:** Se observa un tanque de preparación de solución (lechada de cal 20 M3), el mismo que en su contorno perimetral posee una canaleta de geomembrana la cual tiene el fin de contener cualquier posible derrame del tanque.





**Imagen 7:** Se observa un tanque de preparación de solución (floculante), el mismo que en su contorno perimetral posee una canaleta de geomembrana la cual tiene el fin de contener cualquier posible derrame del tanque.



**Imagen 8:** Se observa los 02 tanques de neutralización de 20 y 40 m<sup>3</sup> de capacidad cada uno, los mismos que realizan la neutralización del agua ácida.



***Imagen 9: Vista panorámica del 3er Tanque de Neutralización de agua acida, el mismo que posee su plataforma cerrada de contingencia ante posibles derrames.***



***Imagen 10: Se observa poza de homogenización u sedimentación, poza de colección de todos los flujos de agua a tratar. Capacidad de 6000 m3***





**Imagen 11:** Se observa poza de sedimentación N°1 y N°2, poza de colección de todos los flujos de agua a tratar. Capacidad 650m<sup>3</sup> poza N°1 y Poza N°2 650 m<sup>3</sup>.



**Imagen12:** Se observa la Poza de sedimentación N° 3, poza donde se recepciona las aguas tratadas para la primera etapa. Capacidad de 866m<sup>3</sup>.



**Imagen 13: Poza de sedimentación N° 4, poza donde se recepciona las aguas tratadas para la primera etapa. Capacidad de 972m<sup>3</sup>**



**Imagen 14: Poza de sedimentación N° 5, poza donde se recepción las aguas tratadas de la segunda etapa del tratamiento. Capacidad de 860 m<sup>3</sup>.**





***Imagen 15: Poza de Monitoreo, la misma que corresponde a la poza donde se encuentra el agua tratada, el agua por rebose pasa al sistema tipo wetland para posteriormente ser derivadas a la quebrada Lluchusani, mediante la estación de monitoreo V-J***



***Imagen 16: Se observa las 02 pozas de secado de lodos que se tiene implementada, en las mismas se dispone los lodos semilíquidos, provenientes de las diferentes pozas de sedimentación del sistema de tratamiento de aguas acidas. 1300 m3 cada una.***