

# **UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CALLAO**

**FACULTAD DE INGENIERÍA AMBIENTAL Y RECURSOS  
NATURALES**

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL  
Y DE RECURSOS NATURALES**



## **“USO DEL AGUA RESIDUAL DOMÉSTICA PARA LA REDUCCIÓN DE ARSÉNICO Y CADMIO EN LOS EFLUENTES GENERADOS POR PASIVOS AMBIENTALES MINEROS DE LA QUEBRADA VISO - DISTRITO DE SAN MATEO”**

**TESIS PARA OPTAR EL TITULO PROFESIONAL  
DE INGENIERO AMBIENTAL Y DE RECURSOS NATURALES**

**AUTORES:**

**CHRISTIAN ALBERTO VARGAS ALARCON  
MARTÍN AUGUSTO GUADALUPE BONIFACIO**

**ASESORA:**

**MsC. MARÍA TERESA VALDERRAMA ROJAS**

**Callao, 2019**

**PERÚ**

**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CALLAO**  
**FACULTAD DE INGENIERIA AMBIENTAL Y DE RECURSOS**  
**NATURALES**

**COMISION DE GRADOS Y TITULOS**  
**ACTA DE SUSTENTACION DE TESIS PARA OPTAR EL**  
**TITULO DE INGENIERO AMBIENTAL Y DE RECURSOS**  
**NATURALES**  
**N° 010-2019-JEDT-FIARN**

Siendo las 14:15 horas del día lunes 19 de agosto del 2019, en el Auditorio de la Facultad de Ingeniería Ambiental y de Recursos Naturales ubicado en la Av. Juan Pablo II N° 306-Bellavista-Callao; se dio inicio a la Sustentación de la Tesis titulada “**USO DEL AGUA RESIDUAL DOMÉSTICA PARA LA REDUCCIÓN DE ARSÉNICO Y CADMIO EN LOS EFLUENTES GENERADOS POR PASIVOS AMBIENTALES MINEROS DE LA QUEBRADA VISO – DISTRITO DE SAN MATEO**” presentada para optar el título profesional de Ingeniero Ambiental y de Recursos Naturales de los Bachilleres Martín Augusto Guadalupe Bonifacio y Christian Alberto Vargas Alarcón.

Contando con la asistencia del Jurado Evaluador y Asesora a fin de dar cumplimiento a la Resolución N° 048-2019-D-FIARN de fecha 15 de agosto del 2019, los mismos que están integrados por los siguientes docentes:

MsC.	Carmen Elizabeth Barreto Pío	Presidenta
Lic.	Janet Mamani Ramos	Secretaria
Ing.	Godofredo Teodoro León Ramírez	Vocal
MsC.	María Teresa Valderrama Rojas	Asesora

Terminada la exposición y la absolución de las preguntas del Jurado Evaluador, se invita a los Bachilleres y al público en general se retiren del Auditorio de la Facultad de Ingeniería Ambiental y de Recursos Naturales, para las deliberaciones del caso.

Luego de las deliberaciones el Jurado Evaluador acuerda **APROBAR POR UNANIMIDAD**, no habiendo observación alguna con el Calificativo de **BUENO** y con ello dar por concluido el proceso de Sustentación de Tesis.


En señal de conformidad firman el Jurado Evaluador y Asesor, siendo las 15:00 horas del día lunes 19 de agosto del 2019.



Msc. Carmen Elizabeth Barreto Pío  
Presidenta



Lic. Janet Mamani Ramos  
Secretaria



Ing. Godofredo Teodoro León Ramírez  
Vocal



MsC. María Teresa Valderrama Rojas  
Asesora

INFORME N° ..... 2019-PJEDT-FIARN

SEÑORA

Blt. MsC. MARÍA TERESA VALDERRAMA ROJAS

DECANA DE LA FACULTAD DE INGENIERIA AMBIENTAL Y DE RECURSOS NATURALES

De : MsC. Carmen Elizabeth Barreto Pío  
Presidenta del Jurado Evaluador de Sustentación de Tesis

Asunto : Sustentación de Tesis de los Bachilleres:  
Martín Augusto Guadalupe Bonifacio  
Christian Alberto Vargas Alarcón

Fecha : Bellavista, 19 de agosto de 2019

Es grato dirigirme a usted para saludarla cordialmente e informarle que, a través de lo actuado sobre el Acta de Sustentación de la tesis titulada "*USO DEL AGUA RESIDUAL DOMÉSTICA PARA LA REDUCCIÓN DE ARSÉNICO Y CADMIO EN LOS EFLUENTES GENERADOS POR PASIVOS AMBIENTALES MINEROS DE LA QUEBRADA VISO - DISTRITO DE SAN MATEO*" efectuada por los Bachilleres: Martín Augusto Guadalupe Bonifacio y Christian Alberto Vargas Alarcón, en cumplimiento a la Resolución Decanal N° 048-2019-D-FIARN de fecha 15 de agosto de 2019 sobre el particular informo lo siguiente:

1. El Acto de Instalación del Jurado se llevó a cabo en el Auditorio de la Facultad el día 19 de agosto de 2019 a partir de las 14:00 horas, en presencia de los miembros del Jurado Evaluador conformado por los siguientes docentes:

MsC. Carmen Elizabeth Barrero Pío	Presidenta
Lic. Janet Mamani Ramos	Secretaria
Ing. Godofredo Teodoro León Ramírez	Vocal

Asimismo, estuvo presente la docente MsC. María Teresa Valderrama Rojas en calidad de Asesora.

2. A partir de las 14:15 horas, se dio inicio a la Sustentación de la Tesis a cargo de los Bachilleres Martín Augusto Guadalupe Bonifacio y Christian Alberto Vargas Alarcón, luego de la exposición de cada uno de ellos se llevó a cabo la ronda de preguntas respectivas, que fueron contestadas satisfactoriamente por los bachilleres.
3. Terminada la exposición y la ronda de preguntas, se invitó a los Bachilleres y público en general a retirarse del Auditorio a fin de efectuar la calificación, luego de las deliberaciones pertinentes el Jurado Evaluador acuerda **APROBAR POR UNANIMIDAD** y otorgar el Calificativo de **BUENO**, en consecuencia, da por terminado el acto de sustentación a las 15:00 horas firmando las actas correspondientes.
4. Finalmente en cumplimiento del Artículo N° 130 Literal h) del Reglamento de Grados y Títulos (Resolución N° 082-2011-CU para alumnos que ingresaron antes de la Ley Universitaria 30220) se indica que no hubo observación alguna.

Es todo cuanto debo informar, sin otro particular me despido de usted.

Atentamente,



MsC. Carmen Elizabeth Barreto Pío  
Presidenta del Jurado Evaluador

## **DEDICATORIA**

*Dedicado a Dios y a nuestros amados padres, quienes nos dan su apoyo incondicional durante el desarrollo de nuestras vidas.*

## **AGRADECIMIENTOS**

Agradecemos a Dios, por habernos guiado paso a paso en la investigación, por la sabiduría brindada para desarrollar cada capítulo, por la fortaleza proporcionada en los días adversos y de tribulación durante el desarrollo de la tesis.

A nuestros padres y familiares, por su amor, sacrificio y apoyo incondicional a lo largo de estos años de estudio para poder alcanzar nuestras metas.

A nuestra asesora la Ms.C. María Teresa Valderrama Rojas, por su orientación, consejo, confianza, apoyo y paciencia durante la elaboración del estudio.

También agradecemos a los docentes de la Facultad de Ingeniería Ambiental y de Recursos Naturales y de la Facultad de Ingeniería Química, que participaron directa e indirectamente y nos apoyaron con sus conocimientos, con los permisos para el uso de los laboratorios y equipos en la etapa experimental.

Por último, a nuestros amigos que nos brindaron sus experiencias, conocimientos, consejos y ánimos durante la realización de esta tesis.

## INDICE

<b>I. PLANTEAMIENTO DE LA INVESTIGACIÓN.....</b>	<b>14</b>
1.1 Identificación del problema.....	14
1.2 Formulación del problema.....	17
1.3 Objetivos de la investigación.....	17
1.4 Justificación.....	18
1.4.1 Por su naturaleza.....	18
1.4.2 Por su magnitud.....	18
1.4.3 Por su trascendencia.....	18
1.4.4 Por su aspecto socio - económico.....	19
1.4.5 Por su aspecto ambiental.....	19
1.4.6 Por su aspecto político.....	20
1.4.7 Por su aplicación.....	20
1.5 Importancia.....	20
1.5.1. Ambiental.....	20
1.5.2. Legal.....	21
1.5.3. Social.....	21
1.5.4. Económica.....	21
1.6 Limitaciones.....	21
<b>II. MARCO TEÓRICO.....</b>	<b>23</b>
2.1 Antecedentes del estudio.....	23
2.1.1 Sobre la mezcla de aguas residuales (sinergia).....	23
2.2 Bases Teóricas.....	25
2.2.1 Tratamientos Pasivos de Agua.....	25
2.2.2 Sinergismo.....	27
2.2.3 Pasivos Ambientales Mineros (PAM).....	29
2.2.4 Impacto de los Pasivos Ambientales Mineros (PAMs).....	30

2.2.5	Aguas Residuales Domésticas (ARD) .....	31
2.2.6	Drenaje Ácido de Mina.....	34
2.2.7	Formación del Drenaje Ácido de Mina .....	36
2.2.8	Clases de Agua Ácida.....	37
2.2.9	Consecuencias de la Contaminación por As y Cd .....	38
2.2.10	Prueba de Jarras o Test de Jarras .....	40
2.3	Bases Legales.....	41
2.3.1	La Constitución Política (1993) .....	41
2.3.2	Ley General del Ambiente – Ley N° 28611 .....	42
2.3.3	Decreto Supremo 013-2009-MINAM que Aprueba la Política Nacional del Ambiente.....	44
2.3.4	Ley de Recursos Hídricos – Ley N° 29338 .....	45
2.3.5	Decreto Supremo 010-2010-MINAM que Aprueban la Límites Máximos Permisibles para los efluentes líquidos de Actividades Minero - Metalúrgicas.....	46
2.4	Definiciones de términos básicos .....	47
<b>III.</b>	<b>VARIABLES E HIPÓTESIS.....</b>	<b>51</b>
3.1	Variables de la investigación .....	51
3.2	Operacionalización de variables.....	51
3.3	Hipótesis.....	52
<b>IV.</b>	<b>METODOLOGÍA.....</b>	<b>53</b>
4.1	Tipo de investigación.....	53
4.2	Diseño de investigación .....	53
4.3	Población y muestra.....	54
4.4	Técnicas e instrumentos de recolección de datos.....	55
4.5	Procedimiento de recolección de datos.....	56
4.5.1	Caracterización de los efluentes generados por pasivos ambientales mineros de la quebrada viso .....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
4.5.2	Selección de metales pesados a reducir .....	57

4.5.3	Caracterización del agua residual doméstica .....	57
4.5.4	Estimación de la dosis óptima de mezcla entre el efluente minero y el agua residual doméstica .....	58
4.5.5	Cuantificación del porcentaje de remoción de arsénico y cadmio del efluente minero.....	59
4.6	Procesamiento estadístico y análisis de datos.....	60
4.6.1.	Análisis univariado.....	60
4.6.2.	Modelo estadístico.....	61
4.6.3.	Método de Tukey .....	62
4.6.4.	Software estadístico .....	64
4.6.5.	Prueba de hipótesis.....	64
<b>V.</b>	<b>RESULTADOS .....</b>	<b>65</b>
5.1	Evaluación de los parámetros de los efluentes generados por pasivos ambientales mineros de la quebrada Viso - distrito de San Mateo .....	65
5.2	Evaluación de los parámetros del agua residual doméstica.....	66
5.3	Evaluación de la dosis óptima de mezcla entre el efluente minero y el agua residual doméstica.....	67
5.4	Evaluación de la calidad del agua tratada.....	70
5.5	Evaluación del porcentaje de remoción - eficiencia.....	71
<b>VI.</b>	<b>DISCUSIÓN DE RESULTADOS .....</b>	<b>74</b>
6.1	Contrastación de la hipótesis con los resultados.....	74
6.1.1	Evaluación de la dosis óptima .....	74
6.2	Contrastación de resultados con otros estudios similares.....	79
<b>VII.</b>	<b>CONCLUSIONES .....</b>	<b>82</b>
<b>VIII.</b>	<b>RECOMENDACIONES.....</b>	<b>84</b>
<b>IX.</b>	<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>86</b>
<b>X.</b>	<b>APÉNDICE .....</b>	<b>93</b>



10.1	Panel fotográfico.....	93
<b>XI.</b>	<b>ANEXOS.....</b>	<b>97</b>
11.1	Anexo 1: Matriz de Consistencia.....	97
11.2	Anexo 2: 1er reporte de laboratorio del EM .....	98
11.3	Anexo 3: 2do reporte de laboratorio del EM .....	100
11.4	Anexo 4: Reporte de laboratorio del ARD.....	102
11.5	Anexo 5: Reporte de laboratorio - M <sub>1</sub> , M <sub>2</sub> , M <sub>3</sub> y M <sub>4</sub> .....	105
11.6	Anexo 6: Reporte de laboratorio Repeticiones - DO.....	108
11.7	Anexo 7: Muestreo Ambiental de Agua.....	108

## LISTA DE TABLAS

<i>Tabla N° 2 - 1: Parámetros de control para la descarga de efluentes mineros</i>	36
<i>Tabla N° 2 - 2: Tipos de Drenajes de Mina (efluente minero)</i>	38
<i>Tabla N° 2 - 3: Límites Máximos Permisibles para la descarga de Efluentes Líquidos de Actividades Minero - Metalúrgicas</i>	46

<i>Tabla N° 4.1: Ubicación del Punto de Toma de Muestra del Efluente Minero</i>	54
<i>Tabla N° 4.2: Técnicas Analíticas</i>	56
<i>Tabla N° 4.3: Instrumentos de Recolección de Datos</i>	56
<i>Tabla N° 4.4: Ubicación de la Toma de Muestra del Efluente Minero</i>	57
<i>Tabla N° 4.5: Ubicación de la Toma de Muestra del ARD</i>	58
<i>Tabla N° 4.6: Número de tratamientos y proporciones entre el entre el Efluente Minero y las Aguas Residuales Domésticas</i>	59
<i>Tabla N° 4. 7: Análisis de Varianza</i>	62

<i>Tabla N° 5 - 1: Valores registrados en los EM y comparación con los LMP</i>	63
<i>Tabla N° 5 - 2: Valores registrados en las distintas muestras de los EM</i>	66
<i>Tabla N° 5 - 3: Valores registrados en las ARD</i>	67
<i>Tabla N° 5 - 4: Proporciones de mezcla entre el ARD el EM</i>	65
<i>Tabla N° 5 - 5: Resumen de la Prueba de Jarras <b>¡Error! Marcador no definido.</b></i>	
<i>Tabla N° 5 - 6: Concentración Final de As después de la Prueba de Jarras</i>	67
<i>Tabla N° 5 - 7: Concentración Final de Cd después de la Prueba de Jarras</i>	69
<i>Tabla N° 5 - 8: Resumen de la Prueba de Jarras</i>	71
<i>Tabla N° 5 - 9: % de remoción luego del tratamiento del EM con ARD</i>	71

<i>Tabla N° 6.1: Resultados de los tratamientos ingresados al Minitab 18</i>	75
<i>Tabla N° 6.2: Valores del F. Crítico calculados en Excel</i>	76
<i>Tabla N° 6.3: Comparación de los valores obtenidos</i>	76

## LISTA DE GRÁFICOS

<i>Gráfico N° 1: Comparación de la concentración final de As y los LMP</i>	68
<i>Gráfico N° 2: Comparación de la concentración final de Cd y los LMP</i>	70
<i>Gráfico N° 3: Comparación de la Concentración Inicial y Final de As</i>	72
<i>Gráfico N° 4: Comparación de la Concentración Inicial y Final de Cd</i>	73

## LISTA DE FIGURAS

<i>Figura N° 1: Ubicación del punto de captación del agua residual doméstica</i>	58
--	----

<i>Figura N° 2: Análisis de Varianza.....</i>	<i>62</i>
<i>Figura N° 3: Resultados ANOVA y Análisis de Varianza.....</i>	<i>76</i>
<i>Figura N° 4: Método Tukey para el Análisis de Metales.....</i>	<i>77</i>
<i>Figura N° 5: Método Tukey para el Análisis de los Tratamientos (parte 1) .....</i>	<i>78</i>
<i>Figura N° 6: Método Tukey para el Análisis de los Tratamientos (parte 2) .....</i>	<i>78</i>

## **LISTA DE FOTOS**

<i>Foto N° 1: Muestra de Efluente Minero .....</i>	<i>93</i>
<i>Foto N° 2: Muestra de Agua Residual Doméstica .....</i>	<i>93</i>
<i>Foto N° 3: Equipo de Jarras con las proporciones de Efluente Minero y Agua Residual Doméstica .....</i>	<i>94</i>
<i>Foto N° 4: Mezclas de las diferentes proporciones entre el Efluente Minero y el Agua Residual Doméstica .....</i>	<i>94</i>
<i>Foto N° 5: Mezcla Homogénea de las diferentes proporciones entre el Efluente Minero y el Agua Residual Doméstica.....</i>	<i>95</i>
<i>Foto N° 6: Decantación parcial de las diferentes proporciones entre el Efluente Minero y el Agua Residual Doméstica.....</i>	<i>95</i>
<i>Foto N° 7: Decantación total y extracción del agua tratada para su respectivo análisis .....</i>	<i>96</i>
<i>Foto N° 8: Frascos de plástico conteniendo las muestras del agua tratada para su respectivo análisis .....</i>	<i>96</i>

## INTRODUCCIÓN

El agua constituye el medio básico e indispensable de todos los procesos de vida. Pese a tratarse de un recurso natural abundante, la creciente demanda de uso por parte del hombre hace su disponibilidad cada vez más limitada. A causa del incremento de población y el desarrollo industrial, son paulatinamente más frecuentes las descargas contaminantes en acuíferos y recursos superficiales de aguas. El agua está presente en las labores mineras, pues es necesaria en muchas de las operaciones asociadas a las mismas y, con frecuencia se encuentra en grandes cantidades.

La contaminación en cauces fluviales origina graves perjuicios a los ecosistemas acuáticos, llegando a causar la muerte de organismos que se desarrollan en ellos y constituyendo visibles plumas de contaminación que pueden extenderse durante kilómetros. La contaminación de las “aguas de mina” constituye pues, un problema medioambiental a nivel mundial.

En el Perú es preciso que todos los proyectos mineros contemplen los medios necesarios para el control de los vertidos y la prevención de contaminación de las aguas durante la exploración, explotación y tras el posterior abandono. En esta línea se está tornando más exigente la legislación medioambiental actual, exigiéndose que los efluentes alcancen unos determinados estándares antes de poder ser vertidos a un cauce. Lamentablemente en el pasado, muchas labores mineras han sido clausuradas sin adoptar las medidas de prevención y remediación adecuadas, dejando una herencia de aguas contaminadas.

La búsqueda de remediación para el drenaje ácido es extensa desde la década de 1970. A pesar de los esfuerzos de las empresas mineras,

gobiernos y organizaciones no gubernamentales, no se ha desarrollado aún la combinación de escala, recursos y credibilidad para enfrentar el problema.

Por ello, considerando que la gran mayoría de los cuerpos de agua impactados por los efluentes generados por los distintos tipos de pasivos ambientales mineros y teniendo en cuenta la geografía de nuestro país, a través de la presente tesis se pretende hallar una alternativa para la reducción de la concentración de los siguientes metales pesados: arsénico (en adelante As) y cadmio (en adelante Cd). Los cuales están presentes en los efluentes generados por la bocamina (abandonada y no cerrada) próxima a la Quebrada Viso – distrito de San Mateo, utilizando el agua residual doméstica. Para esto se desarrollará un trabajo a nivel laboratorio utilizando el Equipo de Jarras donde se mezclarán dichas aguas (efluente minero y agua residual doméstica) extraídas desde su lugar de origen en diferentes proporciones. Los análisis de las muestras de agua serán llevadas de preferencia a un laboratorio certificado, para darle respaldo a la investigación.

Investigaciones recientes han verificado que la mezcla de agua ácida de mina con agua residual doméstica como un sistema de co-tratamiento con humedales, tiene muchas ventajas potenciales sobre el tratamiento separado. Por ejemplo, los sólidos en suspensión de las aguas residuales domésticas incentivan flóculos de hierro al entrar en contacto con el Fe del agua de la mina acelerando la precipitación de oxihidróxidos. Otros procesos parecidos también pueden agilizar la remoción de manganeso.

## RESUMEN

La presente tesis tiene como objetivo principal la reducción de la concentración de Arsénico y Cadmio presentes en los efluentes mineros, generados por la bocamina abandonada y no cerrada, ubicada a 24 metros de la quebrada Viso en el Distrito de San Mateo, utilizando como coagulante el agua residual doméstica, a nivel de laboratorio.

La investigación tuvo 3 etapas: la primera etapa consistió en la caracterización del efluente minero y del agua residual doméstica, la segunda etapa se basó en la obtención de la dosis óptima de tratamiento y finalmente, en la tercera etapa se realizó las repeticiones del mejor tratamiento y el análisis de la eficiencia de reducción de Arsénico y Cadmio.

Los resultados obtenidos de la dosis óptima, fueron validados usando métodos estadísticos como el Análisis de Varianza, (ANOVA) y el Método Tukey, con el objetivo de evaluar nuestra hipótesis.

El experimento a nivel laboratorio tuvo 4 tratamientos ( $M_1$ : 2ARD/8EM,  $M_2$ : 4ARD/6EM,  $M_3$ : 6ARD/4EM y  $M_4$ : 8ARD/2EM) con 3 repeticiones para cada uno. Las mezclas entre el efluente minero y el agua residual doméstica siempre sumaron 1 litro entre ambas. Los ensayos fueron realizados con el equipo de Prueba de Jarras, a 3 velocidades (50, 100 y 150 RPM) y en un tiempo de 25 minutos (coagulación, floculación y decantación).

Los resultados antes del tratamiento mostraron valores de 17.10 mg/L para Arsénico y 4.60 mg/L para Cadmio y los resultados después del tratamiento fueron 0.002 mg/L para Arsénico y 0.020 mg/L para Cadmio. Con esto, se pudo concluir que la eficiencia de reducción fue en un 99.99% para Arsénico y 99.57% para Cadmio.

## **ABSTRACT**

The main objective of this thesis is to reduce the concentration of Arsenic and Cadmium present in the mining effluents, generated by the abandoned and not closed mouth, located 24 meters from the Viso creek in the District of San Mateo, using as coagulant the domestic wastewater, at the laboratory level.

The research had 3 stages: the first stage consisted in the characterization of the mining effluent and domestic wastewater, the second stage was based on obtaining the optimal treatment dose and finally, in the third stage, the best treatment was repeated. and the analysis of the reduction efficiency of Arsenic and Cadmium.

The results obtained from the optimal dose were validated using statistical methods such as the Analysis of Variance (ANOVA) and the Tukey Method, in order to evaluate our hypothesis.

The laboratory-level experiment had 4 treatments (M1: 2ARD / 8EM, M2: 4ARD / 6EM, M3: 6ARD / 4EM and M4: 8ARD / 2EM) with 3 repetitions for each. The mixtures between the mining effluent and the domestic wastewater always added 1 liter between them. The tests were carried out with the Pitcher Test equipment, at 3 speeds (50, 100 and 150 RPM) and in a time of 25 minutes (coagulation, flocculation and decantation).

The results before treatment showed values of 17.10 mg / L for Arsenic and 4.60 mg / L for Cadmium and the results after the treatment were 0.002 mg / L for Arsenic and 0.020 mg / L for Cadmium. With this, it was concluded that the reduction efficiency was 99.99% for Arsenic and 99.57% for Cadmium.

## **CAPÍTULO I**

### **PLANTEAMIENTO DE LA INVESTIGACIÓN**

#### **1.1 Identificación del problema**

Gran parte de la contaminación en el agua es generada por las actividades minera y metalúrgica, que, habitualmente, han sido las que más han dañado y degradado los recursos hídricos en el país. Esto es así dado que el agua es empleada de manera intensiva por las empresas mineras a lo largo de su proceso productivo, y es combinada con reactivos químicos (cianuro, arsénico, reactivos espumantes y depresores, etc.) para separar el metal de la roca y así obtener el mineral con valor comercial. Como resultado de este proceso se generan desechos de roca triturada, agua y reactivos químicos residuales, denominados “relaves mineros”, los cuales, debido a un inadecuado tratamiento, alcanzan a los ríos, lagos y lagunas ubicadas en las zonas aledañas a las operaciones mineras, generándose así la contaminación ambiental de los recursos hídricos. (Herrera & Millones, 2011)

Actualmente los drenajes ácidos de mina son un aspecto ambiental que causa gran impacto a la industria minera debido a su potencialidad de generar contaminación. No solo las mineras en actividad generan aguas ácidas, pues también son generadas por los pasivos ambientales mineros los cuales tienden a producir aguas ácidas, debido a esto, los cuerpos de agua han sufrido un gran



impacto, convirtiéndose en un tema de mucha importancia que involucra distintos ecosistemas (agua y suelo). (España, Pamo, Pastor, & Ercilla, 2008)

Uno de los principales problemas es la falta de recursos económicos y/o financieros para la remediación y tratamientos de estos efluentes. Debido a los costos elevados que significan la construcción, operación y mantenimiento de las instalaciones de tratamiento activo para este tipo de contaminantes, muchas veces se evidencia la falta de estas plantas en las zonas de mayor afectación. (M. Flores, Moizes, Salazar Aliaga, & Bravo Toledo, 2016).

Esto empeora dada la insuficiente participación del estado peruano al momento de fiscalizar y exigir a las compañías mineras, la implementación de tecnologías adecuadas y óptimas para tratar las aguas residuales, por lo cual, es muy difícil que los impactos generados por las actividades minero-metalúrgicas sean mínimos a los ecosistemas debido a la carencia de sistemas tecnológicos ecoeficientes para los cuidados de los recursos como agua, suelo, aire, fauna y flora.

El análisis a los resultados de laboratorio de los estudios ambientales relacionados a la calidad del agua residual de pasivos ambientales mineros, muestran que en su mayoría están constituidos por un agua muy acida y una serie de reacciones con los minerales expuestos a la oxidación, en ese sentido, los efluentes generados por pasivos mineros suelen estar enriquecidos por metales pesados (arsénico, cadmio, cobre, hierro, plomo, mercurio, cromo, etc.), tal como muestran los resultados del monitoreo ambiental realizado al efluente generado por la bocamina abandonada y no cerrada (Pasivo Ambiental Minero) ubicada a 24 metros de la quebrada Viso – Distrito de San Mateo. Estos efluentes fueron caracterizados y los valores que presentan para As y Cd son de 18 mg/L y 4 mg/L, respectivamente, superando desmesuradamente los valores 0.1 mg/L (As) y 0.05 mg/L

(Cd) de los LMP (Límites Máximos Permisibles) para la descarga de Efluentes Líquidos de Actividades Minero – Metalúrgicas ( D. S. – 010-2010/MINAM).

El estudio de la ONG Red Muqui analizó la presencia de metales pesados en la sangre, orina y cabello en menores cuyas edades oscilan entre los tres a 15 años. (<https://wayka.pe/presencia-metales-pesados-en-ninos-de-los-andes/>)

Este análisis realizado en los andes del Perú (La Oroya, Cerro de Pasco y San Mateo), comprobó la existencia de cuatro metales de los más tóxicos para la salud humana como el cadmio, el arsénico, el plomo y el mercurio, entre ellos los 2 contaminantes (As y Cd) tema de estudio.

El **arsénico** es un metaloide que fue analizado en la orina de los menores de Cerro de Pasco y La Oroya y el resultado arrojó que ocho de nueve niños de La Oroya y 10 de 15 niños de Cerro de Pasco superaron el estándar de medición para arsénico, de acuerdo al estándar del Ministerio de Salud (MINSA) de 20 ug/L (microgramo de arsénico por litro de orina). En ambas ciudades se alcanzó el nivel de más de 60 ug/L. En **cadmio** es un metal pesado cancerígeno y tiene un estándar establecido por el Ministerio de Salud respecto a su presencia en orina, el cual señala que para los no fumadores el promedio debe de ser de 1 ug/L (microgramo de cadmio por litro de orina), sin embargo, un niño en Pasco lo superó hasta en 6 ug/L. (<https://wayka.pe/presencia-metales-pesados-en-ninos-de-los-andes/>)

Es por ello, que en el presente trabajo de investigación se propone una alternativa para la reducción de As y Cd presente en estos efluentes mineros, mediante el uso del agua residual doméstica como solución para este problema ambiental, dado que las bacterias reductoras de sulfato (presentes en las aguas residuales domésticas)

pueden revertir la acidificación del drenaje ácido de mina, transformando los sulfatos en sulfuros cuando se les suministran fuentes de carbono lábiles, lo que aumenta el pH (Totsche et al., 2006). Luego los metales disueltos se unen con sulfuros para formar precipitados insolubles o precipitar. (Tuttle, Dugan, & Randles, 1969)

## **1.2 Formulación del problema**

¿En qué medida el uso del agua residual doméstica reducirá la concentración de Arsénico y Cadmio (metales pesados) presente en los efluentes generados por pasivos ambientales mineros?

## **1.3 Objetivos de la investigación**

- **Objetivo general:**

- Reducir la concentración de Arsénico y Cadmio (metales pesados) presente en los efluentes generados por pasivos ambientales mineros, usando agua residual doméstica.

- **Objetivos específicos:**

- Caracterizar el efluente generado por pasivos ambientales mineros (bocamina abandonada y no cerrada) de la quebrada Viso.
- Caracterizar el agua residual doméstica a utilizar.
- Determinar la dosis óptima de mezcla entre el efluente generado por pasivos ambientales mineros de la quebrada Viso y el agua residual doméstica.
- Cuantificar el porcentaje de reducción de Arsénico y Cadmio (metales pesados) del efluente tratado con agua residual doméstica.

## **1.4 Justificación**

El presente proyecto de investigación, se justificó en base a los siguientes argumentos:

### **1.4.1 Por su naturaleza**

- La contaminación del agua, la pérdida de su resiliencia y sus usos como recurso natural (Pedro, Santos, Ferreira, & Gonçalves, 2013). El tratamiento pasivo propone remediar las aguas contaminadas por drenaje ácido de mina, ya que tienen ventajas potenciales, como los bajos costos, la capacidad para trabajar en áreas remotas, el uso de materiales orgánicos reciclados o de desecho, y apariencia natural. (Allcahuamán Quichua, Damián, & Streicheln, 2017)

### **1.4.2 Por su magnitud**

- La minería y personas ligadas de manera directa o indirectamente tienen riesgo de contraer enfermedades por efecto de las aguas contaminadas con metales, se incrementa ostensiblemente con el tiempo las consecuencias hacia la salud de la población, y su calidad de vida exige que las zonas afectadas presenten un entorno ambiental agradable. (Pedro et al., 2013). La aplicación de una tecnología de tratamiento pasivo con pruebas de interacción simbióticas entre el agua residual doméstica y agua ácida. (Garbisu & Alkorta, 2001)

### **1.4.3 Por su trascendencia**

- Antes de que existieran las normas ambientales, muchos terrenos utilizados para la actividad minera se quedaron sin remediación y sin ninguna comprensión integral de los impactos ambientales. Actualmente, varios países han implementado regulaciones para la

actividad minera y programas de rehabilitación (Teixeira Coelho & Guardabassi, 2011).

- La aplicación de este tratamiento propone establecer una metodología de trabajo que desarrolle una tecnología limpia a nivel de laboratorio, con perspectivas a desarrollar la misma tecnología a nivel de planta piloto, con el posterior desarrollo de una planta de tratamiento de remediación a nivel industrial.

#### **1.4.4 Por su aspecto socio - económico**

- La aplicación de esta tecnología (tratamiento pasivo de efluentes mineros) dentro de la actividad minera realizada por empresas privadas en nuestro país, tendrá mayores beneficios económicos en comparación a los sistemas tradicionales de tratamiento, como la reducción de costos en la etapa de construcción de la infraestructura, operación (reducción de gastos en la compra de insumos como floculantes, coagulantes y neutralizadores) y mantenimiento (sistema sustentable que no requiere de entradas de energía continua). Lo que generará una mayor inversión en el sector minero por parte de las empresas mineras.
- La degradación de los recursos (agua y suelo), no permite el desarrollo de alguna otra actividad o un uso paisajístico. (Cooke & Abbott, 2008)

#### **1.4.5 Por su aspecto ambiental**

- En el 2010, se realizó un tratamiento pasivo del drenaje ácido de mina y las aguas residuales urbanas, en esta investigación el drenaje ácido de mina tenía inicialmente un pH de 3.58, 12 mg/L de Aluminio (Al), 68 mg/L de Hierro (Fe), 17 mg/L de Manganeseo (Mn) y 550 mg/L Zinc (Zn). La mezcla tuvo una proporción de a 5:1 entre drenaje ácido de mina y agua residual urbana. Los resultados evidenciaron la reducción de las concentraciones de Al, Fe, Mn y Zn, disminuyendo en un 99.7%, 99.9%, 4.5% y 33.9%,

respectivamente, mientras el pH aumentó a 7.06. En consecuencia, se logró demostrar la eliminación significativa y sustancial de metales (Al, Fe, Mn, Zn) y la generación de alcalinidad. (W. H. Strosnider, Winfrey, & Nairn, 2010).

#### **1.4.6 Por su aspecto político**

- El desarrollo de este tipo de tecnologías conllevará a la remediación de los efluentes generados por pasivos ambientales mineros reduciendo la concentración de metales presentes en estas aguas. Práctica que se está tomando en cuenta por el gobierno, pero en términos generales se encuentra enmarcado dentro de la política ambiental nacional de los gobiernos regionales y municipales. (M. Flores et al., 2016). Los impactos en la calidad y cantidad de agua están entre los aspectos más polémicos de los proyectos mineros.

#### **1.4.7 Por su aplicación**

- El co-tratamiento pasivo de drenaje ácido de mina y de aguas residuales municipales es un nuevo enfoque sinérgico que puede resultar en mayores tasas de extracción de todos los principales contaminantes. (W. H. J. Strosnider, Nairn, Peer, & Winfrey, 2013)
- Otro impacto positivo de la aplicación de este tratamiento pasivo es la reducción del uso de recursos energéticos (uso de energía eléctrica y combustibles fósiles) y financieros.

### **1.5 Importancia**

#### **1.5.1. Ambiental**

Contribuir al cuidado del medio ambiente con la descontaminación de las fuentes naturales de agua utilizadas como puntos de disposición final, aportando con una alternativa de solución al tratamiento de aguas residuales (en este caso efluentes mineros generados por

pasivos ambientales mineros y aguas residuales urbanas), teniendo en cuenta los impactos ambientales que generan debido a su mala disposición y tratamiento.

### **1.5.2. Legal**

Cumplir con la normatividad legal vigente para aguas residuales.

- ✓ Decreto Supremo N° 010-2010-MINAM que Aprueban la Límites Máximos Permisibles para los efluentes líquidos de Actividades Minero – Metalúrgicas.

### **1.5.3. Social**

El tratamiento de las aguas residuales (efluentes mineros generados por pasivos ambientales mineros y aguas residuales domésticas) evita la contaminación de los principales cuerpos de agua y sus respectivos afluentes, sobretodo de aquellas poblaciones que están dentro del área de influencia ambiental (directa e indirecta) de los proyectos mineros en etapas de explotación, beneficio, transporte y cierre de minas.

### **1.5.4. Económica**

Reducir los costos de tratamiento de las aguas residuales (en este caso efluente minero) a través de la aplicación de una tecnología limpia.

## **1.6 Limitaciones**

Durante la elaboración del presente proyecto de investigación se presentaron las siguientes limitaciones:

- Limitado volumen de efluente generado por el pasivo ambiental minero (bocamina abandonada), ubicado a 24 metros de la Quebrada Viso en el distrito de San Mateo, provincia de Huarochirí,

departamento de Lima, lo que generó una evaluación en cortos periodos de tiempo. Esto se debió a la lejanía del punto de captación del efluente.

- Se realizaron los análisis mínimos para determinar la eficiencia del tratamiento pasivo con agua residual doméstica, puesto que, los laboratorios de la FIARN carecen de equipos, materiales y reactivos necesarios para realizar los análisis de interés (análisis de agua) para la investigación.
- Por último, el no contar con un laboratorio acreditado y equipos debidamente calibrados y en buen estado, llevo a que los investigadores con sus propios recursos adquieran algunos equipos y contraten los servicios de otros laboratorios para los análisis respectivos.



## **CAPÍTULO II**

### **MARCO TEÓRICO**

#### **2.1 Antecedentes del estudio**

##### **2.1.1 Sobre la mezcla de aguas residuales (sinergia)**

Entre los estudios encontrados podemos citar el trabajo realizado a gran escala, sobre el “Tratamiento Sinérgico de Aguas Residuales y Agua de Mina con Humedales: Primer Sistema a Gran Escala para Evaluar el Rendimiento de Eliminación de Contaminantes”, donde los principales parámetros de interés en las aguas residuales fueron sólidos en suspensión, DBO<sub>5</sub>, Nitrógeno Amoniacal (NH<sub>4</sub>-N) y Fósforo total (P); mientras que en el agua de mina el único parámetro de especial preocupación es hierro total (Fe). El artículo indica que el humedal de tratamiento fue diseñado como un sistema aeróbico-flujo superficial. Esto reveló altas tasas sostenidas, de la eliminación absoluta de todos los contaminantes del flujo de agua residual combinado, cuantificados en términos de diferencias entre los afluentes y efluentes (es decir, las cargas de masa por unidad de tiempo). Los resultados en cuanto a las tasas de retención de masa anuales, que el sistema de humedales reveló de los principales contaminantes fueron: sólidos en suspensión: 66%; DBO<sub>5</sub>: 41%; Fe 89%; Nitrógeno Amoniacal (NH<sub>4</sub>-N): 66%; Fósforo (P) disuelto: 59% y P en total: 46%. (Younger, P. L., & Henderson, R., 2014).

La "Demostración a Escala de Campo del Potencial de las Aguas Residuales para Remediar las Aguas Ácidas de las Minas", es una investigación cuyo objetivo fue realizar un tratamiento a gran escala de remediación de aguas lenticas afectado por aguas ácidas, en el que se consideró la aplicación de aguas urbanas crudas por la gran cantidad de material grueso disponible y su bajo costo, la aplicación se realizó en un estanque eutrofizado inicialmente con altas concentraciones de nutrientes, pH 8, altos niveles de sulfato (500 mg/L), y tenía la proliferación de algas. Poco después de la adición del agua acida de mina, el pH del estanque de evaporación cayó a 2.4, y la conductividad eléctrica (en adelante CE) fue elevado en uno o dos órdenes de magnitud. Durante los siguientes 18 meses, el pH del estanque aumentaba la CE y la concentración de metales disminuía. Después de sólo 18 meses de adición del drenaje ácido de mina, la calidad del agua del estanque había regresado a un nivel similar al que tenía antes de adicionar el drenaje de mina. Por lo que concluyen, que las hipótesis extraídas de estas observaciones sugieren que la adición de materiales orgánicos de bajo costo se muestra prometedora para la remediación de aguas acidas de mina a escala de campo y justifica una investigación. (McCullough, C. D., 2008)

El co-tratamiento pasivo de drenaje ácido de minas y aguas residuales: la incubación anaerobia, revela una técnica de regeneración y otras posibilidades de tratamiento. Con el fin de investigar una posible técnica de regeneración e iluminar nuevas posibilidades de tratamiento, cuatro columnas replicadas que contienen piedra caliza se sobrepone con los medios de biopelícula inertes que había estado procesando una mezcla pasiva pre-tratada del drenaje ácido de minas de alta resistencia y de aguas residuales municipales en bruto, fueron sacados fuera de línea, mantienen llenado, sellado y se incubaron. Se observó la reducción de nitrato, la generación de alcalinidad, y el aumento de pH como

resultado. Además se observó la eliminación de Al, Mn y Zn. Disuelto Fe aumentó de 45,3 a 147 mg/L, un resultado probable de Fe-reducción de la actividad bacteriana, lo que indica que acumulado Fe en fases sólidas se puede transformadas, removilizado, y enrojecida del proceso de unidad. (Strosnider, W. H., Nairn, R. W., Peer, R. A., & Winfrey, B. K., 2013)

El "Co-Tratamiento Pasivo del Drenaje Ácido de Mina (rica en Zn) y Aguas Residuales Urbanas (sin procesar)", es una investigación donde el drenaje ácido de mina que tenía un pH de 3.58 y acidez de 1080 mg/L como equivalente de CaCO<sub>3</sub>, y 12, 68, 17 y 550 mg/L de Al, Fe, Mn y Zn, respectivamente, se mezcló en una relación de 5:1 con el agua residual urbana, que contenía 5.6 mg/L de nitrato y 38 mg/L de fosfato. En los resultados se observó la reducción de las concentraciones de Al, Fe, Mn y Zn disueltas, disminuyendo en un 99.7%, 99.9%, 4.5% y 33.9%, respectivamente, de igual forma el fosfato se redujo por debajo de los límites de detección y el pH aumentó a 7.06. En consecuencia, se logró demostrar la eliminación significativa y sustancial de metales (Al, Fe, Mn, Zn), la generación de alcalinidad, la nitración y la eliminación de fosfatos en un sistema sustentable que no requiere de entradas de energía continuas, ni de materiales selecto. El estudio reveló la viabilidad del co-tratamiento pasivo del drenaje ácido de mina y las aguas residuales urbanas (sin cribado) a temperaturas ambiente relativamente bajas, que van desde los 8.2 a 10.3 °C. (W. H. Strosnider et al., 2010)

## **2.2 Bases Teóricas**

### **2.2.1 Tratamientos Pasivos de Agua**

Las denominadas tecnologías pasivas utilizan los procesos naturales químicos y biológicos que mejoran la calidad del agua. Idealmente, un tratamiento pasivo no requiere utilización de reactivos químicos y poco o nada de requerimientos en cuanto a operación y

mantenimiento... Los sistemas de tratamiento pasivo utilizan procesos de eliminación de contaminantes que son más lentos que los correspondientes a los utilizados en los sistemas de tratamiento convencional, por lo que, para lograr resultados similares, se requieren mayores tiempos de retención del agua de mina y mayores superficies de tratamiento. El objetivo de aplicar sistemas de tratamiento pasivo al drenaje ácido de mina es intensificar los procesos naturales de mejora de la calidad de las aguas, de forma que tengan lugar dentro del sistema de tratamiento y no en las aguas receptoras. Dos factores importantes que determinan si el objetivo se puede alcanzar con resultados satisfactorios, son la cinética de los procesos de eliminación de contaminantes y el tiempo de retención del agua de mina en el sistema de tratamiento. A veces, para un particular emplazamiento minero, el tiempo de retención está limitado por la disponibilidad de terreno suficiente. Sin embargo, la cinética de los procesos de eliminación de contaminantes se puede modificar actuando sobre las condiciones medio ambientales que existen dentro del sistema particular de tratamiento. Cualquiera que sea el tratamiento dado a las aguas ácidas de mina, se requiere la generación de suficiente alcalinidad para neutralizar su exceso de acidez. Para ello se pueden considerar diferentes tipos de métodos pasivos: humedales aerobios, humedales con sustrato orgánico, lechos de caliza aerobios, sistemas de aireación, drenes de caliza anóxicos (ALD) y sistemas sucesivamente productores de alcalinidad (SAPS). Cada una de estas tecnologías será la más adecuada dependiendo del tipo particular de problemática del agua de mina. Frecuentemente, son más efectivas cuando se emplean de forma conjunta y por ello, en algunos casos particulares la combinación de un sistema ALD y un humedal puede ser adecuado e incluso necesario... El agua de mina puede ser tratada con un sistema pasivo previo a un sistema de tratamiento químico, con la finalidad de reducir los costes de tratamiento total del agua o como una potencial

alternativa parcial al tratamiento químico puro. (Ordóñez Alonso, 1999)

Tratamiento pasivo puede considerarse una aplicación de ingeniería ecológica, lo que implica "el diseño de ecosistemas sostenibles que integran la sociedad humana con su medio natural para el beneficio de ambos". (Mitsch & Wilson, 1996)

### **2.2.2 Sinergismo**

En 1974, la publicación "Acid Strip Mine Lake Recovery", describe la recuperación de lagos generados por drenaje ácidos de mina a través de la acumulación natural de la materia orgánica, sosteniendo que la aceleración del proceso de reducción del sulfato presente en la naturaleza es por medio de la adición de materia orgánica gruesa, como aserrín, paja de trigo, hojas, periódico, estiércol de ganado y lodos de aguas residuales. Esta es una de las investigaciones que pondría las bases para llegar con el pasar de los años a definiciones como tratamientos sinérgicos. (King, Simmler, Decker, & Ogg, 1974)

El concepto de sinergia en aguas residuales está limitada entre dos tipos de agua (agua residual urbana y agua ácidas). Esperando en la mezcla que las características principales de estas aguas den lugar a estas sinergias: por ejemplo, que se produzca la eliminación de Hierro (Fe) en el agua de la mina y fósforo (P) a partir de las aguas residuales urbanas por la rápida precipitación de sólidos en forma de fosfato-férrico, produciendo el efecto de sedimentación. (Dobbie, K. E., Heal, K. V., Aumonier, J., Smith, K. A., Johnston, A., & Younger, P. L., 2009).

Estudios recientes han comprobado el sinergismo o co-tratamiento de aguas residuales domésticas y aguas ácidas de mina, por ejemplo, realizaron una investigación crucial, donde mezclan agua ácida de mina con agua residual doméstica como un sistema de co-tratamiento con humedales, mostrando que este tratamiento combinado tiene

muchas ventajas potenciales sobre el tratamiento separado. El mutuo beneficio de la mezcla de estas aguas residuales (que cada uno tienden a ser bajos en contaminantes que son altos en el otro) y las propiedades biogeoquímicas de los tipos de aguas residuales producen sinergias reales en el tratamiento. Por ejemplo, sólidos en suspensión en las aguas residuales deben alentar flóculos de hierro al entrar en contacto con el Fe del agua de la mina acelera la precipitación de oxhidróxidos. Procesos similares también pueden acelerar la remoción de manganeso. El fosfato, que es generalmente difícil de eliminar mediante el tratamiento ya sea activo o pasivo puede ser eliminado a través de la sorción y precipitación en oxhidróxido de hierro. (Younger, P. L., & Henderson, R., 2014)

El co-tratamiento pasivo de drenaje ácido de mina (siglas en inglés AMD) y de aguas residuales municipales (siglas en inglés MWW) es un nuevo enfoque sinérgico que puede resultar en mayores tasas de extracción de todos los principales contaminantes. Este fundamento es aplicado en la presente tesis, deseando alcanzar buenos resultados como la investigación realizada por Strosnider. (W. H. Strosnider et al., 2010)

El AMD y las MWW son pasivos ambientales comunes en todo el mundo y su tratamiento es fundamental para el mantenimiento de la calidad global de los recursos hídricos. Si no se trata el AMD provoca degradación de la calidad del agua en las regiones de carbón y la minería metálica en todo el mundo. En los países desarrollados, donde las aguas residuales (siglas en inglés WW) se tratan generalmente de forma activa, el tratamiento consume considerables recursos financieros, materiales y de energía. (W. H. J. Strosnider et al., 2013)

### **2.2.3 Pasivos Ambientales Mineros (PAM)**

La actividad minera que se inicia con la etapa de prospección y exploración, para luego pasar a la etapa de explotación y beneficio de minerales, genera residuos y elementos químicos que contaminan el medio ambiente como la disposición de relaves y desmontes, que modifican el relieve, la geomorfología y que son la causa de impactos ambientales en los ecosistemas.

La definición más general de PAM es dada por la CEPAL (2008): "pasivo ambiental minero" hace referencia a los impactos ambientales generados por las operaciones mineras abandonadas con o sin dueño u operador identificables y en donde no se hayan realizado un cierre de minas reglamentado y certificado por la autoridad correspondiente. Cuando un área minera es abandonada sin remediar los daños ambientales, y cuando estos daños son un riesgo para la población, entonces surge la obligación de realizar una remediación o de compensar a los afectados. En países como Chile, Perú y Bolivia esta obligación se conoce como Pasivos Ambientales Mineros (PAM) mientras que en otros países como Canadá, los EE.UU. este tipo de obligaciones se tratan como sitios huérfanos o como deudas ambientales (environmental liabilities). (Oblasser & Chaparro Avila, 2008)

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

#### **2.2.4 Impacto de los Pasivos Ambientales Mineros (PAMs)**

Malarín y Remy (1994) señalan que los principales residuos contaminantes de la actividad minera son: 1) el drenaje de minas subterráneas y superficiales durante el proceso de extracción y 2) el agua de los relaves generados durante el proceso de concentración de minerales. Esto último considerado como el probable mayor problema de contaminación generado por la actividad minera. (Díaz Cartagena, 2016)

Como se indicó anteriormente son considerados pasivos ambientales mineros aquellas instalaciones, efluentes, emisiones, restos o depósitos de residuos producidos por operaciones mineras, en la actualidad abandonadas o inactivas y que constituyen un riesgo permanente y potencial para la salud de la población, el ecosistema circundante y la propiedad, en ese sentido: La minería abandonada tiene un amplio rango de impactos ambientales y socioeconómicos. Entre los impactos ambientales más frecuentes de las minas abandonadas están: paisajes físicamente alterados, pilas de desechos, subsidencia, combustión espontánea de desechos de carbón, contaminación del agua, edificios y plantas abandonados, pérdida de vegetación, pozos abiertos (open shafts) y huecos. Además, en las minas abandonadas hay numerosas fuentes de contaminación para aguas superficiales y subterráneas así como para el suelo; por ejemplo: filtraciones de ácido, lavado de metales, aumento en sedimentos y contaminación por hidrocarburos. Con frecuencia, la minería expone materiales que no son adecuados para el crecimiento de plantas, dejando paisajes deforestados, donde es difícil que se establezcan plantas nativas y colonizadoras. Como resultado, las minas abandonadas son inhóspitas para la vida silvestre y muchas especies no regresan a estas áreas. (Worrall, Neil, Brereton, & Mulligan, 2009)



### **2.2.5 Aguas Residuales Domésticas (ARD)**

El Protocolo Nacional para el Monitoreo de la Calidad de los Recursos Hídricos (en adelante PNMCRH), define en el Anexo N° VIII (glosario de términos) a las aguas residuales, como aquellas aguas cuyas características originales han sido modificadas por actividades antropogénicas, que tengan que ser vertidas a un cuerpo natural de agua o reusadas y que por sus características de calidad requieran de un tratamiento previo. Dentro de la clasificación de estas aguas, tenemos a las aguas residuales domésticas, definidas como aquellas aguas que tienen origen residencial, comercial e institucional que contienen desechos fisiológicos y otros provenientes de la actividad humana (preparación de alimentos, aseo personal, etc.). (Protocolo Nacional para el Monitoreo de la Calidad de los Recursos Hídricos, 2016)

Para definir el sistema de depuración a aplicarse es necesario conocer la composición del agua residual y los parámetros de contaminación.

Según el PNMCRH, los parámetros fundamentales para determinar la contaminación de las aguas residuales domésticas son: pH, T, A y G, C. tem., DBO<sub>5</sub> y SST.

Los parámetros fundamentales para determinar la contaminación de las aguas residuales se definen de la siguiente manera: (Baca Neglia, M. F., 2012)

**A. Partículas en Suspensión, (Sólidos Totales).**- Es el contenido total de la materia sólida en el agua, comprendiendo tanto materia orgánica como inorgánica, estos sólidos pueden encontrarse como: Sólidos Disueltos, Sólidos en Suspensión, Sólidos Sedimentables y Sólidos no Sedimentables.

**B. Contenido Orgánico.-** (Materia Oxidable Biológicamente), materias de tipo orgánico que absorben en forma natural hasta su desmineralización una cierta cantidad de oxígeno, debido a los procesos químicos o biológicos de oxidación que se producen en el seno del agua.

- ✓ **Demanda Bioquímica de Oxígeno, (DBO<sub>5</sub>).**- Es la cantidad de oxígeno disuelto consumida por el agua residual durante la oxidación (vía biológica) de la materia orgánica Biodegradable presente en el agua residual. Para el control de los procesos de depuración suele adoptarse la DBO<sub>5</sub> a los 5 días y a 20 °C (DBO<sub>5</sub>), cuyo valor se aproxima al valor asintótico de la DBO<sub>5</sub> correspondiente al ciclo del carbono. Para determinar este parámetro es necesario que el agua se encuentre a un pH entre 6,50 y 8,30.

El PNMCRH define al DBO<sub>5</sub>, como la cantidad de oxígeno que requieren los microorganismos para la estabilización de la materia orgánica bajo condiciones de tiempo y temperatura específicos (generalmente 5 días y a 20 °C)

- ✓ **Demanda Química de Oxígeno, (DQO).**- Es la cantidad de oxígeno disuelto consumida por el agua residual (por vía química) provocada por un agente químico, fuertemente oxidante. La oxidación es activa sobre las sales minerales oxidables así como sobre la materia orgánica biodegradable, que existe en el agua analizada. La relación encontrada entre la DBO<sub>5</sub> y la DQO indicará la importancia de los vertidos industriales y sus posibilidades de biodegradabilidad.

**C. pH.-** En la naturaleza, así como en los vertidos urbanos se encuentran ácidos y bases que modifican ampliamente el pH de las aguas. Las aguas urbanas tienen un pH próximo al valor de 7, es decir son adecuadas para los microorganismos neutrófilos. Es necesario controlar el pH para garantizar los procesos biológicos,

debiendo encontrarse entre valores de 6,2 y 8,3 para que no se generen problemas de inhibición.

**D. Aceites y Grasas.-** Las grasas generan problemas por su poder tenso activo que impiden la captación del oxígeno, o genera una película envolvente en los flóculos biológicos impidiendo su respiración, aligerándolos y llevándolos a flotación, dificultándose así la decantación secundaria.

**E. Alcalinidad.-** La alcalinidad es de importancia en muchos usos y tratamientos de agua natural y aguas residuales. Para determinar si el agua es adecuada para irrigación debe considerarse su alcalinidad en relación con la del suelo. Este concepto también tiene aplicación en los tratamientos químicos del agua de coagulación y ablandamiento, en general la capacidad amortiguadora del agua es de gran interés en la práctica del tratamiento de aguas residuales.

### **Función de los componentes del agua residual doméstica**

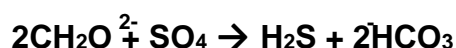
Tuttle fue de los primeros en sugerir el uso de bacterias reductoras de sulfato para el tratamiento del drenaje ácido de mina. Las bacterias reductoras de sulfato pueden revertir la acidificación del drenaje ácido de mina convirtiendo los sulfatos en sulfuros en ambientes de baja redox cuando se les suministran fuentes de carbono lábiles, lo que aumenta el pH (Totsche et al., 2006). Los metales disueltos se unen luego con sulfuros para formar precipitados insolubles o precipitar a pH más alto como carbonatos. (Tuttle, Dugan, & Randles, 1969)

La disminución concomitante de las concentraciones del metal y sulfato en el tiempo proporcionan evidencia de reducción de sulfato mediada biológicamente como el proceso de eliminación de metales y sulfato con la mayoría de los metales probablemente precipitados como sulfuros insolubles. (Totsche, Fyson, & Steinberg, 2006)

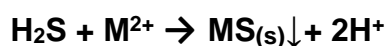
## Proceso de Sulfato-Reducción para la Bioprecipitación de Metales

El proceso para la remoción de iones metálicos se basa en la formación de sulfuros metálicos de baja solubilidad y la neutralización del agua debido a la alcalinidad producida en la oxidación microbiana de la fuente de carbono (Christensen et al., 1996). Este método ha sido descrito como bioprecipitación (Diels et al., 2001). El proceso puede representarse con las siguientes ecuaciones: (Kaksonen & Puhakka, 2007)

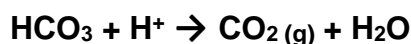
Producción de sulfuro y alcalinidad “Ecuación (5)” en donde el metanaldehído (CH<sub>2</sub>O) representa la fuente de carbono:



El sulfuro biogénico producido precipita los metales disueltos como sulfuros de baja solubilidad “Ecuación (6)”. Donde M<sup>2+</sup> representa metales como Zn<sup>2+</sup>, Cu<sup>2+</sup>, Ni<sup>2+</sup>, Co<sup>2+</sup>, Fe<sup>2+</sup>, Hg<sup>2+</sup>, Pb<sup>2+</sup>, Cd<sup>2+</sup>:



La reacción de precipitación del metal libera protones “Ecuación (6)”, los cuales se suman a la acidez del agua. La alcalinidad de bicarbonato producida en la oxidación sulfidogénica de la materia orgánica “Ecuación (5)” neutraliza la acidez producida en la reacción de precipitación del metal “Ecuación (7)”.



### 2.2.6 Drenaje Ácido de Mina

El drenaje de aguas ácidas se produce tanto en minas activas como abandonadas, en túneles subterráneos, pozos, tajos abiertos, material de desmonte y relaveras. Este drenaje es poco importante cuando la mina está activa porque el nivel freático es bajo debido al bombeo;

sin embargo, es severo en minas abandonadas donde el sistema de bombeo deja de funcionar con el que se incrementa el nivel freático y con este la cantidad de agua ácida. El drenaje ácido de mina es la acidificación del agua superficial y subterránea que se genera a través de una combinación de procesos químicos y biológicos por medio de los cuales, los sulfuros metálicos provenientes de las actividades mineras, tales como la pirita o marcasita ( $\text{FeS}_2$ ), la arsenopirita ( $\text{FeAsS}$ ), la calcopirita ( $\text{CuFeS}_2$ ) y la esfalerita ( $\text{ZnS}$ ) son oxidados y generan lixiviados con altas concentraciones de metales pesados disueltos, ciertos elementos tóxicos, iones sulfatos y acidez. (V. Sheoran, Sheoran, & Poonia, 2010)

La generación de drenaje ácido de mina, su liberación, movilidad y atenuación implican procesos complejos gobernados por una combinación de factores físicos, químicos y biológicos; por ejemplo, la geología de la región de mineralización, microorganismos, temperatura y la disponibilidad de agua y oxígeno. Cabe señalar que las reacciones de oxidación también ocurren de forma natural, y se aceleran por el aumento de exposición de la roca al oxígeno y al agua y por la acción catalizadora de algunas bacterias ya que los DAM contienen una gran cantidad de sólidos en suspensión y un alto contenido en sulfato y metales disueltos (Fe, Al, Mn, Zn, Cu, Pb, etc.). (Rötting, Thomas, Ayora, & Carrera, 2008)

Según el D.S. N° 010-2010-MINAM, los parámetros fundamentales para determinar la contaminación del drenaje ácido de mina (en el Perú denominado como efluente minero) son:

**Tabla N° 2.1: Parámetros de control para la descarga de efluentes mineros**

Actividad Generadora	Parámetros
Minero Metalúrgica	pH, Sólidos Totales en Suspensión, Aceites y Grasas, Cianuro Total, <b>Arsénico Total, Cadmio Total</b> , Cromo Hexavalente, Cobre Total, Hierro (Disuelto), Plomo Total, Mercurio Total y Zinc Total.

*Fuente: D.S. N° 010-2010-MINAM que Aprueban la Límites Máximos Permisibles para los efluentes líquidos de Actividades Minero - Metalúrgicas*

Como podemos observar en la Tabla N° 2.1, de entre los parámetros que la norma establece como límite máximo permisible para la descarga de efluentes líquidos mineros, están presentes el Arsénico y Cadmio, metales que son tema de investigación del presente estudio:

**A. Arsénico (As).**- Los dos derivados más tóxicos se presentan mayormente como arsénico trivalente y pentavalente. Estas especies son comúnmente llamadas arsenito y arseniato, respectivamente. (L. Rosales, Jorge & Romero Damas, 2015)

**B. Cadmio (Cd).**- Los derivados más peligrosos del cadmio ( $Cd^{2+}$ ) están usualmente combinadas con formas iónicas del oxígeno (óxido de cadmio  $CdO_2$ ), cloruros (cloruro de cadmio,  $CdCl_2$ ) o sulfuros (sulfato de cadmio  $CdSO_4$ ). Es divalente en todos sus compuestos estables y su ión es incoloro. (Nava-Ruíz, C., & Méndez-Armenta, M., 2011)

### **2.2.7 Formación del Drenaje Ácido de Mina**

El proceso de formación de los drenajes ácidos de minas está directamente relacionado a los depósitos de sulfuros y de carbón, ya que estos poseen minerales metalíferos que en contacto con las

condiciones atmosféricas generan acidez en el agua natural. (Johnson & Hallberg, 2005)

El principal mineral sulfurado en residuos mineros es la pirita; otros minerales sulfurados también son susceptibles a la oxidación y liberan elementos como Al, As, Cd, Co, Cu, Hg, Ni, Pb y Zn al agua que fluye a través de los residuos de mina. Sin embargo, no todos los minerales sulfurados generan acidez cuando son oxidados. Como regla general, los sulfuros de hierro (pirita, marcasita, pirrotita), sulfuros con metal/sulfuros con razón molar <1 y las sulfosales (enargita) generan ácido cuando reaccionan con oxígeno y agua. Sulfuros con razón molar=1 (esfalerita, galena, calcopirita) tienden a no producir acidez cuando el oxígeno es el oxidante. Sin embargo, cuando el ion férrico acuoso es el oxidante, todos los sulfuros son capaces de generar acidez. Entonces, la cantidad de sulfuro de hierro presente en un depósito de minerales o residuos de mina juega un papel crucial en la determinación de las características del drenaje de mina. Debe ser también notado que la velocidad de oxidación varía entre los minerales sulfurados (Dold, 2010), la reactividad disminuye en el siguiente orden: (Corzo Remigio, 2015)

marcasita>pirrotita>esfalerita,galena>pirita>calcopirita>magnetita

### **2.2.8 Clases de Agua Ácida**

A partir del pH y el contenido de oxígeno y metales pesados, se clasifican los drenajes de mina y lo agrupan en 5 tipos (Ver Tabla N° 2.2). (Aduvire, 2006)

**Tabla N° 2.2: Tipos de Drenajes de Mina (efluente minero)**

Tipo	pH	Descripción
I	< 4,5	<ul style="list-style-type: none"> <li>* Alta concentración de Fe, Al, Mn, Zn, Cu, Ni, Pb, y otros metales.</li> <li>* Alto contenido de oxígeno.</li> <li>* Muy ácido (llamado Drenaje Ácido de Mina).</li> </ul>
II	< 6,0	<ul style="list-style-type: none"> <li>* Alta cantidad de sólidos disueltos.</li> <li>* Alta concentración de ión ferroso (Fe<sup>2+</sup>) y Mn.</li> <li>* Bajo contenido de oxígeno.</li> <li>* Por oxidación, el pH del agua baja drásticamente hasta convertirse en Tipo I.</li> </ul>
III	> 6,0	<ul style="list-style-type: none"> <li>* Moderada a alta cantidad de sólidos disueltos.</li> <li>* Bajo a moderado contenido de ion ferroso (Fe<sup>2+</sup>) y Mn.</li> <li>* Bajo contenido de oxígeno.</li> <li>* Alta alcalinidad (llamado Drenaje Alcalino de Mina).</li> <li>* Por oxidación de metales la acidez generada es neutralizada por la alcalinidad presente en el agua.</li> </ul>
IV	> 6,0	<ul style="list-style-type: none"> <li>* Alta cantidad de partículas disueltas.</li> <li>* Drenaje neutralizado, pero todavía no se han fijado los hidróxidos en el agua.</li> <li>* A mayor tiempo de residencia en las balsas mayor fijación de partículas y el agua puede llegar a ser similar al de Tipo V.</li> </ul>
V	> 6,0	<ul style="list-style-type: none"> <li>* Agua del drenaje es neutralizado.</li> <li>* Alta cantidad de sólidos disueltos.</li> <li>* Gran cantidad de hidróxidos precipitados y fijados en las balsas.</li> <li>* Cationes restantes son disueltos por Ca y Mn.</li> <li>* Oxi-aniones solubles como bicarbonato y sulfato quedan en la solución.</li> </ul>

Fuente: (Aduvire, 2006)

## 2.2.9 Consecuencias de la Contaminación por As y Cd

### 2.2.9.1 Arsénico (As)

#### Efectos del Arsénico en la salud

Existen varias vías de exposición, las más conocidas son: por ingestión, por inhalación y dérmica. La toxicidad de los compuestos de arsénico es altamente dependiente de su forma química. Los efectos agudos más destacados de la intoxicación aguda por



arsenicales inorgánicos son: (Lucas Rosales, J. J., & Romero Damas, L. R., 2015)

- Daño severo gastrointestinal con dolores, vómitos y diarrea.
- Depresión y parálisis de la respiración. Esta es frecuentemente la causa de muerte.
- Pérdida de movimientos voluntarios y parálisis de origen central.
- Contracciones musculares e hipotermia.
- Anormalidades cardíacas.

Los efectos crónicos son:

- Desbalance electrolítico, pérdidas excesivas desde sangre a tejidos y tracto intestinal.
- Inflamación de ojos y tracto respiratorio.
- Pérdida de apetito y peso.
- Daño hepático de distinto grado: ictericia, cirrosis, etc.

#### **2.2.9.2 Cadmio (Cd)**

##### **Efectos del Cadmio en la salud**

La intoxicación por cadmio es variable, según su vía de penetración, la cantidad absorbida, el tiempo de exposición y las características propias del individuo expuesto. Además, tiene relación con el tipo de exposición, ocupacional o ambiental. (Ortiz, G., & Moisés, M., 2008).

##### **a) Manifestaciones Agudas**

- **Por inhalación:** La inhalación de altas cantidades de cadmio puede determinar la aparición de una sintomatología no muy bien definida al principio, pero luego se presentan fiebre, alteraciones digestivas, dolor torácico, disnea y edema agudo de pulmón, el que puede determinar la muerte por insuficiencia respiratoria. Pueden También aparecer anemia, albuminuria, hepatitis y anuria.

- **Por ingestión:** Los síntomas son náuseas, vómitos, dolores abdominales y cefalea. En muchos casos hay una diarrea intensa con colapso. Estos síntomas aparecen con la presencia del cadmio en agua o en alimentos en concentraciones de alrededor de 15 ppm.

#### **b) Manifestaciones Crónicas**

- **Por inhalación:** La inhalación prolongada del cadmio por trabajadores expuestos puede determinar la aparición de un síndrome que incluye enfisema pulmonar y enfermedad de los túbulos renales, con proteinuria. En estos casos se han observado también otros efectos como anemia, y alteraciones hepáticas.
- **Por ingestión:** La ingestión prolongada del cadmio, aunque no es muy frecuente, se puede presentar en la población general.

El cadmio es no biodegradable y viaja a través de la cadena alimenticia. En humanos se ha reportado náusea y vómitos a niveles de 15 ppm de  $Cd^{2+}$ . La intoxicación severa presenta síntomas a concentraciones de 10 a 326 ppm de  $Cd^{2+}$ . Además, tiene un tiempo de vida biológico medio de 10 a 35 años en humanos. Hay evidencia de que el cadmio es un carcinogénico al asimilarse por inhalación. (Obregón Valencia, D. C., 2014)

#### **2.2.10 Prueba de Jarras o Test de Jarras**

Este método permite realizar ajustes en los caudales, las variaciones en la dosis de coagulante (agua residual doméstica) y el agua a tratar (efluente minero), alternando velocidades de mezclado y tiempo, a pequeña escala con el fin de predecir el funcionamiento de una operación a gran escala de tratamiento. Una prueba de jarras simula los procesos de coagulación y floculación que fomentan la eliminación

de los coloides en suspensión y materia orgánica que puede conducir a problemas de turbidez, olor y sabor. (Pérez Gonzáles, L. 2017)

Un arreglo simple de vasos de precipitado y paletas permite comparar varias combinaciones químicas, las cuales todas están sujetas a condiciones hidráulicas similares. Esta prueba se realiza con el fin de determinar la concentración óptima de coagulante necesario para obtener un floc de las mejores características. (Restrepo Osorno, 2009)

## **2.3 Bases Legales**

El presente trabajo de investigación se encuentra dentro de un variado marco normativo ambiental, en seguida se describen las normas más representativas:

### **2.3.1 La Constitución Política (1993)**

Esta norma fundamental de la República del Perú fue aprobada mediante el referéndum del 1993, en el **Artículo 66**, capítulo II – Del Ambiente y los Recursos Naturales, establece que los recursos naturales, renovables y no renovables, son patrimonio de la Nación. El Estado es soberano en su aprovechamiento. Asimismo menciona, que por Ley Orgánica se fijan las condiciones de su utilización y su otorgamiento a particulares. La concesión otorga a su titular un derecho real, sujeto a dicha norma legal.

En el **Artículo 67** del mismo capítulo señala que el Estado determina la política nacional del ambiente y promueve el uso sostenible de sus recursos naturales.

Por otro lado, en el **Artículo 68** (también del capítulo II), establece que el Estado está obligado a promover la conservación de la diversidad biológica y de las áreas naturales protegidas.

### 2.3.2 Ley General del Ambiente – Ley N° 28611

Ley publicada el 15 de octubre del 2005, indica en el **Artículo 47.- Del deber de participación responsable**, (título I, del capítulo 4).

47.1 Toda persona, natural o jurídica, tiene el deber de participar responsablemente en la gestión ambiental, actuando con buena fe, transparencia y veracidad conforme a las reglas y procedimientos de los mecanismos formales de participación establecidos y a las disposiciones de la presente Ley y las demás normas vigentes.

De igual manera en el **Artículo 113.- De la calidad ambiental**, (título III, del capítulo 3).

113.1 Toda persona natural o jurídica, pública o privada, tiene el deber de contribuir a prevenir, controlar y recuperar la calidad del ambiente y de sus componentes.

113.2 Son objetivos de la gestión ambiental en materia de calidad ambiental:

- a) Preservar, conservar, mejorar y restaurar, según corresponda, la calidad del aire, el agua y los suelos y demás componentes del ambiente, identificando y controlando los factores de riesgo que la afecten.
- b) Prevenir, controlar, restringir y evitar según sea el caso, actividades que generen efectos significativos, nocivos o peligrosos para el ambiente y sus componentes, en particular cuando ponen en riesgo la salud de las personas.
- c) Recuperar las áreas o zonas degradadas o deterioradas por la contaminación ambiental.
- d) Prevenir, controlar y mitigar los riesgos y daños ambientales procedentes de la introducción, uso, comercialización y

consumo de bienes, productos, servicios o especies de flora y fauna.

- e) Identificar y controlar los factores de riesgo a la calidad del ambiente y sus componentes.
- f) Promover el desarrollo de la investigación científica y tecnológica, las actividades de transferencia de conocimientos y recursos, la difusión de experiencias exitosas y otros medios para el mejoramiento de la calidad ambiental.

**El Artículo 120.- De la protección de calidad de las aguas** (título III, del capítulo 3).

120.1 El Estado, a través de las entidades señaladas en la Ley, está a cargo de la protección de la calidad del recurso hídrico del país.

120.2 El Estado promueve el tratamiento de las aguas residuales con fines de su reutilización, considerando como premisa la obtención de la calidad necesaria para su reuso, sin afectar la salud humana, el ambiente o las actividades en las que se reutilizarán.

En el **Artículo 123.- De la investigación ambiental científica y tecnológica** (título III, del capítulo 4) establece que la investigación científica y tecnológica esté orientada, en forma prioritaria, a proteger la salud ambiental, optimizar el aprovechamiento sostenible de los recursos naturales y a prevenir el deterioro ambiental, tomando en cuenta el manejo de los fenómenos y factores que ponen en riesgo el ambiente; el aprovechamiento de la biodiversidad, la realización y actualización de los inventarios de recursos naturales y la producción limpia y la determinación de los indicadores de calidad ambiental.

Finalmente en el **Artículo 124.-Del fomento de la investigación ambiental científica y tecnológica** (título III, del capítulo 4) en el numeral 124.1 menciona que le corresponde al Estado y a las

universidades, públicas y privadas, en cumplimiento de sus respectivas funciones y roles, promover:

- a) La investigación y el desarrollo científico y tecnológico en materia ambiental.
- b) La investigación y sistematización de las tecnologías tradicionales.
- c) La generación de tecnologías ambientales.
- d) La formación de capacidades humanas ambientales en la ciudadanía.
- e) El interés y desarrollo por la investigación sobre temas ambientales en la niñez y juventud.
- f) La transferencia de tecnologías limpias.
- g) La diversificación y competitividad de la actividad pesquera, agraria, forestal y otras actividades económicas prioritarias.

### **2.3.3 Decreto Supremo 013-2009-MINAM que Aprueba la Política Nacional del Ambiente**

Publicado el 23 de mayo del 2009, la Política Nacional del Ambiente es el conjunto de lineamientos, objetivos, estrategias e instrumentos que tienen como fin definir y orientar al sector público, privado y a la sociedad civil en material ambiental. Dentro de los 4 ejes principales, el ámbito de la presente investigación aterriza en dos ejes, los cuales se detallan a continuación:

> Eje de Política 1. Conservación y Aprovechamiento Sostenible de los recursos naturales y de la diversidad biológica

#### **5. MINERIA Y ENERGÍA**

d) Fomentar el uso de tecnologías limpias en la actividad minero - energética para minimizar los riesgos e impactos ambientales.

> Eje de Política 2. Gestión integral de la Calidad Ambiental

## 1. CONTROL INTEGRADO DE LA CONTAMINACION

c) Realizar acciones para recuperar la calidad del agua, aire y suelos en áreas afectadas por pasivos ambientales.

f) Promover la inversión privada en procesos productivos que utilicen tecnologías e insumos limpios y el desarrollo de procesos de reconversión de las industrias contaminantes.

## 2. CALIDAD DEL AGUA

c) Promover el conocimiento científico y tecnológico de las medidas de prevención y los efectos de la contaminación del agua, sobre la salud de las personas, los ecosistemas y los recursos naturales.

### **2.3.4 Ley de Recursos Hídricos – Ley Nº 29338**

Publicado el 30 de marzo del 2009, menciona en el **Artículo 82.- Reutilización del agua residual**, (título V).

La Autoridad Nacional, a través del Consejo de Cuenca, autoriza el reúso del agua residual tratada, según el fin para el que se destine la misma, en coordinación con la autoridad sectorial competente y, cuando corresponda, con la Autoridad Ambiental Nacional.

El titular de una licencia de uso de agua está facultado para reutilizar el agua residual que genere siempre que se trate de los mismos fines para los cuales fue otorgada la licencia. Para actividades distintas, se requiere autorización.

La distribución de las aguas residuales tratadas debe considerar la oferta hídrica de la cuenca.

### 2.3.5 Decreto Supremo 010-2010-MINAM que Aprueban la Límites Máximos Permisibles para los efluentes líquidos de Actividades Minero - Metalúrgicas

Publicado el 21 de agosto del 2010, esta normativa dicta los valores límites para los efluentes líquidos generados de las actividades minero - metalúrgicas. En la Tabla N° 2.3: "Límites Máximos Permisibles para la Descarga de Efluentes Líquidos de Actividades Minero - Metalúrgicas", se muestran dichos valores.

**Tabla N° 2.3: Límites Máximos Permisibles para la descarga de Efluentes Líquidos de Actividades Minero - Metalúrgicas**

Parámetro	Unidad	Límite en cualquier momento	Límite para el Promedio Anual
pH	mg/L	6 – 9	6 - 9
Sólidos 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: D.S. 010-2010-MINAM que Aprueban la Límites Máximos Permisibles para los efluentes líquidos de Actividades Minero - Metalúrgicas*



## 2.4 Definiciones de términos básicos

Para el presente marco conceptual se ha tenido en cuenta la revisión de una serie de términos útiles para la investigación científica de los cuales se resalta los siguientes términos más relevantes:

- ❖ **Tratamiento Pasivo:** Un tratamiento pasivo es aquel que no requiere la utilización de reactivos químicos y poco o nada de requerimientos en cuanto a operación y mantenimiento. (Ordoñez, 1999). Usan exclusivamente fuentes de energía disponibles de forma natural, por ejemplo, la gravedad, la energía metabólica microbiana, fotosíntesis, luz solar, etc. (A. S. Sheoran & Sheoran, 2006)
- ❖ **Sinergismo:** aplicado a este proyecto el sinergismo es la mezcla de agua ácida de mina con agua residual doméstica en un sistema de co-tratamiento, mostrando que este tipo de tratamiento combinado tiene muchas ventajas potenciales sobre el tratamiento separado. El mutuo beneficio de la mezcla de estas aguas residuales y las propiedades biogeoquímicas de los tipos de aguas residuales producen sinergias reales en el tratamiento. Por ejemplo, los sólidos en suspensión presentes en las aguas residuales domésticas deben generar flóculos de hierro al entrar en contacto con el Fe del agua ácida de la mina (efluente) acelerando la precipitación de oxihidróxidos. Procesos similares también pueden acelerar la remoción de manganeso. (Younger, P. L., & Henderson, R., 2014)
- ❖ **Tecnologías ex situ o in situ:** Las tecnologías de remediación ex situ implican la remoción del medio contaminado para tratarlo en el lugar, o fuera del lugar de la subsuperficie. Por el contrario, las tecnologías de remediación in situ implican tratar el medio contaminado en su lugar, sin sacarlo de la superficie. A menudo, se prefieren tecnologías de remediación in situ porque alteran

mínimamente las características del lugar, y exponen a la población que lo rodea a la menor cantidad de contaminantes posibles. (Reddy, 2010)

❖ **Pasivos Ambientales Mineros:** Son considerados pasivos ambientales aquellas instalaciones, efluentes, emisiones, restos o depósitos de residuos producidos por operaciones mineras, en la actualidad abandonadas o inactivas y que constituyen un riesgo permanente y potencial para la salud de la población, el ecosistema circundante y la propiedad. (Ley N° 28271 - Ley que regula los pasivos ambientales de la actividad minera, 2004)

❖ **Efluente Líquido de Actividades Minero-Metalúrgicas:** El D.S. N° 010-2010-MINAM, lo define como cualquier flujo regular o estacional de sustancia líquida descargada a los cuerpos receptores, que proviene de:

- a) Cualquier planta de procesamiento de minerales abandonada o inactiva
- b) Cualquier sistema de tratamiento de aguas residuales abandonada o inactiva.
- c) Cualquier depósito de residuos mineros, incluyendo depósitos de relaves, desmontes, escorias y otros;
- d) Cualquier infraestructura auxiliar relacionada con el desarrollo de actividades mineras abandonada o inactiva.

Sus características son:

- a) Alta concentración de metales pesados (Fe, Al, Mn, Zn, Cu, Ni, Pb, etc.).
- b) Alta cantidad de sólidos disueltos.
- c) Cuentan con un potencial de hidrogeno (pH) ácido o básico.
- d) Presentan un color amarillo, naranja y rojo, dependiendo de los niveles de contaminación y del tipo de metal.

- ❖ **Agua Residual Doméstica:** Las aguas residuales domésticas, son aquellas de origen residencial, comercial e institucional que contienen desechos fisiológicos y otros provenientes de la actividad humana (Autoridad Nacional del Agua, 2010)
- ❖ **Límites Máximos Permisibles:** Medida de la concentración o del grado de elementos, sustancias o parámetros físicos, químicos y biológicos, que caracterizan al efluente líquido de actividades minero-metalúrgicas, y que al ser excedida causa o puede causar daños a la salud, al bienestar humano y al ambiente. Su cumplimiento es exigible legalmente por el Ministerio del Ambiente y los organismos que conforman el sistema de gestión ambiental. (D.S. N° 010-2010-MINAM).
- ❖ **Sedimentación:** Proceso de depósito y asentamiento por gravedad de la materia en suspensión en el agua. (OPS, 2005)
- ❖ **Sedimentación simple:** Proceso de depósito de partículas discretas. (OPS, 2005)
- ❖ **Sedimento:** Materiales procedentes de la sedimentación. (OPS, 2005)
- ❖ **Sólidos decantables o sedimentables:** Fracción del total de sólidos en el agua que se separan de la misma por acción de la gravedad, durante un periodo determinado. (OPS, 2005)
- ❖ **Coagulación y floculación:** La coagulación es el proceso de desestabilización y posterior agregación de partículas en suspensión coloidal presentes en el agua para potenciar la etapa de decantación. La desestabilización se consigue neutralizando las cargas eléctricas, con las que dejan de actuar las fuerzas de repulsión, el potencial entre los coloides y la solución se anula permitiendo que los coloides puedan agregarse debido a la atracción entre masas, se cambian las propiedades de los

elementos insolubles como procedimiento previo a la decantación. La coagulación tenderá a agrupar partículas pequeñas en otras mayores y más pesadas, denominadas flóculos, y el sistema será inestable debido a esta agregación de partículas. El proceso de floculación precede al de coagulación. La floculación es la aglomeración de partículas desestabilizadas, primero en microflóculos, y después en flóculos más grandes que tienden a depositarse en los decantadores, en el fondo de los recipientes contruidos para ese fin. Durante el proceso se intenta conseguir flóculos lo más pesados y grandes posibles para facilitar su sedimentación y eliminación. (Devesa-Rey, Rodríguez Rodríguez, & Urréjola Madriñan, 2017)

## CAPÍTULO III

### VARIABLES E HIPÓTESIS

#### 3.1 Variables de la investigación

Las variables que intervienen en el estudio son del tipo cuantitativa. A continuación se dará la definición conceptual de las variables.

➤ **Variable Independiente (X)**

Uso del Agua Residual Doméstica.

➤ **Variable Dependiente (Y)**

Reducción de la concentración de Arsénico y Cadmio presentes en los efluentes generados por pasivos ambientales mineros.

#### 3.2 Operacionalización de variables

La investigación que se realizará será netamente experimental a nivel laboratorio, en ese sentido existe una relación entre las variables dependiente e independiente los cuales se formulan de la siguiente manera:

*Variable Independiente = "X"*

*Variable Dependiente = "Y"*

$$Y = f(X)$$

➤ **Variable Independiente (X)**

<b>Variable Independiente</b>	<b>Dimensiones</b>	<b>Indicador</b>
Uso del Agua residual doméstica	<ul style="list-style-type: none"><li>• 200ml agua residual doméstica.</li><li>• 400ml agua residual doméstica.</li><li>• 600ml agua residual doméstica.</li><li>• 800ml agua residual doméstica.</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Dosis Óptima</li></ul>

*Fuente: Elaboración propia*

Para una muestra total de un (1) litro.

➤ **Variable Dependiente (Y)**

<b>Variable Dependiente</b>	<b>Dimensiones</b>	<b>Indicador</b>
Reducción del Arsénico y Cadmio	<ul style="list-style-type: none"><li>• Reducción de las concentraciones</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Concentración de Arsénico y Cadmio (metales pesados)</li></ul>

*Fuente: Elaboración propia*

### **3.3 Hipótesis**

“El uso de agua residual doméstica reducirá la concentración de Arsénico y Cadmio presentes en los efluentes generados por pasivos ambientales mineros”.

## **CAPÍTULO IV**

### **METODOLOGÍA**

#### **4.1 Tipo de investigación**

Para realizar la definición del tipo de investigación de la presente tesis se realizó diversas consultas bibliográficas, de donde se concluye que el tipo de investigación que se desarrolló en el presente trabajo es de tipo analítico experimental, correlacional y a nivel de laboratorio, a fin de obtener diferentes escenarios de trabajo.

#### **4.2 Diseño de investigación**

Después de determinar el planteamiento del problema, se estableció el alcance inicial de la investigación, formulando la hipótesis, seguidamente pasamos a diseñar nuestra investigación, esto permitirá demostrar la hipótesis planteada, de igual modo esclarecer los objetivos específicos:

- Caracterizar el efluente generado por pasivos ambientales mineros (bocamina abandonada y no cerrada) de la quebrada Viso.
- Caracterizar el agua residual doméstica a utilizar.
- Determinar la dosis óptima de mezcla entre el efluente generado por pasivos ambientales mineros de la quebrada Viso y el agua residual doméstica.

- Cuantificar el porcentaje de reducción de Arsénico y Cadmio (metales pesados) de los efluentes tratados con agua residual doméstica.

Para plantear el diseño de la investigación se tuvo que considerar diversos aspectos que intervienen directa e indirectamente en la ejecución de la experimentación, como la caracterización del efluente generado por los pasivos ambientales mineros de la quebrada Viso - distrito de San Mateo y la del agua residual doméstica, la selección de los parámetros a reducir y las experiencias a nivel de laboratorio, los cuales se explican más adelante, en el **ítem 4.5**.

### 4.3 Población y muestra

#### ➤ Población

Todos los efluentes generados por Pasivos Ambientales Mineros que desembocan en la Quebrada Viso - distrito de San Mateo.

#### ➤ Muestra

El efluente minero generado de la bocamina abandonada y no cerrada (Pasivo Ambiental Minero) ubicada a 24 metros de la Quebrada Viso - Distrito San Mateo. Para la experiencia en el laboratorio, se usaron en total 12 litros del efluente minero.

**Tabla N° 4.1: Ubicación del Punto de Toma de Muestra del Efluente Minero (Bocamina Abandona)**

Ubicación del Punto de Toma del Efluente Minero				
	Coordenadas UTM WGS84 - Zona 18S		Altitud (msnm)	Descripción
	Este (m)	Norte (m)		
<b>Punto de Toma de Muestra</b>	354338	8694564	2772	Bocamina abandonada y no cerrada (Pasivo Ambiental Minero) ubicada a 24 metros de la Quebrada Viso - Distrito San Mateo

Fuente: *Elaboración propia*



## 4.4 Técnicas e instrumentos de recolección de datos

### 4.4.1 Materiales y equipos

Los materiales y equipos de laboratorio que se usaron durante la parte experimental y analítica, se detallan a continuación:

➤ **Materiales:**

- Envases de PVC de 500 ml de color blanco para la toma de muestras del agua a analizar. (número de envases: 22)
- Galoneras de PVC de 10 galones color oscuro para las muestras de agua (efluente minero y agua residual doméstica).
- Reactivos ( $\text{HNO}_3$  para la preservación del efluente minero y del agua tratada y  $\text{H}_2\text{SO}_4$  para la preservación del agua residual doméstica)
- Vasos de precipitado de 1 litro (6 vasos)
- Jeringas de 60 ml.
- Rotuladores.
- Cámara fotográfica

➤ **Equipos:**

- Medidor de pH marca Hanna Instruments (Modelo: HI 9811-5)
- Equipo de prueba de jarras
- Servicio de análisis de laboratorio, para el análisis de: concentración de Arsénico y Cadmio (metales pesados).

### 4.4.2 Técnicas analíticas

Las técnicas que se utilizaron para determinar la concentración de los metales en estudio (As y Cd) se detallan a continuación en la siguiente tabla:

**Tabla N° 4.2: Técnicas Analíticas**

Parámetro	Equipo	Método	Técnica Analítica
Arsénico	Espectrofotómetro	Espectrofotometría de absorción atómica con generador de hidruro	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 3114 C, 23 rd Ed. 2017
Cadmio		Espectrofotometría de absorción atómica por flama	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 3090 E. / Part 3111B, 23 rd Ed. 2017

Fuente: Elaboración propia

#### 4.4.3 Instrumentos de recolección de datos

Los instrumentos que se usaron para la recolección de datos y las técnicas usadas son:

**Tabla N° 4.3: Instrumentos de Recolección de Datos**

Instrumento	Uso	Técnica
Equipo de Prueba de Jarras	Simular los procesos de coagulación, floculación y sedimentación a nivel de laboratorio, para la obtención de la dosis óptima.	Prueba de Jarras (Test de Jarras)

Fuente: Elaboración propia

#### 4.5 Procedimiento de recolección de datos

##### 4.5.1 Toma de muestra del Efluente Minero

La muestra del efluente minero fue tomada en un punto donde la corriente principal era homogénea (evitando aguas estancadas y poco profundas), usando un recipiente de plástico de 1 Litro, seguidamente para preservar la muestra se le agregó 10 gotas de HNO<sub>3</sub> a 0.1 molar, para luego refrigerar. Antes de colectar la muestra, los frascos fueron enjuagados 2 veces. (Protocolo Nacional para el Monitoreo de la Calidad de los Recurso Hídricos, 2016)

**Tabla N° 4.4: Ubicación de la Toma de Muestra del Efluente Minero**

<b>Ubicación de la Toma de Muestra del Efluente Minero</b>				
<b>Código de Toma de Muestra</b>	<b>Coordenadas UTM WGS84 - Zona 18S</b>		<b>Altitud (msnm)</b>	<b>Descripción</b>
	<b>Este (m)</b>	<b>Norte (m)</b>		
EM-00*	354338	8694564	2772	Bocamina abandonada y no cerrada (Pasivo Ambiental Minero) ubicada a 24 metros de la Quebrada Viso - Distrito San Mateo
EM-01				
EM-02				

\*EM-00 = DAM-01 (Código establecido al iniciar la investigación)

Fuente: Elaboración propia

#### **4.5.2 Selección de metales pesados a reducir**

Del análisis cuantitativo realizado a los EM, los resultados evidenciaron una alta concentración de arsénico y cadmio (metales pesados) en dichas aguas residuales. En ese sentido, en el presente trabajo de investigación se optó por reducir la concentración de estos parámetros en mención (arsénico y cadmio), los cuales superan los Límites Máximos Permisibles para los efluentes líquidos de Actividades Minero – Metalúrgicas (D.S. N° 010-2010-MINAM).

#### **4.5.3 Toma de muestra del Agua Residual Doméstica**

Las ARD que se usaron en la presente investigación, fueron recolectadas del punto de captación de aguas residuales de la PTAR - FIARN, dichas aguas son provenientes de los servicios higiénicos de la FIEE de la UNAC. Dicho punto está ubicado a 20 metros aproximadamente de los servicios higiénicos. Para más detalle ver la Tabla N° 4.5 y Figura N° 1.

Se tomaron doce (12) muestras en total de ARD, para esto se usaron frascos de plástico y de vidrio, ambos de 1 Litro de capacidad.

**Tabla N° 4.5: Ubicación de la Toma de Muestra del Agua Residual Doméstica**

<b>Ubicación de la Toma de Muestra del Agua Residual Doméstica</b>				
	<b>Coordenadas UTM WGS84 - Zona 18S</b>		<b>Altitud (msnm)</b>	<b>Descripción</b>
	<b>Este (m)</b>	<b>Norte (m)</b>		
<b>Punto de Toma de Muestra</b>	269508	8665731	28	Punto de salida de las aguas residuales domésticas, ubicado a 20 metros aproximadamente de los servicios higiénicos de la Facultad de Ingeniería Eléctrica y Electrónica

*Fuente: Elaboración propia*

**Figura N° 1: Ubicación del punto de captación del Agua Residual Doméstica**



*Fuente: Elaboración propia*

#### **4.5.4 Estimación de la dosis óptima de mezcla entre el efluente minero y el agua residual doméstica**

##### **Prueba de Jarras**

La dosis óptima de mezcla corresponde a aquella que produzca la menor turbiedad final. (Restrepo Osorno, 2009)

Para determinar la proporción óptima de mezcla entre el ARD y el EM, se utilizó el “Test de Jarras”, la mezcla se realizó a diferentes cantidades, sumando entre ambas 1000 ml (equivalente a 1 Litro) en cada experiencia, donde la turbidez observada fue el principal indicador que se tomó en cuenta para comparar las diferentes velocidades de sedimentación.

El número de mezclas y las proporciones se especifican en la Tabla N° 4.6:

**Tabla N° 4.6: Número de tratamientos y proporciones entre el entre el Efluente Minero y las Aguas Residuales Domésticas**

N° de Tratamiento	Código	Tipo de Agua Residual	
		Efluente Minero (ml)	Agua Residual Doméstica (ml)
M <sub>1</sub>	2ARD/8EF	800	200
M <sub>2</sub>	4ARD/6EF	600	400
M <sub>3</sub>	6ARD/4EF	400	600
M <sub>4</sub>	8ARD/2EF	200	800

*Nota: Todas las mezclas siempre sumarán 1 Litro*

*Fuente: Elaboración propia*

*ARD: Agua Residual Doméstica.*

*EF: Efluente Minero.*

#### **4.5.5 Cuantificación del porcentaje de reducción de arsénico y cadmio del efluente minero**

##### **Repeticiones del Tratamiento Óptimo**

Se procedió a realizar las diez (10) repeticiones del tratamiento óptimo (con la dosis óptima de mezcla obtenida en el Test de Jarras), con la finalidad de evaluar estadísticamente la variación significativa de la reducción de Arsénico y Cadmio (metales pesados).

Las muestras fueron extraídas de los vasos de precipitación con la ayuda de jeringas y depositadas en frascos de plástico de 500 ml y preservadas con 10 gotas de HNO<sub>3</sub> a 0.1M, para luego ser transportadas al laboratorio ALAB (Analytical Laboratory E.I.R.L.).

Se calculó el porcentaje de reducción de As y Cd del agua tratada, en función a los valores iniciales (antes del tratamiento) del EM y los resultados obtenidos (después del tratamiento).

Se empleó la siguiente fórmula:

$$\% \textit{Reducción} = \frac{C_o - C_f}{C_o} \times 100\%$$

Dónde:

C<sub>o</sub>: Concentración inicial de As y Cd en mg/L (según parámetro)

C<sub>f</sub>: Concentración final de As y Cd en mg/L (según parámetro)

#### **4.6 Procesamiento estadístico y análisis de datos**

Para el análisis de datos, en primer lugar se tiene que conocer la naturaleza de los indicadores (o variables según bibliografía estadística) con los que se trabaja, vale decir, la escala de medida de las mismas. En el caso de la búsqueda de relaciones o diferencias entre variables (bivariantes o multivariante), esta escala determina el tipo de análisis estadístico a realizar. De igual manera, la descripción de los indicadores (análisis univariante) utiliza diferentes procedimientos según naturaleza. (Arriaza Balmén, 2006)

##### **4.6.1. Análisis univariado**

Como su nombre indica, el análisis univariante, estudia la distribución individual de cada variable. Este análisis se centra en dos aspectos: la tendencia central de la distribución y su dispersión. En el primer caso hablamos de un valor característico o medio de la distribución,

en el segundo de la variabilidad interna de los datos (Arriaza Balmén, 2006). Generalmente esto involucra revisar las estadísticas básicas y gráficas, claves para cada experiencia. Este procedimiento tiene como propósito general distinguir en los datos, características muy marcadas o comportamientos inusuales (Francisco & Roddy, 2013).

Es por ello que se ha considerado el siguiente análisis para el procesamiento de la información:

- ✓ Estadísticas básicas (medias, desviación estándar)
- ✓ Calidad de ajustes de regresión lineal simple

#### 4.6.2. Modelo estadístico

Se empleó el siguiente modelo estadístico:

$$Y_{ij} = \mu + \tau_i + \epsilon_{ij}$$

$$i = 1, 2, 3, \dots, t \quad j = 1, 2, 3, \dots, r_i$$

Dónde:

$Y_{ij}$ : Valor observado en la j-ésima repetición para el i-ésimo tratamiento.

$\mu$ : Efecto de la media general.

$\tau_i$ : Efecto del i-ésimo tratamiento.

$\epsilon_{ij}$ : Efecto aleatorio del error experimental con el j-ésima repetición con el i-ésimo tratamiento.

$t$ : Número de tratamientos.

$r_i$ : Número de repeticiones del i-ésimo tratamiento.

El efecto del i-ésimo tratamiento está dado por  $t$ , siendo la expresión:

$t = \mu_i - \mu$ , donde  $\mu_i$  es la medida del i-ésimo tratamiento y  $\mu$  la media general.

**Tabla N° 4. 7: Análisis de Varianza**

Fuentes de Variación	Grados de Libertad	Suma de Cuadrados	Cuadrados Medios	F Calculado	F Tabla	
			C.M. = S.C./G.L.		1%	5%
Tratamiento	$t - 1$	$SC_{Trat} = \frac{\sum(Yi.)^2}{r} - FC$	$\frac{S.C(trat)}{G.L(trat)}$	$FC = \frac{CM_{Trat}}{CME}$		
Error	$t(r - 1)$	$SC_{total} - SC_{tratamiento}$	$\frac{S.C(Error)}{G.L(Error)}$			
Total	$tr - 1$	$\sum(Yij)^2 - FC$				

Fuente: (Contreras Sanabria & Gutierrez Mayta, 2015)

**Figura N° 2: Análisis de Varianza**



Fuente: Estadística Aplicada a la Investigación (2017)

#### 4.6.3. Método de Tukey

El análisis de varianza es una técnica para análisis de datos, donde se prueba la hipótesis nula que “todos los tratamientos son iguales, contra la hipótesis alternativa que “al menos uno de los tratamientos es distinto a los demás”. (Díaz, 2009)



Lamentablemente, el objetivo deseado al realizar el experimento (encontrar el o los mejores tratamientos), no se puede cumplir. Para ello es necesario realizar un procedimiento adicional, llamado Prueba de medias. Existe una gran cantidad de pruebas de medias, pero quizá el más conocido es el método de Tukey. Esta prueba fue desarrollada por John W. Tukey. (Díaz, 2009)

Se calcula un valor llamado el comparador de Tukey, de la siguiente manera: (18)

$$W = q \times \sqrt{\frac{CME}{r}}$$

Dónde:

q: es un valor que se obtiene de una tabla (Tabla de Tukey), de manera parecida a la tabla de F. Horizontalmente se colocan los grados de libertad de los tratamientos y verticalmente los grados de libertad del error. Solamente existen tablas para niveles de significancia del 5% y del 1%. (Díaz, 2009)

El término que está dentro de la raíz cuadrada se llama error estándar de la media y es igual al cuadrado medio del error (obtenido en el ANOVA), dividido entre el número de repeticiones. (Terrádez & Juan, 2003)

Si la diferencia entre dos promedios es mayor que el comparador, se concluye que los dos promedios no son iguales, en caso contrario se concluye que sí son iguales.

Se utiliza el mismo comparador para todos los pares de promedios que se comparan. Pero ésta fórmula solamente es válida para el caso de experimentos con igual número de repeticiones. (Díaz, 2009)

#### 4.6.4. Software estadístico

Con la obtención de los datos en los distintos experimentos, se realizarán los respectivos gráficos y tablas para su discusión. Para el procesamiento de todos los datos se aplicará un análisis de media, varianza y desviación estándar utilizándose según su funcionalidad los programas estadísticos Minitab18, Microsoft Office Excel 2016 y SPSS versión 2013.

#### 4.6.5. Prueba de hipótesis

Para cualquier tipo de prueba estadística se contrasta el valor estadístico con el valor teórico, en caso de seguir una distribución determinada. Los conceptos vinculados a una prueba de hipótesis son:

- **Valor calculado de un estadístico:** Es el valor que se obtiene a partir de los datos de la muestra aplicando una fórmula matemática.
- **Valor crítico estadístico:** Es el valor que deja a la derecha de la distribución (o a la izquierda si es negativo) un porcentaje del área total de la misma.  
Este porcentaje representa la probabilidad de exceder ese valor crítico y se denomina nivel de significancia.
- **Hipótesis nula (H<sub>0</sub>):** Aquella que rechazamos si el valor calculado del estadístico excede el valor crítico del mismo.
- **Hipótesis alternativa (H<sub>1</sub>):** Aquella que aceptamos cuando rechazamos la hipótesis nula.(M. Flores et al., 2016)

## **CAPÍTULO V**

### **RESULTADOS**

Para la elaboración del presente capítulo, compete la evaluación del efluente minero antes y después de la mezcla con el agua residual doméstica. Esto con el objetivo de analizar la eficiencia en la reducción de la concentración de Arsénico y Cadmio (metales pesados) presentes en los efluentes generados por pasivos ambientales mineros; tomando como fundamento la prueba de jarras a diferentes proporciones y los reportes de laboratorio de los tratamientos M<sub>1</sub>, M<sub>2</sub>, M<sub>3</sub> y M<sub>4</sub>, desarrolladas en el laboratorio, así como también, los porcentajes de eficiencia.

#### **5.1 Evaluación de los parámetros de los efluentes generados por pasivos ambientales mineros de la quebrada Viso - distrito de San Mateo**

Las tres (03) muestras de los efluentes mineros (en adelante EM) fueron analizada el 14 de noviembre del presente año (2018), por ALAB (Analytical Laboratory E.I.R.L.). Los valores obtenidos se muestran en la Tabla N° 5.1, estos valores fueron comparados con los establecidos en la norma (D.S. N° 010-2010-MINAM, "Límites Máximos Permisibles para la Descarga de Efluentes Líquidos de Actividades Minero - Metalúrgicas" en adelante LMP).

**Tabla N° 5.1: Valores registrados en las distintas muestras de los Efluentes Mineros**

Código	Unidad	Concentración	
		Arsénico (As)	Cadmio (Cd)
EM - 00	mg/L	18	4
EM - 01	mg/L	16	6
EM - 02	mg/L	17.40	4
<b>PROMEDIO</b>		<b>17.10</b>	<b>4.60</b>

*Fuente: Elaboración propia*

*DAM-01= EM-00*

Obtenidos los reportes de laboratorio y con ello, los valores finales (concentraciones) de Arsénico y Cadmio después del tratamiento, se halló el promedio de estos valores. Ver Tabla N° 5.1.

Los valores obtenidos para Arsénico (17.10 mg/L) y Cadmio (4.60 mg/L), fueron considerados como los valores iniciales de concentración para los metales en estudio en las futuras experiencias.

## **5.2 Evaluación de los parámetros del agua residual doméstica**

El día 14 de noviembre del 2018 se tomaron dos muestras de agua residual doméstica, las cuales fueron analizadas por ALAB (Analytical Laboratory E.I.R.L.). Los resultados obtenidos se muestran a continuación. •Se caracterizó el agua residual doméstica captada (del punto de salida) de los servicios higiénicos de la Facultad de Ingeniería Eléctrica y Electrónica de la Universidad Nacional del Callao. Los valores fueron los siguientes: Aceites y Grasas 36.45 mg/L, Coliformes Termotolerantes 1450000 NMP/100mL, DBO5 194.15 mg/L, DQO 998 mg/L, pH 8.47 y STS 242 mL/L.

**Tabla N° 5.2: Valores registrados en las Aguas Residuales Domésticas**

Parámetro	Unidad	Muestra	
		ARD-1	ARD-2
Aceites y Grasas	mg/L	48.80	24.10
Coliformes Termotolerantes	NMP/100 mL	1700000	1200000
DBO <sub>5</sub>	mg/L	206.3	182.0
DQO	mg/L	944	1052
pH	----	8.74	8.20
STS	mL/L	221	263

*Fuente: Elaboración propia*

Obtenidos los reportes de laboratorio, se halló el promedio de estos valores. Los valores de concentración considerados para el agua residual doméstica fueron los siguientes: Aceites y Grasas 36.45 mg/L, Coliformes Termotolerantes 1450000 NMP/100mL, DBO<sub>5</sub> 194.15 mg/L, DQO 998 mg/L, pH 8.47 y STS 242 mL/L.

### 5.3 Evaluación de la dosis óptima de mezcla entre el efluente minero y el agua residual doméstica

Para la Determinación de la Dosis Óptima, se realizaron simulaciones con el equipo de pruebas de jarras, a diferentes proporciones y con tres repeticiones para cada una, dando diferentes resultados tal como se observa en la Tabla N° 5.3.

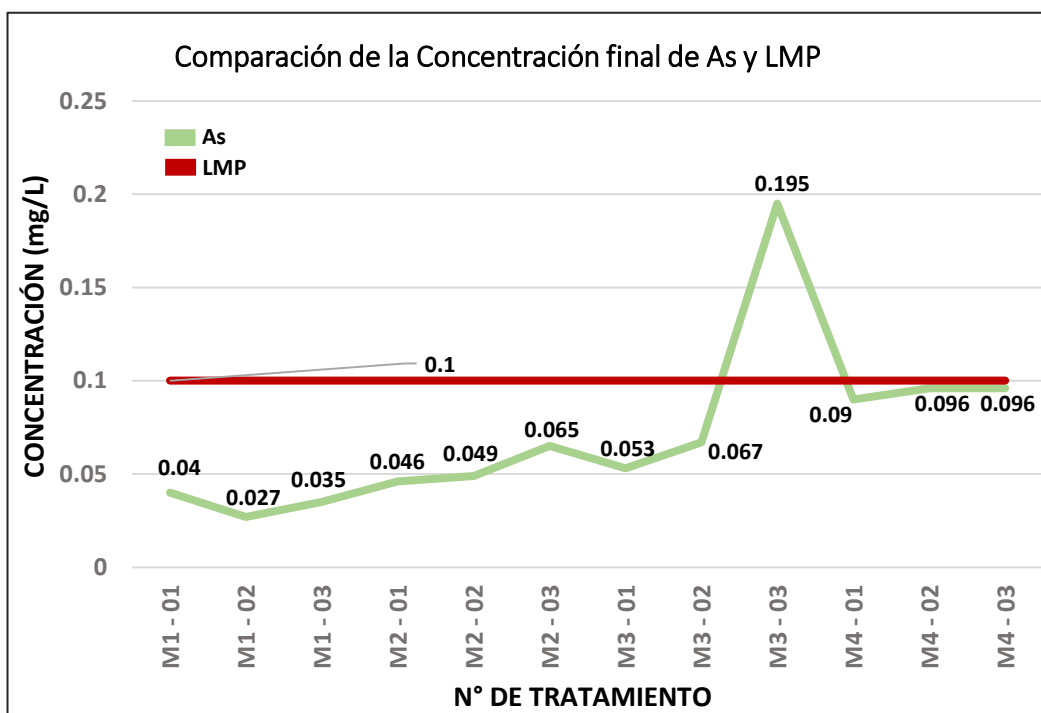
**Tabla N° 5.3: Concentración Final de Arsénico después de la Prueba de Jarras**

N° de Tratamiento	Tipo de Agua Residual		Parámetro	
	Efluente Minero (ml)	Agua Residual Doméstica (ml)	C <sub>o</sub> de As (mg/L)	C <sub>f</sub> de As (mg/L)
M <sub>1</sub> - 01	800	200	17.10	0.040
M <sub>1</sub> - 02	800	200	17.10	0.027
M <sub>1</sub> - 03	800	200	17.10	0.035

N° de Tratamiento	Tipo de Agua Residual		Parámetro	
	Efluente Minero (ml)	Agua Residual Doméstica (ml)	C <sub>o</sub> de As (mg/L)	C <sub>f</sub> de As (mg/L)
M <sub>2</sub> - 01	600	400	17.10	0.046
M <sub>2</sub> - 02	600	400	17.10	0.049
M <sub>2</sub> - 03	600	400	17.10	0.065
M <sub>3</sub> - 01	400	600	17.10	0.053
M <sub>3</sub> - 02	400	600	17.10	0.067
M <sub>3</sub> - 03	400	600	17.10	0.195
M <sub>4</sub> - 01	200	800	17.10	0.090
M <sub>4</sub> - 02	200	800	17.10	0.096
M <sub>4</sub> - 03	200	800	17.10	0.096

Fuente: Elaboración propia

**Gráfico N° 1: Comparación de la concentración final de Arsénico y los Límites Máximos Permisibles**



Fuente: Elaboración propia

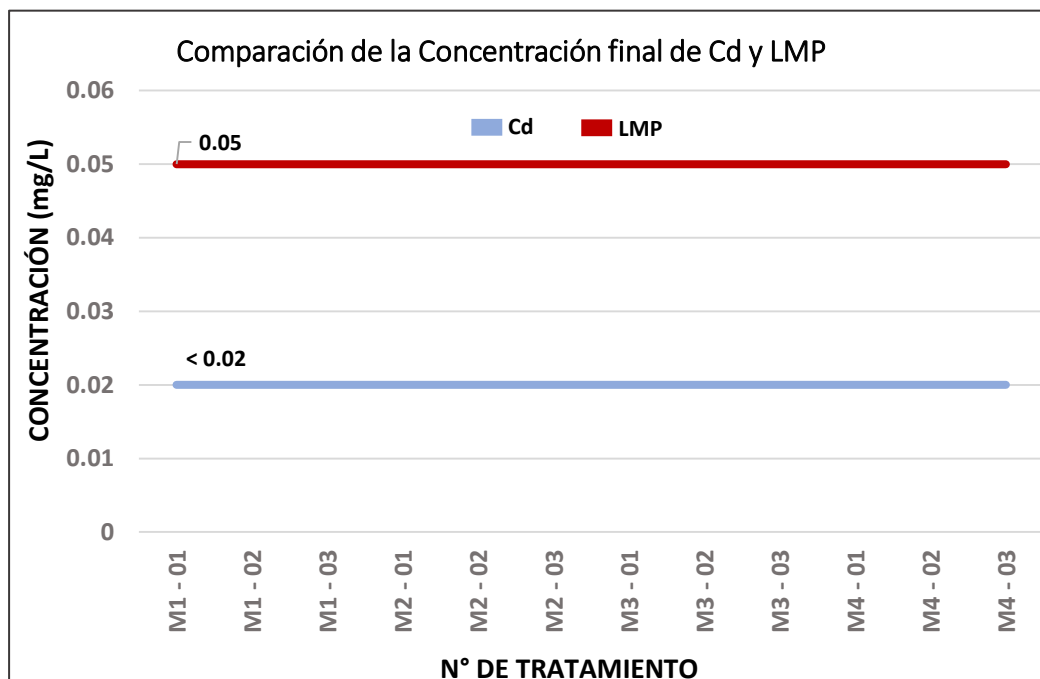
En la Tabla N° 5.4, se muestra la concentración final de Cadmio después del Test de Jarras para cada tratamiento y en el Gráfico N° 4, se observa la comparación con los Límites Máximos Permisibles.

**Tabla N° 5.4: Concentración Final de Cadmio después de la Prueba de Jarras**

N° de Tratamiento	Tipo de Agua Residual		Parámetro	
	Efluente Minero (ml)	Agua Residual Doméstica (ml)	C <sub>o</sub> de Cd (mg/L)	C <sub>f</sub> de Cd (mg/L)
M <sub>1</sub> - 01	800	200	4.60	0.02
M <sub>1</sub> - 02	800	200	4.60	0.02
M <sub>1</sub> - 03	800	200	4.60	<0.02
M <sub>2</sub> - 01	600	400	4.60	<0.02
M <sub>2</sub> - 02	600	400	4.60	<0.02
M <sub>2</sub> - 03	600	400	4.60	<0.02
M <sub>3</sub> - 01	400	600	4.60	<0.02
M <sub>3</sub> - 02	400	600	4.60	<0.02
M <sub>3</sub> - 03	400	600	4.60	<0.02
M <sub>4</sub> - 01	200	800	4.60	<0.02
M <sub>4</sub> - 02	200	800	4.60	<0.02
M <sub>4</sub> - 03	200	800	4.60	<0.02

Fuente: Elaboración propia

**Gráfico N° 2: Comparación de la concentración final de Cadmio y los Límites Máximos Permisibles**



Fuente: Elaboración propia

De esta experiencia, se obtuvo que la **dosis óptima** de mezcla se dio en el **Tratamiento N° M<sub>1</sub>**, cuya relación es de 1 vez el volumen de ARD sobre 4 veces el volumen del EM, a una velocidad de 100 RPM (Ejemplo: por cada 200 ml de ARD se deben incorporar 800 ml de EM).

Esta experiencia fue muy determinante en relación con la sedimentación del material en suspensión (floc).

#### 5.4 Evaluación de la calidad del agua tratada

En la Tabla 5.5, se aprecian la concentración inicial y final de Arsénico y Cadmio, en función a las repeticiones del tratamiento del efluente minero:



**Tabla N° 5.5: Evaluación de la calidad**

N°	N° de Repetición	Parámetro			
		C <sub>o</sub> de As (mg/L)	C <sub>f</sub> de As (mg/L)	C <sub>o</sub> de Cd (mg/L)	C <sub>f</sub> de Cd (mg/L)
1	M <sub>11</sub>	17.10	<0.002	4.60	<0.02
2	M <sub>12</sub>	17.10	<0.002	4.60	<0.02
3	M <sub>13</sub>	17.10	<0.002	4.60	<0.02
4	M <sub>14</sub>	17.10	<0.002	4.60	<0.02
5	M <sub>15</sub>	17.10	<0.002	4.60	<0.02
6	M <sub>16</sub>	17.10	<0.002	4.60	<0.02
7	M <sub>17</sub>	17.10	<0.002	4.60	<0.02
8	M <sub>18</sub>	17.10	<0.002	4.60	<0.02
9	M <sub>19</sub>	17.10	<0.002	4.60	<0.02
10	M <sub>110</sub>	17.10	<0.002	4.60	<0.02

Fuente: Elaboración propia

### 5.5 Evaluación del porcentaje de reducción - eficiencia

A continuación en la Tabla 5.6, calculamos el porcentaje de reducción de Arsénico y Cadmio del agua tratada, en función a los valores iniciales (antes del tratamiento) del Efluente Minero y los resultados obtenidos (después del tratamiento). Ver Tabla N° 5.7 y Gráfico N° 5 y N° 6.

**Tabla N° 5.6: Porcentaje de reducción luego del tratamiento del Efluente Minero con Agua Residual Doméstica**

N° de Repetición	Metal Pesado	C <sub>o</sub> (mg/L)	C <sub>f</sub> (mg/L)	% de Reducción	D.S. N° 010-2010-MINAM (mg/L)
M <sub>11</sub>	As	17.10	0.002	99.99	0.1
	Cd	4.60	0.020	99.57	0.05
M <sub>12</sub>	As	17.10	0.002	99.99	0.1
	Cd	4.60	0.020	99.57	0.05
M <sub>13</sub>	As	17.10	0.002	99.99	0.1
	Cd	4.60	0.020	99.57	0.05
M <sub>14</sub>	As	17.10	0.002	99.99	0.1
	Cd	4.60	0.020	99.57	0.05

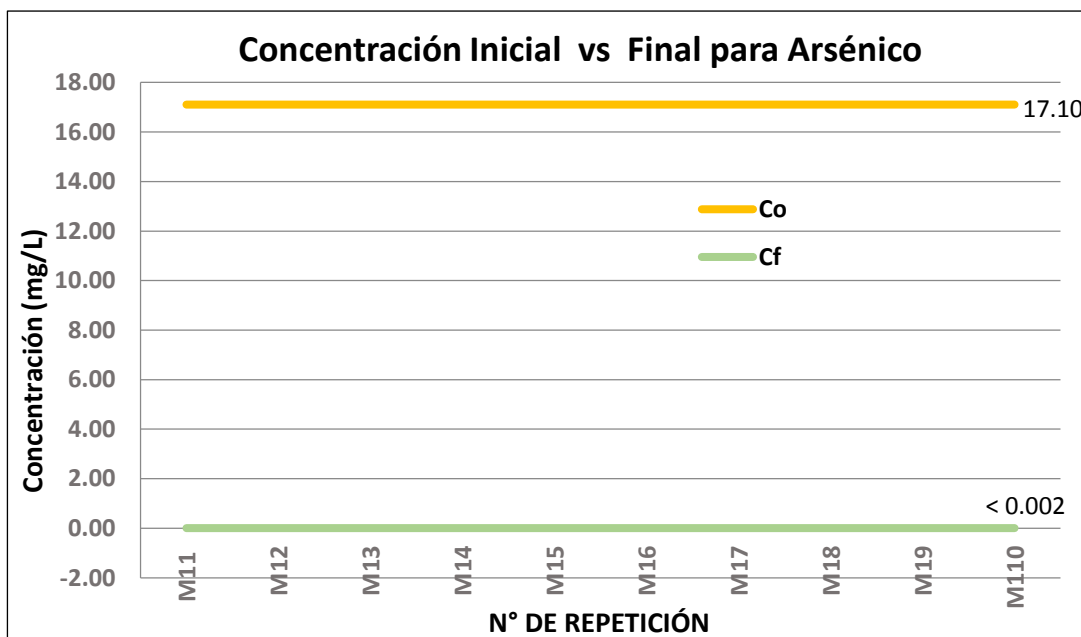
N° de Repetición	Metal Pesado	C <sub>o</sub> (mg/L)	C <sub>f</sub> (mg/L)	% de Reducción	D.S. N° 010-2010-MINAM (mg/L)
M <sub>15</sub>	As	17.10	0.002	99.99	0.1
	Cd	4.60	0.020	99.57	0.05
M <sub>16</sub>	As	17.10	0.002	99.99	0.1
	Cd	4.60	0.020	99.57	0.05
M <sub>17</sub>	As	17.10	0.002	99.99	0.1
	Cd	4.60	0.020	99.57	0.05
M <sub>18</sub>	As	17.10	0.002	99.99	0.1
	Cd	4.60	0.020	99.57	0.05
M <sub>19</sub>	As	17.10	0.002	99.99	0.1
	Cd	4.60	0.020	99.57	0.05
M <sub>110</sub>	As	17.10	0.002	99.99	0.1
	Cd	4.60	0.020	99.57	0.05

Fuente: Elaboración propia

M = Agua Tratada con Agua Residual Domestica.

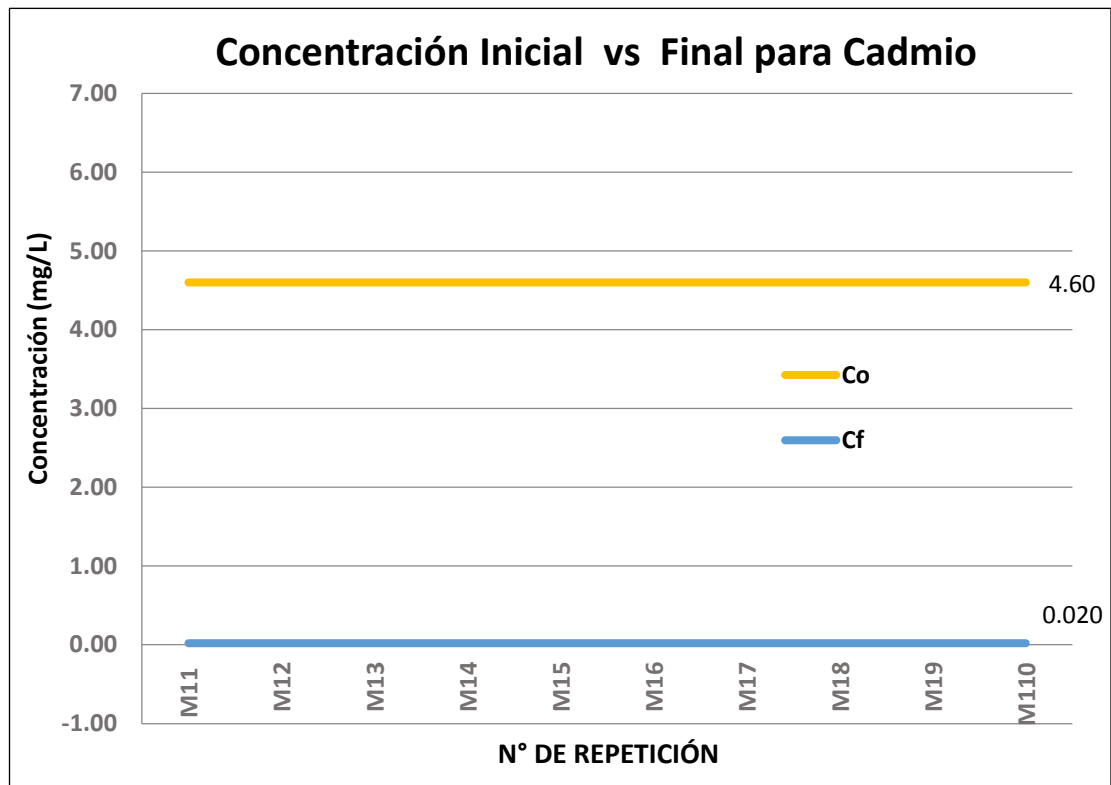
Con la ayuda de los datos obtenidos de los reportes de laboratorio, elaboramos el gráfico en base a la concentración inicial y final de Arsénico y Cadmio.

**Gráfico N° 3: Comparación de la Concentración Inicial (C<sub>o</sub>) y Final de Arsénico (C<sub>f</sub>)**



Fuente: Elaboración propia

**Gráfico N° 4: Comparación de la Concentración Inicial y Final de Cadmio**



Fuente: Elaboración propia

## **CAPÍTULO VI**

### **DISCUSIÓN DE RESULTADOS**

En este capítulo se analizó de manera minuciosa y a mayor precisión los resultados obtenidos en las pruebas desarrolladas. De igual manera se realizó una comparación con la normativa ambiental vigente (LMP) y otras experiencias; con el objetivo de poder constatar la hipótesis propuesta.

#### **6.1 Contrastación de la hipótesis con los resultados**

Se debe considerar que esta investigación tiene como objetivo cuantificar en qué medida el uso del agua residual doméstica reducirá la concentración de Arsénico y Cadmio (metales pesados) presente en los efluentes mineros. El estudio de los metales se hizo en conjunto, debido a que el agua residual doméstica influye sobre ambos parámetros a la vez.

Para validar nuestros datos de dosis óptima utilizamos la “Prueba de Tukey”, a un nivel de confianza del 95%.

En ambos dos casos (As y Cd) se realizó la corrida de datos en el programa Minitab versión 18 y Microsoft Excel, para estimar las pruebas de normalidad, la varianza y la independencia de errores.

##### **6.1.1 Evaluación de la dosis óptima**

De los resultados obtenidos de las pruebas de laboratorio, se procedió a procesar los datos con el programa Minitab 18. Para más detalle ver la Tabla N° 6.1:

**Tabla N° 6.1: Resultados de los tratamientos ingresados al Minitab 18**

<b>Metal</b>	<b>N° de Ensayo</b>	<b>Tratamiento</b>	<b>Concentración</b>
As	M <sub>1</sub> - 01	1	0.040
As	M <sub>1</sub> - 02	1	0.027
As	M <sub>1</sub> - 03	1	0.035
As	M <sub>2</sub> - 01	2	0.046
As	M <sub>2</sub> - 02	2	0.049
As	M <sub>2</sub> - 03	2	0.065
As	M <sub>3</sub> - 01	3	0.053
As	M <sub>3</sub> - 02	3	0.067
As	M <sub>3</sub> - 03	3	0.195
As	M <sub>4</sub> - 01	4	0.090
As	M <sub>4</sub> - 02	4	0.096
As	M <sub>4</sub> - 03	4	0.096
Cd	M <sub>1</sub> - 01	1	0.020
Cd	M <sub>1</sub> - 02	1	0.020
Cd	M <sub>1</sub> - 03	1	0.020
Cd	M <sub>2</sub> - 01	2	0.020
Cd	M <sub>2</sub> - 02	2	0.020
Cd	M <sub>2</sub> - 03	2	0.020
Cd	M <sub>3</sub> - 01	3	0.020
Cd	M <sub>3</sub> - 02	3	0.020
Cd	M <sub>3</sub> - 03	3	0.020
Cd	M <sub>4</sub> - 01	4	0.020
Cd	M <sub>4</sub> - 02	4	0.020
Cd	M <sub>4</sub> - 03	4	0.020

*Fuente: Elaboración propia*

Se agrupó la información a fin de poder determinar el Análisis de Varianza y evaluar los tratamientos (diferentes proporciones entre efluente minero y agua residual doméstica) a través de la Prueba de Tukey a una confianza del 95%. Ver Figura N° 3:

**Figura N° 3: Resultados ANOVA y Análisis de Varianza**

<b>ANOVA: Concentraciones vs. Metal; Repetición de los tratamientos</b>					
Factor	Tipo	Niveles	Valores		
Metal	fijo	2	As; Cd		
Repetición de los tratamientos	fijo	4	1; 2; 3; 4		
Análisis de varianza de Concentraciones					
Fuente	GL	SC	CM	F	P
Metal	1	0.0159650	0.0159650	17.22	0.001
Repetición de los tratamientos	3	0.0050471	0.0016824	1.81	0.179
Error	19	0.0176138	0.0009270		
Total	23	0.0386260			
S = 0.0304474    R-cuad. = 54.40%    R-cuad.(ajustado) = 44.80%					

Fuente: Elaboración propia – Minitab 18

De los datos obtenidos de la Figura N° 3, calcularemos el F de Fisher Calculado, en ese sentido se procedió a calcular el F Crítico para los Metales (Arsénico y Cadmio) y los Tratamientos (M<sub>1</sub>, M<sub>2</sub>, M<sub>3</sub> y M<sub>4</sub>) con los Grados de Libertad obtenidos en la prueba anterior, para saber si la media de los tratamientos o de los metales son diferentes. Dichos valores se aprecian en la Tabla N° 6.2.

**Tabla N° 6.2: Valores del F. Critico calculados en Excel**

Factor Evaluado	F. Critico
Metal	4.380749
Tratamiento	3.127350

Fuente: Elaboración propia

Luego comparamos los valores obtenidos con el programa Minitab 18 y los valores estimados para el F. Crítico. (Ver Tabla N° 6.3)

**Tabla N° 6.3: Comparación de los valores obtenidos**

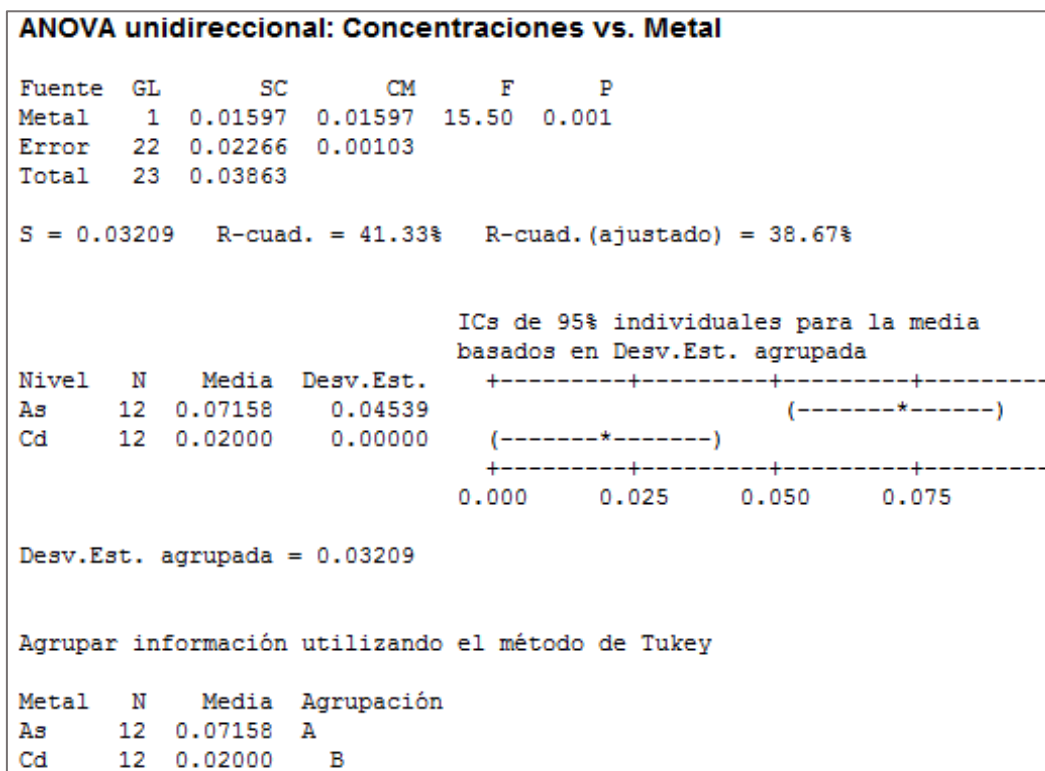
Factor Evaluado	F. Fisher	F. Critico	Interpretación
Metal	17.22	4.380749	Si el F. Fisher (obtenida con el programa estadístico Minitab18) es mayor que el F. Crítico, traduciéndose que las medias

Factor Evaluado	F. Fisher	F. Crítico	Interpretación
			obtenidas de los metales son diferentes entre sí.
Tratamiento	1.81	3.12735	Si el F. Fisher (obtenida con el programa estadístico Minitab18) es menor que el F. Crítico, traduciéndose que las medias obtenidas de los tratamientos son iguales o similares.

Fuente: Elaboración propia

Después la interpretación y la comparación realizada en la Tabla N° 6.3, se procedió a realizar la prueba de Tukey con el objetivo de evaluar las medias de los metales en estudio (Arsénico y Cadmio) y como se agrupan según estos. Tal como se observa en la Figura N° 4:

**Figura N° 4: Método Tukey para el Análisis de Metales**

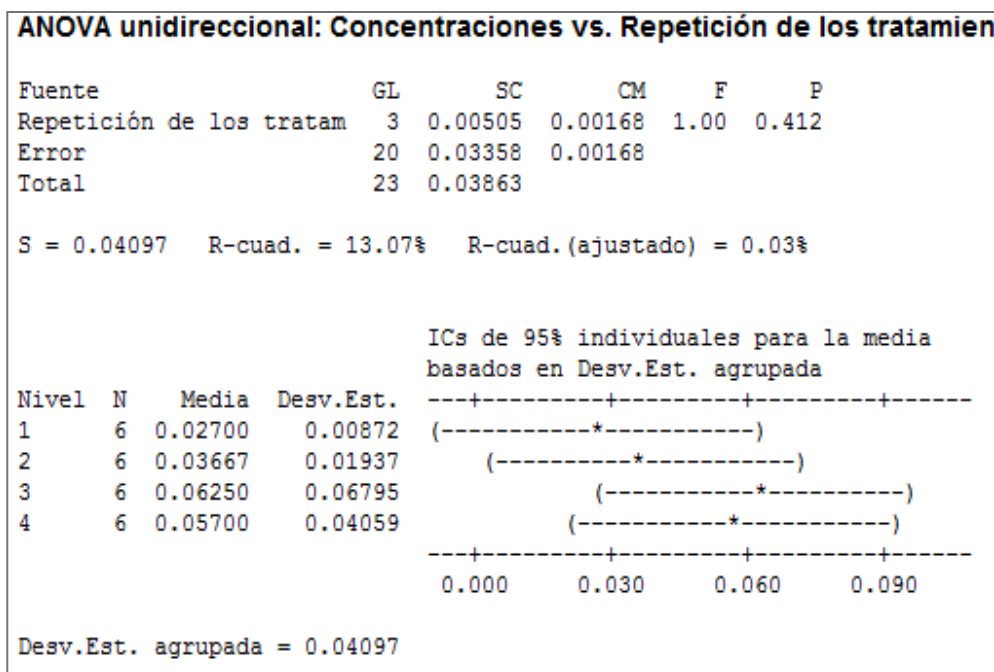


Fuente: Elaboración propia – Minitab 18

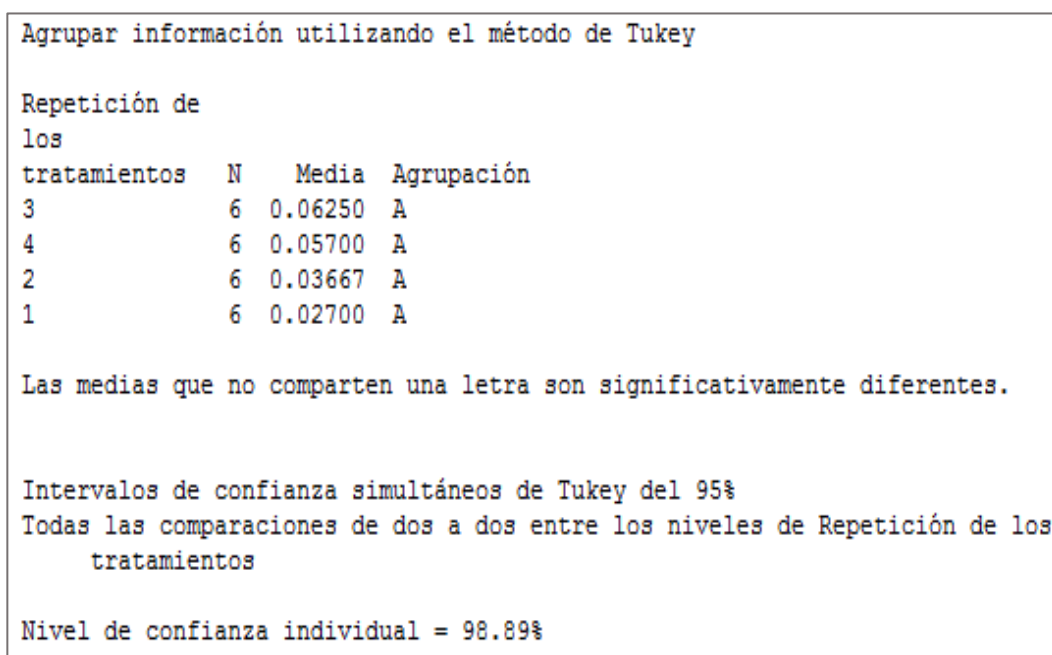
De la Figura N° 4, se aprecia que las medias para el Arsénico están agrupadas con la letra “A” y para el Cadmio con la letra “B”, lo cual

significa, que las medias obtenidas para cada metal son diferentes entre sí; sin embargo ocurre lo contrario para los tratamientos realizados:

**Figura N° 5: Método Tukey para el Análisis de los Tratamientos (parte 1)**



**Figura N° 6: Método Tukey para el Análisis de los Tratamientos (parte 2)**





De la Prueba de Tukey para el Análisis de los Tratamientos, se obtuvo que las medias son iguales o similares entre sí, siendo agrupados con la letra "A".

En conclusión, se observa que según los resultados obtenidos, las medias obtenidas para cada metal (Arsénico y Cadmio) son diferentes, por lo tanto, el grado de comportamiento del metal en referencia al tratamiento es variable; no obstante, los diferentes tratamientos realizados al efluente minero (dosificación de ARD), obtienen resultados similares. En ese sentido, la reducción de la concentración de los metales en estudio (Arsénico y Cadmio), está garantizada para los 4 tratamientos (dosificación de ARD), siendo la escogida para la presente tesis la dosificación del tratamiento 1 (M<sub>1</sub>), por ser la que obtuvo una menor media, por ende la que redujo más.

## 6.2 Contrastación de resultados con otros estudios similares

### Para Arsénico:

De la Tabla N° 5.7, se puede apreciar que el porcentaje más alto de reducción de Arsénico utilizando Agua Residual Doméstica es el valor de 99.99%. Dicho resultado es mayor al que se obtuvo en la tesis ***“Remoción de Arsénico (as) de Efluente Minero en la Unidad de Producción de Maraón de Compañía Minera Poderosa, mediante la adición de Cloruro Férrico”***, realizada por Coica, Q., & Alejandro, F., 2016, cuyo resultado fue del 87.58% de reducción de Arsénico.

La ***“Determinación del ph y tamaño de partícula óptimos para la remoción de arsénico con dolomita del Agua Potable de Jauja Metropolitana”***, realizada por Lucas Rosales, J. J., & Romero Damas, L. R. (2015), consiguió un porcentaje de reducción de 99.83%, mientras que la presente investigación un valor de 99.99%.

El estudio ***“Biodepuración parcial de Arsénico de Aguas Contaminadas usando Biorreactor de Lecho Móvil (mbbr) con carga Bacteriana Extremófila - punta de Bombón, Arequipa 2013”***, realizada por Rebaza Peñafiel, R. & Rodríguez Rivera, B. L. (2014), consiguió un porcentaje de reducción de 16.14%, mientras que la presente investigación un valor de 99.99%.

La tesis ***“Influencia de la Concentración y el Tiempo de Contacto del Carbón Activado de Cáscara de Coco en la Remoción de Arsénico de Aguas Subterráneas de Mórrope”***, realizada por Eca, F., Santos, M., & Millones Ñiquen, A. L. (2019), consiguió un porcentaje de reducción de 72.00%, mientras que la presente investigación un valor de 99.99%.

#### **Para Cadmio:**

Para el Cadmio, el porcentaje más alto de reducción utilizando Agua Residual Doméstica tuvo un valor de 99,57%. Este resultado es mayor al que tuvo la tesis ***“Remoción del Cadmio por Precipitación Química en los Efluentes del Agua de Proceso de los Circuitos de Plomo y Zinc del Complejo Metalúrgico de La Oroya”***, desarrollada por Torres Romero, R., 2014, la cual consiguió un valor de 98.58 % usando hidróxido de sodio (NaOH) y 98.78% usando hidróxido de calcio (Ca(OH)<sub>2</sub>).

El estudio ***“Optimización en la recuperación del Cadmio por inhibición del Talio, Níquel y Fierro en la Solución de Sulfato de Cadmio en la Planta de Cadmio-Refinería de Zinc Cajamarquilla”***, elaborado por Soto Falcón, 2007 , obtuvo un valor de 99.98%, porcentaje más alto de reducción que el obtenido en la presente investigación, 99.57%.

El ***“Estudio de la Caracterización de Quitosano y su Aplicación como Biosorbente de Cadmio en Aguas”***, desarrollado por Maza

Mejía, 2007 , tuvo un valor de 84.7%, porcentaje menor de reducción que el obtenido en la presente investigación, 99.57%.

Por ello, los resultados obtenidos en la presente investigación respaldan que el uso del agua residual doméstica para la reducción de arsénico y cadmio en los efluentes generados por pasivos ambientales mineros, es satisfactorio.

## **CAPÍTULO VII**

### **CONCLUSIONES**

- Se logró reducir la concentración de Arsénico y Cadmio del efluente minero generado por pasivos ambientales mineros de la quebrada viso - Distrito de San Mateo, usando agua residual doméstica a nivel de laboratorio, por medio del método "Prueba de Jarras", obteniendo concentraciones finales de 0.002 mg/L para Arsénico y 0.02 mg/L para Cadmio.
- Se caracterizó el efluente minero y los valores obtenidos fueron los siguientes: 6 de pH, 244 mg/L de Aceites y Grasas, 2.20 mS/cm de Conductividad, 18 mg/L de Arsénico, 4 mg/L de Cadmio, 17 mg/L de Cobre, 10 mg/L de Hierro, 15 mg/L de Plomo, 0.5 mg/L de Mercurio, y 18 mg/L de Zinc, superando en el caso de los metales, lo establecido en la norma D.S. N° 010-2010-MINAM, "Límites Máximos Permisibles para la Descarga de Efluentes Líquidos de Actividades Minero - Metalúrgicas".
- Se caracterizó el agua residual doméstica captada (del punto de salida) de los servicios higiénicos de la Facultad de Ingeniería Eléctrica y Electrónica de la Universidad Nacional del Callao. Los valores fueron

los siguientes: Aceites y Grasas 36.45 mg/L, Coliformes Termotolerantes 1450000 NMP/100mL, DBO<sub>5</sub> 194.15 mg/L, DQO 998 mg/L, pH 8.47 y STS 242 mL/L.

- Se determinó la dosis óptima de mezcla entre el efluente minero (EM) y el agua residual doméstica (ARD) para el tratamiento, la cual corresponde al "Tratamiento M<sub>1</sub>", dicha dosis tuvo una relación de 1 vez el volumen de ARD sobre 4 veces el volumen de EM (1ARD/4EM), a una velocidad de agitación de 100 RPM.
- Se cuantificó el porcentaje de reducción de la concentración de Arsénico y Cadmio del efluente minero tratado con agua residual doméstica, obteniendo un valor de 99.99% para Arsénico y 99.57% para Cadmio. Estos valores fueron menores a los LMP (As: 0.1 mg/L y Cd: 0.05 mg/L).

## **CAPÍTULO VIII**

### **RECOMENDACIONES**

- Caracterizar el agua residual doméstica a utilizar en futuras investigaciones, puesto que es importante conocer los valores iniciales de los parámetros en comparación con los obtenidos en esta investigación y asegurar la factibilidad del tratamiento, dado que el agua con otras características dificultará e impedirá la formación de flocs.
- El muestreo del agua residual debe ser realizado en condiciones adecuadas tomando en cuenta el Protocolo Nacional de Monitoreo de Calidad de Recursos Hídricos vigente.
- El empleo del agua residual doméstica es sostenible para el tratamiento pasivo de efluentes mineros. Por ello, se debe continuar con la investigación y aprovechar las propiedades del agua residual doméstica para otros metales y obtener más alternas de tratamiento para efluentes mineros en general a bajo costo.
- Es significativo e importante realizar la mayor cantidad de repeticiones para cada tratamiento y de este modo disminuir el porcentaje de error durante el análisis estadístico.

- Promover la investigación, para reutilizar el agua residual producto de actividades antropogénicas, de esta manera poder incluirlos en las diferentes sectores industriales y contribuir a disminuir la contaminación ambiental.
- Se recomienda trabajar con laboratorios certificados por INACAL que garanticen los métodos usados para la medición de los parámetros en estudio.

## CAPÍTULO IX

### REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aduvire, O. (2006). Drenaje ácido de mina generación y tratamiento. Instituto Geológico y Minero de España Dirección de Recursos Minerales y Geoambiente.
- Allcahuamán Quichua, R., Damián, R., & Streichel, R. (2017). Determinación del tiempo de retención óptimo del sistema de tratamiento pasivo biorreactor de compost para la remoción de sulfatos de drenaje ácido de mina a escala laboratorio, Caso: Centro poblado San Miguel de Viso.
- Contreras Sanabria, K. L., & Gutierrez Mayta, T. M. (2015). Remoción de plomo de las aguas del efluente minero de Yauli La Oroya utilizando el coagulante de maguey (*Agave Americana* L.) A nivel de laboratorio.
- Cooke, C. A., & Abbott, M. B. (2008). A paleolimnological perspective on industrial-era metal pollution in the central Andes, Peru. *Science of the Total Environment*, 393(2–3), 262–272.
- Corzo Remigio, A. (2015). Impacto de los pasivos ambientales mineros en el recurso hídrico de la microcuenca Quebrada Parac, distrito de San Mateo de Huanchor, Lima.
- Devesa-Rey, R., Rodríguez Rodríguez, F. J., & Urréjola Madriñan, S. (2017). Diseño de un Experimento de Optimización del Proceso de Coagulación-Floculación de Aguas en el Laboratorio de



- Química. In *Modelling in Science Education and Learning* (Vol. 10, pp. 35–44). Universitat Politècnica de València.
- Díaz, A. (2009). *Diseño estadístico de experimentos 2a Ed.* Universidad de Antioquia.
- Díaz Cartagena, W. J. (2016). Contaminación del ecosistema en San Mateo de Huanchor por los pasivos ambientales minero metalúrgicos y su impacto en la salud de los pobladores.
- Dold, B. (2010). Basic concepts in environmental geochemistry of sulfidic mine-waste management. In *Waste management*. InTech.
- Espana, J. S., Pamo, E. L., Pastor, E. S., & Ercilla, M. D. (2008). The acidic mine pit lakes of the Iberian Pyrite Belt: An approach to their physical limnology and hydrogeochemistry. *Applied Geochemistry*, 23(5), 1260–1287.
- Flores, M., Moizes, D., Salazar Aliaga, K. P., & Bravo Toledo, L. A. (2016). Fitorremediación acuática con *Myriophyllum aquaticum* para el tratamiento de efluentes generados por pasivos ambientales mineros de Hualagayoc-Cajamarca.
- Flores, S. L., Romero, A. A., & Flores, S. L. (2010). Tratamiento de efluentes de la industria minera con dolomita, 13(1), 85–90.
- Garbisu, C., & Alkorta, I. (2001). Phytoextraction: a cost-effective plant-based technology for the removal of metals from the environment, 77, 229–236.
- Herrera, P., & Millones, O. (2011). ¿Cuál es el costo de la contaminación ambiental minera sobre los recursos hídricos en el Perú. Consorcio de Investigación Económica y Social-CIES- Pontificia Universidad Católica Del Perú.
- Johnson, D. B., & Hallberg, K. B. (2005). Acid mine drainage

remediation options: a review. *Science of the Total Environment*, 338(1–2), 3–14.

King, D. L., Simmler, J. J., Decker, C. S., & Ogg, C. W. (1974). Acid strip mine lake recovery. *Journal (Water Pollution Control Federation)*, 2301–2315.

Mitsch, W. J., & Wilson, R. F. (1996). Improving the success of wetland creation and restoration with know-how, time, and self-design. *Ecological Applications*, 6(1), 77–83.

Morand, E. E., Giménez, M. C., Benitez, M. E., & Garro, O. A. (2002). Determinación de arsénico en agua por espectrometría de absorción atómica con generación de hidruro (HG-AAS). Reunión de Comunicaciones Científicas y Tecnológicas UNNE.

Oblasser, A., & Chaparro Avila, E. (2008). Estudio comparativo de la gestión de los pasivos ambientales mineros en Bolivia, Chile, Perú y Estados Unidos. CEPAL.

OPS, O. P. (2005). Guía para el diseño de desarenadores y sedimentadores. Lima.

Ordoñez, A. (1999). Sistema de tratamiento pasivo para aguas ácidas de mina, 693.

Ordóñez Alonso, A. (1999). Sistemas de tratamiento pasivo para aguas ácidas de mina.

Pedro, C. A., Santos, M. S. S., Ferreira, S. M. F., & Gonçalves, S. C. (2013). The influence of cadmium contamination and salinity on the survival, growth and phytoremediation capacity of the saltmarsh plant *Salicornia ramosissima*. *Marine Environmental Research*, 92, 197–205.

Restrepo Osorno, H. A. (2009). Evaluación del proceso de coagulación-floculación de una planta de tratamiento de agua

potable. Universidad Nacional de Colombia.

Rötting, T. S., Thomas, R. C., Ayora, C., & Carrera, J. (2008). Passive Treatment of Acid Mine Drainage with High Metal Concentrations Using Dispersed Alkaline Substrate All rights reserved. No part of this periodical may be reproduced or transmitted in any form or by any means, electronic or mechanical, including pho. *Journal of Environmental Quality*, 37(5), 1741–1751.

Sheoran, A. S., & Sheoran, V. (2006). Heavy metal removal mechanism of acid mine drainage in wetlands: a critical review. *Minerals Engineering*, 19(2), 105–116.

Sheoran, V., Sheoran, A. S., & Poonia, P. (2010). Soil reclamation of abandoned mine land by revegetation: a review. *International Journal of Soil, Sediment and Water*, 3(2), 13.

Strosnider, W. H. J., Nairn, R. W., Peer, R. A. M., & Winfrey, B. K. (2013). Passive co-treatment of Zn-rich acid mine drainage and raw municipal wastewater. *Journal of Geochemical Exploration*, 125, 110–116. <https://doi.org/10.1016/j.gexplo.2012.11.015>

Strosnider, W. H., Winfrey, B. K., & Nairn, R. W. (2010). Biochemical oxygen demand and nutrient processing in a novel multi-stage raw municipal wastewater and acid mine drainage passive co-treatment system. *Water Research*, 45(3), 1079–1086. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2010.10.026>

Teixeira Coelho, S., & Guardabassi, P. (2011). POLÍTICAS PÚBLICAS NA ÁREA DE MEIO AMBIENTE PARA O ESTADO DE SÃO PAULO. *InterfacEHS-Revista de Saúde, Meio Ambiente e Sustentabilidade*, 2(4).

Terrádez, M., & Juan, Á. A. (2003). Análisis de la varianza (ANOVA). Línea]. Disponible En: <Http://Www. Uoc. Edu/In3/Emath/Docs/ANOVA>. Pdf.[Último Acceso: 07 08 2014].

- Tuttle, J. H., Dugan, P. R., & Randles, C. I. (1969). Microbial sulfate reduction and its potential utility as an acid mine water pollution abatement procedure. *Applied Microbiology*, 17(2), 297–302.
- Worrall, R., Neil, D., Brereton, D., & Mulligan, D. (2009). Towards a sustainability criteria and indicators framework for legacy mine land. *Journal of Cleaner Production*, 17(16), 1426–1434.
- Younger, P. L., & Henderson, R. (2014). Synergistic wetland treatment of sewage and mine water: Pollutant removal performance of the first full-scale system. *Water research*, 55, 74-82
- Amezaga, J., Balvin, D., Abanto, C., Younger, P. L., & Rötting, T. S. (2007). ERMISA and CAMINAR projects: research on environmental regulation, catchment management and mining impacts in South America. *Water in Mining Environments*. Mako Edizioni, Cagliari, 307–311.
- Dobbie, K. E., Heal, K. V., Aumônier, J., Smith, K. a., Johnston, a., & Younger, P. L. (2009). Evaluation of iron ochre from mine drainage treatment for removal of phosphorus from wastewater. *Chemosphere*, 75(6), 795–800. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2008.12.049>
- Totsche, O., Fyson, A., & Steinberg, C. E. W. (2006). Microbial alkalinity production to prevent reacidification of neutralized mining lakes. *Mine Water and the Environment*, 25(4), 204–213.
- Lucas Rosales, J. J., & Romero Damas, L. R. (2015). Determinación del pH y tamaño de partícula óptimos para la remoción de arsénico con dolomita del agua potable de Jauja Metropolitana.
- Ortiz, G., & Moisés, M. (2008). Evaluación del riesgo por toxicidad crónica a la exposición de Cadmio en animales de experimentación.

- MINEM, (D.S. N° 059-2005-EM). Reglamento de pasivos ambientales de la actividad minera (2005).
- Ministerio de Energía y Minas. (2004). Ley N° 28271 - Ley que Regula los Pasivos Ambientales de la Actividad Minera.
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. (2003). Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos
- Ministerio de Minería y Metalurgia. (1992). Ley N° 1333 - Ley de Medio Ambiente.
- Ministerio de Energía y Minas. (2011). Ley N° 20551 - Ley que Regula el Cierre de Faenas e Instalaciones Mineras.
- Autoridad Nacional del Agua, (R.J. N° 251- 2015- ANA). Protocolo Nacional para el Monitoreo de la Calidad de los Recurso Hídricos (2015).
- Autoridad Nacional del Agua, (R.J. N° 180- 2016- ANA). Glosario de Términos sobre Recursos Hídricos (2016).
- Ministerio del Ambiente, (D. S. N° 003-2010-MINAM). Aprueban Límites Máximos Permisibles para los efluentes de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas o Municipales
- Ministerio del Ambiente, (D. S. N° 010-2010-MINAM). Aprueban Límites Máximos Permisibles para los efluentes líquidos de Actividades Minero - Metalúrgicas
- Hernández Sampieri, R. (2014). Metodología de la Investigación (McGrawHill, Ed.) (6ta. Edición). México D.F.
- Germán Fernández (2014). Bases de la Ingeniería Química (Academia Minas) (Versión: 1.0). España.
- Henke, K. (2009). Arsenic: environmental chemistry, health threats and waste treatment. John Wiley & Sons.

- De Esparza, M. C. (2006, June). Presencia de arsénico en el agua de bebida en América Latina y su efecto en la salud pública.
- Nava-Ruíz, C., & Méndez-Armenta, M. (2011). Efectos neurotóxicos de metales pesados (cadmio, plomo, arsénico y talio). *Arch Neurocién (Mex)*, 16(3), 140-147.
- García, P. E. P., & Cruz, M. I. A. (2012). Los efectos del cadmio en la salud. *Rev\_Esp\_Méd\_Quir\_Volumen\_17(3)*,\_200.
- Obregón Valencia, D. C. (2014). Estudio comparativo de la capacidad de adsorción de cadmio utilizando carbones activados preparados a partir de semillas de aguaje y de aceituna.
- <https://wayka.pe/presencia-metales-pesados-en-ninos-de-los-andes/> (visitado el 22 de Julio del 2018)
- Maza, M. (2007). Estudio de la caracterización de quitosano y su aplicación como biosorbente de cadmio en aguas. Tesis de licenciatura en química. Universidad Nacional de Ingeniería. Perú.
- Soto Falcón, O. (2007). Optimización en la recuperación del cadmio por inhibición del talio, níquel y fierro en la solución de sulfato de cadmio en la planta de cadmio-refinería de zinc Cajamarquilla.
- Maza Mejía, I. M. (2007). Estudio de la caracterización de quitosano y su aplicación como biosorbente de cadmio en aguas.
- Lucas Rosales, J. J., & Romero Damas, L. R. (2015). Determinación del pH y tamaño de partícula óptimos para la remoción de arsénico con dolomita del agua potable de Jauja Metropolitana.
- Eca, F., Santos, M., & Millones Ñiquen, A. L. (2019). Influencia de la concentración y el tiempo de contacto del carbón activado de cáscara de coco en la remoción de arsénico de aguas subterráneas de Mórrope.

**CAPÍTULO X**  
**APÉNDICE**

**10.1 Panel fotográfico**

**Foto N° 1: Muestra de Efluente Minero**



**Foto N° 2: Muestra de Agua Residual Doméstica**



**Foto N° 3: Equipo de Jarras con las proporciones de Efluente Minero y Agua Residual Doméstica**

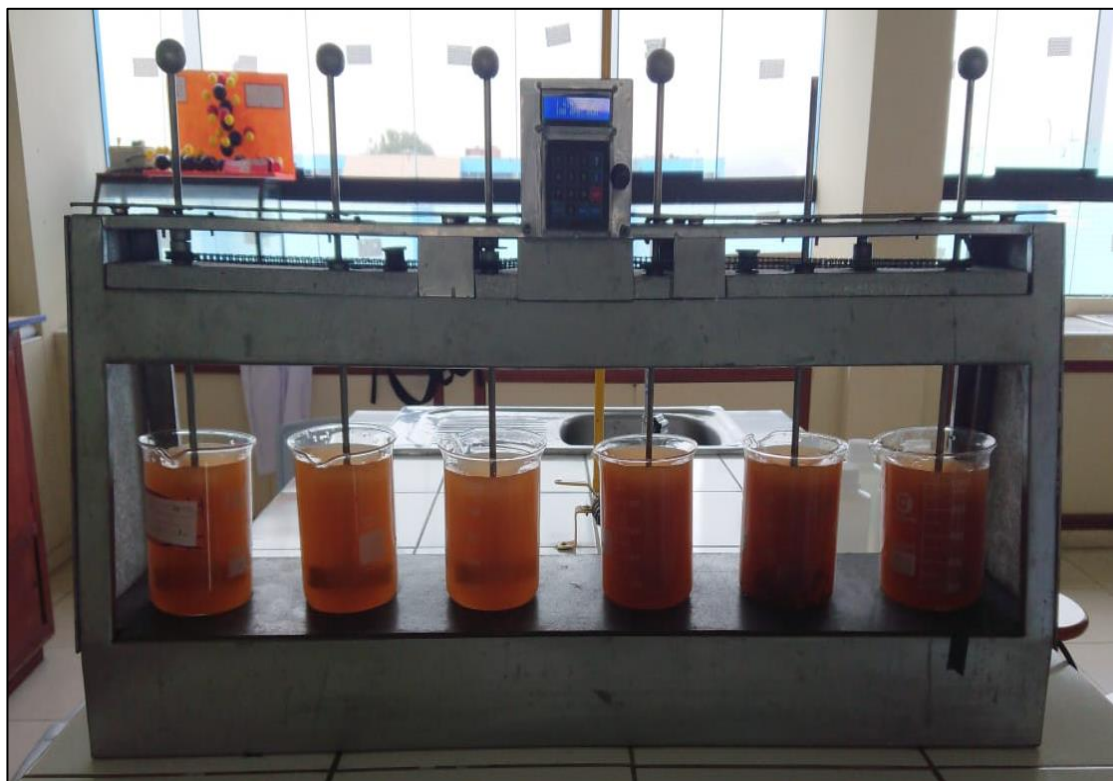


**Foto N° 4: Mezclas de las diferentes proporciones entre el Efluente Minero y el Agua Residual Doméstica**





**Foto N° 5: Mezcla Homogénea de las diferentes proporciones entre el Efluente Minero y el Agua Residual Doméstica**



**Foto N° 6: Decantación parcial de las diferentes proporciones entre el Efluente Minero y el Agua Residual Doméstica**



**Foto N° 7: Decantación total y extracción del agua tratada para su respectivo análisis**



**Foto N° 8: Frascos de plástico conteniendo las muestras del agua tratada para su respectivo análisis**

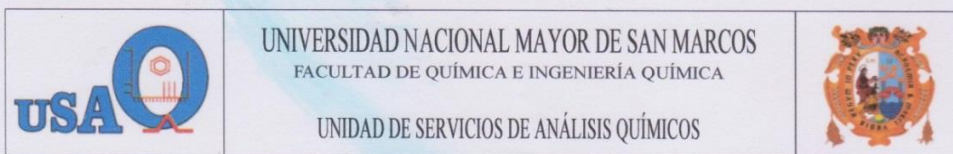


## ANEXOS

### 11.1 Anexo 1: Matriz de Consistencia

<b>TITULO: USO DEL AGUA RESIDUAL DOMÉSTICA PARA LA REDUCCIÓN DE ARSÉNICO Y CADMIO EN LOS EFLUENTES GENERADOS POR PASIVOS AMBIENTALES MINEROS DE LA QUEBRADA VISO - DISTRITO DE SAN MATEO</b>				
<b>Problema</b>	<b>Objetivos</b>	<b>Hipótesis de la Investigación</b>		
		<b>Operacionalización de las Variables</b>	<b>Indicador</b>	
	<b>General</b>	<b>Variables Independiente (X)</b>	<b>Unidad</b>	
<p>¿En qué medida el uso del agua residual doméstica reducirá la concentración de As y Cd (metales pesados) presentes en los efluentes generados por pasivos ambientales mineros?</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Reducir la concentración de los metales pesados (As y Cd) presentes en los efluentes generados por Pasivos Ambientales Mineros, usando agua residual doméstica.</li> </ul>	<p>X = Uso del Agua residual doméstica.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Dosis óptima</li> </ul>	<p>ml</p>	
	<p><b>Específicos</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Caracterizar el efluente generado por pasivos ambientales mineros (bocamina abandonada y no cerrada) de la quebrada Viso.</li> </ul>	<p><b>Dependiente (Y)</b></p>	<p><b>Unidad</b></p>	
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Caracterizar el agua residual doméstica.</li> <li>• Determinar la dosis óptima de dilución entre el efluente generado por pasivos ambientales mineros de la quebrada Viso y el agua residual doméstica.</li> <li>• Cuantificar el porcentaje de remoción de metales pesados (As y Cd) de los efluentes tratados con agua residual doméstica.</li> </ul>	<p>“El uso de agua residual doméstica reducirá la concentración de As y Cd presentes en los efluentes generados por pasivos ambientales mineros”</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Reducción de la concentración de As y Cd presentes en los efluentes generados por pasivos ambientales mineros</li> <li>• Concentración de As y Cd</li> </ul>	<p>mg/L</p>

## 11.2 Anexo 2: 1er Reporte de laboratorio del efluente minero



UNIVERSIDAD NACIONAL MAYOR DE SAN MARCOS  
FACULTAD DE QUÍMICA E INGENIERÍA QUÍMICA

UNIDAD DE SERVICIOS DE ANÁLISIS QUÍMICOS

### INFORME DE ENSAYO N° 028-2018

**Cliente** : Sr. MARTIN AUGUSTO GUADALUPE BONIFACIO  
**Dirección** : Av. Venezuela 1223 – La Perla - Callao  
**Referencia USAQ** : 019-01  
**Muestras** : AGUA (DRENAJE ACIDO DE MINA)  
**Cotización** : 052-2018/USAQ-FQIQ  
**Fecha de Recepción** : 07/02/2018  
**Fecha de Emisión** : 23/02/2018

#### RESULTADO DE ANALISIS DE AGUA DEL DRENAJE ACIDO DE MINA

CÓDIGO DE MUESTRA USAQ.	REFERENCIA Y CÓDIGO DEL CLIENTE	DETERMINACIÓN	RESULTADOS (mg/Kg)
019-01	<b>MUESTRA:</b> AGUA (DRENAJE ACIDO DE MINA)  <b>CODIGO DE MUESTREO:</b> DAM -01  <b>CORDENADAS GEOGRAFICAS UTM – WGS84:</b> E: 354338 m N: 8694564 m A: 2772 msnm	pH	6
		TEMPERATURA	(26,7°C)
		SOLIDOS TOTALES EN SUSPENSIÓN	0.20 %
		ACEITES Y GRASAS	244 ppm
		ARSENICO TOTAL	18 ppm
		CADMIO TOTAL	4 ppm
		COBRE TOTAL	17 ppm
		HIERRO	10 ppm
		PLOMO TOTAL	15 ppm
		MERCURIO TOTAL	0.5 ppm
		ZINC TOTAL	18 ppm
		CONDUCTIVIDAD	2.20 mS/cm

Muestra Proporcionada por el Cliente

IE-028-2018 MARTIN AUGUSTO.doc (Página 1 de 2)





UNIVERSIDAD NACIONAL MAYOR DE SAN MARCOS  
FACULTAD DE QUÍMICA E INGENIERÍA QUÍMICA



UNIDAD DE SERVICIOS DE ANÁLISIS QUÍMICOS

**Método:**

Determinación de Gravimetrica	USAQ-ME-19
Solidos suspendidos	APHA 2540 D
Aceites y Grasas	APHA 5520
Conductividad	APHA 2510 B
Ph	APHA 4500 HB

  
PERCY YAQUE LÓPEZ MARILUZ  
QUÍMICO  
CQP. 878

Nota: El presente informe sólo es válido en su estado original y se refiere únicamente a la muestra analizada, cualquier corrección o enmienda en el contenido del presente informe lo anula automáticamente.  
Observ.: La muestra podrá ser devuelta después del plazo de 15 días calendarios de entregado el Informe de Ensayo, pasado el tiempo indicado no se aceptarán reclamos ni devoluciones.



IE-028-2018 MARTIN AUGUSTO.doc GUADALUPE (Página 2 de 2)

## 11.3 Anexo 3: 2do Reporte de laboratorio del efluente minero



LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL  
ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACION INACAL - DA  
CON EL REGISTRO N° LE - 096



Registro N° LE - 096

### INFORME DE ENSAYO N°: IE-18-4144

#### I. DATOS DEL SERVICIO


1. RAZÓN SOCIAL : MARTIN GUADALUPE B.  
2. DIRECCIÓN : NO INDICA  
3. PROYECTO : "TESIS"  
4. PROCEDENCIA : NO INDICA  
5. SOLICITANTE : Christian Alberto Vargas Alarcón.  
6. ORDEN DE SERVICIO N° : OS-18-1696  
7. PLAN DE MONITOREO : NO APLICA  
8. MUESTREO POR : EL CLIENTE  
9. FECHA DE EMISIÓN DE INFORME : 2018-11-23

#### II. DATOS DE ÍTEMS DE ENSAYO

1. MATRIZ : AGUA  
2. NÚMERO DE MUESTRAS : 2  
3. FECHA DE RECEPCIÓN DE MUESTRA : 2018-11-15  
4. PERÍODO DE ENSAYO : 2018-11-15 al 2018-11-23

#### III. MÉTODOS Y REFERENCIAS

TIPO DE ENSAYO	NORMA REFERENCIA	TÍTULO
Arsénico	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 3114 C, 23 rd Ed.2017	Arsenic and Selenium by Hydride Generation/Atomic Absorption Spectrometry. Continuous Hydride Generation/Atomic Absorption Spectrometric Method
Cadmio	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 3030 E. / Part 3111 B, 23 rd Ed.2017	Metals by Flame Atomic Absorption Spectrometry. Nitric Acid Digestion / Direct Air-Acetylene Flame Method

  
**Marco A. Valencia Huerta**  
Ing. Químico  
Gerente General  
N° CIP: 152207

Prolongación Zarumilla Mz 2D lote 3 Bellavista - Callao  
Telf. +51 7130636 / 453 1389 / 940 598 588  
Email. [ventas@alab.com.pe](mailto:ventas@alab.com.pe)  
[www.alab.com.pe](http://www.alab.com.pe)

Página 1 de 2

INFORME DE ENSAYO IE-18-4144

IV. RESULTADOS

ITEM			1	2
CÓDIGO DE LABORATORIO:			M-11901	M-11902
CÓDIGO DEL CLIENTE:			EM-01	EM-02
MATRIZ:			AGUA	
GRUPO:			NO INDICA	
SUBGRUPO:			NO INDICA	
INSTRUCTIVO DE MUESTREO:			NO APLICA	
MUESTREO			FECHA:	2018-11-14
			HORA:	15:30
			2018-11-14	15:30
ENSAYO	UNIDAD	L.D	RESULTADOS	
Arsénico	mg/L	0.0020	16	17.40
Cadmio	mg/L	0.020	6	4

\*L.C.M.\* : Límite de Cuantificación del Método

Los resultados contenidos en el presente documento sólo están relacionados con los ítems ensayados.

No se debe reproducir el informe de ensayo, excepto en su totalidad, sin la aprobación escrita de Analytical Laboratory E.I.R.L.

Los resultados de los ensayos, no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.

"FIN DEL DOCUMENTO"

## 11.4 Anexo 4: Reporte de laboratorio del agua residual doméstica



LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL  
ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACION INACAL - DA  
CON EL REGISTRO N° LE - 096



Registro N° LE - 096

### INFORME DE ENSAYO N°: IE-18-4145

#### I. DATOS DEL SERVICIO

1. RAZÓN SOCIAL : MARTIN GUADALUPE  
2. DIRECCIÓN : NO INDICA  
3. PROYECTO : USO DE ARD PARA REDUCCIÓN DE AS Y CD DE EM  
4. PROCEDENCIA : NO INDICA  
5. SOLICITANTE : MARTIN GUADALUPE  
6. ORDEN DE SERVICIO N° : OS-18-1698  
7. PLAN DE MONITOREO : NO APLICA  
8. MUESTREADO POR : EL CLIENTE  
9. FECHA DE EMISIÓN DE INFORME : 2018-11-23

#### II. DATOS DE ÍTEMS DE ENSAYO

1. MATRIZ : AGUA  
2. NÚMERO DE MUESTRAS : 2  
3. FECHA DE RECEPCIÓN DE MUESTRA : 2018-11-15  
4. PERÍODO DE ENSAYO : 2018-11-15 al 2018-11-23

#### III. MÉTODOS Y REFERENCIAS

TIPO DE ENSAYO	NORMA REFERENCIA	TÍTULO
pH (*)	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 4500-H+ B. 23rd Ed. 2017	pH Value. Electrometric Method
Demanda Bioquímica de Oxígeno	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 5210 B, 23 rd Ed. 2017	Biochemical Oxygen Demand (BOD). 5-Day BOD Test

  
**Marco A. Valencia Huerta**  
Ing. Químico  
Gerente General  
N° CIP: 152207

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

Prolongación Zarumilla Mz 2D lote 3 Bellavista - Callao  
Telf. +51 7130636 / 453 1389 / 940 598 588  
Email. ventas@alab.com.pe  
[www.alab.com.pe](http://www.alab.com.pe)

Página 1 de 3



**INFORME DE ENSAYO IE-18-4145****III. MÉTODOS Y REFERENCIAS**

TIPO DE ENSAYO	NORMA REFERENCIA	TÍTULO
Demanda Química de Oxígeno	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 5220 D, 23 rd Ed. 2017	Chemical Oxygen Demand, Closed Reflux, Colorimetric Method
Aceites y Grasas	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 5520 B, 23 rd Ed. 2017	Oil and Grease. Liquid-Liquid, Partition-Gravimetric Method
Sólidos Suspendidos Totales	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 2540 D, 23 rd Ed. 2017	Solids. Total Suspended Solids Dried at 103-105°C
Coliformes Fecales (a)	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 9221 E, 23rd Ed. 2017	Multiple-Tube Fermentation Technique for Members of the Coliform Group. Fecal Coliform Procedure

(a) Los métodos indicados han sido tercerizados(s) a un laboratorio acreditado

INFORME DE ENSAYO IE-18-4145

IV. RESULTADOS

ITEM			1	2
CÓDIGO DE LABORATORIO:			M-11403	M-11404
CÓDIGO DEL CLIENTE:			ARD-1	ARD-2
COORDENADAS UTM WGS 84:			E: 0269508 N: 8665731	E: 0269508 N: 8665731
MATRIZ:			AGUA	
GRUPO:			RESIDUAL	
SUBGRUPO:			DOMESTICA	
INSTRUCTIVO DE MUESTREO:			IC-OPE-27.5	
MUESTREO		FECHA:	2018-11-14	2018-11-14
		HORA:	15:30	15:45
ENSAYO	UNIDAD	L.C.M	RESULTADOS	
pH (*)	unidad pH	0.01	8.74	8.20
Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/L	2.0	206.3	182.0
Demanda Química de Oxígeno	mg/L	5	944	1052
Aceites y Grasas	mg/L	1.20	48.80	24.10
Sólidos Suspendidos Totales	mg/L	5	221	263
Coliformes Fecales (a)	NMP/100 mL	1.8	1700000	120000

\*L.C.M.\* : Límite de Cuantificación del Método

(a) Los métodos indicados han sido tercerizados(s) a un laboratorio acreditado

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

Los resultados contenidos en el presente documento sólo están relacionados con los ítems ensayados.

No se debe reproducir el informe de ensayo, excepto en su totalidad, sin la aprobación escrita de Analytical Laboratory E.I.R.L.

Los resultados de los ensayos, no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.

**"FIN DEL DOCUMENTO"**

## 11.5 Anexo 5: Reporte de laboratorio N° Tratamiento M<sub>1</sub>, M<sub>2</sub>, M<sub>3</sub> y M<sub>4</sub>.



LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL  
ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACION INACAL - DA  
CON EL REGISTRO N° LE - 096



Registro N° LE - 096

### INFORME DE ENSAYO N°: IE-18-4143

#### I. DATOS DEL SERVICIO


1. RAZÓN SOCIAL : MARTIN GUADALUPE B.  
2. DIRECCIÓN : NO INDICA  
3. PROYECTO : "TESIS"  
4. PROCEDENCIA : NO INDICA  
5. SOLICITANTE : Christian Alberto Vargas Alarcón.  
6. ORDEN DE SERVICIO N° : OS-18-1695  
7. PLAN DE MONITOREO : NO APLICA  
8. MUESTREADO POR : EL CLIENTE  
9. FECHA DE EMISIÓN DE INFORME : 2018-11-23

#### II. DATOS DE ÍTEMS DE ENSAYO

1. MATRIZ : AGUA  
2. NÚMERO DE MUESTRAS : 12  
3. FECHA DE RECEPCIÓN DE MUESTRA : 2018-11-15  
4. PERÍODO DE ENSAYO : 2018-11-15 al 2018-11-23

#### III. MÉTODOS Y REFERENCIAS

TIPO DE ENSAYO	NORMA REFERENCIA	TÍTULO
Arsénico	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 3114 C, 23 rd Ed.2017	Arsenic and Selenium by Hydride Generation/Atomic Absorption Spectrometry. Continuous Hydride Generation/Atomic Absorption Spectrometric Method
Cadmio	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 3030 E. / Part 3111 B, 23 rd Ed.2017	Metals by Flame Atomic Absorption Spectrometry, Nitric Acid Digestion / Direct Air-Acetylene Flame Method

  
Marco A. Valencia Huerta  
Ing. Químico  
Gerente General  
N° CIP: 152207

Prolongación Zarumilla Mz 2D lote 3 Bellavista - Callao  
Telf. +51 7130636 / 453 1389 / 940 598 588  
Email. ventas@alab.com.pe  
[www.alab.com.pe](http://www.alab.com.pe)

Página 1 de 3

**IV. RESULTADOS**

ITEM			1	2	3
CÓDIGO DE LABORATORIO:			M-11889	M-11890	M-11891
CÓDIGO DEL CLIENTE:			2ARD/8EM-1	2ARD/8EM-2	2ARD/8EM-3
MATRIZ:			AGUA		
GRUPO:			RESIDUAL		
SUBGRUPO:			INDUSTRIAL		
INSTRUCTIVO DE MUESTREO:			IC-OPE-27.5		
MUESTREO	FECHA:		2018-11-14	2018-11-14	2018-11-14
	HORA:		17:00	17:10	17:12
ENSAYO	UNIDAD	L.D	RESULTADOS		
Arsénico	mg/L	0.0020	0.0444	0.0272	0.0355
Cadmio	mg/L	0.020	0.02	0.02	<0.02

**IV. RESULTADOS**

ITEM			4	5	6
CÓDIGO DE LABORATORIO:			M-11892	M-11893	M-11894
CÓDIGO DEL CLIENTE:			4ARD/6EM-1	4ARD/6EM-2	4ARD/6EM-3
MATRIZ:			AGUA		
GRUPO:			RESIDUAL		
SUBGRUPO:			INDUSTRIAL		
INSTRUCTIVO DE MUESTREO:			IC-OPE-27.5		
MUESTREO	FECHA:		2018-11-14	2018-11-14	2018-11-14
	HORA:		17:20	17:25	17:30
ENSAYO	UNIDAD	L.D	RESULTADOS		
Arsénico	mg/L	0.0020	0.0465	0.0496	0.0654
Cadmio	mg/L	0.020	<0.02	<0.02	<0.02

\*L.C.M.\* : Límite de Cuantificación del Método

Los resultados contenidos en el presente documento sólo están relacionados con los ítems ensayados. No se debe reproducir el informe de ensayo, excepto en su totalidad, sin la aprobación escrita de Analytical Laboratory E.I.R.L.

Los resultados de los ensayos, no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.



INFORME DE ENSAYO IE-18-4143

IV. RESULTADOS

ITEM			7	8	9
CÓDIGO DE LABORATORIO:			M-11895	M-11896	M-11897
CÓDIGO DEL CLIENTE:			6ARD/4EM-1	6ARD/4EM-2	6ARD/4EM-3
MATRIZ:			AGUA		
GRUPO:			RESIDUAL		
SUBGRUPO:			INDUSTRIAL		
INSTRUCTIVO DE MUESTREO:			IC-OPE-27.5		
MUESTREO	FECHA:		2018-11-14	2018-11-14	2018-11-14
	HORA:		17:40	17:50	18:00
ENSAYO	UNIDAD	L.D	RESULTADOS		
Arsénico	mg/L	0.0020	0.0532	0.0669	0.1955
Cadmio	mg/L	0.020	<0.02	<0.02	<0.02

IV. RESULTADOS

ITEM			10	11	12
CÓDIGO DE LABORATORIO:			M-11898	M-11899	M-11900
CÓDIGO DEL CLIENTE:			8ARD/2EM-1	8ARD/2EM-2	8ARD/2EM-3
MATRIZ:			AGUA		
GRUPO:			RESIDUAL		
SUBGRUPO:			INDUSTRIAL		
INSTRUCTIVO DE MUESTREO:			IC-OPE-27.5		
MUESTREO	FECHA:		2018-11-14	2018-11-14	2018-11-14
	HORA:		18:10	18:25	18:35
ENSAYO	UNIDAD	L.D	RESULTADOS		
Arsénico	mg/L	0.0020	0.0996	0.0966	0.0965
Cadmio	mg/L	0.020	<0.02	<0.02	<0.02

\*L.C.M.\* : Limite de Cuantificación del Método

Los resultados contenidos en el presente documento sólo están relacionados con los ítems ensayados. No se debe reproducir el informe de ensayo, excepto en su totalidad, sin la aprobación escrita de Analytical Laboratory E.I.R.L.

Los resultados de los ensayos, no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.

" FIN DEL DOCUMENTO "

Prolongación Zarumilla Mz 2D lote 3 Bellavista - Callao  
Telf. +51 7130636 / 453 1389 / 940 598 588  
Email. ventas@alab.com.pe  
[www.alab.com.pe](http://www.alab.com.pe)

Página 3 de 3

## 11.6 Anexo 6: Reporte de laboratorio Repeticiones - Dosis Óptima

### INFORME DE ENSAYO N°: IE-18-4319

#### I. DATOS DEL SERVICIO

1. RAZÓN SOCIAL	: MARTIN GUADALUPE B.
2. DIRECCIÓN	: NO INDICA
3. PROYECTO	: "TESIS"
4. PROCEDENCIA	: NO INDICA
5. SOLICITANTE	: Christian Alberto Vargas Alarcón.
6. ORDEN DE SERVICIO N°	: OS-18-1758
7. PLAN DE MONITOREO	: NO APLICA
8. MUESTREO POR	: EL CLIENTE
9. FECHA DE EMISIÓN DE INFORME	: 2018-12-04

#### II. DATOS DE ÍTEMS DE ENSAYO

1. MATRIZ	: AGUA
2. NÚMERO DE MUESTRAS	: 10
3. FECHA DE RECEPCIÓN DE MUESTRA	: 2018-11-23
4. PERÍODO DE ENSAYO	: 2018-11-23 al 2018-12-04

#### III. MÉTODOS Y REFERENCIAS

TIPO DE ENSAYO	NORMA REFERENCIA	TÍTULO
Arsénico	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 3114 C, 23 rd Ed.2017	Arsenic and Selenium by Hydride Generation/Atomic Absorption Spectrometry. Continuous Hydride Generation/Atomic Absorption Spectrometric Method
Cadmio	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 3030 E. / Part 3111 B, 23 rd Ed.2017	Metals by Flame Atomic Absorption Spectrometry. Nitric Acid Digestion / Direct Air-Acetylene Flame Method

**Marco A. Valencia Huerta**  
Ing. Químico  
Gerente General  
N° CIP: 152207

**IV. RESULTADOS**

ITEM			1	2	3
CÓDIGO DE LABORATORIO:			M-12457	M-12458	M-12459
CÓDIGO DEL CLIENTE:			M11	M12	M13
MATRIZ:			AGUA		
GRUPO:			RESIDUAL		
SUBGRUPO:			INDUSTRIAL		
INSTRUCTIVO DE MUESTREO:			IC-OPE-27.5		
MUESTREO		FECHA:	2017-11-23	2018-11-23	2018-11-23
		HORA:	17:20	17:18	17:17
ENSAYO	UNIDAD	L.D	RESULTADOS		
Arsénico	mg/L	0.0020	<0.0020	<0.0020	<0.0020
Cadmio	mg/L	0.020	<0.020	<0.020	<0.020

**IV. RESULTADOS**

ITEM			4	5	6
CÓDIGO DE LABORATORIO:			M-12460	M-12461	M-12462
CÓDIGO DEL CLIENTE:			M14	M15	M16
MATRIZ:			AGUA		
GRUPO:			RESIDUAL		
SUBGRUPO:			INDUSTRIAL		
INSTRUCTIVO DE MUESTREO:			IC-OPE-27.5		
MUESTREO		FECHA:	2018-11-23	2018-11-23	2018-11-23
		HORA:	17:16	17:15	17:15
ENSAYO	UNIDAD	L.D	RESULTADOS		
Arsénico	mg/L	0.0020	<0.0020	<0.0020	<0.0020
Cadmio	mg/L	0.020	<0.020	<0.020	<0.020

"L.C.M." : Limite de Cuantificación del Método

Los resultados contenidos en el presente documento sólo están relacionados con los ítems ensayados. No se debe reproducir el informe de ensayo, excepto en su totalidad, sin la aprobación escrita de Analytical Laboratory E.I.R.L.

Los resultados de los ensayos, no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.

**IV. RESULTADOS**

ITEM			7	8	9
CÓDIGO DE LABORATORIO:			M-12463	M-12464	M-12465
CÓDIGO DEL CLIENTE:			M17	M18	M19
MATRIZ:			AGUA		
GRUPO:			RESIDUAL		
SUBGRUPO:			INDUSTRIAL		
INSTRUCTIVO DE MUESTREO:			IC-OPE-27.5		
MUESTREO	FECHA:		2018-11-23	2018-11-23	2018-11-23
	HORA:		17:45	17:45	17:47
ENSAYO	UNIDAD	L.D	RESULTADOS		
Arsénico	mg/L	0.0020	<0.0020	<0.0020	<0.0020
Cadmio	mg/L	0.020	<0.020	<0.020	<0.020

**IV. RESULTADOS**

ITEM			10
CÓDIGO DE LABORATORIO:			M-12466
CÓDIGO DEL CLIENTE:			M110
MATRIZ:			AGUA
GRUPO:			RESIDUAL
SUBGRUPO:			INDUSTRIAL
INSTRUCTIVO DE MUESTREO:			NO APLICA
MUESTREO	FECHA:		2018-11-23
	HORA:		17:47
ENSAYO	UNIDAD	L.D	RESULTADOS
Arsénico	mg/L	0.0020	<0.0020
Cadmio	mg/L	0.020	<0.020

\*L.C.M.\* : Limite de Cuantificación del Método

Los resultados contenidos en el presente documento sólo están relacionados con los ítems ensayados. No se debe reproducir el informe de ensayo, excepto en su totalidad, sin la aprobación escrita de Analytical Laboratory E.I.R.L.

Los resultados de los ensayos, no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.

**" FIN DEL DOCUMENTO "**



## 11.7 Anexo 7: Mapa N° 01 - Ubicación del Punto de Toma del Efluente Minero

