UNIVERSIDAD NACIONAL
"SANTIAGO ANTÚNEZ DE MAYOLO"

FACULTAD DE CIENCIAS DEL AMBIENTE

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA AMBIENTAL

"INFLUENCIA DE LA PULPA DE RELAVE MINERO EN LA REDUCCIÓN DE LA CONCENTRACIÓN DE METALES PESADOS Y SÓLIDOS TOTALES EN SUSPENSIÓN DE LOS DRENAJES ÁCIDOS DE MINA"

TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO AMBIENTAL

AUTOR:

Bach. **ROSSAN LOPEZ TARAZONA**

ASESOR:

Dr. **EDWIN JULIO PALOMINO CADENAS**

Huaraz, Ancash, Perú

Octubre, 2017

UNIVERSIDAD NACIONAL
"SANTIAGO ANTÚNEZ DE MAYOLO"

FACULTAD DE CIENCIAS DEL AMBIENTE

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA AMBIENTAL

"INFLUENCIA DE LA PULPA DE RELAVE MINERO EN LA REDUCCIÓN DE LA CONCENTRACIÓN DE METALES PESADOS Y SÓLIDOS TOTALES EN SUSPENSIÓN DE LOS DRENAJES ÁCIDOS DE MINA"

TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO AMBIENTAL

AUTOR:

Bach. **ROSSAN LOPEZ TARAZONA**

ASESOR:

Dr. **EDWIN JULIO PALOMINO CADENAS**

Huaraz, Ancash, Perú

Octubre, 2017

UNIVERSIDAD NACIONAL
"SANTIAGO ANTUNEZ DE MAYOLO"
FACULTAD DE CIENCIAS DEL AMBIENTE
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

Los Miembros del Jurado que suscriben, reunidos en la fecha, en el Auditórium de la FCAM-UNASAM en el Acto Académico de Sustentación de la Tesis **INFLUENCIA DE LA PULPA DE RELAVE MINERO EN LA REDUCCION DE LA CONCENTRACION DE METALES PESADOS Y SOLIDOS TOTALES EN SUSPENSION DE LOS DRENAJES ACIDOS DE MINA**, para optar el **Título Profesional de Ingeniero Ambiental,** que presenta el Bachiller **ROSSAN LOPEZ TARAZONA**, proceden de conformidad a:

- Art. 45° numeral 45.2, de la Ley Universitaria (Ley Nº 30220)
- Art. 96° numeral 96.1 inc. b., del Estatuto de la UNASAM (Resolución Nº 001-AE-UNASAM-2015)
- Art. 42° numeral 42.1 inc. b., del Reglamento General de la UNASAM (Resolución de Consejo Universitario Nº 399-2015-UNASAM)
- Art. 45° inc. a), Art. 46° inc. b), Art. 63°, Art. 68° incisos c), d) y e), Art. 74°, Art. 76° y Artículos del 77° al 87° (De la sustentación y defensa de la tesis, de la modalidad de tesis universitaria de pregrado, Capítulo VI) del Reglamento General de Grados y Títulos de la UNASAM (Resolución de Consejo Universitario – Rector Nº 554-2017-UNASAM)

Luego de haber atendido la exposición oral y escuchada las respuestas a las preguntas y observaciones formuladas, lo declaramos:

APROBADO

con el calificativo de: Quince (15)

En consecuencia, el Bachiller **ROSSAN LOPEZ TARAZONA** queda expedito para que el Consejo de Facultad de la Facultad de Ciencias del Ambiente de la Universidad Nacional "Santiago Antúnez de Mayolo" apruebe el otorgamiento de su **Título Profesional de Ingeniero Ambiental** de conformidad al Art. 113 numeral 113.9 del Reglamento General de la UNASAM (Resolución de Consejo Universitario Nº 399-2015-UNASAM), el Art. 48° del Reglamento General de Grados y Títulos de la UNASAM (Resolución de Consejo Universitario – Rector Nº 554-2017-UNASAM) y el Art. 160° del Reglamento de Gestión de la Programación, Ejecución y Control de las Actividades Académicas (Resolución de Consejo Universitario – Rector Nº 432-2016-UNASAM del 28-12-2017).

Huaraz, 26 de Octubre de 2017

MSc. **CARLOS BORROMEO POMA VILLAFUERTE**
Presidente
jurado de Sustentación

MSc. **MARIO VLADIMIR LEYVA COLLAS**
Secretario
Jurado de Sustentación

Ing. **FRANCISCO CLAUDIO LEON HUERTA**
Vocal
Jurado de Sustentación

Dr. **EDWIN JULIO PALOMINO CADENAS**
Asesor de Tesis

DEDICATORIA

Al que me da la fuerza cada día
para pensar, para caminar,
para respirar, para vivir,
a quien le debo mi vida,
que en su infinita misericordia
derrama bendiciones a mi hogar
y alumbra mis pasos,
a Dios.

A mis padres
Julia Luisa y Pedro Roberto,
por darme la vida, por amarme,
por creer en mí
y por tanto sacrificio para cumplir mis sueños.
Padres,
gracias por darme una carrera,
todo esto se lo debo a ustedes.

Rossan López Tarazona

AGRADECIMIENTOS

Expreso mi más sincero agradecimiento
a todos los que han hecho posible
la realización de este trabajo,
de manera especial:

A mi asesor Dr. Edwin Julio Palomino Cadenas,
por la confianza, el tiempo y la paciencia,
así como por los aportes
haciendo posible el desarrollo
de la presente investigación.

A Ingles Alejos Beltrán,
por su apoyo incondicional
en los ensayos realizados en esta investigación.

A la Facultad de Ciencias del Ambiente
de la Universidad Nacional "Santiago Antúnez de Mayolo",
por la oportunidad que me da de ser parte de ella
y por la formación
entregada a través de los excelentes profesionales
que la conforman.

RESUMEN

El drenaje ácido de mina originado en las bocaminas abiertas “abandonadas” que en su momento formaron parte de la explotación minera a cargo de la Compañía Minera Alianza S. A (que inició sus operaciones desde el año 1967, aproximadamente), ubicado en el distrito de Ticapampa, provincia de Recuay, departamento de Ancash, representan uno de los mayores problemas ambientales, debido a que estas aguas ácidas cargadas de metales pesados, son usadas para riego de vegetales y bebida de animales, y afectan a las especies hidrobiológicas, flora, fauna, alteran el paisaje y contaminan otros cuerpos de agua. Por lo tanto, con la presente investigación se buscó determinar si la influencia de la pulpa de relave minero, es eficiente para reducir la concentración de los sólidos totales en suspensión y de los metales pesados (totales y disueltos): arsénico, cadmio, cobre, hierro, mercurio, plomo y zinc, que contienen estos drenajes ácidos de mina.

La investigación fue experimental a nivel de laboratorio, la cual consistió en tomar muestras de drenaje ácido de mina (pH = 3,36) de una bocamina abierta, perteneciente a la etapa de explotación a cargo de la Compañía Minera Alianza S. A; así también se tomó muestras de pulpa de relave minero (pH = 10,45) de la Planta Concentradora de Minerales Santa Rosa de Jangas, ubicada en el distrito de Jangas, provincia de Huaraz y departamento de Ancash. Posteriormente, en el Laboratorio de Calidad Ambiental de la Facultad de Ciencias del Ambiente de la Universidad Nacional “Santiago Antúnez de Mayolo”, se realizó el ensayo de neutralización añadiendo pulpa de relave minero a 1L de drenaje ácido de mina, de manera que se fue subiendo el pH de ácido a alcalino, agitando la mezcla por un minuto. Finalmente, se dejó decantar las muestras por 15 minutos, 24 horas y 48 horas para luego realizar el análisis de los sólidos totales en suspensión y de los metales pesados (totales y disueltos), en el laboratorio acreditado Servicios Analíticos Generales S. A. C.

Cabe mencionar que los ensayos se realizaron en el mes de marzo del año 2016 y en el mes de febrero del año de 2017. En marzo del 2016 se realizó el ensayo de neutralización y los análisis de reducción luego de 15 minutos de decantación; mientras que en el mes de febrero de 2017 se realizó el ensayo de neutralización y el análisis después de 24 y 48 horas de decantación.

De los análisis realizados se evidencia que cuanto más tiempo decanta la muestra, la influencia de la pulpa de relave minero sobre el drenaje ácido de mina es más eficaz para la reducción de la concentración de arsénico, cadmio, cobre, hierro y zinc; a pesar

de que al inicio (en los 15 minutos de decantación) las concentraciones de estos metales pesados se incrementan grandemente; esto no ocurre con el plomo (total y disuelto), pues la influencia de la pulpa de relave minero no es eficiente para reducir su concentración, debido a que la concentración del plomo se incrementó en los tres tiempos de decantación (15 minutos, 24 horas y 48 horas). Finalmente, se determinó que la pulpa de relave minero no es eficiente para reducir la concentración de los sólidos totales en suspensión que pueden contener los drenajes ácidos de mina, debido a que la pulpa de relave minero es más bien un gran aportante de sólidos a la mezcla final.

Palabras Claves: Metales pesados, Sólidos totales en suspensión, Drenaje ácido de mina, Pulpa de relave minero, Ensayo de neutralización.

ABSTRACT

Acid mine water originated in the "abandoned" pithead of the Compañía Minera Alianza S. A, located in the district of Ticapampa, province of Recuay and department of Ancash; represents an environmental problem because is used for irrigation of vegetables and animal drink despite its high content of metals and total suspended solids. In this context, the present research aimed to determine the influence of tailings in reducing the concentrations of total suspended solids and heavy metals (total and dissolved): arsenic, cadmium, copper, iron, mercury, lead and zinc; present in acid mine water.

The research was experimental at laboratory level and consisted in taking samples of acid mine water (pH = 3.36) from an opened pithead, belonged to the exploitation stage by the Compañía Minera Alianza S.A; also, a sample of tailings (pH = 10.45) was taken from the Santa Rosa de Jangas Mineral Concentrator Plant, located in Jangas district, Huaraz province and Ancash department. Subsequently, in the Environmental Quality Laboratory of the Faculty of Environmental Sciences of the National University “Santiago Antúnez de Mayolo”, the neutralization test was carried out by adding tailings to 1L of acid mine water so that the pH would change from acid to alkali, stirring the mixture for one minute. Finally, the samples were decanted for 15 minutes, 24 hours and 48 hours, after which the analysis of total suspended solids and heavy metals (total and dissolved) in the accredited laboratory Servicios Analíticos Generales S.A.C.

It should be mentioned that the tests were carried out in March 2016 and in February 2017. In March 2016 the neutralization test and the reduction analyzes were carried out after 15 minutes of decantation; while in the month of February 2017 the neutralization test and the analysis were performed after 24 and 48 hours of decantation.

From the analysis carried out, it is evident that the longer the sample decants, the influence of tailings on the acid mine water is more efficient, reducing the concentration of arsenic, cadmium, copper, iron and zinc; although in the beginning (in the 15 minutes of decanting), the concentrations of these heavy metals increase greatly. In contrast, the lead concentration (total and dissolved) did not decrease in any of the three settling times (15 minutes, 24 hours and 48 hours). Finally, tailings were not efficient to reduce the concentration of the total suspended solids that can contain the acid mine water, because tailings are a great contributor of solids to the final mixture.

Keywords: Heavy metals, Total solids in suspension, Acid mine drainage, Mineral tailings pulp, Neutralization test.

INDICE

CONTENIDO	Pág.
ACTA DE SUSTENTACIÓN	i
DEDICATORIA	ii
AGRADECIMIENTOS	iii
RESUMEN	iv
ABSTRACT	vi
INDICE	vii
LISTA DE TABLAS	x
LISTA DE FIGURAS	x
LISTA DE GRAFICOS	x
LISTA DE FOTOGRAFIAS	xi
LISTA SIGLAS	xi
LISTA DE UNIDADES DE MEDIDA	xii
CAPÍTULO I	
INTRODUCCIÓN	1
1.1. Antecedentes	1
1.2. Planteamiento del problema	3
1.3. Hipótesis	4
1.4. Objetivos	4
1.4.1. Objetivo general	4
1.4.2. Objetivos específicos	4
1.5. Fundamentación	5
1.6. Descripción del ámbito de investigación	6
1.7. Definición de términos	6
1.7.1. Drenaje ácido de mina	6
1.7.2. Metales disueltos	7
1.7.3. Metales pesados	7
1.7.4. Metales totales	7
1.7.5. Pulpa de relave minero	7
1.7.6. Relave minero	8
1.7.7. Sólidos totales en suspensión	8
CAPÍTULO II	
MARCO REFERENCIAL	9

2.1. Drenaje ácido de mina 9
2.2. Formación del drenaje ácido de mina 10
2.3. Control del drenaje ácido de mina 12
2.4. Reducción de la concentración de metales como hidróxidos 14
2.5. Metales pesados 15
2.6. Residuos del proceso de flotación de metales 16
2.7. Relave minero metalúrgico 17
2.8. Pulpa de relave minero 18

CAPÍTULO III
METODOLOGÍA 21
3.1. Diseño 21
3.2. Caracterización de la muestra 22
3.3. Población 22
3.4. Variables de estudio 23
3.5. Procedimientos 23
3.6. Análisis de datos 24
3.7. Recursos 25
3.2.1. Humanos 25
3.2.2. Materiales, servicios y equipos 25

CAPÍTULO IV
RESULTADOS 27
4.1. Ensayo de neutralización del drenaje ácido de mina 28
4.2. Caracterización de la pulpa de relave minero 29
4.3. Caracterización del drenaje ácido de mina y de la mezcla de drenaje ácido de mina con pulpa de relave minero 30

CAPÍTULO V
DISCUSIÓN 32
5.1. Ensayo de neutralización 32
5.2. Análisis de los sólidos totales en suspensión 33
5.3. Análisis de los metales pesados 34
5.3.1. Arsénico 34
5.3.2. Cadmio 36
5.3.3. Cobre 38
5.3.4. Hierro 40

5.3.5. Plomo 42
5.3.6. Zinc 44
5.3.7. Mercurio 47

CAPÍTULO VI
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES 48
5.4. Conclusiones 48
5.5. Recomendaciones 49

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS 50

ANEXOS 52
Anexo 1 Informes de ensayos de los laboratorios 53
Anexo 2 Certificados de calibración de multiparámetro 61
Anexo 3 Registro fotográfico 73

LISTA DE TABLAS

CONTENIDO **Pág.**

Tabla 01 Variación de la pendiente límite con la concentración de sólidos en una pulpa de relaves 20
Tabla 02 Parámetros analizados en el agua 22
Tabla 03 Variables de la investigación 23
Tabla 04 Materiales, equipos y servicios 25
Tabla 05 Resultados de pH 28
Tabla 06 Resultados del ensayo neutralización 28
Tabla 07 Resultados de la verificación del volumen de mezcla 29
Tabla 08 Resultados de los parámetros evaluados en la pulpa de relave minero 29
Tabla 09 Resultados de los parámetros evaluados en el drenaje ácido de mina y en la mezcla de drenaje ácido de mina con pulpa de relave minero 31
Tabla 10 Resultados de los parámetros de campo 32
Tabla 11 Resultados de las concentraciones de mercurio total y disuelto 47

LISTA DE FIGURAS

CONTENIDO **Pág.**

Figura 1 Etapas en la formación de aguas ácidas 12
Figura 2 Precipitación de metales como hidróxidos por variación del pH 14

LISTA DE GRAFICAS

CONTENIDO **Pág.**

Grafica 01 Ensayo de neutralización para determinar la proporción necesaria entre el drenaje ácido de mina/pulpa de relave minero 33
Gráfica 02 Variación de los sólidos totales en suspensión 34
Gráfica 03 Variación de la concentración del arsénico total en el agua 35
Gráfica 04 Variación de la concentración del arsénico disuelto en el agua 36
Gráfica 05 Variación de la concentración del cadmio total en el agua 38
Gráfica 06 Variación de la concentración del cadmio disuelto en el agua 38

Gráfica 07 Variación de la concentración del cobre total en el agua 40
Gráfica 08 Variación de la concentración del cobre disuelto en el agua 40
Gráfica 09 Variación de la concentración del hierro total en el agua 42
Gráfica 10 Variación de la concentración del hierro disuelto en el agua 42
Gráfica 11 Variación de la concentración del plomo total en el agua 44
Gráfica 12 Variación de la concentración del plomo disuelto en el agua 44
Gráfica 13 Variación de la concentración del zinc total en el agua 46
Gráfica 14 Variación de la concentración del zinc disuelto en el agua 46

LISTA DE FOTOGRAFIAS

CONTENIDO **Pág.**

Foto 1 Pasivo Ambiental Minero (PAM), bocamina abierta por donde drena ácido de mina de la explotación de la Compañía Minera Alianza S.A. 74
Foto 2 Toma de muestra de drenaje ácido de mina (DAM) de la Bocamina abierta de la ex Compañía Minera Alianza S.A. 74
Foto 3 Descarga de pulpa de relave minero en la Presa de relaves de la Planta Concentradora de Minerales Santa Rosa de Jangas 75
Foto 4 Toma de muestra de pulpa de relave minero (PRM) de la Planta Concentradora de Minerales Santa Rosa de Jangas 75
Foto 5 Realización de los ensayos de neutralización 76

LISTA DE SIGLAS

SIGLA	DENOMINACIÓN
DAM	Drenaje ácido de mina.
INECC	Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático.
LMP	Límite máximo permisible.
MINAM	Ministerio del Ambiente.
MINEM	Ministerio de Energía y Minas.
PAM	Pasivos ambientales mineros.
PRM	Pulpa de relave minero.
STS :	Sólidos totales en suspensión.
UNASAM	Universidad Nacional “Santiago Antúnez de Mayolo”

UNESCO Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y La Cultura (en inglés, United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization).

LISTA DE UNIDADES DE MEDIDA

DENOMINACIÓN	UNIDAD DE MEDIDA	ABREVIATURA
Volumen	Litro	(L)
Concentración	Miligramo por litro	(mg/l)

CAPITULO I

INTRODUCCIÓN

Los drenajes ácidos de mina procedentes de las bocaminas abiertas (actualmente abandonadas-pasivos ambientales) que en su momento formaron parte de la explotación minera a cargo de la Compañía Minera Alianza S. A., desde el año 1967 (luego fue transferida a la Compañía Minera Yahuarcocha S. A), ubicados en el distrito de Ticapampa, provincia de Recuay y departamento de Ancash; representan uno de los mayores problemas ambientales, debido al alto potencial de contaminación como la pérdida de especies de flora, fauna, la alteración del paisaje y la contaminación de cuerpos de aguas superficiales y/o subterráneas.

En el presente trabajo de investigación se utilizó pulpa de relave minero con el fin de determinar si la influencia de este es eficiente para reducir la concentración de los metales pesados totales y disueltos: arsénico, cadmio, cobre, hierro, mercurio, plomo y zinc; así como para reducir la concentración de los sólidos totales en suspensión que puede contener el drenaje ácido de mina. Según lo indicado, con esto se pretende aprovechar el pH alcalino de la pulpa de relave minero, el cual fue tomado de la Planta Concentradora de Minerales Santa Rosa de Jangas, ubicada en el distrito de Jangas, provincia de Huaraz y departamento de Ancash.

1.1. Antecedentes

1.1.1. Determinación de Pb, Cd y As en aguas del río Santa en el pasivo minero ambiental de Recuay, Ticapampa; Recuay– Ancash, por Franklin Wilfredo Graza Evaristo y Ronal Quispe Pozo.

Este trabajo se realizó en el año 2015, el cual consistió en cuantificar las concentraciones de arsénico, cadmio y plomo en las aguas del río Santa en el tramo adyacente a la exrelavera (Pasivo Ambiental Minero), ubicado en el distrito de Ticapampa, provincia de Recuay, departamento de Ancash. Se tomó muestras en nueve (9) puntos consecutivos y se analizó la concentración de los metales antes mencionados, y se encontró que las concentraciones de cadmio, plomo y zinc, en los nueve (9) puntos evaluados, superaron los Estándares de Calidad Ambiental para Agua, Categoría 1: Población y recreacional –aguas que pueden ser potabilizadas con desinfección. Llegaron sus autores a la conclusión de que estas aguas en el tramo evaluado, no son adecuadas para el uso y consumo humano. Además, el estudio determinó que parte de la contaminación del río Santa es provocada principalmente por la descarga de residuos mineros que están ubicados a lo largo de todo su cauce (en el tramo de Ticapampa–Recuay), ya que usan el río Santa como vía de eliminación de sus residuos.

1.1.2. Actualizan el inventario inicial de pasivos ambientales mineros

El 5 de mayo del 2015, mediante la Resolución Ministerial N° 102–2015-MEM/DM, el Ministerio de Energía y Minas (MINEM) actualizó el inventario de los Pasivos Ambientales Mineros (PAM) en el Perú, encontrándose un total de 8 616 pasivos ambientales mineros, de los cuales 1 251 se encuentran en el departamento de Ancash, 177 en la provincia de Recuay y 59 en el distrito de Ticapampa. De los 59 pasivos encontrados en el distrito de Ticapampa, 15 son bocaminas abiertas (en su mayoría con drenajes ácidos), tres (3) son relaveras y 41 son entre campamentos, desmontes de mina, instalaciones de servicios, etc.

1.1.3. Tratamiento del drenaje ácido de mina usando el método de lodos de alta densidad y empleando relaves mineros como medio neutralizante y aglomerante, por Michel Roberto Carlo Agama.

Este estudio fue realizado en el año de 2005, en la empresa CONSULCONT S. A. C, la escala del estudio fue a nivel piloto, para un caudal de drenaje ácido de mina de 200 L/s. La investigación se basó en dar un tratamiento al drenaje ácido de mina (pH = 3,1), para mitigar su

concentración de zinc; usando relave minero de la producción de zinc, con pH = 11,5 – 12, como agente neutralizante y aglomerante. Adicionalmente se usó Lodos de Alta Densidad (HDS), también como un agente neutralizante. Para verificar la eficiencia de los compuestos usados se tomó como norma comparativa la Resolución Ministerial N° 011-96-EM/VMM. En el estudio se llegó a la conclusión de que el relave minero de la producción de zinc, usado como medio neutralizante y aglomerante en el tratamiento de efluentes ácidos de mina para reducir la concentración de zinc, es técnica y económicamente viable.

1.2. Planteamiento del problema

Las aguas de mina crean numerosos problemas, ya que en contacto con el aire producen la oxidación química y biológica de los sulfuros, dando como resultado el incremento de la acidez en el medio. En general, las aguas ácidas tienen muy bajo pH, contienen una gran cantidad de sólidos disueltos, una elevada acidez total y un alto contenido de elementos traza y compuestos inorgánicos. Además, la presencia de aguas ácidas va asociada a explotaciones de sulfuros complejos y de la minería de oro y carbón con altos contenidos de pirita; sin embargo no sólo las minas en actividad pueden provocar efluentes ácidos sino también las explotaciones clausuradas, tanto si son a cielo abierto o son subterráneas. Estos efluentes afectan al medio físico y la salud humana (Aduvire, 2006).

Por lo tanto, los drenajes ácidos de mina procedentes de las bocaminas abiertas “abandonadas” (pasivos ambientales) que en su momento formaron parte de la explotación minera a cargo de la Compañía Minera Alianza S. A (que luego fue transferida a la Compañía Minera Yahuarcocha S. A), ubicadas en el distrito de Ticapampa, provincia de Recuay y departamento de Ancash; representan uno de los mayores problemas ambientales, debido a la afectación de las especies de flora, fauna, la alteración del paisaje y la contaminación de cuerpos de aguas.

Por estos problemas surge la siguiente pregunta: ¿Cuál es la influencia de la pulpa de relave minero en la reducción de la concentración de los sólidos totales en suspensión y los metales pesados (totales y disueltos): arsénico, cadmio, cobre, hierro, mercurio, plomo y zinc que se encuentran en los drenajes ácidos de mina?

1.3. Hipotesis

La hipótesis planteada fue: La influencia de pulpa del relave minero es eficiente para la reducción de la concentración de los sólidos totales en suspensión y los metales pesados (totales y disueltos): arsénico, cadmio, cobre, hierro, mercurio, plomo y zinc que se encuentran en los drenajes ácidos de mina.

- ✓ Se confirmó que la pulpa de relave minero es eficiente para reducir la concentración de los metales pesados (totales y disueltos): arsénico, cadmio, cobre, hierro y zinc.

- ✓ Sin embrago, se niega que la pulpa de relave minero sea eficiente para reducir la concentración de los sólidos totales en suspensión y del metal pesado plomo (total y disuelto).

Además, no se pudo determinar si la pulpa de relave minero es eficiente o no, para reducir la concentración del mercurio (total y disuelto), debido a que en los resultados de este metal se encontró que estaba por debajo del límite de detección del laboratorio.

1.4. Objetivos

1.4.1. Objetivo general

Determinar si la influencia de la pulpa de relave minero es eficiente para la reducción de la concentración de metales pesados y sólidos totales en suspensión de los drenajes ácidos de mina.

1.4.2. Objetivos específicos

a. Determinar si la influencia de la pulpa de relave minero es o no eficiente para reducir la concentración de los metales pesados totales y disueltos: arsénico, cadmio, cobre, hierro, mercurio, plomo y zinc, que contiene el drenaje ácido de mina.

b. Determinar si la influencia de la pulpa de relave minero es o no eficiente para reducir la concentración de sólidos totales en suspensión que contiene el drenaje ácido de mina.

1.5. Fundamentación

Para remediar las aguas de drenaje ácido de mina es necesaria una planta de tratamiento donde generalmente se utiliza cal (CaO). El tratamiento consiste en subir el pH de las aguas ácidas aproximadamente de 3 a 9 ± 0,5 (alcalino), con el fin de que los metales que se encuentren en el drenaje ácido de mina se precipiten en forma de hidróxidos u óxidos metálicos. Así también, para que las partículas (sólidos) que contienen los drenajes ácidos de mina, sedimenten, comúnmente se utiliza coagulantes (sales de aluminio y de hierro), teniendo en cuenta que el agua deben tener un pH 8,5 ± 0,5, para que la coagulación sea eficiente. Los productos de este tratamiento constituyen el agua tratada que cumple con los límites máximos permisibles y que puede ser vertida a un cuerpo de agua receptor o darle otro uso como para el riego de áreas verdes, así como también se obtiene lodos con los metales precipitados neutralizados, los cuales son llevados a un lecho de secado para su disposición final.

Por otro lado, el sub-producto del proceso de la recuperación de los metales en una planta concentradora (después del chancado, molienda y flotación), es la pulpa de relave minero (mezcla de agua con arena, limo, minerales del yacimiento y otros más), el cual tiene pH alcalino (pH 11 – 12) y con sólidos predominantes del tamaño de arena, los cuales son depositadas en una cancha de relave para su posterior cierre. Hoy en día el cierre de las canchas de relaves principalmente consiste en cubrir el relave con geomembrana, luego colocarle encima una capa de arcilla, otra capa de cal, una tercera de suelo orgánico y posteriormente colocar plantas para su posterior desarrollo, teniendo en cuenta la estabilidad física, química e hídrica (para evitar generación de lixiviados ácidos).

En la presente investigación se empleó pulpa de relave minero como agente neutralizante y aglomerante, con el fin de reducir la concentración de los sólidos totales en suspensión y los metales pesados (totales y disueltos): arsénico, cadmio, cobre, hierro, mercurio, plomo y zinc, que contienen las aguas de drenaje ácido de mina; con esto se estaría reduciendo en lo mínimo posible el uso de cal y de coagulante en el tratamiento de las aguas ácidas. Los productos de este "proceso" fueron: el agua tratada que cumple con los límites máximos permisibles y que puede ser vertida a un cuerpo de agua receptor o darle otro uso como por ejemplo para el riego de áreas verdes, así como también se obtiene lodos con precipitado de metales neutralizados que podrían ser utilizados para la estabilización de taludes, para fábrica de ladrillos o baldosas, entre otros. Es

importante resaltar que con esto se le estaría dando uso beneficioso a la pulpa de relave minero.

El resultado de esta investigación demuestra que fue viable para la reducción de la concentración de los metales pesados (totales y disuelto): arsénico, cadmio, cobre, hierro y zinc; por el contrario no es viable para la reducción de los sólidos totales en suspensión y los metales pesados (totales y disueltos) como el plomo, que pueden contener los drenajes ácidos de mina. Y para el caso del mercurio no se puedo determinar si fue eficiente o no, porque en los resultados se encontró que el mercurio estaba por debajo del límite de detección del laboratorio.

1.6. Descripción del ámbito de la investigación

La muestra de drenaje ácido de mina fue tomada de una bocamina abierta (actualmente no se le ha realizado un cierre adecuado y se encuentra en abandono) perteneciente a la etapa de explotación minera a cargo de la Compañía Minera Alianza S. A, ubicada en el distrito de Ticapampa, provincia de Recuay y departamento de Ancash, con las siguientes coordenadas UTM zona 18L, este: 227 312 m, norte: 8 918 550 m y con una altitud de 4170 msnm.

La muestra de pulpa de relave minero fue tomada de la Planta Concentradora de Minerales Santa Rosa de Jangas, ubicada en el distrito de Jangas, provincia de Huaraz y departamento de Ancash; con las siguientes coordenadas UTM Zona 18L este: 216 474 m, norte: 8 960 633 m y con una altitud de 2800 msnm.

1.7. Definición de términos

1.7.1. Drenaje ácido de mina

Es el agua contaminada originada por la explotación minera, ya sea superficial o profunda, típicamente de alta acidez, rica en sulfato y con niveles elevados de metales pesados, principalmente hierro, manganeso y aluminio. Debido a la alta cantidad de hierro oxidado, el drenaje ácido de la mina es a menudo rojizo y coloreado (Gamonal, 2002).

1.7.2. Metales disueltos

Son aquellos metales presentes en una muestra de agua, que pasan a través de un filtro de membrana de 0,45µm. (Morel, 1994).

1.7.3. Metales pesados

Los metales pesados son un grupo de elementos químicos que presentan una densidad relativamente alta y cierta toxicidad para los seres humanos. Los contaminantes como los metales pesados tienen la capacidad de provocar cambios evolutivos debido a sus efectos dañinos en plantas. Ejemplos de metales pesados son el cobre (Cu), plomo (Pb), zinc (Zn), mercurio (Hg), arsénico (As), etc. (MINAM, 2012).

Metales pesados son aquellos cuya densidad es por lo menos cinco veces mayor que la del agua. Tienen aplicación directa en numerosos procesos de producción de bienes y servicios. Los más importantes son: arsénico (As), cadmio (Cd), cobalto (Co), cromo (Cr), cobre (Cu), mercurio (Hg), níquel (Ni), plomo (Pb), estaño (Sn) y cinc (Zn). (Cricyt,2011)g

1.7.4. Metales totales

Es la suma de la concentración de metales en ambas fracciones de una muestra, disueltos y suspendidos. Estos pueden ser determinados en una muestra sin filtrar que previamente ha sido digerida vigorosamente con ácido para solubilizar completamente los metales a determinar (CANCELA A LA, 1981).

1.7.5. Pulpa de relave minero

Es la suspensión acuosa de sólidos tamaño de entre arena y limo, con agua, que se generan como residuo del procesamiento de minerales (por concentración o lixiviación en tanques), una vez que es extraído el mineral de interés. Generalmente, estos residuos, son transportados desde la planta hasta el depósito de relaves, a través de tuberías. (Martínez, 2014).

1.7.6. Relave minero

Se define como el desecho mineral sólido de tamaño entre arena y limo proveniente del proceso de concentración que es producido, transportado o depositado en forma de lodo (Guía ambiental para el manejo de relaves mineros - MINEM, 1993).

Es la fracción solida de la pulpa de relave, que se genera y desecha en las plantas de concentración de minerales (principalmente por flotación), que han experimentado una o varias etapas en circuito de molienda fina. (Reglamento de diseño, construcción, operación y cierre de los depósitos de relaves-Chile, 2006).

1.7.7. Sólidos totales en suspensión

Son partículas sólidas pequeñas, insolubles, inmersas en un fluido en flujo turbulento que actúa sobre la partícula con fuerzas en direcciones aleatorias que contrarrestan la fuerza de la gravedad, impidiendo así que el sólido se deposite en el fondo. Los factores que influyen para que una partícula no se decante en el fondo son: tamaño, densidad, forma de la partícula y la velocidad del agua. Cyclus (2014).

CAPITULO II

MARCO REFERENCIAL

2.1. Drenaje ácido de mina

Según la guía ambiental para el manejo de drenaje ácido de mina – MINEM (1993) es “el drenaje contaminado que resulta de la oxidación de minerales sulfurados y lixiviación de metales asociados, provenientes de las rocas sulfurosas cuando son expuestas al aire y al agua.

El desarrollo del clásico drenaje ácido de pH bajo y rico en metales es un proceso que depende del tiempo; a lo largo del tiempo, la química del agua de drenaje cambiará, volviéndose gradualmente más ácida.

Los componentes principales para la generación de ácido son:

- minerales sulfurosos reactivos,
- agua o atmósfera húmeda y
- un oxidante, especialmente el oxígeno de la atmósfera o de fuentes químicas.

La velocidad y la magnitud de la generación de ácido son afectadas por los siguientes factores secundarios:

- Bacterias (*Thiobacillus ferrooxidans*).
- pH.
- Temperatura.

Generalmente el drenaje ácido de mina se caracteriza por:

- Valores de pH por debajo de 7 hasta 1,5
- Alcalinidad decreciente y acidez creciente
- Concentraciones elevadas de sulfato
- Concentraciones elevadas de metales (disueltos o totales)
- Concentraciones elevadas de sólidos disueltos y totales.

Según la guía metodológica sobre drenaje ácido en la industria minera – Chile, (2002), las fuentes de drenaje ácido de mina son:

- Botaderos de material estéril (< 0,2 % Cu).
- Botaderos de sulfuros de baja ley (0,2 % < Cu < 0,4%)
- Grandes rajos de minería a cielo abierto

Las rocas de construcción, rellenos, embalses, carreteras y cualquier otro mineral sulfurado expuesto al aire y agua, ya sea en fuentes naturales o en una explotación minera.

2.2. Formación del drenaje ácido de mina

Según Aduvire (2006), el drenaje ácido de mina (AMD) es la consecuencia de la oxidación de algunos sulfuros minerales (pirita, pirrotita, marcasita, etc.) en contacto con el oxígeno del aire y agua:

Sulfuro mineral + Oxígeno + Agua = Sulfato + Acidez + Metal

También otros oxidantes como hierro férrico pueden reemplazar al oxígeno del aire en la reacción y en algunos casos al oxígeno del agua:

Sulfuro mineral + Hierro férrico + Agua = Sulfato + Acidez + Metal

Las etapas en la formación de aguas ácidas son:

1^{era} etapa. La oxidación de minerales sulfurosos libera hierro ferroso que bajo condiciones neutras se oxida químicamente y se transforma en hierro férrico que se precipita como hidróxido y aporta acidez al medio. En esta etapa del proceso, la velocidad de oxidación es baja en los dos mecanismos de generación ácida (directa e indirecta) y la formación de aguas ácidas por oxidación debida al

aire y a las bacterias (fundamentalmente *Thiobacillus ferrooxidans*) se producen a un ritmo semejante. Por lo general, la alcalinidad disponible en el medio es suficiente para neutralizar parcialmente la acidez que se ha producido lentamente.

2da etapa. La acidez acumulada supera la capacidad de neutralización del medio y el pH desciende y predomina la oxidación de la pirita por la acción bacteriana. En la reacción se produce el sulfato ferroso que al ser oxidado nuevamente se transforma en sulfato férrico, y éste a su vez en contacto con el agua da lugar al ácido sulfúrico y al hidróxido férrico, que es insoluble y es el que provoca la coloración amarilla de las aguas. En esta etapa disminuye la eficacia del mecanismo directo (oxidación por el aire) y aumenta mucho la del indirecto (oxidación por el hierro férrico).

3^{era} etapa. Cuando el pH desciende por debajo de 3 en la proximidad de los granos de pirita (aproximadamente 4,5 en el agua), el ion férrico se ve afectada por las reacciones de oxidación-reducción y la acción bacteriana puede lixiviar el sulfuro de hierro directamente a sulfato. En esta etapa varía la generación de ácido al aumentar la solubilidad del hierro y disminuye la precipitación de hidróxido férrico. En resumen, el *Thiobacillus ferrooxidans* oxida el ion ferroso a férrico que a su vez oxida a los sulfuros (pirita) produciendo más ácido. En este momento se producen grandes cantidades de ácido y se deben tener en cuenta los siguientes puntos:

- El mecanismo más importante es el indirecto, ya que es el que se autocataliza (si se inhibe la bacteria *Thiobacillus ferrooxidans* la producción de ácido se reduce al menos en un 75%).
- Si el pH del agua sube por encima de 5, igualmente se inhibe la oxidación.
- Si el pH del agua desciende por debajo de 4,5 debe esperarse que todo el sulfuro de hierro termine oxidándose.

Si el pH desciende por debajo de 2,5 se establece un equilibrio en el que la actividad bacteriana se estabiliza, ya que habrá alcanzado su óptimo de desarrollo (la velocidad de reacción se habrá incrementado entre 105 y 106 veces respecto al mecanismo directo).

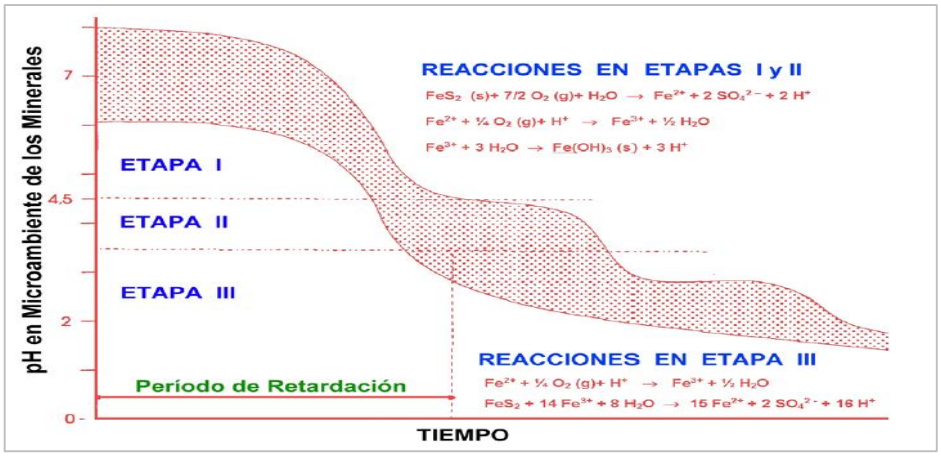


Figura 1: Etapas en la formación de aguas ácidas

Fuente: Aduvire (2006)

2.3. Control del drenaje ácido de mina

La guía ambiental para el manejo de drenaje ácido de mina –MINEM (1993), indica que en el control del drenaje ácido, se deben reconocer dos términos diferentes y los tratamientos que se le aplican a los drenajes ácidos, tal como se detalla a continuación:

Prevención, es decir, las medidas de control diseñadas e implementadas antes de la presencia del DAR. En este caso, el control de la calidad del agua es fundamentalmente el control de todo producto soluble y la prevención de oxidación y generación de ácido en el futuro.

Abatimiento y Mitigación, es decir, el control que se implementa después de la generación o liberación de contaminantes. En este caso, las medidas de control deberán referirse a la oxidación, pasada y futura, y a los productos solubles almacenados.

Tratamientos

Existen dos tipos principales de sistemas de tratamiento del drenaje ácido:

- Los sistemas activos que requieren la operación y mantenimiento continuos; y
- los sistemas pasivos que se basan en el tratamiento "natural" y pretenden funcionar sin cuidados ni mantenimiento.

La tecnología demostrada para el tratamiento activo es el proceso de neutralización química (con cal). Se elimina la acidez de la solución mediante

neutralización, los metales pesados se precipitan en la forma de óxidos, hidróxidos o sulfuros. Otros componentes nocivos, como el arsénico y el antimonio, se extraen por precipitación; el arsenato o antimoniato se extraen a través del uso de hierro férrico y aireación.

Tratamiento Activo

El tratamiento químico del drenaje ácido es una tecnología ampliamente conocida y aceptada. Por lo general, el tratamiento consiste en un circuito de neutralización química para extraer de la solución:

- La acidez –por neutralización
- Los metales pesados –por hidrólisis y precipitación
- Otros contaminantes como sólidos suspendidos, arsenato, antimoniato por formación de un complejo y precipitación.

A continuación se presentan ejemplos de estos procesos:

Neutralización

Por ejemplo:

$H_2SO_4 + Ca(OH)_2 \rightarrow CaSO_4.2H_2O$ (Cal apagada yeso)

Eliminación de Metales

Precipitación como hidróxido o sulfuro; por ejemplo, cobre:

$CuSO_4 + Ca(OH)_2 + 2H_2O \rightarrow Cu(OH)_2 + CaSO_4.2H_2O$

La primera y, tal vez, la segunda etapa de una planta de tratamiento actualmente consisten en la neutralización de la cal en tanques de agitación. Se puede utilizar otras bases en una segunda o tercera etapa para el tratamiento de metales objeto de preocupaciones seleccionadas que no se extraen con la cal. Entre ellos:

- soda cáustica
- ceniza de soda
- hidrosulfuro de sodio
- otros desechos con exceso de alcalinidad, incluyendo ceniza fina o relaves de molino.

Se debe tomar precauciones para utilizar otros desechos con el fin de asegurar que los metales solubles adicionales no sean añadidos al agua de drenaje. Además, se debe aceptar que el uso de desechos, como los relaves,

aumenta la masa total de sedimento producido por la planta de tratamiento y del cual deberá disponerse.

Tratamiento Pasivo

Uno de los avances más prometedores en el tratamiento del drenaje ácido, es el reconocimiento del papel que cumplen los procesos naturales en la eliminación de la acidez, sulfato y metales de las aguas de drenaje ácido. La reducción biológica de sulfato ha sido identificada como uno de los principales contribuyentes a los procesos de mitigación de la calidad del agua en tierras húmedas. Se trata de reacciones que ocurren naturalmente y que producen alcalinidad, reducen los sulfatos y promueven la precipitación de los metales en solución en la forma de sulfuros metálicos.

2.4. Reducción de la concentración de metales como hidróxidos

En página web de Kurimexicana (2013), se indica que:

Si bien se ha empleado una amplia variedad de técnicas para la remoción de metales pesados, tradicionalmente se ha logrado mediante la adición de hidróxido para formar el correspondiente del metal soluble, dichos hidróxidos precipitan y son desechados junto con los lodos.

El uso de hidróxido de calcio para la precipitación de metales, genera mayor volumen de lodos, lo que a su vez conlleva un alto costo de disposición de lodos debido a los grandes volúmenes generados.

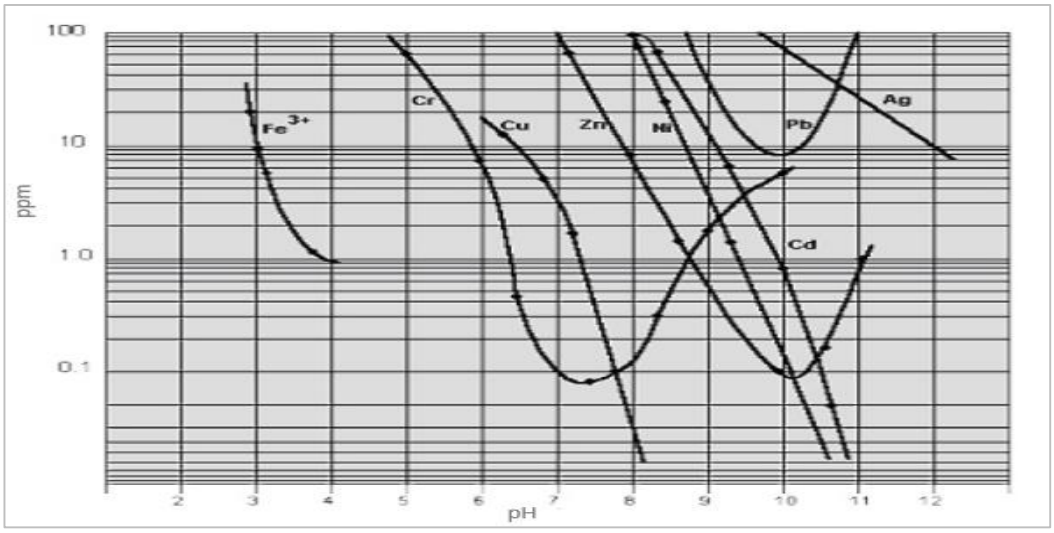


Figura 2: Precipitación de metales como hidróxidos por variación del pH

Fuente: Kurimexicana, 2013

2.5. Metales pesados

Según la página Web del INECC (2009):

El término “metal pesado”, a pesar de ser ampliamente utilizado entre los profesionales y científicos, no tiene una base científica rigurosa o una definición química. Aunque muchos de los elementos que se enlistan en el término “metal pesado” tienen una gravedad específica mayor que cinco, existen diversas excepciones a esta regla.

Estrictamente, y desde el punto de vista químico, los metales pesados están constituidos por elementos de transición y post-transición incluyendo algunos metaloides como el arsénico y selenio.

Una forma opcional de nombrar a este grupo es como “elementos tóxicos”, los cuales, de acuerdo a la lista de contaminantes prioritarios de la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (USEPA), incluyen a los siguientes elementos: arsénico, cromo, cobalto, níquel, cobre, zinc, plata, cadmio, mercurio, titanio, selenio y plomo.

Según la página Web de ECURED (2015), muestra las características generales de los metales pesados:

- Los metales pesados son componentes naturales de la corteza de tierra.
- No pueden ser degradados o ser destruidos.
- En un grado pequeño se incorporan a nuestros cuerpos vía el alimento, el agua potable y el aire.
- Como elementos de rastro, algunos metales pesados (cobre, selenio, cinc) son esenciales para mantener el metabolismo del cuerpo humano. Sin embargo, en concentraciones más altas pueden conducir al envenenamiento.

Según la página Web del INECC (2009), las principales fuentes de emisión y generación de metales pesos son:

Los metales pesados se encuentran en forma natural en la corteza terrestre. Estos se pueden convertir en contaminantes si su distribución en el ambiente se altera mediante actividades humanas. En general, esto puede ocurrir durante la

extracción minera, el refinamiento de productos mineros o por la liberación al ambiente de efluentes industriales y emisiones vehiculares.

2.6. Residuos del proceso de flotación de metales

Según la guía ambiental para el manejo de relaves mineros –MINEM (1993):

Los residuos de reactivos utilizados en flotación acompañan tanto a los relaves sólidos como a los líquidos descargados con los relaves. Los reactivos de flotación pueden ser cal, ditiofosfatos, xantatos, cromatos, sulfitos, sulfato de cobre, sulfato de zinc, ácidos grasos, alcoholes, aceites y cianuro entre otros, dependiendo del requerimiento metalúrgico específico de cada operación.

El proceso de flotación puede también liberar otros constituyentes en solución, dependiendo de la extensión en la cual éstos puedan estar presentes en el mineral y de su solubilidad. Esto incluye frecuentemente sulfatos y cloruros pero a menudo dentro de límites aceptables para agua de bebida y usos acuáticos. Más importantes pueden ser los metales potencialmente tóxicos, tales como arsénico y selenio (sólo si están presentes en el mineral) que pueden ser solubles cerca del pH neutro. Aún los niveles ligeramente elevados de cobre, plata, plomo, aluminio y zinc en solución pueden ser especialmente dañinos para los peces salmónidos, además del riesgo potencial de ser acumulados en los tejidos de los organismos marinos.

Algunos de estos metales pueden ser tóxicos para el consumo humano en mayores concentraciones; otros metales como el cobalto, molibdeno, y níquel pueden afectar adversamente el crecimiento de las plantas o del ganado si están presentes en las aguas usadas para irrigación.

Durante la operación de la concentradora el pH es usualmente mantenido en el rango de 8 a 11, lo cual disminuye la solubilidad de muchos metales; sin embargo, el pH de las aguas del depósito será casi neutro en el largo plazo.

Por otro lado, los floculantes (polímeros sintéticos) coagulantes (Fe, Al y sales) y reactivos químicos para ajustar el pH (cal) pueden ayudar a la reducción de las partículas suspendidas.

2.7. Relave minero metalúrgico

En la guía ambiental para el manejo de relaves mineros –MIMEN (1993), se trata puntos importantes como los siguientes.

Origen y producción de relaves de concentradoras

El proceso de concentración comienza con el chancado del mineral proveniente de la mina hasta tamaños de partículas generalmente en el rango de centímetros o milímetros. El mineral chancado es luego reducido a tamaños menores a un milímetro, en grandes tambores rotatorios clasificados como molinos de bolas, molinos de varillas y molinos semi-autógenos (SAG). Se agrega agua al mineral molido y el material permanece en forma de lodo (pulpa) a través del resto del proceso de extracción.

El siguiente paso es llamado comúnmente flotación. La flotación opera sobre el principio de que partículas individuales que contienen el mineral que se desea extraer son hechas receptivas selectivamente, a pequeñas burbujas de aire que se adhieren a estas partículas y las elevan a la superficie de un tanque agitado. Las espumas que contienen estas partículas valiosas son retiradas de la superficie, procesadas, y secadas para transformarse en concentrado, este producto final de la concentradora, es embarcado a la fundición para su refinación. Entre tanto, las partículas de desecho que quedan constituyen los relaves. Después de recuperar algo del agua del proceso en tanques apropiados, conocidos como espesadores, los relaves son bombeados al lugar destinado para su almacenamiento.

Con respecto a las características químicas que pueden variar ampliamente de un yacimiento a otro, viene a ser el subproducto o suspensión acuosa del sólido de tamaño entre arena y limo, que se genera como residuos del procesamiento de minerales, por concentración o lixiviados en tanque o canchas de relave, una vez extraído el producto de interés. Estos sólidos (arenas y arcillas), sedimentan y a medida que se van oxidando van acidificándose, generando generalmente lixiviados ácidos.

Y también esta guía menciona que las características físicas de los relaves son:

- Contenido de sólidos.

- Granulometría.
- Densidad sólida.
- Permeabilidad.
- Contenido de agua retenida.
- Drenaje.
- Permeabilidad y otros más.

Según Martínez (2014), las características químicas de los relaves son

- Restos de reactivos utilizados en flotación (cal, polímeros sintéticos orgánicos, ácidos grasos, alcoholes).
- Restos de metales, cobre, plata, aluminio, zinc.
- Restos de ácidos sulfúricos o cal usados en los procesos de lixiviados.
- Metales como arsénico y selenio (solubles cerca del pH neutro).

Presencia de sustancias tóxicas o potencial de generación de aguas ácidas.

2.8. Pulpa de relave minero

Con respecto a la pulpa de relave minero, Ramírez (2007) muestra lo siguiente:

Toda planta minera cuyo proceso de concentración es flotación, produce residuos sólidos que se denominan relaves y que corresponden a una “Suspensión fina de sólidos en líquido”, constituidos fundamentalmente por el mismo material presente *in situ* en el yacimiento, al cual se le ha extraído la fracción con mineral valioso, conformando una pulpa, que se genera y desecha en las plantas de concentración húmeda de especies minerales y estériles que han experimentado una o varias etapas en circuito de molienda fina; esta "pulpa o lodo de relaves" fluctúa en la práctica con una razón aproximada de agua/sólidos que van del orden de 1:1 a 2:1.

- **Características y comportamiento de la pulpa de relave en función a la relación líquido/ sólido**

Las características y el comportamiento de esta pulpa dependerá de la razón agua/sólidos y también de las características de las partículas sólidas, como se muestra en los siguientes ejemplos:

- Una masa de relaves con un gran contenido de agua escurrirá fácilmente, incluso con pendientes pequeñas.
- Una masa de relaves con un contenido de agua suficientemente bajo (por ejemplo, relaves filtrados) no escurrirá gravitacionalmente.
- Si las partículas sólidas son de muy pequeño tamaño (equivalentes a arcillas), se demorarán un gran tiempo en sedimentar, manteniéndose en suspensión y alcanzando grandes distancias respecto al punto de descarga antes de sedimentar.
- Si las partículas sólidas son de gran tamaño (equivalentes a arenas) sedimentarán rápidamente y se acumularán a corta distancia del punto de descarga.

➢ **Efectos de la razón Sólido/Agua (S: A) en la pulpa de relave.**

- Una pulpa de relaves con suficiente agua se comportará como una suspensión acuosa, cuya viscosidad aumenta si disminuye el agua, hasta que, para contenidos de agua suficientemente bajos se comportará como un lodo espeso y eventualmente, como un suelo húmedo.
- Experimentalmente podemos señalar que:
- Si la razón S: A es menor que 50%, la pulpa de relaves se comporta como suspensión acuosa, y escurrirá incluso con pendientes menores al 2% y se produce segregación de las partículas con la distancia al punto de descarga.
- Si la razón S: A es mayor o igual que 55% la pulpa de relaves comienza a tener comportamiento de un lodo viscoso; disminuye fuertemente la segregación de partículas y se necesitará pendientes mayores al 2% para escurrir.

La siguiente Tabla 01, indica la pendiente límite que admite una pulpa de relaves para distintas concentraciones de sólidos en peso (pendientes mayores producirán su escurrimiento).

Tabla 01: Variación de la pendiente límite con la concentración de sólidos en una pulpa de relaves

Pendiente Límite (%)	Porcentaje de sólidos en peso (%)
< 2	< 50
2-3	55-66
3-5	60-63
4-6	63-65
>6	>65

Fuente: Ramírez (2007)

La guía ambiental para el manejo de relaves mineros –MINEM (1993), muestra lo siguiente:

- **Características de la deposición de la pulpa de relave**

Los relaves son casi siempre transportados desde la concentradora a través de una tubería, en la forma de pulpa (mezcla de agua y sólidos), en concentraciones que van de 20 a 50% de sólidos en peso. En los depósitos superficiales la pulpa es descargada desde la cresta del dique, por una reubicación periódica del extremo de una tubería de descarga. Conforme los sólidos se asientan a partir de la pulpa descargada, se forma una playa de leve inclinación que se extiende desde el punto de descarga hasta la poza de decantación donde el agua remanente de la pulpa se acumula para ser recirculada a la concentradora.

CAPITULO III

METODOLOGIA

3.1. Diseño

El diseño de investigación fue del tipo experimental a nivel de laboratorio, el cual consistió en realizar una descripción cuantitativa de los sólidos totales en suspensión y los metales pesados (totales y disueltos): arsénico, cadmio, cobre, hierro, mercurio, plomo y zinc, para lo cual se realizó una mezcla del drenaje ácido de mina con pulpa de relave minero agitándola por un minuto; luego se dejaron decantar las muestras por 15 minutos, 24 horas y 48 horas; después se procedió a tomar muestras tanto del drenaje ácido de mina, de la pulpa de relave minero como de la mezcla obtenida para realizar el análisis químico en un laboratorio acreditado y finalmente se verificó la variación de las concentraciones de los metales pesados y de los sólidos totales en suspensión de la mezcla, con respecto a los que contiene el drenaje ácido de mina.

Es necesario indicar que el trabajo se realizó en el Laboratorio de Calidad Ambiental de la Facultad de Ciencias del Ambiente de la Universidad Nacional "Santiago Antúnez de Mayolo", los ensayos se realizaron en el mes de marzo del año 2016 y en el mes de febrero del año 2017. En marzo del 2016 se efectuó los ensayos de neutralización, así como el análisis de reducción después de los 15 minutos de decantación; mientras que en febrero de 2017 se realizó el análisis después de 24 horas y 48 horas de decantación.

3.2. Caracterización de la muestra

La caracterización de las muestras consistió en la determinación de la concentración de los metales pesados y sólidos totales en suspensión, tanto en la pulpa de relave minero como en el drenaje ácido de mina y la mezcla de ambos.

En la siguiente Tabla 02, se muestra los parámetros analizados:

Tabla 02: Parámetros analizados en el agua

Parámetros			**Drenaje ácido de mina (DAM)**	**Pulpa de relave minero (PRM)**	**Mezcla de DAM con PRM**
pH			X	X	X
Sólidos totales en suspensión			X	X	X
Metales pesados	Arsénico	Total	X	X	X
		Disuelto	X	X	X
	Cadmio	Total	X	X	X
		Disuelto	X	X	X
	Cobre	Total	X	X	X
		Disuelto	X	X	X
	Hierro	Total	X	X	X
		Disuelto	X	X	X
	Mercurio	Total	X	X	X
		Disuelto	X	X	X
	Plomo	Total	X	X	X
		Disuelto	X	X	X
	Zinc	Total	X	X	X

3.3. Población

La población del drenaje ácido de mina abarca a las bocaminas que no han tenido un cierre adecuado y son capaces de generar drenajes ácidos, pertenecientes a la Compañía Minera Yahuarcocha S. A, ubicada en el distrito de Ticapampa, provincia de Recuay y departamento de Ancash.

La población de la pulpa de relave minero abarca a la Planta Concentradora de Minerales Santa Rosa de Jangas, capaz de generar pulpa de relave minero con un pH altamente alcalino, ubicado en el distrito de Jangas, provincia de Huaraz y departamento de Ancash.

3.4. Variables de estudio

En la siguiente Tabla 03, se presenta las variables de la presente investigación:

Tabla 03: Variables de la investigación

Variables independientes	Variables dependiente
Drenaje ácido de mina	Concentración de los sólidos totales en suspensión y de los metales pesados totales y disueltos (arsénico, cadmio, cobre, hierro, mercurio, plomo, zinc) en el producto de la mezcla de drenaje ácido de mina con la pulpa de relave minero.
Pulpa de relave minero	

3.5. Procedimientos

Previamente es importante indicar que en marzo del 2016 se realizó los ensayos y análisis después de 15 minutos de decantación; mientras que en febrero de 2017 se realizó el análisis después de 24 horas y 48 horas de decantación.

El desarrollo de los ensayos realizados y la toma de muestras se hicieron según se detalla a continuación:

- **Toma de muestra de drenaje ácido de mina**

  La muestra de drenaje ácido de mina (pH = 3,36) fue tomada de una bocamina abiertas (actualmente no se le ha realizado un cierre adecuado) perteneciente a la etapa de explotación minera a cargo de la Compañía Minera Alianza S. A, ubicada en el distrito de Ticapampa, provincia de Recuay y departamento de Ancash; con las siguientes coordenadas UTM zona 18L, este: 227 312 m, norte: 8 918 550 m y con una altitud de 4170 msnm.

  Directamente se realizó la medición del pH; luego en un balde de 20 L se llenó muestras de drenaje ácido de mina, se dejó decantar por 15 minutos, 24 horas y 48 horas; luego en cada caso se tomó una muestra para enviar al laboratorio para su respectivo análisis. Adicionalmente, se llevó muestra de drenaje ácido de mina al laboratorio para el ensayo de neutralización.

- **Toma de muestra de pulpa de relave minero**

  La muestra de pulpa de relave minero (pH = 10,45) fue tomada de la Planta Concentradora de Minerales Santa Rosa de Jangas, ubicada en el distrito de Jangas, provincia de Huaraz y departamento de Ancash, con las siguientes coordenadas UTM zona 18L este: 216 474 m, norte: 8 960 633 m y con una altitud de 2800 msnm.

  Directamente se realizó la medición del pH; luego en un balde de 20 L se llenó muestras de pulpa de relave minero; se dejó decantar por 15 minutos, 24 horas y 48 horas, respectivamente, luego en cada caso se tomó una muestra para enviarla al laboratorio para su respectivo análisis. Adicionalmente, se llevó muestra de pulpa de relave minero al laboratorio para el ensayo de neutralización.

- **Ensayo de neutralización (mezcla de drenaje ácido de mina con la pulpa de relave minero)**

  En el Laboratorio de Calidad Ambiental de la Facultad de Ciencias del Ambiente de la Universidad Nacional "Santiago Antúnez de Mayolo", se realizó los ensayos de neutralización añadiendo pulpa de relave minero a un litro de drenaje ácido de mina y agitándola por un minuto se fue subiendo el pH del drenaje ácido de mina a un pH alcalino, con la ayuda de un multiparámetro se fue midiendo el pH, se realizó cinco ensayos y en el quinto ensayo, cuando se tuvo una proporción de 1:5, (1 L de drenaje ácido de mina y 5 L de pulpa de relave minero), se alcanzó que la mezcla final tenga un pH de 8,85. Luego la mezcla obtenida se dejó decantar por 15 minutos, 24 horas y 48 horas para posteriormente, en cada caso, tomar una muestra para enviarla al laboratorio para su respectivo análisis de metales pesados y sólidos totales en suspensión.

3.6. Análisis de datos

El análisis de datos fue realizado cuantitativamente; mediante un análisis químico se midió la concentración de los sólidos totales en suspensión y de los metales pesados (totales y disueltos): arsénico, cadmio, cobre, hierro, mercurio, plomo y zinc; que contenían el drenaje ácido de mina y la mezcla de drenaje ácido de mina con pulpa de relave minero (para hacer variar el pH de ácido a alcalino), posteriormente se comparó la concentración de los metales pesados y los sólidos

totales en suspensión de la mezcla obtenida con respecto al drenaje ácido de mina.

El análisis de datos consistió además |en procesar los resultados obtenidos en un programa Excel y plasmarlos en gráficas para luego proceder a compararlos, analizarlos y explicarlos; con el fin de determinar si la influencia de la pulpa de relave minero es o no es eficaz en la reducción de la concentración de los metales pesados y los sólidos totales en suspensión de los drenajes ácidos de mina.

3.7. Recursos

Los recursos que se necesitaron para la realización de la presente investigación, fueron:

3.7.1. Humanos

Las personas contribuyentes en el presente estudio:

- Tesista, encargado de llevar a cabo el estudio.
- Asesor, encargado de guiar el estudio.
- Personal de apoyo para el muestreo.

3.7.2. Materiales, servicios y equipos

En la Tabla 04, se muestra los materiales, servicios y equipos que se usaron para llevar a cabo esta investigación.

Tabla 04: Materiales, servicios y equipos

Item	Bienes y/o servicios
Materiales	Baldes de diferentes volúmenes, Vasos Becker, Probeta, Agitador, Trapo industrial, Útiles de escritorio, Cuaderno de apuntes, Papel toalla, Pizarra acrílica
Servicios	Análisis de químico de las muestras a cargo del laboratorio químico acreditado, Transporte para la toma de muestras, Impresiones, Internet, Transporte para el envío de muestras al laboratorio
Equipos	Multiparámetro, Cronómetro, Cámara fotográfica, GPS, Computadora

Es importante mencionar que:

- El parámetro pH se midió con un multiparámetro (alquilado de la empresa E&OH Consulting S. A. C.) marca HACH, modelo HQ40d, serie 130300085628; en el Anexo N° 2 se adjunta el certificado de calibración de dicho equipo.

- Los sólidos totales en suspensión y los metales pesados totales y disueltos: arsénico, cadmio, cobre, hierro, mercurio, plomo y zinc, fueron analizados en el laboratorio acreditado Servicios Analíticos Generales S.A.C, (véase informes de ensayo en el Anexo 1)

CAPITULO IV

RESULTADOS

Para los análisis de laboratorio y los ensayos realizados se asignaron códigos a las muestras, dichos códigos se muestran a continuación:

- **DAMA:** Agua de drenaje ácido de mina, luego de haber decantado por 15 minutos.
- **PRMA:** Agua de pulpa de relave minero, luego de haber decantado por 15 minutos.
- **MPR+DAA:** Agua de la mezcla de drenaje ácido, agua con pulpa de relave minero, luego de haber decantado por 15 minutos.
- **DAMA-24:** Agua de drenaje ácido de mina, luego de haber decantado por 24 horas.
- **PRMA-24:** Agua de pulpa de relave minero, luego de haber decantado por 24 horas.
- **MPR+DAA-24:** Agua de la mezcla de drenaje ácido, agua con pulpa de relave minero, luego de haber decantado por 24 horas.
- **DAMA-48:** Agua de drenaje ácido de mina, luego de haber decantado por 48 horas.
- **PRMA-48:** Agua de pulpa de relave minero, luego de haber decantado por 48 horas.
- **MPR+DAA-48:** Agua de la mezcla de drenaje ácido, agua con pulpa de relave minero, luego de haber decantado por 48 horas.

4.1. Ensayo de neutralización del drenaje ácido de mina

De modo previo al ensayo de neutralización se midió el pH en el mismo punto donde se tomaron las muestras, tanto del drenaje ácido de mina, como de la pulpa de relave minero. Los resultados obtenidos se muestran en la Tabla 05

Tabla 05: Resultados de pH

Parámetro	Unidad	Código	
		DAMA	PRMA
pH	Unid. pH	3,36	10,45

En el Laboratorio de Calidad Ambiental, se realizó los ensayos de neutralización para determinar el volumen de mezcla para que el producto tenga un pH de 8,85. A un litro de drenaje ácido de mina se fue añadiendo un litro de pulpa de relave minero, agitándola por un minuto, se fue midiendo el pH y en la quinta mezcla cuando la proporción fue de 1:5, se obtuvo que la mezcla final tenga un pH de 8,85. En la Tabla 06, se presenta las mezclas efectuadas y los resultados de pH obtenidos.

Tabla 06: Resultados del ensayo neutralización

N° de Mezclas	DAMA		PRMA		MPR+DAA	
	Volumen (L)	pH (Unid. pH)	Volumen (L)	pH (Unid. pH)	Volumen (L)	pH (Unid. pH)
1	1	3,36	1	10,45	2	4,73
2	1	3,36	2	10,45	3	5,61
3	1	3,36	3	10,45	4	6,78
4	1	3,36	4	10,45	5	7,77
5	1	3,36	5	10,45	6	8,85

En la Tabla 07, se presenta los ensayos que confirmaron qué relación drenaje ácido de mina / pulpa de relave minero es 1:5 para obtener una mezcla con pH de 8,85 (9 ± 0,5), teniendo en cuenta que el pH del DAMA fue 3,36 y del PRMA fue 10,45.

Tabla 07: Resultados de la verificación del volumen de mezcla

N° de repeticiones	DAMA		PRMA		MPR+DAA	
	Volumen (L)	pH (Unid. pH)	Volumen (L)	pH (Unid. pH)	Volumen (L)	pH (Unid. pH)
1	1	3,36	5	10,45	6	8,85
2	1	3,36	5	10,45	6	8,52
3	1	3,36	5	10,45	6	9,09
4	1	3,36	5	10,45	6	9,16
5	1	3,36	5	10,45	6	8,63
Promedio						**8,85**

4.2. Caracterización de la pulpa de relave minero

En la Tabla 08, se presentan los resultados obtenidos de los parámetros que se analizaron en el agua de la pulpa de relave minero, los cuales fueron: sólidos totales en suspensión y los metales pesados totales y disueltos: arsénico, cadmio, cobre, hierro, plomo, mercurio y zinc.

Tabla 08: Resultados de los parámetros evaluados en la pulpa de relave minero

Parámetros			Unidad	15 minutos PRMA	24 horas PRMA-24	48 horas PRMA-48
Sólidos totales en suspensión			mg/L	20000	8,82	7,9
Metales pesados	Arsénico	Total	mg/L	> 60	0,005	0,008
		Disuelto	mg/L	0,121	< 0,001	< 0,001
	Cadmio	Total	mg/L	3,5379	< 0,0004	< 0,0004
		Disuelto	mg/L	0,0016	< 0,0004	< 0,0004
	Cobre	Total	mg/L	18,92	0,1038	0,1117
		Disuelto	mg/L	0,0035	0,0399	0,0214
	Hierro	Total	mg/L	> 200	0,44	0,184
		Disuelto	mg/L	< 0,002	0,173	0,0164
	Mercurio	Total	mg/L	< 0,001	< 0,001	< 0,001
		Disuelto	mg/L	< 0,001	< 0,001	< 0,001
	Plomo	Total	mg/L	27,856	> 50	47,977
		Disuelto	mg/L	0,0107	49,687	46,89
	Zinc	Total	mg/L	> 50	3,611	4,071
		Disuelto	mg/L	0,04	3,341	3,868

mg/L: miligramo por litro.

4.3. Caracterización del drenaje ácido de mina y de la mezcla de drenaje ácido de mina con pulpa de relave minero

En la Tabla 09, se presenta los resultados obtenidos de los parámetros que se analizaron en el agua del drenaje ácido de mina y en el agua del producto de la mezcla de drenaje ácido de mina con pulpa de relave minero, los cuales fueron: sólidos totales en suspensión y los metales pesados (totales y disueltos): arsénico, cadmio, cobre, hierro, plomo, mercurio y zinc.

Tabla 09: Resultados de los parámetros evaluados en el drenaje ácido de mina y en la mezcla de drenaje ácido de mina con pulpa de relave minero

Parámetros			Unidad	15 minutos		24 horas		48 horas	
				DAMA	MPR+DAA	DAMA-24	MPR+DAA-24	DAMA-48	MPR+DAA-48
Sólidos totales en suspensión			mg/L	42	12162	42,32	122,09	37,66	197,36
Metales pesados	Arsénico	Total	mg/L	1,61	> 60	1,251	0,077	0,414	0,036
		Disuelto	mg/L	< 0,001	0,1330	0,122	< 0,001	0,179	< 0,001
	Cadmio	Total	mg/L	0,0304	1,8019	0,2409	0,0383	0,236	0,0213
		Disuelto	mg/L	0,0289	0,0172	0,2246	< 0,0004	0,229	< 0,0004
	Cobre	Total	mg/L	0,2695	7,9271	0,5774	0,1507	0,6273	0,1051
		Disuelto	mg/L	0,2511	0,1118	0,5737	0,003	0,59	0,0042
	Hierro	Total	mg/L	20,71	> 200	179,599	20,429	128,099	10,379
		Disuelto	mg/L	1,1160	< 0,002	86,949	0,064	72,324	0,101
	Mercurio	Total	mg/L	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001
		Disuelto	mg/L	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001
	Plomo	Total	mg/L	0,0701	> 50	0,018	11,848	0,07	14,195
		Disuelto	mg/L	0,0530	0,0585	0,018	11,555	0,069	14,816
	Zinc	Total	mg/L	4,805	> 50	34,03	9,287	33,699	7,278
		Disuelto	mg/L	4,495	0,483	32,764	2,611	33,389	3,155

mg/L: miligramo por litro.

CAPITULO V

DISCUSIÓN

En el presente capítulo se realizó el análisis de la variación de las concentraciones de los sólidos totales en suspensión y metales pesados (totales y disueltos): arsénico, cadmio, cobre, hierro, mercurio, plomo y zinc.

Para mejor entendimiento se llamará mezcla al producto de la mezcla de pulpa de relave minero con drenaje ácido–agua.

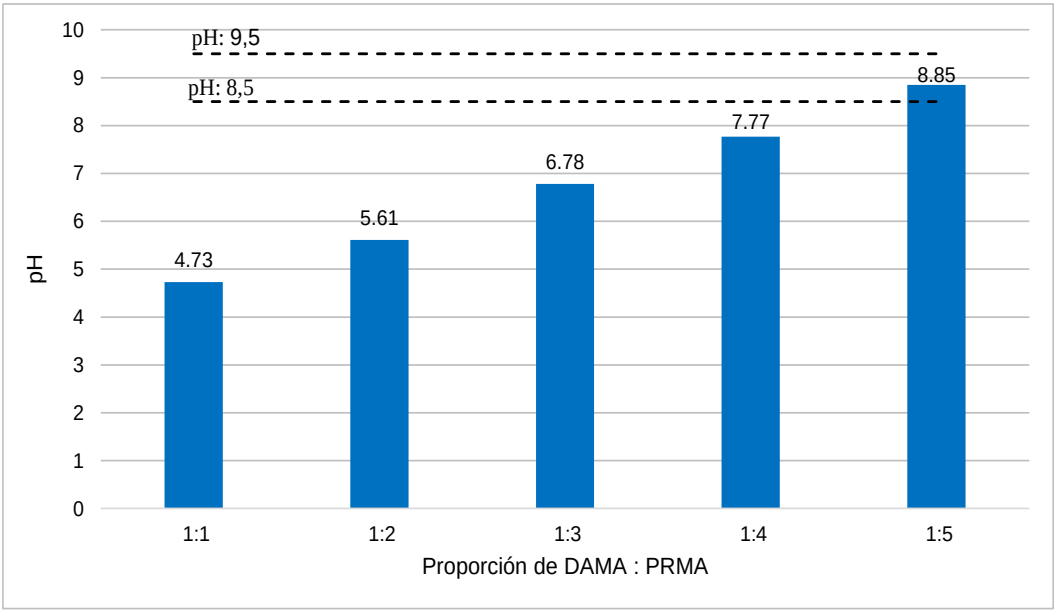
5.1. Ensayo de neutralización

En la Tabla 10, se presenta los resultados de pH del agua de drenaje ácido de mina (DAMA), agua de la pulpa de relave minero (PRMA) y de la mezcla (MPR+DAA)

Tabla 10: Resultados de los parámetros de campo

Parámetro	Unidad	Código		
		DAMA	DAMA	DAMA
pH	Unid. pH	3,36	10,45	8,85

En la Gráfica 01, se puede observar que después de realizar cinco ensayos de mezcla de drenaje ácido de mina con pulpa de relave minero, se obtuvo que la proporción adecuada para obtener un producto con un pH de 9 ± 0,5, fue de 1:5; es decir, para un litro de drenaje ácido de mina con un pH de 3,36 se necesitó cinco litros de pulpa de relave con un pH de 10,45, para obtener una mezcla con un pH de 8,85 (pH = 9 ± 0,5).

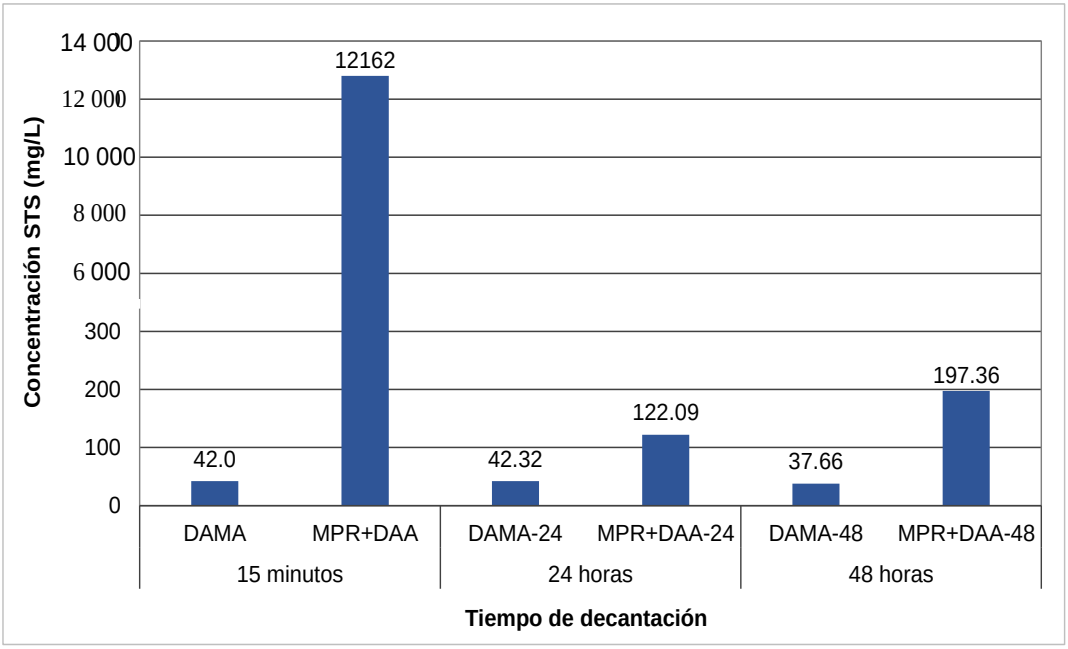


Gráfica 01: Ensayo de neutralización para determinar la proporción necesaria entre el drenaje ácido de mina/pulpa de relave minero

5.2. Análisis de los sólidos totales en suspensión

En la Gráfica 02, se observa que la concentración de los sólidos totales en suspensión (STS) del drenaje ácido de mina (DAMA), inicialmente, fue de 42 mg/L; pero al añadirle pulpa de relave minero para hacer que el pH aumente hasta 8,85 (alcalino) y seguidamente dejar que los sólidos decanten por 15 minutos, se obtuvo que la concentración de los STS se incrementó en 28 857,1% llegando a obtener una concentración de 12 162 mg/L. Posteriormente, luego de que las muestras decantaron por 24 horas se obtuvo que la concentración de STS se incrementó hasta en un 188,5%, incrementado de 42,32 mg/L a 122,09 mg/L. Por último, luego de que las muestras decantaron por 48 horas se obtuvo que la concentración de los STS se incrementó en un 424,1%, de 37,66 mg/L a 197,36 mg/L.

En resumen, se comprueba que al usar pulpa de relave minero para subir el pH del drenaje ácido de mina (ácido) hasta un pH de 8,85 (alcalino) la concentración inicial de los STS incrementa su concentración grandemente en los primeros 15 minutos, así mismo cuando se deja que la muestra decante por 24 y 48 horas las concentraciones STS aún siguen incrementadas hasta en un 424,1% de la concentración inicial.



Gráfica 02: Variación de los sólidos totales en suspensión

5.3. Análisis de los metales pesados

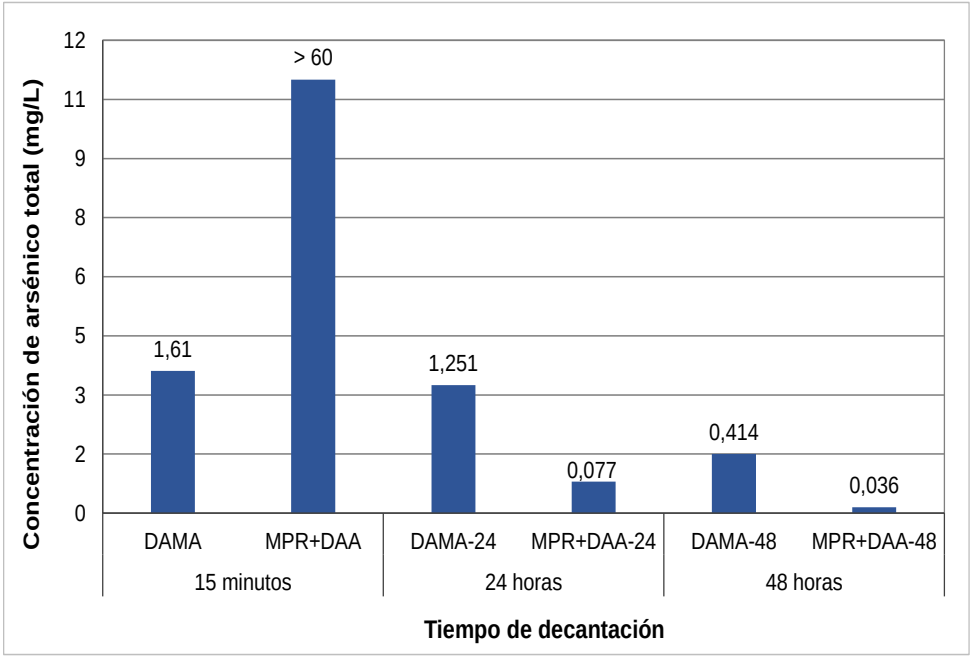
5.3.1. Arsénico

En la Gráfica 03, se observa que la concentración del metal pesado arsénico total en el drenaje ácido de mina (DAM) inicialmente fue de 1,61 mg/L, pero al añadirle pulpa de relave minero (PRM) para subir el pH hasta 8,85 (alcalino) y dejar que los sólidos decanten por 15 minutos, se obtuvo que la concentración de arsénico total se incrementó en más de 3 626,7% llegando a una concentración de > 60 mg/L. Posteriormente, luego de que las muestras decantaron por 24 horas se obtuvo que la concentración de arsénico total disminuyó en un 93,8%; bajando de 1,251 mg/L a 0,077 mg/L. Seguidamente, luego de que las muestras decantaron por 48 horas se obtuvo que la concentración de arsénico total disminuyó en un 91,3%; bajando su concentración de 0,0414 mg/L a 0,036 mg/L.

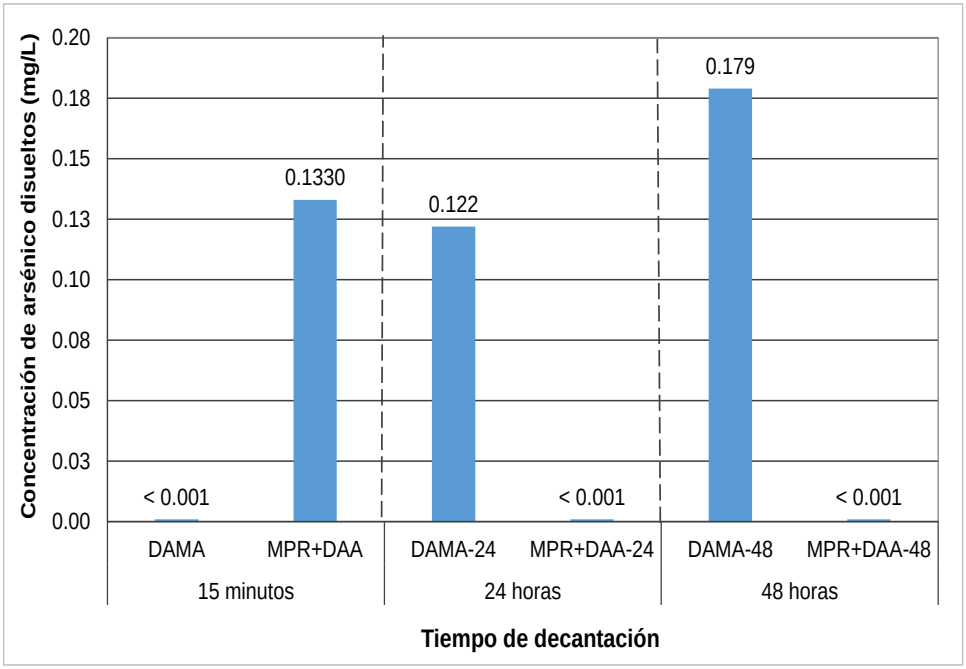
Asimismo, en la Gráfica 04, se observa que la concentración de arsénico disuelto en el agua de drenaje ácido de mina fue de < 0,001 mg/L, pero al añadirle pulpa de relave minero para subir el pH hasta 8,85 y dejar que decante la muestra por 15 minutos se obtuvo que la concentración de arsénico disuelto se incrementó en más de 13 200% llegando a una concentración de 0,1330 mg/L. Posteriormente, luego de que las muestras decantaron por 24 horas se obtuvo que la concentración de arsénico

disuelto disminuyó en más de 99,2%, bajando de 0,122 mg/L a <0,001 mg/L; de igual manera luego de que las muestras decantaron por 48 horas se obtuvo que la concentración de arsénico disuelto disminuyó en un 99,4%; bajando de 0,179 mg/L a <0,001 mg/L.

En resumen, al usar pulpa de relave minero para subir el pH del drenaje ácido de mina hasta alcalino, la concentración inicial del metal pesado arsénico total incrementa su concentración considerablemente en los primeros minutos, pero cuando se deja que la muestra decante por 24 y 48 horas la concentración de arsénico total se reduce grandemente llegando a disminuir hasta en un 91,3%. Asimismo, la concentración inicial de arsénico disuelto que tiene el DAM, cuando se le añade PRM, en los primeros minutos se observa un incremento grande, pero cuando se deja que la muestra decante por 24 y 48 horas las concentraciones de arsénico disuelto disminuyen considerablemente hasta en más de 99,4%. Por lo tanto, se comprueba que la influencia de la pulpa de relave minero es eficiente para reducir la concentración del metal pesado arsénico y es eficiente para un tiempo de decantación de 24 horas y 48 horas. Esta reducción se da cuando el metal se precipita en forma de hidróxidos u óxidos metálicos.



Gráfica 02: Variación de la concentración del arsénico total en el agua



Gráfica 03: Variación de la concentración del arsénico disuelto en el agua

5.3.2. Cadmio

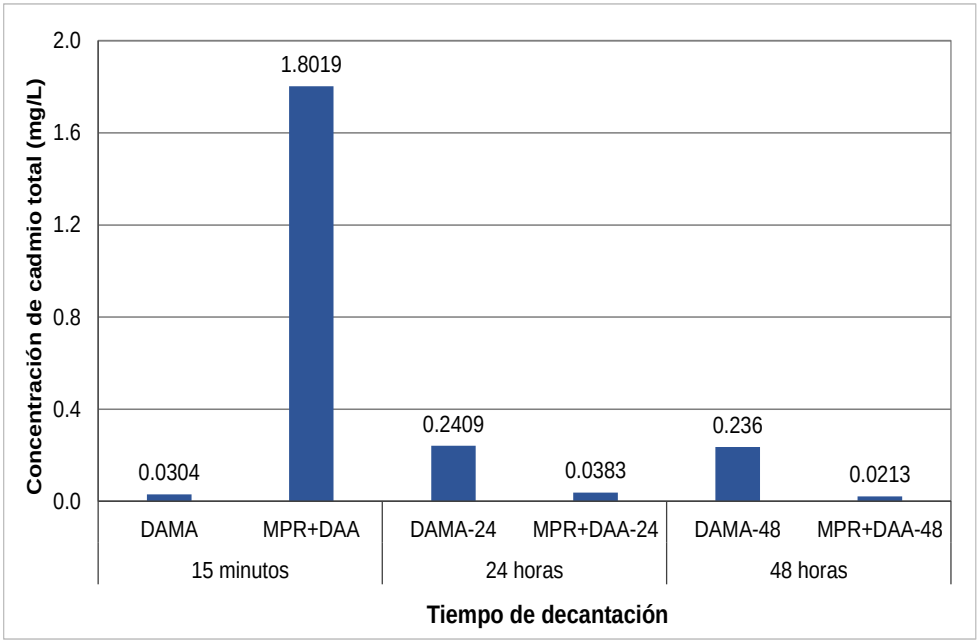
En la Gráfica 05, se observa que la concentración del metal pesado cadmio total en el drenaje ácido de mina (DAM) inicialmente fue de 0,0304 mg/L; pero al añadirle pulpa de relave minero (PRM) para subir el pH y dejar que los sólidos decanten por 15 minutos se obtuvo que la concentración de cadmio total se incrementó enormemente en un 5 827,3% llegando a una concentración de 1,8019 mg/L. Este incremento de la concentración del cadmio se debe a que el cadmio que contiene la pulpa de relave minero al tener contacto con el drenaje ácido de mina se solubiliza y hace que la concentración de cadmio se incremente en la mezcla final. Además, dentro de los 15 minutos de decantación no se presencia una precipitación rápida de los sólidos totales en suspensión, por tanto el cadmio que se encuentra asociado a los sólidos suspendidos de la pulpa de relave minero se suma al cadmio que contiene el drenaje ácido de mina.

Posteriormente, luego de que las muestras decantaron por 24 horas se obtuvo que la concentración de cadmio total disminuyó en un 84,1%; bajando de 0,2409 mg/L a 0,0383 mg/L. Seguidamente, luego de que las muestras decantaron por 48 horas se obtuvo que la concentración de

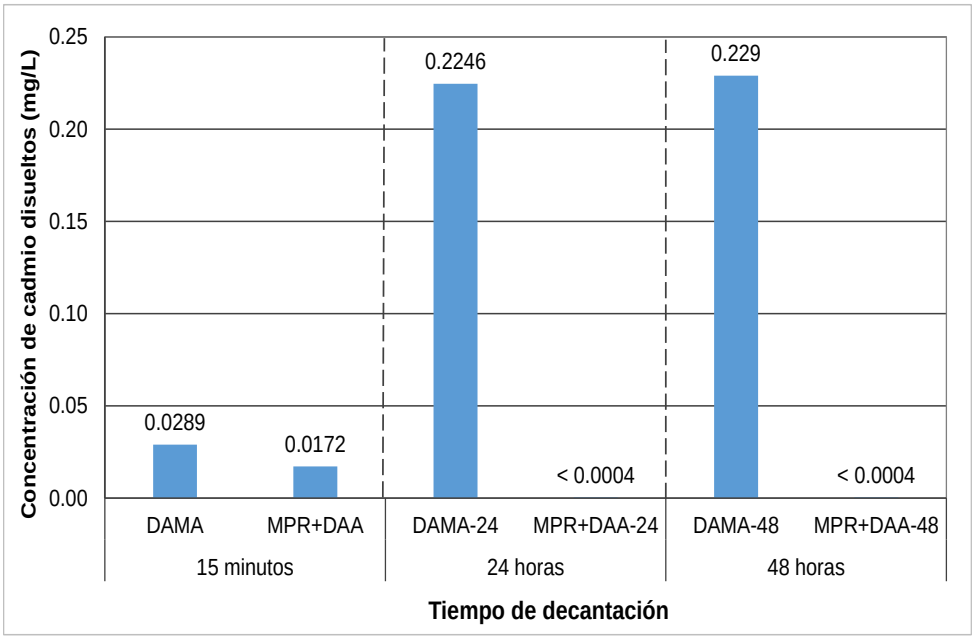
cadmio total disminuyó hasta en un 91%; bajando su concentración de 0,236 mg/L a 0,0213 mg/L.

Asimismo, en la Gráfica 06, se observa que la concentración de cadmio disuelto en el agua de drenaje ácido de mina fue de 0,0289 mg/L, pero al añadirle pulpa de relave minero para subir el pH hasta 8,85, y dejar que decante la muestra por 15 minutos se obtuvo que la concentración de cadmio disuelto disminuyó en un 40,5% llegando a una concentración de 0,0172 mg/L. Posteriormente, luego de que las muestras decantaron por 24 horas se obtuvo que la concentración de cadmio disuelto disminuyó en más del 99%; bajando su concentración de 0,246 mg/L a < 0,0004 mg/L; de igual manera luego de que las muestras decantaron por 48 horas se obtuvo que la concentración de cadmio disuelto disminuyó en más del 99%; bajando su concentración de 0,229 mg/L a <0,0004 mg/L.

En resumen, al usar pulpa de relave minero para subir el pH del drenaje ácido de mina hasta alcalino, la concentración inicial del metal pesado cadmio total incrementa su concentración considerablemente en los primeros minutos, pero cuando se deja que la muestra decante por 24 y 48 horas, las concentraciones de cadmio total se reducen grandemente llegando a disminuir hasta en un 91%. Sin embargo, la concentración inicial de cadmio disuelto que tiene el DAM, cuando se le añade PRM, disminuye su concentración considerablemente desde los primeros minutos; pero cuando se deja que la muestra decante por 24 y 48 horas las concentraciones de cadmio disuelto disminuyen grandemente hasta en más de un 99%. Por lo tanto, se comprueba que la pulpa de relave minero es eficiente, para hacer reducir la concentración del metal pesado cadmio que puede contener el drenaje ácido de mina, esta reducción se da cuando el metal se precipita en forma de hidróxidos u óxidos metálicos básicamente.



Gráfica 05: Variación de la concentración del cadmio total en el agua



Gráfica 06: Variación de la concentración del cadmio disuelto en el agua

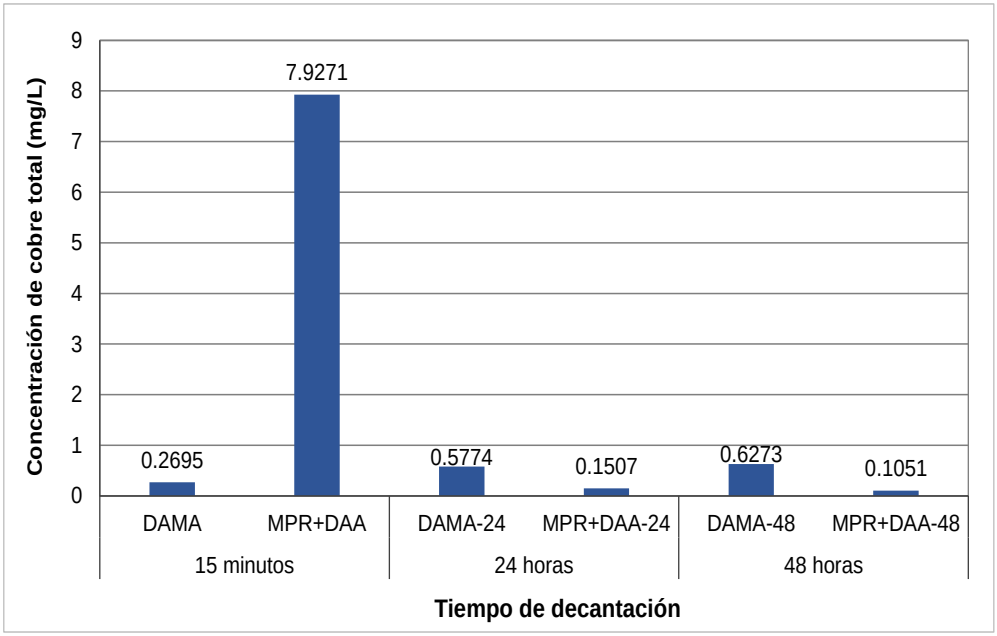
5.3.3. Cobre

En la Gráfica 07, se observa que la concentración del metal pesado cobre total en el drenaje ácido de mina (DAM) fue de 0,2695 mg/L; pero al añadirle pulpa de relave minero para subir el pH y dejar que los sólidos decanten por 15 minutos se obtuvo que la concentración de cobre total se incrementó en un 2 841,4% llegando a una concentración de 7,9271 mg/L. Posteriormente, luego de que las muestras decantaron por 24 horas se

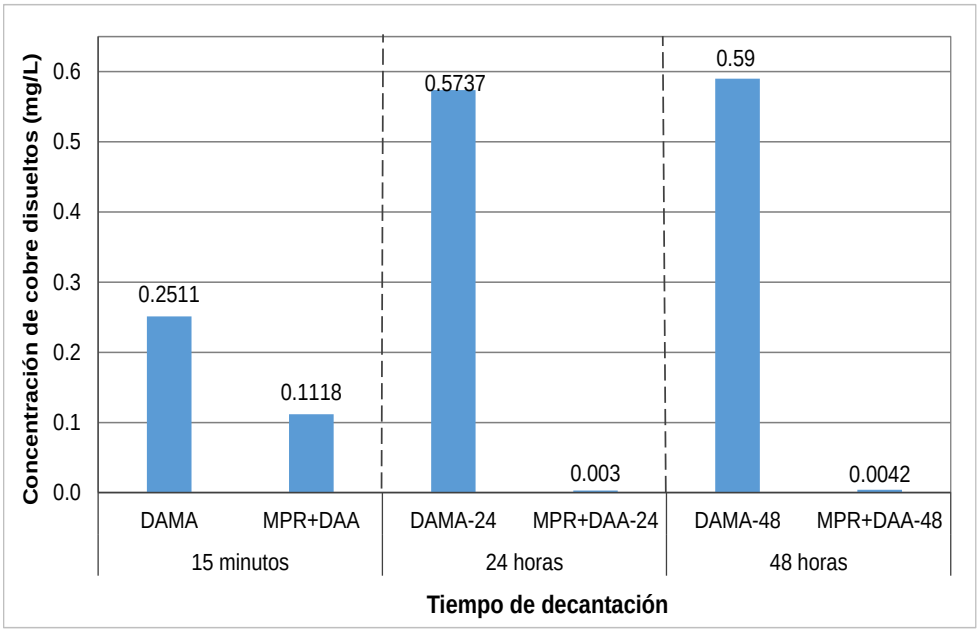
obtuvo que la concentración de cobre total disminuyó en un 73,9%; bajando de 0,5774 mg/L a 0,1507 mg/L. Seguidamente, luego de que las muestras decantaron por 48 horas se obtuvo que la concentración de cobre total disminuyó hasta en un 83,2%; bajando de 0,6273 mg/L a 0,1051 mg/L.

Asimismo, en la Gráfica 08, se observa que la concentración de cobre disuelto en el agua de drenaje ácido de mina fue de 0,2511 mg/L, pero al añadirle pulpa de relave minero para subir el pH hasta 8,85 (alcalino) y dejar que decante la muestra por 15 minutos se obtuvo que la concentración de cobre disuelto disminuyó en un 55,5% llegando a una concentración de 0,1118 mg/L. Posteriormente, luego de que las muestras decantaron por 24 horas se obtuvo que la concentración de cobre disuelto disminuyó hasta en un 99,5%; bajando de 0,5737 mg/L a 0,003 mg/L. De igual manera luego de que las muestras decantaron por 48 horas se obtuvo que la concentración de cobre disuelto disminuyó en un 99,3%; bajando de 0,59 mg/L a 0,0042 mg/L.

En resumen, al usar pulpa de relave minero para subir el pH del drenaje ácido de mina hasta alcalino, la concentración inicial del metal pesado cobre total incrementa su concentración considerablemente en los primeros minutos, pero cuando se deja que la muestra decante por 24 y 48 horas las concentraciones de cobre total se reducen grandemente llegando a disminuir hasta en un 83,2%. Sin embargo, la concentración inicial de cobre disuelto que tiene el DAM, cuando se le añade PRM, disminuye su concentración considerablemente desde los primeros minutos, pero cuando se deja que la muestra decante por 24 y 48 horas las concentraciones de cobre disuelto disminuyen grandemente hasta en un 99,3%. Por lo tanto, se comprueba que la pulpa de relave minero es eficiente, para hacer reducir la concentración del metal pesado cobre que puede contener el drenaje ácido de mina, esta reducción se da cuando el metal precipita en forma de hidróxidos u óxidos metálicos básicamente.



Gráfica 04: Variación de la concentración del cobre total en el agua



Gráfica 05: Variación de la concentración del cobre disuelto en el agua

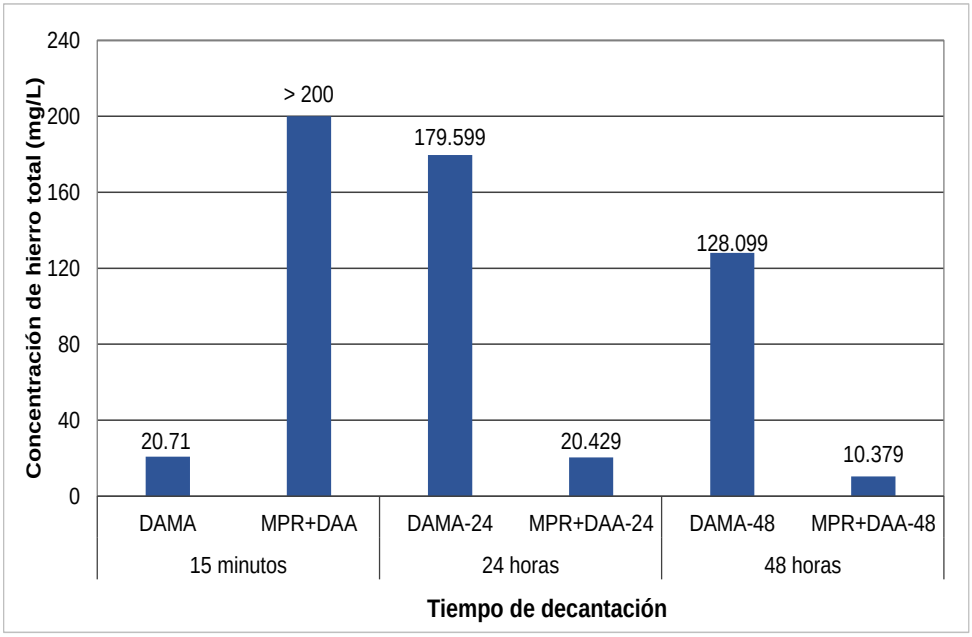
5.3.4. Hierro

En la Gráfica 09, se observa que la concentración del metal pesado hierro total en el agua de drenaje ácido de mina (DAM) inicialmente fue de 20,71 mg/L, pero al añadirle pulpa de relave minero para subir el pH y dejar que los sólidos decanten por 15 minutos se obtuvo que la concentración de hierro total incrementó en más de 865,7% llegando a una concentración de >200 mg/L. Posteriormente, luego de que las muestras decantaron por

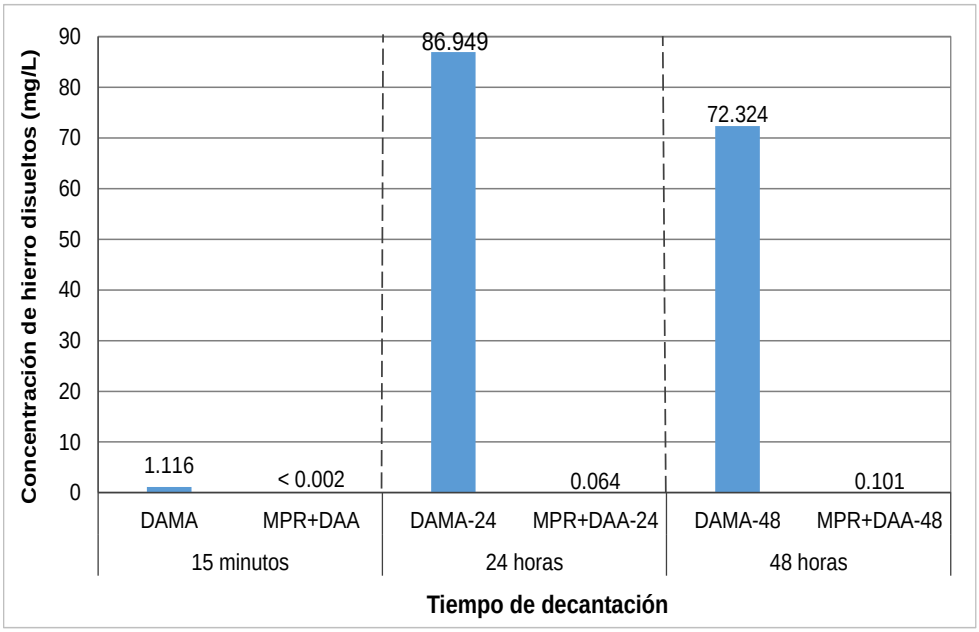
24 horas se obtuvo que la concentración de hierro total disminuyó en un 88,6%; bajando de 179,599 mg/L a 20,429 mg/L. Seguidamente, luego de que las muestras decantaron por 48 horas se obtuvo que la concentración de hierro total disminuyó hasta en 91,9%; bajando de 128,099 mg/L a 10,379 mg/L.

Asimismo, en la Gráfica 10, se observa que la concentración de hierro disuelto en el agua de drenaje ácido de mina fue de 1,116 mg/L, pero al añadirle pulpa de relave minero para subir el pH hasta 8,85, y dejar que decante la muestra por 15 minutos se obtuvo que la concentración de hierro disuelto disminuyó en un más del 99% llegando a una concentración de < 0,002 mg/L. Posteriormente, luego de que las muestras decantaron por 24 horas se obtuvo que la concentración de hierro disuelto disminuyó hasta en un 99,9%; bajando de 86,949 mg/L a 0,064 mg/L. De igual manera luego de que las muestras decantaron por 48 horas se obtuvo que la concentración de hierro disuelto disminuyó hasta en un 99,9%; bajando de 72,324 mg/L a 0,101 mg/L.

En resumen, al usar pulpa de relave minero para subir el pH del drenaje ácido de mina hasta alcalino, la concentración inicial del metal pesado hierro total incrementa su concentración considerablemente en los primeros minutos, pero cuando se deja que la muestra decante por 24 y 48 horas las concentraciones de hierro total se reducen grandemente llegando a disminuir hasta en un 91,9%. Sin embargo, la concentración inicial de hierro disuelto que tiene el DAM, cuando se le añade PRM, desde los primeros minutos disminuye su concentración considerablemente, pero cuando se deja que la muestra decante por un tiempo de 24 y 48 horas las concentraciones de hierro disuelto disminuyen grandemente hasta en un 99,9%. Por lo tanto, se comprueba que la pulpa de relave minero es eficiente, para hacer reducir la concentración del metal pesado hierro que puede contener el drenaje ácido de mina, esta reducción se da cuando el metal precipita en forma de hidróxidos u óxidos metálicos básicamente.



Gráfica 06: Variación de la concentración del hierro total en el agua



Gráfica 7: Variación de la concentración del hierro disuelto en el agua

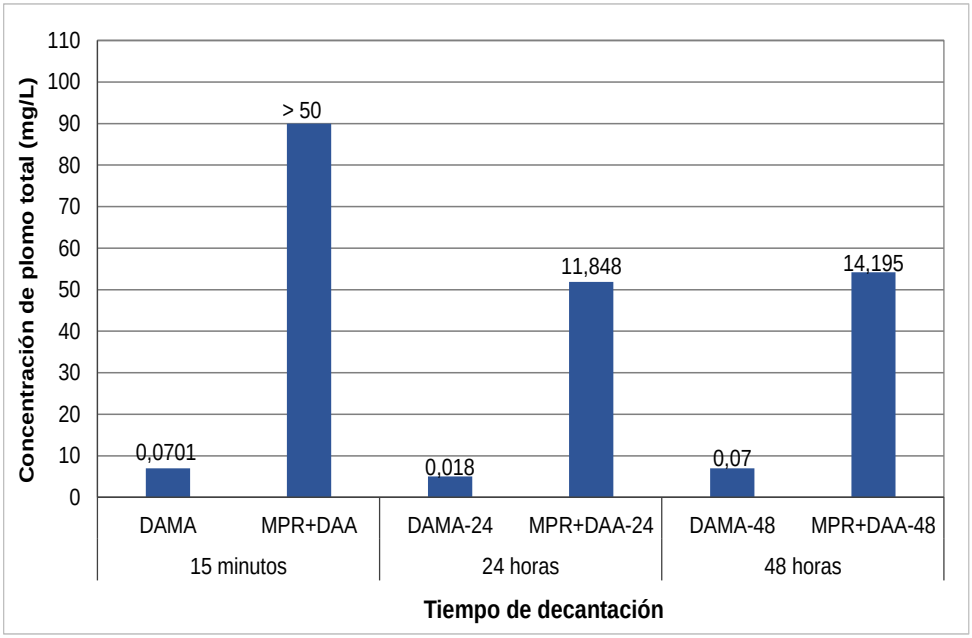
5.3.5. Plomo

En la Gráfica 11, se observa que la concentración del plomo total en el agua de drenaje ácido de mina (DAM) fue de 0,0701 mg/L, pero al añadirle pulpa de relave minero para subir el pH (hasta alcalino) y dejar que los sólidos decanten por 15 minutos se obtuvo que la concentración de plomo total se incrementó en más de 71 226,7%, llegando a una concentración >50 mg/L. Posteriormente, luego de que las muestras

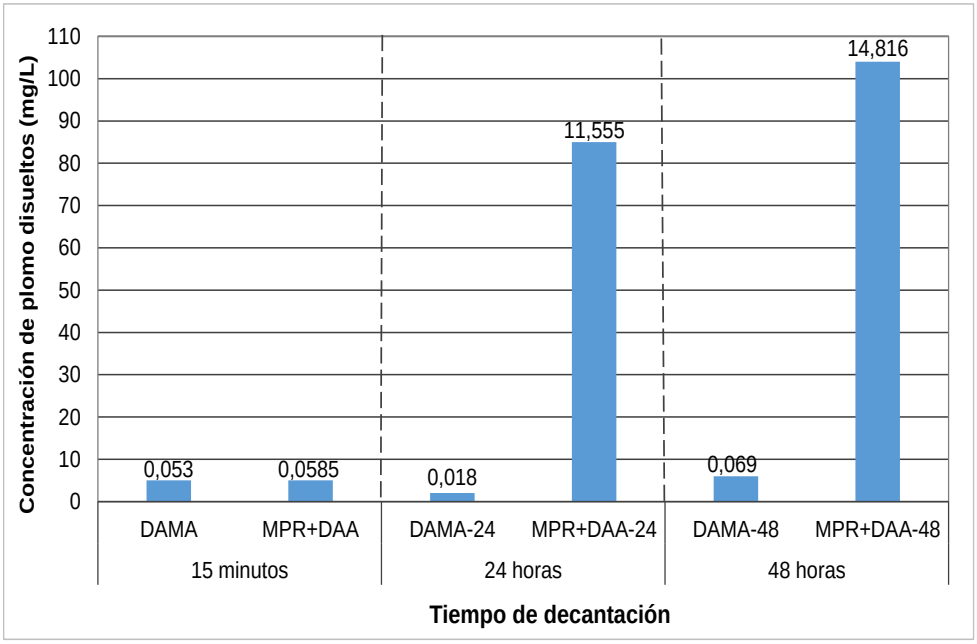
decantaron por 24 horas se obtuvo que la concentración de plomo total incrementó en un 65 722,2%, aumentando de 0,018 mg/L a 11,848 mg/L. Seguidamente, luego de que las muestras decantaron por 48 horas se obtuvo que la concentración de plomo total continúa incrementado hasta en un 20 178,6%, aumentando de 0,07 mg/L a 14,195 mg/L.

Asimismo, en la Gráfica 12, se observa que la concentración de plomo disuelto en el agua de drenaje ácido de mina fue de 0,053 mg/L, pero al añadirle pulpa de relave minero para subir el pH hasta 8,85 y dejar que la muestra decante por 15 minutos se obtuvo que la concentración de plomo disuelto se incrementó hasta en un 10,4% llegando a una concentración de 0,0585 mg/L. Posteriormente, luego de que las muestras decantaron por 24 horas se obtuvo que la concentración de plomo disuelto se incrementó hasta en un 64 094,4%, aumentando de 0,018 mg/L a 11,555 mg/L. De igual manera luego de que las muestras decantaron por 48 horas se obtuvo que la concentración de plomo disuelto se incrementó hasta en un 21 372,5%, aumentando de 0,069 mg/L a 14,816 mg/L.

En resumen, al usar pulpa de relave minero para subir el pH del drenaje ácido de mina hasta alcalino, la concentración inicial del plomo total incrementa su concentración considerablemente en los primeros minutos, del mismo modo cuando se deja que la muestra decante por 24 y 48 horas las concentraciones de plomo total se incrementan grandemente llegando a aumentar hasta en más del 71 226,7%. Asimismo, la concentración inicial de plomo disuelto que tiene el drenaje ácido de mina, cuando se le añade pulpa de relave minero, incrementa su concentración considerablemente desde los primeros minutos, igual que cuando se deja que la muestra decante por 24 y 48 horas las concentraciones de plomo disuelto se incrementa grandemente llegando a aumentar hasta en 64 094,4%. Por lo tanto, la pulpa de relave minero no es eficiente para reducir la concentración del metal pesado plomo que puede contener los drenajes ácidos de mina, esto debido a que el plomo cuando se encuentra en una solución con pH mayor a 10 se vuelve soluble (ver Figura N° 2-2), es decir, la precipitación del plomo no necesariamente se encuentra sujeta a la alcalinidad de una solución, además el plomo que se encuentra en la pulpa de relave minero contribuye en el incremento de la concentración de este metal.



Gráfica 8: Variación de la concentración del plomo total en el agua



Gráfica 9: Variación de la concentración del plomo disuelto en el agua

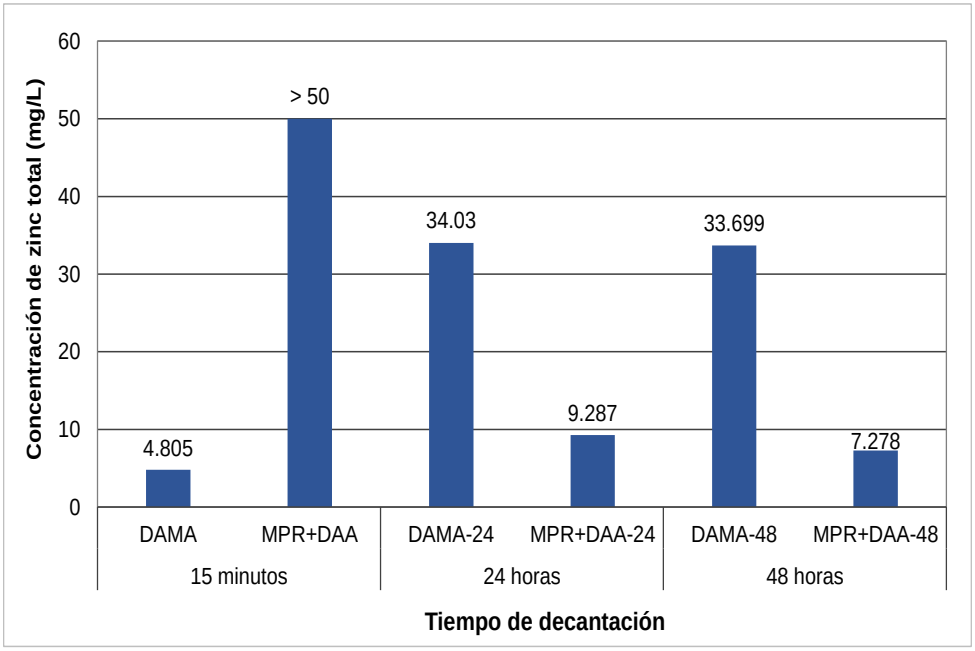
5.3.6. Zinc

En la Gráfica 13, se observa que la concentración del metal pesado zinc total en el agua de drenaje ácido de mina (DAM) fue de 4,805 mg/L, pero al añadirle pulpa de relave minero para subir el pH y dejar que los sólidos decanten por 15 minutos se obtuvo que la concentración de zinc total incrementó en más 940,6%, llegando a una concentración de > 50 mg/L. Posteriormente, luego de que las muestras decantaron por 24 horas

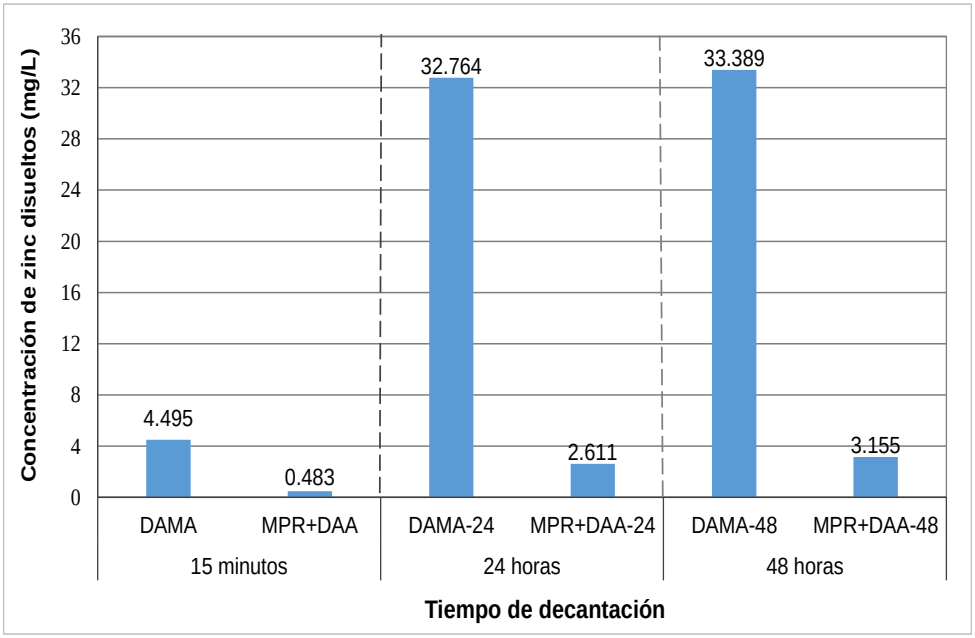
se obtuvo que la concentración de zinc total disminuyó en un 72,7%, bajando de 34,03 mg/L a 9,287 mg/L. Seguidamente, luego de que las muestras decantaron por 48 horas se obtuvo que la concentración de zinc total disminuyó hasta en un 78,4%, bajando de 33,699 mg/L a 7,278 mg/L.

Asimismo, en la Gráfica 14, se observa que la concentración de zinc disuelto en el agua de drenaje ácido de mina fue de 4,495 mg/L, pero al añadirle pulpa de relave minero para subir el pH hasta 8,85 y dejar que la muestra decante por 15 minutos se obtuvo que la concentración de zinc disuelto disminuyo en un 89,3% llegando a una concentración de 0,483 mg/L. Posteriormente, luego de que las muestras decantara por 24 horas se obtuvo que la concentración de zinc disuelto disminuyó hasta en un 92%, bajando de 32,764 mg/L a 2,611 mg/L. De igual manera luego de que las muestras decantaron por 48 horas se obtuvo que la concentración de zinc disuelto disminuyó hasta en un 90,6%, bajando de 33,389 mg/L a 3,155 mg/L.

En resumen, al usar pulpa de relave minero para subir el pH del drenaje ácido de mina hasta alcalino, la concentración inicial del metal pesado zinc total incrementa su concentración considerablemente en los primeros minutos, pero cuando se deja que la muestra decante por 24 y 48 horas, las concentraciones de zinc total se reducen grandemente llegando a disminuir hasta en un 78,4%. Sin embargo, la concentración inicial de zinc disuelto que tiene el DAM, cuando se le añade PRM, disminuye su concentración considerablemente desde los primeros minutos, pero cuando se deja que la muestra decante por 24 y 48 horas las concentraciones de zinc disuelto disminuyen grandemente hasta en un 90,6%. Por lo tanto, se comprueba que la pulpa de relave minero es eficiente, para hacer reducir la concentración del metal pesado zinc que puede contener el drenaje ácido de mina, esta reducción se da cuando el metal precipita en forma de hidróxidos u óxidos metálicos básicamente.



Gráfica 10: Variación de la concentración del zinc total en el agua



Gráfica 11: Variación de la concentración del zinc disuelto en el agua

Observación

Este incremento inicial (luego de los 15 minutos de decantación) de las concentraciones del arsénico, cadmio, cobre, hierro, plomo y zinc, se debe a que estos metales también se encuentran en la pulpa de relave minero y al tener contacto con el drenaje ácido de mina se solubilizan y hacen que sus concentraciones incrementen en la mezcla final. Además, dentro de los 15 minutos de decantación no se presencia una precipitación

rápida de los sólidos totales en suspensión, por tanto el arsénico, cadmio, cobre, hierro, plomo y zinc, que se encuentran asociados a los sólidos suspendidos de la pulpa de relave minero se suman a la concentraciones de arsénico, cadmio, cobre, hierro, plomo y zinc que contiene el drenaje ácido de mina.

5.3.7. Mercurio

En las Tabla 11, se observa que la concentración mercurio en el agua del drenaje ácido de mina y en la mezcla (DAM + PRM); se encontró por debajo del límite de detención del laboratorio (< 0,001mg/L). Dando a entender que la presencia de mercurio fue nula. Por lo tanto, no se pudo determinar si la influencia de la pulpa de relave minero es o no eficiente para la reducción de la concentración del mercurio.

Tabla 11: Resultados de las concentraciones de mercurio total y disuelto

Parámetros	Unidad	15 minutos		24 horas		48 horas	
		DAMA	MPR+DAA	DAMA-24	MPR+DAA-24	DAMA-48	MPR+DAA-48
Mercurio total	mg/L	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001
Mercurio disuelto	mg/L	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001

mg/L: miligramo por litro.

CAPITULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. CONCLUSIONES

La influencia de la pulpa de relave minero en la reducción de la concentración de los metales pesados totales: arsénico, cadmio, cobre, hierro y zinc; que contiene el drenaje ácido de mina, es eficiente para un tiempo de decantación de 24 horas y 48 horas, llegando a reducir la concentración de estos metales hasta en más del 78%. Sin embargo, hay que tener mayor cuidado cuando las muestras decantan por 15 minutos, ya que en estos minutos de decantación estos metales incrementan sus concentraciones, debido a que estos mismos metales también se encuentran en la pulpa de relave minero y al tener contacto con el drenaje ácido de mina se solubilizan y hacen que sus concentraciones se incrementen grandemente en la mezcla fina. Por otro lado, la influencia de la pulpa de relave minero en la reducción de la concentración de los metales pesados disueltos: arsénico, cadmio, cobre, hierro y zinc; se muestra su eficiencia desde los 15 minutos de decantación, llegando a reducir sus concentraciones hasta en más del 90% en 48 horas de decantación. Respecto al plomo total y disuelto la influencia de la pulpa de relave minero no es eficiente para la reducción de su concentración, debido a que se evidenció un incremento de su concentración en los tres tiempos de decantación (15 minutos, 24 horas y 48 horas).

La influencia de la pulpa de relave minero no es eficiente para reducir la concentración de los sólidos totales en suspensión, que puede contener los drenajes ácidos de mina, debido a que la pulpa de relave minero es más bien un aportante de sólidos a la mezcla final de pulpa de relave minero con drenaje ácido de mina.

5.2. RECOMENDACIONES

Realizar los ensayos ejecutados en la presente investigación a nivel de piloto, ya que en esta investigación los ensayos realizados fueron a nivel de laboratorio y se demostró la eficiencia de la pulpa de relave minero para reducir la concentración de arsénico, cadmio, cobre, hierro y zinc para un tiempo de decantación mayor a las 24 horas.

Reforzar los ensayos realizados en la presente investigación, con un ensayo de coagulación para determinar un agente aglomerante más eficaz que la pulpa de relave minero y con ello se logre reducir la concentración de los sólidos totales en suspensión encontrados en los drenajes ácidos de mina.

Se tiene que investigar si el sedimento producto del ensayo de neutralización del drenaje ácido de mina con pulpa de relave minero es o no potencial generador de acidez (PGA) con una prueba estática ABA (balance ácido/base), ya que teóricamente el sedimento obtenido de esta mezcla contiene precipitados de metales y lodos neutros con altos contenidos de ferridrita. De acuerdo con los resultados de la prueba ABA, se tiene que determinar un lugar donde disponer adecuadamente estos lodos para evitar su resuspensión y posterior contaminación ambiental. Así también, en el caso de que estos lodos no sean capaces de generar acidez se podrían usar, por ejemplo, como insumo para la elaboración de baldosas o para estabilizar taludes.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

Aduvire, O. (2006). *Drenaje ácido de mina generación y tratamiento.* Madrid: Instituto Geológico y Minero de España. Dirección de Recursos Minerales y Geoambiente.

Aguilar, M. (2001). NMX-AA-051-SCFI-2001- A*nálisis de agua - Determinación de metales por absorción atómica en aguas naturales, potables, residuales y residuales tratadas - Método de prueba (Cancela A LA NMX-AA-051-1891).* México: Secretaría de Economía.

Carlo, M. (2005). *Tratamiento del drenaje ácido de mina usando el método de lodos de alta densidad y empleando relaves mineros como medio neutralizante y aglomerante*. Informe de suficiencia para optar título de Ingeniero Metalurgista. Universidad Nacional de Ingeniería. Lima. Perú.

Cricyt. (2011). *Metales pesados.* 07/10/2017, Sitio web: http://www.cricyt.edu.ar/enciclopedia/terminos/MetalesPes.htm

Cyclus. (2011). *Parámetros*. 01/12/2014, de Cyclus. Sitio web: http://www.cyclusid.com/tecnologias-aguas-residuales/parametros-aguas-residuales.

EcuRed. (2012). *Metales Pesados*. 20/07/2016, de EcuRed Conocimientos con todos y para todos. Sitio web: http://www.ecured.cu/index.php?title=Metales_pesados&oldid=1580853.

Graza, F. & Quispe, R. (2015). *Determinación de Pb, Cd, As en aguas del río Santa en el pasivo minero ambiental de Recuay, Ticapampa; Recuay – Ancash*. Tesis para optar al Título Profesional de Químico Farmacéutico, Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Lima, Perú.

Gamonal, P. (2002). *Tratamiento de drenaje ácido de minas en humedales construidos.* Institute for Water Education in partnership with UNESCO. Paises Bajos.

Instituto nacional de ecología y cambio climático. (2009). *Ensayo - Contaminación por metales pesados, sus efectos en el medio ambiente y la salud humana.* 20/07/2016, INECC. Sitio Web: http://www.inecc.gob.mx/sqre-temas/763-aqre-metales, Visitada.

Kurimexicana. (2013). *Precipitación de metales en aguas residuales*. 01/07/2016, Kurimexicana. Sitio web: http://www.kurimexicana.com/agualog-agosto-2013-presipitametal.shtml.

Martínez, J. (2014, marzo). *Gestión de Relaves Mineros.* Ponencia presentada al Curso Gestión Ambiental en Minería. Universidad Nacional de la Republica, Uruguay.

Morel, Ignacio. (1994). *Investigación en zona no saturada: aspectos metodológicos y algunos ejemplos* (pp.39-40). Valencia. Universidad Jaume I.

Ministerio de Minería. 2007. Decreto Supremo 248/2006, de la República de Chile, *Reglamento de Diseño, Construcción, operación y Cierre de los Depósitos de Relaves*. Santiago. Chile.

Perú, Ministerio del Ambiente (2012). *Glosario de Términos para la Formulación de Proyectos Ambientales*. Lima.

Perú, Ministerio de Energía y Minas – Dirección General de Asuntos Ambientales (1993). *Guía Ambiental Para el Manejo de Drenaje Ácido de Mina.* Lima.

Perú, Ministerio de Energía y Minas – Dirección General de Asuntos Ambientales (1993). *Guía Ambiental Para el Manejo de Relaves Mineros.* Lima.

Perú, Ministerio de Energía y Minas (2015). *Actualizan el inventario inicial de pasivos ambientales mineros – R.M N° 102-2015-MNE/DM.* Lima.

Ramírez, N. (2007). *Guía técnica de operación y control de depósitos de relaves.* Servicio Nacional de Geología y Minería Departamento de Seguridad Minera, Santiago. Chile.

ANEXOS

ANEXO 1

INFORMES DE ENSAYOS DE LOS LABORATORIOS

INFORME DE ENSAYO Nº 101541-2016 CON VALOR OFICIAL

II. RESULTADOS:

Producto declarado		Agua residual industrial	Agua residual industrial	Agua residual industrial
Matriz analizada		Agua residual	Agua residual	Agua residual
Fecha de muestreo		2016-03-18	2016-03-18	2016-03-18
Hora de inicio de muestreo (h)		08:45	12:00	16:00
Condiciones de la muestra		Refrigerada / preservada	Refrigerada / preservada	Refrigerada / preservada
Código del Cliente		PRMA	DAMA	MPR+DAA
Código del Laboratorio		SAG1603302/001	SAG1603302/002	SAG1603302/003
Ensayos	Unidades	Resultados		
Cromo Hexavalente (VI)	mg/L	<0.007	<0.007	<0.007
Sólidos suspendidos totales (TSS)	mg/L	>20000	42.0	12162

II. RESULTADOS:

**Resultados de campo proporcionados por el cliente				
Parámetro	Unidades	PRMA	DAMA	MPR+DAA
		SAG1603302/001	SAG1603302/002	SAG1603302/003
**pH	unid. pH	10.45	3.26	8.85
**Temperatura	ºC	22.4	19.1	21.0
**Conductividad	uS/cm	1287	575	1185

**Resultados proporcionados por el cliente, no forman parte del alcance de la acreditación.

Quim. Belbeth Y. Fajardo León
Director Técnico
C.Q.P. Nº 648
Servicios Analíticos Generales S.A.C.

EXPERTS WORKING FOR YOU

* El método indicado no ha sido acreditado por INACAL-DA

SM: Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. (SMEWW)-APHA-AWWA-WEF. 22nd. Edition 2012. **EPA:** U.S. Environmental Protection Agency. **ASTM:** American Society for Testing and Materials. **NTP:** Norma Técnica Peruana

OBSERVACIONES: Está prohibida la reproducción parcial o total del presente documento a menos que sea bajo la autorización escrita de Servicios Analíticos Generales S.A.C. Sólo es válido para las muestras referidas en el presente informe. Las muestras serán conservadas de acuerdo al periodo de perecibilidad del parámetro analizado con un máximo de 30 días calendarios de haber ingresado la muestra al laboratorio.
NOTA: 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 Nº 101541-2016
CON VALOR OFICIAL

II. RESULTADOS:

Producto declarado			Agua residual industrial	Agua residual industrial	Agua residual industrial
Matriz analizada			Agua residual	Agua residual	Agua residual
Fecha de muestreo			2016-03-18	2016-03-18	2016-03-18
Hora de inicio de muestreo (h)			08:45	12:00	16:00
Condiciones de la muestra			Refrigerada / preservada	Refrigerada / preservada	Refrigerada / preservada
Código del Cliente			PRMA	DAMA	MPR+DAA
Código del Laboratorio			SAG1603302/001	SAG1603302/002	SAG1603302/003
Ensayo	L.D.M.	unidades	Resultados		
Metales totales					
Plata (Ag)	0.0007	mg/L	0.041	<0.0007	0.092
Aluminio (Al)	0.01	mg/L	119.19	5.06	57.36
Arsénico (As)	0.001	mg/L	>60	1.610	>60
Boro (B)	0.002	mg/L	<0.002	0.244	<0.002
Bario (Ba)	0.002	mg/L	0.010	0.017	0.104
Berilio (Be)	0.0003	mg/L	0.0092	<0.0003	0.0040
Calcio (Ca)	0.05	mg/L	>400	39.84	256.88
Cadmio (Cd)	0.0004	mg/L	3.5379	0.0304	1.8019
Cerio (Ce)	0.002	mg/L	0.582	0.012	0.258
Cobalto (Co)	0.0005	mg/L	0.6019	0.0027	0.2649
Cromo (Cr)	0.0004	mg/L	0.2614	<0.0004	0.1326
Cobre (Cu)	0.0007	mg/L	18.9200	0.2695	7.9271
Hierro (Fe)	0.002	mg/L	>200	20.710	>200
Mercurio (Hg)	0.001	mg/L	<0.001	<0.001	<0.001
Potasio (K)	0.04	mg/L	27.93	1.77	20.06
Litio (Li)	0.003	mg/L	0.201	0.056	0.097
Magnesio (Mg)	0.04	mg/L	98.51	3.92	32.98
Manganeso (Mn)	0.0005	mg/L	>20	2.4648	>20
Molibdeno (Mo)	0.002	mg/L	<0.002	<0.002	<0.002
Sodio (Na)	0.02	mg/L	25.92	8.73	23.87
Níquel (Ni)	0.0006	mg/L	0.5588	<0.0006	0.2531
Fósforo (P)	0.003	mg/L	4.569	0.080	2.838
Plomo (Pb)	0.0005	mg/L	27.8560	0.0701	>50
Antimonio (Sb)	0.002	mg/L	0.078	0.007	0.083
Selenio (Se)	0.003	mg/L	<0.003	<0.003	<0.003
Silice (SiO_2)	0.03	mg/L	>107.15	33.66	>107.15
Estaño (Sn)	0.001	mg/L	0.006	<0.001	0.002
Estroncio (Sr)	0.001	mg/L	1.958	0.193	1.137
Titanio (Ti)	0.0003	mg/L	0.0798	<0.0003	0.1105
Talio (Tl)	0.003	mg/L	0.192	<0.003	0.066
Vanadio (V)	0.0004	mg/L	<0.0004	<0.0004	0.0352
Zinc (Zn)	0.002	mg/L	>50	4.805	>50

L.D.M.: Límite de detección del método

Quim. Belbeth Y. Fajardo León
Director Técnico
C.Q.P. Nº 648
Servicios Analíticos Generales S.A.C.

EXPERTS WORKING FOR YOU

* El método indicado no ha sido acreditado por INACAL-DA

SM: Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. (SMEWW)-APHA-AWWA-WEF. 22nd. Edition 2012. **EPA:** U.S. Environmental Protection Agency. **ASTM:** American Society for Testing and Materials. **NTP:** Norma Técnica Peruana

OBSERVACIONES: Está prohibida la reproducción parcial o total del presente documento a menos que sea bajo la autorización escrita de Servicios Analíticos Generales S.A.C. Sólo es válido para las muestras referidas en el presente informe.

Las muestras serán conservadas de acuerdo al periodo de perecibilidad del parámetro analizado con un máximo de 30 días calendarios de haber ingresado la muestra al laboratorio.

NOTA: 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.

SERVICIOS ANALÍTICOS GENERALES S.A.C.
Laboratorio Av. Naciones Unidas Nº 1565 - Urb. Chacra Ríos Norte - Lima 01 - Perú. **Central Telefónica** (511) 425-7227 - 425-6885 - 425-5564 - 425 - 6047 | **MÓVIL** 994 976 442
Website www.sagperu.com **Contacto Electrónico** sagperu@sagperu.com | laboratorio@sagperu.com

INFORME DE ENSAYO Nº 101541-2016
CON VALOR OFICIAL

II. RESULTADOS:

Producto declarado			Agua residual industrial	Agua residual industrial	Agua residual industrial
Matriz analizada			Agua residual	Agua residual	Agua residual
Fecha de muestreo			2016-03-18	2016-03-18	2016-03-18
Hora de inicio de muestreo (h)			08:45	12:00	16:00
Condiciones de la muestra			Refrigerada / preservada	Refrigerada / preservada	Refrigerada / preservada
Código del Cliente			PRMA	DAMA	MPR+DAA
Código del Laboratorio			SAG1603302/001	SAG1603302/002	SAG1603302/003
Ensayo	L.D.M.	unidades	Resultados		
Metales disueltos					
Plata (Ag)	0.0007	mg/L	<0.0007	<0.0007	<0.0007
Aluminio (Al)	0.01	mg/L	0.16	4.82	0.02
Arsénico (As)	0.001	mg/L	0.121	<0.001	0.133
Boro (B)	0.002	mg/L	<0.002	0.238	<0.002
Bario (Ba)	0.002	mg/L	0.006	0.012	0.007
Berilio (Be)	0.0003	mg/L	<0.0003	<0.0003	<0.0003
Calcio (Ca)	0.05	mg/L	267.67	37.47	221.36
Cadmio (Cd)	0.0004	mg/L	0.0016	0.0289	0.0172
Cerio (Ce)	0.002	mg/L	<0.002	0.008	<0.002
Cobalto (Co)	0.0005	mg/L	0.0020	0.0021	0.0052
Cromo (Cr)	0.0004	mg/L	<0.0004	<0.0004	<0.0004
Cobre (Cu)	0.0007	mg/L	0.0035	0.2511	0.1118
Hierro (Fe)	0.002	mg/L	<0.002	1.116	<0.002
Mercurio (Hg)	0.001	mg/L	<0.001	<0.001	<0.001
Potasio (K)	0.04	mg/L	18.28	1.75	14.65
Litio (Li)	0.003	mg/L	0.021	0.054	0.050
Magnesio (Mg)	0.04	mg/L	2.73	3.03	3.92
Manganeso (Mn)	0.0005	mg/L	0.7866	2.2375	4.3071
Molibdeno (Mo)	0.002	mg/L	<0.002	<0.002	<0.002
Sodio (Na)	0.02	mg/L	25.32	8.59	22.98
Níquel (Ni)	0.0006	mg/L	0.0009	<0.0006	0.0031
Fósforo (P)	0.003	mg/L	0.177	<0.003	0.028
Plomo (Pb)	0.0005	mg/L	0.0107	0.0530	0.0585
Antimonio (Sb)	0.002	mg/L	0.007	<0.002	<0.002
Selenio (Se)	0.003	mg/L	<0.003	<0.003	<0.003
Silice (SiO_2)	0.03	mg/L	4.46	32.20	8.20
Estaño (Sn)	0.001	mg/L	<0.001	<0.001	<0.001
Estroncio (Sr)	0.001	mg/L	1.347	0.189	0.980
Titanio (Ti)	0.0003	mg/L	<0.0003	<0.0003	<0.0003
Talio (Tl)	0.003	mg/L	<0.003	<0.003	<0.003
Vanadio (V)	0.0004	mg/L	<0.0004	<0.0004	<0.0004
Zinc (Zn)	0.002	mg/L	0.040	4.495	0.483

L.D.M.: Límite de detección del método

Quim. Belbeth Y. Fajardo León
Director Técnico
C.Q.P. Nº 648
Servicios Analíticos Generales S.A.C.

EXPERTS WORKING FOR YOU

* El método indicado no ha sido acreditado por INACAL-DA

SM: Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. (SMEWW)-APHA-AWWA-WEF. 22nd. Edition 2012. **EPA:** U.S. Environmental Protection Agency. **ASTM:** American Society for Testing and Materials. **NTP:** Norma Técnica Peruana

OBSERVACIONES: Está prohibida la reproducción parcial o total del presente documento a menos que sea bajo la autorización escrita de Servicios Analíticos Generales S.A.C. Sólo es válido para las muestras referidas en el presente informe.

Las muestras serán conservadas de acuerdo al periodo de perecibilidad del parámetro analizado con un máximo de 30 días calendarios de haber ingresado la muestra al laboratorio.

NOTA: 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 Nº 11942-2017
CON VALOR OFICIAL

RAZÓN SOCIAL	: ROSSAN LOPEZ TARAZONA
DOMICILIO LEGAL	: HUARAZ - ANCASH
SOLICITADO POR	: ROSSAN LOPEZ TARAZONA
REFERENCIA	: RESERVADO POR EL CLIENTE
PROCEDENCIA	: HUARAZ - ANCASH
FECHA DE RECEPCIÓN	: 2017-02-24
FECHA DE INICIO DE ENSAYOS	: 2017-02-24
MUESTREADO POR	: ROSSAN LOPEZ TARAZONA

I. METODOLOGÍA DE ENSAYO:

Ensayo	Método	L.C.	Unidades
Metales totales (Arsénico, Cadmio, Cobre, Hierro, Plomo, Mercurio, Zinc).	EPA Method 200.7, Rev.4.4. EMMC Version. Determination of Metals and trace Elements in Water and Wates by Inductively Coupled Plasma - Atomic Emission Spectrometry. 1994	---	mg/L

L.C.: límite de cuantificación.

Quím. Belbeth Y. Fajardo León
C.Q.P. N° 648
Asesor Técnico Químico

EXPERTS WORKING FOR YOU

* El método indicado no ha sido acreditado por INACAL-DA

SM: Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. (SMEWW)-APHA-AWWA-WEF. 22nd. Edition 2012. **EPA:** U.S. Environmental Protection Agency. **ASTM:** American Society for Testing and Materials. **NTP:** Norma Técnica Peruana

OBSERVACIONES: Está prohibida la reproducción parcial o total del presente documento a menos que sea bajo la autorización escrita de Servicios Analíticos Generales S.A.C. Sólo es válido para las muestras referidas en el presente informe.
Las muestras serán conservadas de acuerdo al periodo de perecibilidad del parámetro analizado con un máximo de 30 días calendarios de haber ingresado la muestra al laboratorio.
NOTA: 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 Nº 11942-2017
CON VALOR OFICIAL

II. RESULTADOS:

Producto declarado			Agua industrial	Agua industrial	Agua industrial	Agua industrial
Matriz analizada			Agua residual	Agua residual	Agua residual	Agua residual
Fecha de muestreo			2017-02-23	2017-02-23	2017-02-23	2017-02-24
Hora de inicio de muestreo (h)			16:00	16:00	16:00	16:00
Condiciones de la muestra			Refrigerada y preservada	Refrigerada y preservada	Refrigerada y preservada	Refrigerada y preservada
Código del Cliente			DAMA - 24	PRMA - 24	MPR + DAA - 24	DAMA - 48
Código del Laboratorio			17021568	17021569	17021570	17021571
Ensayo	L.D.M.	unidades	Resultados			
Metales totales						
Arsénico (As)	0.001	mg/L	1.251	0.005	0.077	0.414
Cadmio (Cd)	0.0004	mg/L	0.2409	<0.0004	0.0383	0.2360
Cobre (Cu)	0.0007	mg/L	0.5774	0.1038	0.1507	0.6273
Hierro (Fe)	0.002	mg/L	179.599	0.440	20.429	128.099
Mercurio (Hg)	0.001	mg/L	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001
Plomo (Pb)	0.0005	mg/L	0.018	>50	11.848	0.070
Zinc (Zn)	0.002	mg/L	34.030	3.611	9.287	33.699

Producto declarado			Agua industrial	Agua industrial
Matriz analizada			Agua residual	Agua residual
Fecha de muestreo			2017-02-24	2017-02-24
Hora de inicio de muestreo (h)			16:00	16:00
Condiciones de la muestra			Refrigerada y preservada	Refrigerada y preservada
Código del Cliente			PRMA - 48	MPR + DAA - 48
Código del Laboratorio			17021572	17021573
Ensayo	L.D.M.	unidades	Resultados	
Metales totales				
Arsénico (As)	0.001	mg/L	0.008	0.036
Cadmio (Cd)	0.0004	mg/L	<0.0004	0.0213
Cobre (Cu)	0.0007	mg/L	0.1117	0.1051
Hierro (Fe)	0.002	mg/L	0.184	10.379
Mercurio (Hg)	0.001	mg/L	<0.001	<0.001
Plomo (Pb)	0.0005	mg/L	47.977	14.195
Zinc (Zn)	0.002	mg/L	4.071	7.278

L.D.M.: Límite de detección del método

Lima, 07 de Marzo del 2017

Quím. Belbeth Y. Fajardo León
C.Q.P. N° 648
Asesor Técnico Químico

EXPERTS WORKING FOR YOU

* El método indicado no ha sido acreditado por INACAL-DA

SM: Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. (SMEWW)-APHA-AWWA-WEF. 22nd. Edition 2012. **EPA:** U.S. Environmental Protection Agency. **ASTM:** American Society for Testing and Materials. **NTP:** Norma Técnica Peruana
OBSERVACIONES: Está prohibida la reproducción parcial o total del presente documento a menos que sea bajo la autorización escrita de Servicios Analíticos Generales S.A.C. Sólo es válido para las muestras referidas en el presente informe.
Las muestras serán conservadas de acuerdo al periodo de perecibilidad del parámetro analizado con un máximo de 30 días calendarios de haber ingresado la muestra al laboratorio.
NOTA: 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 Nº 11931-2017
CON VALOR OFICIAL

RAZÓN SOCIAL	: ROSSAN LOPEZ TARAZONA
DOMICILIO LEGAL	: HUARAZ - ANCASH
SOLICITADO POR	: ROSSAN LOPEZ TARAZONA
REFERENCIA	: RESERVADO POR EL CLIENTE
PROCEDENCIA	: HUARAZ - ANCASH
FECHA DE RECEPCIÓN	: 2017-02-24
FECHA DE INICIO DE ENSAYOS	: 2017-02-24
MUESTREADO POR	: ROSSAN LOPEZ TARAZONA

I. METODOLOGÍA DE ENSAYO:

Ensayo	Método	L.C.	Unidades
Sólidos suspendidos totales (TSS)	SM 2540 D. Solids. Total Suspended Solids Dried at 103-105°C.	3.00	mg/L
Metales disueltos (Arsénico, Cadmio, Cobre, Hierro, Plomo, Mercurio, Zinc).	EPA Method 200.7, Rev.4.4. EMMC Version. Determination of Metals and trace Elements in Water and Wates by Inductively Coupled Plasma - Atomic Emission Spectrometry. 1994	---	mg/L

L.C.: límite de cuantificación.

II. RESULTADOS:

Producto declarado		Agua industrial	Agua industrial	Agua industrial	Agua industrial
Matriz analizada		Agua residual	Agua residual	Agua residual	Agua residual
Fecha de muestreo		2017-02-23	2017-02-23	2017-02-23	2017-02-24
Hora de inicio de muestreo (h)		16:00	16:00	16:00	16:00
Condiciones de la muestra		Refrigerada y preservada	Refrigerada y preservada	Refrigerada y preservada	Refrigerada y preservada
Código del Cliente		DAM - 24	PRMA - 24	MPR + DAA - 24	DAMA - 48
Código del Laboratorio		17021568	17021569	17021570	17021571
Ensayos	Unidades	Resultados			
Sólidos suspendidos totales (TSS)	mg/L	42.32	8.82	122.09	37.66

Producto declarado		Agua industrial	Agua industrial
Matriz analizada		Agua residual	Agua residual
Fecha de muestreo		2017-02-24	2017-02-24
Hora de inicio de muestreo (h)		16:00	16:00
Condiciones de la muestra		Refrigerada y preservada	Refrigerada y preservada
Código del Cliente		PRMA - 48	MPR + DAA - 48
Código del Laboratorio		17021572	17021573
Ensayos	Unidades	Resultados	
Sólidos suspendidos totales (TSS)	mg/L	7.90	197.36

Quím. Belbetti Y. Fajardo León
C.Q.P. N° 648
Asesor Técnico Químico

EXPERTS WORKING FOR YOU

* El método indicado no ha sido acreditado por INACAL-DA

SM: Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. (SMEWW)-APHA-AWWA-WEF. 22nd. Edition 2012. **EPA:** U.S. Environmental Protection Agency. **ASTM:** American Society for Testing and Materials. **NTP:** Norma Técnica Peruana

OBSERVACIONES: Está prohibida la reproducción parcial o total del presente documento a menos que sea bajo la autorización escrita de Servicios Analíticos Generales S.A.C. Sólo es válido para las muestras referidas en el presente informe.
Las muestras serán conservadas de acuerdo al periodo de perecibilidad del parámetro analizado con un máximo de 30 días calendarios de haber ingresado la muestra al laboratorio.
NOTA: 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 Nº 11931-2017
CON VALOR OFICIAL

II. RESULTADOS:

Producto declarado			Agua industrial	Agua industrial	Agua industrial	Agua industrial
Matriz analizada			Agua residual	Agua residual	Agua residual	Agua residual
Fecha de muestreo			2017-02-23	2017-02-23	2017-02-23	2017-02-24
Hora de inicio de muestreo (h)			16:00	16:00	16:00	16:00
Condiciones de la muestra			Refrigerada y preservada	Refrigerada y preservada	Refrigerada y preservada	Refrigerada y preservada
Código del Cliente			DAMA - 24	PRMA - 24	MPR + DAA - 24	DAMA - 48
Código del Laboratorio			17021568	17021569	17021570	17021571
Ensayo	L.D.M.	unidades	Resultados			
Metales disueltos						
Arsénico (As)	0.001	mg/L	0.122	<0.001	<0.001	0.179
Cadmio (Cd)	0.0004	mg/L	0.2246	<0.0004	<0.0004	0.2290
Cobre (Cu)	0.0007	mg/L	0.5737	0.0399	0.0030	0.5900
Hierro (Fe)	0.002	mg/L	86.949	0.173	0.064	72.324
Mercurio (Hg)	0.001	mg/L	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001
Plomo (Pb)	0.0005	mg/L	0.018	49.687	11.555	0.069
Zinc (Zn)	0.002	mg/L	32.764	3.341	2.611	33.389

Producto declarado			Agua industrial	Agua industrial
Matriz analizada			Agua residual	Agua residual
Fecha de muestreo			2017-02-24	2017-02-24
Hora de inicio de muestreo (h)			16:00	16:00
Condiciones de la muestra			Refrigerada y preservada	Refrigerada y preservada
Código del Cliente			PRMA - 48	MPR + DAA - 48
Código del Laboratorio			17021572	17021573
Ensayo	L.D.M.	unidades	Resultados	
Metales disueltos				
Arsénico (As)	0.001	mg/L	<0.001	<0.001
Cadmio (Cd)	0.0004	mg/L	<0.0004	<0.0004
Cobre (Cu)	0.0007	mg/L	0.0214	0.0042
Hierro (Fe)	0.002	mg/L	0.164	0.101
Mercurio (Hg)	0.001	mg/L	<0.001	<0.001
Plomo (Pb)	0.0005	mg/L	46.890	14.816
Zinc (Zn)	0.002	mg/L	3.868	3.155

L.D.M.: Límite de detección del método

Lima, 07 de Marzo del 2017

Quím. Belbeth Y. Fajardo León
C.Q.P. N° 648
Asesor Técnico Químico

EXPERTS WORKING FOR YOU

método indicado no ha sido acreditado por INACAL-DA

Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. (SMEWW)-APHA-AWWA-WEF. 22nd. Edition 2012. **EPA:** U.S. Environmental Protection Agency. **ASTM:** American Society for Testing and Materials. **NTP:** Norma Técnica Peruana

ERVACIONES: Está prohibida la reproducción parcial o total del presente documento a menos que sea bajo la autorización escrita de Servicios Analíticos Generales S.A.C. Sólo es válido para las muestras referidas en el presente informe. muestras serán conservadas de acuerdo al periodo de perecibilidad del parámetro analizado con un máximo de 30 días calendarios de haber ingresado la muestra al laboratorio.

A: 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.

ANEXO 2

CERTIFICADOS DE CALIBRACIÓN DE MULTIPARÁMETRO

Kossodo
el mejor EQUIPO para su laboratorio

LABORATORIO DE CALIBRACIÓN ACREDITADO POR EL ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN INDECOPI-SNA CON REGISTRO N°LC-006

INACAL
DA - Perú
Laboratorio de Calibración Acreditado
Registro N°LC - 006

Certificado de Calibración

Calibration Certificate

Nº PH16-C-0042

Cliente: *Customer*	**E & OH CONSULTING S.A.C.**
Dirección: *Address*	Jr. Rio Mantaro Mz J lote 33 Coo. Mariscal Luzuriaga (Lima / Lima / San Juan de Lurigancho)
Objeto calibrado: *Calibrated object*	MULTIPARÁMETRO (Medidor de pH)
Marca: *Brand*	HACH
Modelo: *Model*	HQ40d
Número de serie: *Serial Number*	130300085628
Identificación: *Identification*	No indica
Lugar de Calibración: *Place of Calibration*	Laboratorio de Temperatura, Humedad y Físico-Químico de KOSSODO S.A.C.
Orden de Trabajo: *Work Order*	OT-01600209
Fecha de Calibración: *Date of Calibration*	2016-03-10
Fecha de Emisión: *Date of Issue*	2016-03-16

Este Certificado de Calibración documenta la trazabilidad a los patrones Nacionales o Internacionales, que realizan las unidades de medida de acuerdo con el Sistema Internacional de Unidades (SI).
KOSSODO S.A.C. - División de Metrología mantiene y calibra sus patrones de referencia para garantizar la cadena de trazabilidad de las mediciones que realiza, así mismo realiza certificaciones metrológicas a solicitud de los interesados y brinda asistencia técnica en temas relacionados al campo de la metrología en la industria peruana.
Con el fin de asegurar la calidad de sus mediciones el usuario debería recalibrar sus instrumentos a intervalos apropiados.

This Calibration Certificate documents the traceability to national or international standards, which realize the units of measurement according to the International System of Units (SI).
KOSSODO S.A.C. - Metrology Division supports and calibrates his standards of reference to guarantee the chain of traceability of the measurements realized, as well as the metrological certifications realize at the request of the interested parties and offers technical assistance in topics related to the metrology field in the Peruvian industry.
In order to assure the quality of measurements the user should recalibrate his instruments at appropriate intervals.

ESPECIFICACIONES TECNICAS DEL OBJETO CALIBRADO
Technical specifications of the calibrated object

Rango escala pH: *Range of pH scale*	0,00 pH a 14,00 pH	Modelo de Electrodo: *Electrode model*	PHC101
Resolución escala pH: *Resolution of pH scale*	0,01 pH	Serie del Electrodo: *Electrode serial*	130872561005

MÉTODO DE CALIBRACIÓN
Calibration Method

La calibración se realizó por comparación de la indicación del instrumento con valores asignados a materiales de referencia de pH certificados; siguiendo el procedimiento, PC-020 "Procedimiento para la Calibración de Medidores de pH", primera edición del SNM-INDECOPI.

Calibration was performed by comparison the indication of the instrument with assigned values to reference materials Certified pH; following the procedure, the PC-020 "Calibration Procedure for pH Meters", first edition from SNM-INDECOPI.

Director de Metrología *Metrology Director*	Supervisor de Laboratorio *Laboratory Supervisor*
Ernesto Rodríguez Morón	Olga Toro Sayas

Edición 02, Julio 2013
Prohibida la reproducción total o parcial de este documento sin la autorización de Kossodo S.A.C. Este documento carece de validez sin sello y firmas correspondientes
partial or total reproduction of this document is prohibited without authorization of Kossodo S.A.C. This document is not valid without the respective stamp and signature
Oficina de Ventas: Jr. Chota 1161 - Lima - Perú | Teléfonos: (+ (51-1) 619-8400 | Anexo 1401 | E-mail: metrología@kossodo.com | www.kossodo.com

Nº PH16-C-0042

PATRONES UTILIZADOS
Standards Used

Nombre del patrón *Standard name*	Código de patrón *Standard code*	Nº de Certificado *Certificate number*	Trazabilidad *Traceability*
Solución standard de valor nominal pH 4 *Standard solution with nominal value of pH 4*	PT-SB04-37	009-2016	INACAL
Solución standard de valor nominal pH 7 *Standard solution with nominal value of pH 7*	PR-SB07-10	051-2015	INACAL
Solución standard de valor nominal pH 10 *Standard solution with nominal value of pH 10*	PR-SB10-10	052-2015	INACAL
Termómetro digital *Digital thermometer*	PT-TDIG-02	LT-460-2015	INACAL

CONDICIONES AMBIENTALES
Environment Conditions

Temperatura ambiente inicial: *Initial temperature*	25,3 °C	Humedad Relativa inicial: *Initial relative humidity*	54 %
Temperatura ambiente final: *Final temperature*	24,5 °C	Humedad Relativa final: *Final relative humidity*	53 %

RESULTADOS ANTES DEL AJUSTE A 25 °C
Results before adjust to 25 °C

Previo al ajuste del instrumento se encontró el siguiente resultado para el valor de pH.
Before the adjust of the instrument, it was found the following result for the pH value.

Valor de Referencia *Reference value* pH	Error *Error* pH
4,01	-0,03
7,01	-0,44

RESULTADOS DE LA CALIBRACIÓN A 25 °C
Calibration results to 25 °C

Indicación del pHmetro *Indication of instrument* pH	Valor de Referencia *Reference value* pH	Error *Error* pH	Incertidumbre *Uncertainty* pH
4,00	4,01	-0,01	0,02
7,00	7,01	-0,01	0,02
9,99	10,01	-0,02	0,02

Los resultados de pH están dados a la temperatura de 25 °C
PH results are given to the temperature of 25 °C.

INCERTIDUMBRE DE MEDICIÓN
Mesurement Uncertainty

La incertidumbre de medición calculada *(U)* , ha sido determinada a partir de la Incertidumbre estándar de medición combinada, multiplicada por el factor de cobertura *k=2* . Este valor ha sido calculado para un nivel de confianza del 95 %.

The calculated uncertainty of measurement (U), it has been determined from the combinated Standard Uncertainty of Measurement multiplied by the coverage factor k=2. This value has been calculated for a confidence level of 95 %.

Prohibida la reproducción total o parcial de este documento sin la autorización de Kossodo S.A.C. Este documento carece de validez sin sello y firmas correspondientes
partial or total reproduction of this document is prohibited without authorization of Kossodo S.A.C. This document is not valid without the respective stamp and signature
Oficina de Ventas: Jr. Chota 1161 - Lima - Perú | Teléfonos: (+ (51-1) 619-8400 | Anexo 1401 | E-mail: metrología@kossodo.com | www.kossodo.com

Nº PH16-C-0042

OBSERVACIONES

Comments

El instrumento se ajustó con soluciones estándar de pH 4 y pH 7.

The instrument was set with standard solutions of pH 4 and pH 7.

El instrumento tiene sensor de temperatura incorporado

The instrument has built-in temperature sensor.

NOTAS

Notes

Los resultados contenidos en el presente documento son válidos únicamente para las condiciones del instrumento durante la calibración. KOSSODO S.A.C. no se responsabiliza de ningún perjuicio que puedan derivarse del uso inadecuado del objeto calibrado.

The values indicated in this document are only valid for the conditions of the instrument during calibration. KOSSODO S.A.. C. takes no responsibility for any damages caused by bad use of the calibrated object.

Una copia de este documento será mantenida en archivo electrónico en el laboratorio por un período de por lo menos 4 años.

A copy of this document will be kept in electronic device in the laboratory for 4 years at least.

La versión en inglés de este documento es una traducción relativa. En caso de duda, es válida la versión original en español.

The version in english of this document is not a binding translation. If any controversy arises, the original version in spanish must be considered.

Prohibida la reproducción total o parcial de este documento sin la autorización de Kossodo S.A.C. Este documento carece de validez sin sello y firmas correspondientes

partial or total reproduction of this document is prohibited without authorization of Kossodo S.A.C. This document is not valid without the respective stamp and signature

Oficina de Ventas: Jr. Chota 1161 - Lima - Perú | Teléfonos: (+ (51-1) 619-8400 | Anexo 1401 | E-mail: metrología@kossodo.com | www.kossodo.com

Kossodo
el mejor EQUIPO para su laboratorio

Certificado de Calibración

Calibration Certificate

Nº CE16-0014

Cliente: *Customer*	**E & OH CONSULTING S.A.C.**
Dirección: *Address*	Jr. Rio Mantaro Mz J lote 33 Coo. Mariscal Luzuriaga (Lima / Lima / San Juan de Lurigancho)
Objeto calibrado: *Calibrated object*	MULTIPARÁMETRO (Medidor de Conductividad)
Marca: *Brand*	HACH
Modelo: *Model*	HQ40d
Número de serie: *Serial Number*	130300085628
Identificación: *Identification*	No indica
Lugar de Calibración: *Place of Calibration*	Laboratorio de Temperatura, Humedad y Físico-Químico de KOSSODO S.A.C.
Orden de Trabajo: *Work Order*	OT-01600209
Fecha de Calibración: *Date of Calibration*	2016-03-10
Fecha de Emisión: *Date of Issue*	2016-03-16

Este Certificado de Calibración documenta la trazabilidad a los patrones Nacionales o Internacionales, que realizan las unidades de medida de acuerdo con el Sistema Internacional de Unidades (SI).
KOSSODO S.A.C. - División de Metrología mantiene y calibra sus patrones de referencia para garantizar la cadena de trazabilidad de las mediciones que realiza, así mismo realiza certificaciones metrológicas a solicitud de los interesados y brinda asistencia técnica en temas relacionados al campo de la metrología en la industria peruana.
Con el fin de asegurar la calidad de sus mediciones el usuario debería recalibrar sus instrumentos a intervalos apropiados.

This Calibration Certificate documents the traceability to national or international standards, which realize the units of measurement according to the International System of Units (SI).
KOSSODO S.A.C. - Metrology Division supports and calibrates his standards of reference to guarantee the chain of traceability of the measurements realized, as well as the metrological certifications realize at the request of the interested parties and offers technical assistance in topics related to the metrology field in the Peruvian industry.
In order to assure the quality of measurements the user should recalibrate his instruments at appropriate intervals.

ESPECIFICACIONES TECNICAS DEL OBJETO CALIBRADO

Technical specifications of the calibrated object

Alcance de escala : *Range of scale*	0,00 µS/cm a 19,99 µS/cm	Resolución : *Resolution*	0,01	µS/cm
	20,0 µS/cm a 199,9 µS/cm		0,1	µS/cm
	200 µS/cm a 1999 µS/cm		1	µS/cm
	2,0 mS/cm a 19,9 mS/cm		0,1	mS/cm
	20 mS/cm a 200 mS/cm		1	mS/cm
Modelo de Sonda: *Probe model*	CDC401	Precisión: *Precision*	± 0,5 %	

MÉTODO DE CALIBRACIÓN

Calibration Method

La calibración se realizó por comparación de la indicación del instrumento con valores asignados a materiales de referencia de soluciones de conductividad certificadas; siguiendo el procedimiento interno PCAL-06 "Procedimiento de calibración de conductímetros", edición 02.

Calibration was performed by comparing the instrument reading with assigned values to reference materials of certified conductivity solutions, following the internal procedure PCAL-06 "Conductivity Calibration Procedure", edition 02.

Director de Metrología *Metrology Director*	Supervisor de Laboratorio *Laboratory Supervisor*
Ernesto Rodríguez Morón	Olga Toro Sayas

Edición 03, Febrero 2014

Prohibida la reproducción total o parcial de este documento sin la autorización de Kossodo S.A.C. Este documento carece de validez sin sello y firmas correspondientes
partial or total reproduction of this document is prohibited without authorization of Kossodo S.A.C. This document is not valid without the respective stamp and signature

Oficina de Ventas: Jr. Chota 1161 - Lima - Perú | Teléfonos: (+ (51-1) 619-8400 | Anexo 1401 | E-mail: metrología@kossodo.com | www.kossodo.com

Kossodo
el mejor EQUIPO para su laboratorio

Nº CE16-0014

PATRONES UTILIZADOS
Standards Used

Nombre del patrón *Standard name*	Código de patrón *Standard code*	Nº de Certificado *Certificate number*	Trazabilidad *Traceability*
Solución standard de conductividad a 5 µS/cm *Conductivity standard solution at 5 µS/cm*	PT-SC05-13	4570-6999153	NIST
Solución standard de conductividad a 10 µS/cm *Conductivity standard solution at 10 µS/cm*	PT-SC10-15	4565-7283363	NIST
Solución standard de conductividad a 1413 µS/cm *Conductivity standard solution at 1413 µS/cm*	PT-SC1413-28	09L41	NIST
Termómetro digital *Digital thermometer*	PT-TDIG-02	LT-460-2015	INACAL

CONDICIONES AMBIENTALES
Environment Conditions

Temperatura ambiente inicial: *Initial temperature*	25,4 °C	Humedad Relativa inicial: *Initial relative humidity*	51 %
Temperatura ambiente final: *Final temperature*	25,6 °C	Humedad Relativa final: *Final relative humidity*	51 %

RESULTADOS ANTES DEL AJUSTE A 25 ºC
Results before adjust to 25 ºC

Previo al ajuste del instrumento se encontró el siguiente resultado para el valor de conductividad.
Before the adjust of the instrument, it was found the following result for the conductivity value.

Valor Nominal *Nominal value* µS/cm	Error *Error* µS/cm
1414	16

RESULTADOS DE LA CALIBRACIÓN DE LA ESCALA DEL INSTRUMENTO
Calibration results of the instrument scale

Valor Nominal *Nominal Value* µS/cm	Error *Error* µS/cm	Incertidumbre *Uncertainty* µS/cm
4,86	0,02	0,19
9,15	0,00	0,21
1414	-4	5

INCERTIDUMBRE DE MEDICIÓN
Mesurement Uncertainty

La incertidumbre de medición calculada (U), ha sido determinada a partir de la Incertidumbre estándar de medición combinada, multiplicada por el factor de cobertura *k* =2. Este valor ha sido calculado para un nivel de confianza de aproximadamente 95 %.

The calculated uncertainty of measurement (U), it has been determined from the combinated Standard Uncertainty of Measurement multiplied by the coverage factor k=2. This value has been calculated for a confidence level of about 95 %.

Prohibida la reproducción total o parcial de este documento sin la autorización de Kossodo S.A.C. Este documento carece de validez sin sello y firmas correspondientes
partial or total reproduction of this document is prohibited without authorization of Kossodo S.A.C. This document is not valid without the respective stamp and signature
Oficina de Ventas: Jr. Chota 1161 - Lima - Perú | Teléfonos: (+ (51-1) 619-8400 | Anexo 1401 | E-mail: metrología@kossodo.com | www.kossodo.com

Kossodo
el mejor EQUIPO para su laboratorio

Nº CE16-0014

OBSERVACIONES
Comments

El instrumento se ajustó con soluciones estándar de 1413 µS/cm .
The instrument was adjusted with standar solution of 1413 µS/cm.

La serie del sensor del instrumentos es : 130452581002.
The series sensor instruments is: 130452581002 .

NOTAS
Notes

Los resultados contenidos en el presente documento son válidos únicamente para las condiciones del instrumento durante la calibración. KOSSODO S.A.C. no se responsabiliza de ningún perjuicio que puedan derivarse del uso inadecuado del objeto calibrado.
The values indicated in this document are only valid for the conditions of the instrument during calibration. KOSSODO S.A.. C. takes no responsibility for any damages caused by bad use of the calibrated object.

Una copia de este documento será mantenida en archivo electrónico en el laboratorio por un período de por lo menos 4 años.
A copy of this document will be kept in electronic device in the laboratory for 4 years at least.

La versión en inglés de este documento es una traducción relativa. En caso de duda, es válida la versión original en español.
The version in english of this document is not a binding translation. If any controversy arises, the original version in spanish must be considered.

Prohibida la reproducción total o parcial de este documento sin la autorización de Kossodo S.A.C. Este documento carece de validez sin sello y firmas correspondientes
partial or total reproduction of this document is prohibited without authorization of Kossodo S.A.C. This document is not valid without the respective stamp and signature
Oficina de Ventas: Jr. Chota 1161 - Lima - Perú | Teléfonos: (+ (51-1) 619-8400 | Anexo 1401 | E-mail: metrología@kossodo.com | www.kossodo.com

Kossodo
el mejor EQUIPO para su laboratorio

Informe de Verificación

Verificatión Report

N° KS16-0035

Cliente: *Customer*	**E & OH CONSULTING S.A.C**
Dirección: *Address*	Jr. Rio Mantaro Mz. J lote 33 Coo. Mariscal Luzuriaga (Lima/Lima/San Juan de Lurigancho)
Objeto Verificado: *Object Verified*	MULTIPARAMETRO
Marca: *Brand*	HACH
Modelo: *Model*	HQ40d
Número de serie: *Serial Number*	130300085628
Identificación: *Identification*	No indica
Lugar de Verificación: *Location Verification*	Laboratorio de Temperatura,Humedad y Fisico-Quimico de KOSSODO S.A.C.
Orden de Trabajo: *Work Order*	OT-01600209
Fecha de Servicio: *Date of Service*	2016-03-10
Fecha de Emisión: *Date of issue*	2016-03-16

DATOS DEL OBJETO VERIFICADO
Property y data verified

Alcance de escala: *Scale range*	0,0 %DO a 100,0 %DO	Resolución: *Resolution*	0,1 %DO
		Precisión: *Precision*	± 0,1%

PROCEDIMIENTO DE VERIFICACIÓN
Verification Procedure

Determinación del error de indicación por medición directa con solucion estandar de 0 % DO
Determination of the indicating error by direct measure with standard solutions of 0% DO.

Director de Metrología *Metrology Director*	Supervisor de Laboratorio *Laboratory Supervisor*
Ernesto Rodriguez Morón	Olga Toro Sayas

Prohibida la reproducción total o parcial de este documento sin la autorización de Kossodo S.A.C. Este documento carece de validez sin sello y firmas correspondientes
partial or total reproduction of this document is prohibited without authorization of Kossodo S.A.C. This document is not valid without the respective stamp and signature
Oficina de Ventas: Jr. Chota 1161 - Lima - Perú | Teléfonos: (+ (51-1) 619-8400 | Anexo 1401 | E-mail: metrología@kossodo.com | www.kossodo.com

Kossodo
el mejor EQUIPO para su laboratorio

N° KS16-0035

PATRÓN UTILIZADO

Nombre del Patrón *Standar name*	Código de patrón *Standard code*	N° de Lote *Lot. N°*
Solución de Oximetro 0% DO *Solution Oxymetry 0 % DO*	ST-PT-SOZ-01	S0572/12

CONDICIONES AMBIENTALES
Environment Conditions

Temperatura ambiente inicial: *Initial Temperature*	24,7 °C	Humedad Relativa inicial: *Initial Relative Humidity*	57,0%
Temperatura ambiente final: *Final Temperature*	24,5 °C	Humedad Relativa final: *Final Relative Humidity*	55,0%

RESULTADOS ANTES DEL AJUSTE
Results before adjust

Previo al ajuste del instrumento se encontraron los siguientes resultados.
Before the adjust of the instrument, it was found the following results

Valor del Patrón *Value of the Standar* % DO	Indicadición del Instrumento *Indication of the instrument* % DO	Error *error* % DO
0,0	1,9	1,9

ENSAYOS EN EL INSTRUMENTO
Test of the instrument

Indicación del Instrumento % DO *Indication of instrument*	**Valor del Patrón % DO** *Value of the Standar*	**Error % DO** *Error*
0,5	0,0	0,5

OBSERVACIONES
Comments

(*) Código del instrumento identificado con una etiqueta adherida.
Code of the the instrument is identified with sticker

El instrumento se ajustó con soluciones estándar de 0 % DO
The instrument has been adjusted with standard solutions of 0 % DO

La serie del sensor del instrumentos es : 131992594005
The series sensor instruments is: 131992594005

NOTAS
Notes

Los resultados contenidos en el presente documento son válidos únicamente para las condiciones del instrumento durante la verificación. KOSSODO S.A.C. no se responsabiliza de ningún perjuicio que puedan derivarse del uso inadecuado del objeto verificado.
The results contained in this document are valid only for the conditions of the instrument during the verification. KOSSODO S.A.C. is not responsible for any harm that may result from improper use of verified object.

Una copia de este documento será mantenida en archivo electrónico en el laboratorio por un período de por lo menos 4 años.
A copy of this document will be kept in electronic device in the laboratory for 4 years at least.

La versión en inglés de este documento es una traducción relativa. En caso de duda, es válida la versión original en español.
The version in english of this document is not a binding translation. If any controversy arises, the original version in spanish must be considered.

Prohibida la reproducción total o parcial de este documento sin la autorización de Kossodo S.A.C. Este documento carece de validez sin sello y firmas correspondientes
partial or total reproduction of this document is prohibited without authorization of Kossodo S.A.C. This document is not valid without the respective stamp and signature
Oficina de Ventas: Jr. Chota 1161 - Lima - Perú | Teléfonos: (+ (51-1) 619-8400 | Anexo 1401 | E-mail: metrología@kossodo.com | www.kossodo.com

Kossodo
el mejor EQUIPO para su laboratorio

Certificado de Calibración

Calibration Certificate

N° TD16-0043

Cliente: *Customer*	**E & OH CONSULTING S.A.C.**
Dirección: *Address*	Jr. Rio Mantaro Mz. J lote 33 Coo. Mariscal Luzuriaga (Lima / Lima / San Juan de Lurigancho)
Objeto calibrado: *Calibrated object*	TERMÓMETRO DE INDICACIÓN DIGITAL
Marca: *Brand*	HACH
Modelo: *Model*	HQ40d
Serie: *Serial Number*	130300085628
Identificación: *Identification*	No indica
Lugar de Calibración: *Place of Calibration*	Laboratorio de Temperatura,Humedad y Fisico-Quimico de Kossodo S.A.C.
Orden de Trabajo: *Work Order*	OT-01600209
Fecha de Calibración: *Date of Calibration*	2010-03-29
Fecha de Emisión: *Date of Issue*	2016-03-16

Este Certificado de Calibración documenta la trazabilidad a los patrones Nacionales o Internacionales, que realizan las unidades de medida de acuerdo con el Sistema Internacional de Unidades (SI).
KOSSODO S.A.C. - División de Metrología mantiene y calibra sus patrones de referencia para garantizar la cadena de trazabilidad de las mediciones que realiza, así mismo realiza certificaciones metrológicas a solicitud de los interesados y brinda asistencia técnica en temas relacionados al campo de la metrología en la industria peruana.
Con el fin de asegurar la calidad de sus mediciones el usuario debería recalibrar sus instrumentos a intervalos apropiados.

This Calibration Certificate documents the traceability to national or international standards, which realize the units of measurement according to the International System of Units (SI).
KOSSODO S.A.C. - Metrology Division supports and calibrates his standards of reference to guarantee the chain of traceability of the measurements realized, as well as the metrological certifications realize at the request of the interested parties and offers technical assistance in topics related to the metrology field in the Peruvian industry.
In order to assure the quality of measurements the user should recalibrate his instruments at appropriate intervals.

DATOS DEL OBJETO CALIBRADO

Data of the calibrated object

Alcance de escala: *Scale range*	-10 ºC a 110 ºC	Tipo de sensor: *Sensor type*	PT-100
Resolución: *Resolution*	0,1 °C	Exactitud: *Accuracy*	0,3

MÉTODO DE CALIBRACIÓN

Calibration Method

La calibración ha sido realizada mediante la determinación del error de indicación por comparación directa siguiendo el procedimiento PC-017 SNM-INDECOPI "Procedimiento para la Calibración de Termómetros Digitales (2º Edición)".

The calibration was done by determination of the indicating error by comparison, according at the procedure PC-017 Calibration Procedure Digital Thermometers (2º Edition).

Director de Metrología *Metrology Director*	Supervisor de Laboratorio *Laboratory Supervisor*
Ernesto Rodríguez Morón	Francisco Ramos Ttito

KOSSODO S.A.C. DIVISIÓN DE METROLOGÍA

Prohibida la reproducción total o parcial de este documento sin la autorización de Kossodo S.A.C. Este documento carece de validez sin sello y firmas correspondientes
partial or total reproduction of this document is prohibited without authorization of Kossodo S.A.C. This document is not valid without the respective stamp and signature
Oficina de Ventas: Jr. Chota 1161 - Lima - Perú | Teléfonos: (+ (51-1) 619-8400 | Anexo 1401 | E-mail: metrología@kossodo.com | www.kossodo.com

Kossodo
el mejor EQUIPO para su laboratorio

N° TD16-0043

PATRONES UTILIZADOS
Standards Used

Nombre del patrón *Standard name*	Código de patrón *Standard code*	Nº de Certificado *certificate number*	Trazabilidad *Traceability*
Termómetro Digital con dos Termorresistencias de Platino de 100 Ohm *Digital Thermometer with two platinum thermoresistances of 100 Ohm*	PR-TDIG-01 *PR-TDIG-01*	LT-132-2015 *LT-132-2015*	SNM-INDECOPI *SNM-INDECOPI*

INSPECCIÓN VISUAL
Visual inspection

Estado del sensor: *Sensor state*	En buen estado	Estado del cable: *Cable state*	En buen estado
Estado del indicador: *Display state*	En buen estado	Estado del conector: *Conector state*	En buen estado

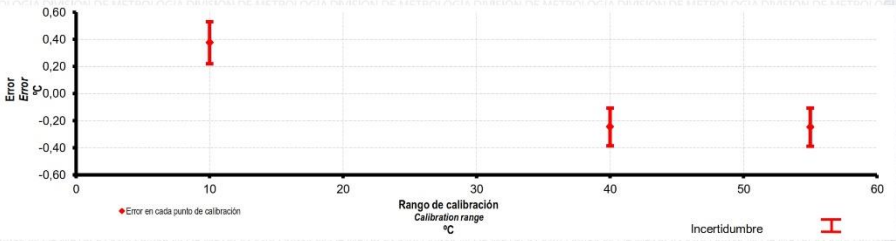
CONDICIONES AMBIENTALES DURANTE LA CALIBRACIÓN
Environment Conditions during Calibration

Temperatura Inicial: *Initial Temperature*	24,3 ° C	Humedad Inicial: *Initial Humidity*	64,3% H.R.
Temperatura Final: *Final Temperature*	24,2 ° C	Humedad Final: *Final Humidity*	62,6% H.R.

RESULTADOS DE LA CALIBRACIÓN
Calibration results

Indicación del termómetro *Indication of thermometer* °C	Corrección *Correction* °C	Incertidumbre *Uncertainty* °C
10,0	-0,37	0,16
40,0	0,25	0,14
55,0	0,25	0,14

GRAFICO DE ERRORES
Graphic of errors



Prohibida la reproducción total o parcial de este documento sin la autorización de Kossodo S.A.C. Este documento carece de validez sin sello y firmas correspondientes
partial or total reproduction of this document is prohibited without authorization of Kossodo S.A.C. This document is not valid without the respective stamp and signature
Oficina de Ventas: Jr. Chota 1161 - Lima - Perú | Teléfonos: (+ (51-1) 619-8400 | Anexo 1401 | E-mail: metrología@kossodo.com | www.kossodo.com

N° TD16-0043

INCERTIDUMBRE DE MEDICIÓN

Mesurement Uncertainty

La incertidumbre de medición calculada *(U)* , ha sido determinada a partir de la Incertidumbre estándar de medición combinada, multiplicada por el factor de cobertura *k=2* . Este valor ha sido calculado para un nivel de confianza del 95 %.

The calculated uncertainty of measurement (U), it has been determined from the combinated Standard Uncertainty of Measurement multiplied by the coverage factor k=2. This value has been calculated for a confidence level of 95 %.

OBSERVACIONES

Comments

Se ajustó el instrumento antes de la calibración. No

The instrument was adjusted before calibration No

La profundidad de inmersión del sensor del termómetro fue de aproximadamente: 7 cm

The depth immersion of the sensor of the thermometer was of approximately: 7 cm

NOTAS

Notes

Los resultados contenidos en el presente documento son válidos únicamente para las condiciones del instrumento durante la calibración. KOSSODO S.A.C. no se responsabiliza de ningún perjuicio que puedan derivarse del uso inadecuado del objeto calibrado.

The values indicated in this document are only valid for the conditions of the instrument during calibration. KOSSODO S.A.C. takes no responsibility for any damages caused by bad use of the calibrated object.

Una copia de este documento será mantenida en archivo electrónico en el laboratorio por un período de por lo menos 4 años.

A copy of this document will be kept in electronic device in the laboratory for 4 years at least.

La versión en inglés de este documento es una traducción relativa. En caso de duda, es válida la versión original en español.

The version in english of this document is not a binding translation. If any controversy arises, the original version in spanish must be considered.

Únicamente con fines ilustrativos, se detalla la página 2 de 3, un gráfico representando los errores registrados durante la calibración, asi como la incertidumbre de medición asociada a este resultado.

Only with illustrative purposes, in the page 2 of 3 is detailed, one graph representing the recorded errors during the calibration, also the Uncertainty of Measurement associated to this.

Prohibida la reproducción total o parcial de este documento sin la autorización de Kossodo S.A.C. Este documento carece de validez sin sello y firmas correspondientes

partial or total reproduction of this document is prohibited without authorization of Kossodo S.A.C. This document is not valid without the respective stamp and signature

Oficina de Ventas: Jr. Chota 1161 - Lima - Perú | Teléfonos: (+ (51-1) 619-8400 | Anexo 1401 | E-mail: metrología@kossodo.com | www.kossodo.com

ANEXO 3

REGISTRO FOTOGRÁFICO

Fotografía 1: Pasivo Ambiental Minero (PAM), bocamina abierta por donde drena ácido de mina de la explotación de la Compañía Minera Alianza S.A.

Fotografía 2: Toma de muestra de drenaje ácido de mina (DAM) de la bocamina abierta de la ex Compañía Minera Alianza S.A.

Fotografía 3: Descarga de pulpa de relave minero en la Presa de relaves de la Planta Concentradora de Minerales Santa Rosa de Jangas.

Fotografía 4: Toma de muestra de pulpa de relave minero (PRM) de la Planta Concentradora de Minerales Santa Rosa de Jangas.

Fotografía 5: Realizando la prueba de neutralización.