

UNIVERSIDAD PERUANA UNIÓN
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental



Una Institución Adventista

Tratamiento de aguas de los relaves de la mina artesanal San José de Quispipata II S.M.R.L con coagulante químico más floculante (catiónico – aniónico)

Tesis para obtener el Título de Ingeniero Ambiental

Por:

Eric Danny Inofuente Mamani

Asesor:

Mtro. Juan Eduardo Vigo Rivera

Juliaca, agosto 2022

DECLARACIÓN JURADA DE AUTORÍA DEL INFORME DE TESIS

Juan Eduardo Vigo Rivera, de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura, Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental, de la Universidad Peruana Unión.

DECLARO:

Que el presente informe de investigación titulado: **“Tratamiento de aguas de los relaves de la mina artesanal San José de Quispipata II S.M.R.L con coagulante químico más floculante (catiónico – aniónico)”** constituye la memoria que presenta la Bachiller **Eric Danny Inofuente Mamani** para obtener el título de Profesional de Ingeniero Ambiental cuya tesis ha sido realizada en la Universidad Peruana Unión bajo mi dirección.

Las opiniones y declaraciones en este informe son de entera responsabilidad del autor, sin comprometer a la institución.

Y estando de acuerdo, firmo la presente declaración en Juliaca, a los 2 días del mes de agosto del año 2022.



Mtro. Juan Eduardo Vigo Rivera
Asesor



ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

175

En Puno, Juliaca, Villa Chullunqulani, a 02 día(s) del mes de agosto del año 2022 siendo las 11:00 horas, se reunieron en el Salón de Grados y Títulos de la Universidad Peruana Unión, Filial Juliaca, bajo la dirección del Señor Presidente del jurado: Ing. Nancy Luroni Rafael, el secretario: Msc. Joel Gallo Gallo y los demás miembros: Msc. Rose Adeline Gallata Ghura

..... y el asesor Mtro. Juan Eduardo Vigo

Rivera con el propósito de administrar el acto académico de sustentación de la tesis titulada: Extratamiento de aguas de los relaves de la mina artesanal San José de Quispipata II S.M.R.L. con coagulante químico más floculante (catiónico - aniónico)

..... de el(los)/a(las) bachiller(es): a) Eric Danny Inofuente Mamani

..... b) conducente a la obtención del título profesional de Ingeniero Ambiental (Nombre del Título Profesional)

con mención en.....

El Presidente inició el acto académico de sustentación invitando al (los)/a(la)(las) candidato(a)s hacer uso del tiempo determinado para su exposición. Concluida la exposición, el Presidente invitó a los demás miembros del jurado a efectuar las preguntas, y aclaraciones pertinentes, las cuales fueron absueltas por el(los)/a(la)(las) candidato(a)s. Luego, se produjo un receso para las deliberaciones y la emisión del dictamen del jurado.

Posteriormente, el jurado procedió a dejar constancia escrita sobre la evaluación en la presente acta, con el dictamen siguiente:

Candidato (a): Eric Danny Inofuente Mamani

CALIFICACIÓN	ESCALAS			Mérito
	Vigesimal	Literal	Cualitativa	
<u>Aprobado</u>	<u>18</u>	<u>A-</u>	<u>Muy Bueno</u>	<u>Sobresaliente</u>

Candidato (b):

CALIFICACIÓN	ESCALAS			Mérito
	Vigesimal	Literal	Cualitativa	

(*) Ver parte posterior

Finalmente, el Presidente del jurado invitó al(los)/a(la)(las) candidato(a)s a ponerse de pie, para recibir la evaluación final y concluir el acto académico de sustentación procediéndose a registrar las firmas respectivas.

[Firma]
Presidente
[Firma]
Asesor
[Firma]
Candidato/a (a)

[Firma]
Miembro

[Firma]
Secretario
[Firma]
Miembro

[Firma]
Candidato/a (b)

DEDICATORIA

A David y Zenaida, mis padres, que me motivaron y ayudaron tanto económicamente y emocionalmente para poder lograr concluir mi tesis, así mismo a mi esposa que siempre estuvo acompañándome a todo el proceso.

AGRADECIMIENTOS

A Dios, por su compañía incondicional, por ayudarme a cumplir cada uno de mis sueños y metas.

A mis padres, por ofrecer la oportunidad de estudiar en una casa superior de estudios.

A la Universidad Peruana Unión, por permitirme formarme como un profesional con valores y principios cristianos en sus aulas.

Al Mtro. Juan Eduardo Vigo Rivera, mi asesor, por haber sido un gran tutor y guía para la realización de la investigación y nunca a ver perdido en mi la esperanza.

ÍNDICE GENERAL

Índice de Tablas	viii
Índice de Figuras	ix
Índice de Anexos	x
Símbolos Utilizados	xi
RESUMEN.....	xii
ABSTRACT	xiii
CAPÍTULO I EL PROBLEMA.....	14
1.1. Identificación del Problema.....	14
1.2. Justificación de la investigación.....	16
1.3. Objetivos	17
1.3.1. Objetivo general.....	17
1.3.2. Objetivos específicos.....	17
CAPÍTULO II REVISIÓN DE LA LITERATURA.....	18
2.1. Fundamentos del objeto de estudio.	18
2.1.1. Aguas residuales.	18
2.1.2. Tipos de aguas residuales.	18
2.1.3. Relaves mineros.	19
2.1.4. Tratamiento físico – químico de las aguas.	20
2.1.5. Mecanismos de Coagulación	21
2.1.6. Factores que influyen en el proceso de coagulación.....	22
2.2. Floculación.....	23
2.2.1. Factores que influyen en la floculación.	23
2.3. Sedimentación.....	23
2.3.1. Tipos de sedimentación	24
2.3.2. Factores que intervienen en el proceso de sedimentación.....	24
2.4. Reactivos empleados en el tratamiento de aguas.....	24
2.4.1. Sulfato de aluminio.	24
2.4.2. Policloruro de aluminio.....	25
2.4.3. Floquat FL 4440.....	26
2.4.4. Zufloc 400.....	26
2.5. Resultados de anteriores de investigaciones.....	26
2.5.1. Antecedentes Internacionales	26

2.5.2. Antecedentes Nacionales	27
2.6. Marco legal.	28
CAPITULO III MATERIALES Y MÉTODOS	32
3.1. Descripción del lugar de la toma de la muestra.....	32
3.2. Materiales, insumos, equipos y formatos.	33
3.2.1. Materiales	33
3.2.2. Insumos..	34
3.2.3. Equipos.....	34
3.3. Metodología.	34
3.3.1. Diseño de la investigación.....	34
3.3.2. Tratamientos experimentales	35
3.4. Variable de estudio.	38
3.5. Parámetros monitoreados y método de análisis.....	38
3.6. Procedimiento experimental.....	38
3.6.1. Procedimiento experimental del Test de Jarras.....	38
3.6.2. Preparación de reactivos	39
3.6.3. Dosis experimentales.....	39
3.7. Porcentajes de remoción	40
3.8. Análisis de datos.....	40
CAPITULO IV RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	41
4.1. Características del agua del relave	41
4.2. Determinación de dosis óptima de los tratamientos en aguas de relaves minero.....	41
4.3. Evaluación del cumplimiento del marco normativo.....	48
4.3. Evaluación de la Eficiencia de Turbidez.....	50
CAPÍTULO V CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	52
5.1. Conclusiones.....	52
5.2. Recomendaciones.....	53
REFERENCIAS	54
ANEXOS.....	57

Índice de Tablas

Tabla 1	Tipos de relaves distribuidas en cuatro diferentes categorías	19
Tabla 2	Propiedades del sulfato de aluminio.....	25
Tabla 3	Límites máximos permisibles para la descarga de efluentes líquidos de actividad minera-metalúrgica	29
Tabla 4	Clases de calidad de las aguas regeneradas y uso agrícola y método de riego permitidos y requisitos de calidad de aguas regeneradas	30
Tabla 5	Límites máximos permisibles de los parámetros fisicoquímicos.....	31
Tabla 6	Coordenadas de la Concesión Minera San José de Quispipata II S.M.R.L	32
Tabla 7	Diseño estadístico experimental Diseño Completamente al Azar (8A x 12B).....	35
Tabla 8	Diseño experimental de la investigación.....	37
Tabla 9	Parámetros monitoreados y método de análisis.....	38
Tabla 10	Resumen estadístico de la significancia de los factores en la remoción de la turbidez	47
Tabla 11	Pruebas de Tukey y Duncan para la turbidez de los Tratamientos	48
Tabla 12	Cumplimiento del marco normativo de la mejor dosis optima (Tratamiento 5 - dosis 8)	49
Tabla 13	Remoción de turbiedad de los tratamientos	50
Tabla 14	Turbidez de los Tratamientos de las doce dosis.....	58
Tabla 15	Potencial de hidrogeno de los tratamientos.....	59
Tabla 16	Resumen de procesamiento de casos	66
Tabla 17	Comparaciones múltiples – variable turbidez	66

Índice de Figuras

Figura 1 Números de mineros por regiones del Perú.....	15
Figura 2 Formación de coloides.....	21
Figura 3 Mapa de ubicación de la Concesión Minera San José de Quispipata II S.M.R.L.....	33
Figura 4 Comportamiento de la turbiedad de los tratamientos en función a las dosis de reactivos	43
Figura 5 Unidades experimentales (dosis) menores a 20 UNT	44
Figura 6 Comportamiento del potencial de hidrógeno de los tratamientos	45
Figura 7 Eficiencia de remoción de la mejor unidad experimental (Tratamiento 5 con la dosis 8)	51

Índice de Anexos

Anexo 1. Resultados experimentales.....	58
Anexo 2. Análisis de laboratorio	60
Anexo 3. Análisis Estadístico	66
Anexo 4. Standard Test Method for Turbidity of Water	68
Anexo 5. Panel fotográfico	69
Anexo 6. Carta de consentimiento.....	72

Símbolos Utilizados

CEPIS	: Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias Ambientales
g	: Gramo
INGEMMET	: Instituto Geológico Minero Metalúrgico
INIA	: Instituto Nacional de Innovación Agraria
L	: Litro
LMP	: Límite Máximo Permisible
mg	: miligramo
mg/L	: Miligramo por litro, unidad de concentración (masa/volumen)
MINAM	: Ministerio del Ambiente
MINEM	: Ministerio de Energía y Minas
N	: Normalidad
NTP	: Norma Técnica Peruana
OEFA	: Organismos de Evolución y Fiscalización Ambiental
pH	: Potencial de hidrógeno
REINFO	: Registro Integral de Formalización Minera
rpm	: Revoluciones por minuto.
S.M.R.L.	: Sociedad Minera de Responsabilidad Limitada
SINIA	: Sistema Nacional de Información Ambiental
UNT	: Unidades Nefelométricas de Turbiedad

RESUMEN

El objetivo de esta investigación es evaluar el tratamiento de aguas de los relaves de la mina artesanal San José de Quispipata II S.M.R.L con reactivos químicos (coagulante más floculante catiónicos o aniónico). Se empleó la metodología del Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente, para poder hallar la dosis optima de la mezcla de coagulantes químicos (sulfato de aluminio o Policloruro de aluminio) y floculantes (Zufloc 400 o Floquat 4440) aplicando doce dosis de reactivos. El agua a tratar provino de la mina artesanal San Jose de Quispipata II, con una turbiedad de 450 UNT, un pH de 6.12 y concentraciones de 402.3, 0.006, 35.4, 0.0106, 0.48756, 0.000079, 2.35, 0.01868, 0.193618, 0.25397, 0.1464, 84.4, 0.00041, 4.09, 4.698, 0.00038, 2.37, 0.10451, 1.523, 0.00811, 0.002, 0.013, 0.02665 y 0.4103 mg/L de CaCO₃, Plata, Aluminio, Arsénico Total, Bario, Berilio, Calcio, Cadmio Total, Cobalto, Cromo Hexavalente, Cobre, Hierro, Mercurio, Potasio, Magnesio, Molibdeno, Sodio, Níquel, Plomo, Antimonio, Selenio, Talio, Vanadio y Zinc, respectivamente. El tratamiento 5 – dosis 8 tuvo mejores resultados de disminución de turbiedad (2.4 UNT – 99.5 % remoción), obteniendo remociones del 99% para el Aluminio, Hierro, Berilio, Cromo Hexavalente, Plomo, Talio, Cadmio Total, Vanadio y Antimonio; 90 % para el Zinc, Cobre, Plata, Arsénico Total, Bario y el Níquel; 80% para Cobalto, Carbonato de Calcio y Molibdeno; 50% para Calcio, Mercurio y Potasio; 30.59 % para Sodio; 22.67% para el Magnesio y 14.50% para Selenio. Cumpliendo con la normativa de efluentes líquidos de Actividades Minero – Metalúrgicas. Se concluye que es factible utilizar coagulantes químicos y floculantes en el tratamiento de aguas de relaves de la minería artesanal.

Palabras clave: aguas de relaves, coagulante químico, coagulación - floculación, dosis óptima, sulfato de aluminio, policloruro de aluminio y turbiedad.

ABSTRACT

The objective of this research is to evaluate the treatment of tailings water from the San José de Quispipata II S.M.R.L artisanal mine with chemical reagents (coagulant plus cationic or anionic flocculant). The methodology of the Pan American Center for Sanitary Engineering and Environmental Sciences was used to find the optimal dose of the mixture of chemical coagulants (aluminum sulfate or aluminum polychloride) and flocculants (Zufloc 400 or Floquat 4440) applying twelve doses of reagents. The water to be treated came from the San Jose de Quispipata II artisanal mine, with a turbidity of 450 UNT, a pH of 6.12 and concentrations of 402.3, 0.006, 35.4, 0.0106, 0.48756, 0.000079, 2.35, 0.01868, 0.193618, 0.251467, 0.251464, , 84.4, 0.00041, 4.09, 4.698, 0.00038, 2.37, 0.10451, 1.523, 0.00811, 0.002, 0.013, 0.02665 and 0.4103 mg/L of CaCO₃, Silver, Aluminum, Total Arsenic, Barium, Cobalmium, Calcium, Cathode Hexavalent Chromium, Copper, Iron, Mercury, Potassium, Magnesium, Molybdenum, Sodium, Nickel, Lead, Antimony, Selenium, Thallium, Vanadium and Zinc, respectively. Treatment 5 – dose 8 had better results in turbidity reduction (2.4 UNT – 99.5% removal), obtaining 99% removal for Aluminum, Iron, Beryllium, Hexavalent Chromium, Lead, Thallium, Total Cadmium, Vanadium and Antimony; 90% for Zinc, Copper, Silver, Total Arsenic, Barium and Nickel; 80% for Cobalt, Calcium Carbonate and Molybdenum; 50% for Calcium, Mercury and Potassium; 30.59% for Sodium; 22.67% for Magnesium and 14.50% for Selenium. Complying with the regulation of liquid effluents of Mining - Metallurgical Activities. It is concluded that it is feasible to use chemical coagulants and flocculants in the treatment of tailings water from artisanal mining.

Keywords: tailings water, chemical coagulant, coagulation - flocculation, optimal dose, aluminum sulfate, polyaluminum chloride and turbidity

CAPÍTULO I

EL PROBLEMA

1.1. Identificación del Problema

En el Perú, la minería artesanal y de pequeña escala aporta el 20 % del volumen de oro a la producción nacional aurífera (150 toneladas), permitiendo que existan alrededor de 300 mil mineros que trabajan en esta actividad en los 24 departamentos del Perú, según cifras del Ministerio de Energía y Minas (PNUD, 2021). El Decreto Legislativo N° 1293 del 2016 declara de interés nacional la formalización de las actividades de la pequeña minería y minería artesanal, y se crea el Registro Integral de Formalización Minera, el cual está a cargo de la Dirección General de Formalización Minera del Ministerio de Energía y Minas, que tiene por finalidad identificar los sujetos comprendidos dentro del proceso de formalización minera integral. El 2017, el Decreto Supremo N° 038-2017-EM establece Disposiciones Reglamentarias para el Instrumento de Gestión Ambiental para la Formalización de Actividades de Pequeña Minería y Minería Artesanal - IGAFOM, y es aplicable a los mineros informales con inscripción vigente en el Registro Integral de Formalización Minera, a cargo de la Dirección General de Formalización Minera del Ministerio de Energía y Minas, a nivel nacional. Con esta norma legal se abrió nuevamente el registro de formalización, exonerando de responsabilidad penal a aquellos mineros que no se hubieran acogido al proceso y con ello tener la posibilidad de seguir ejerciendo esta actividad.

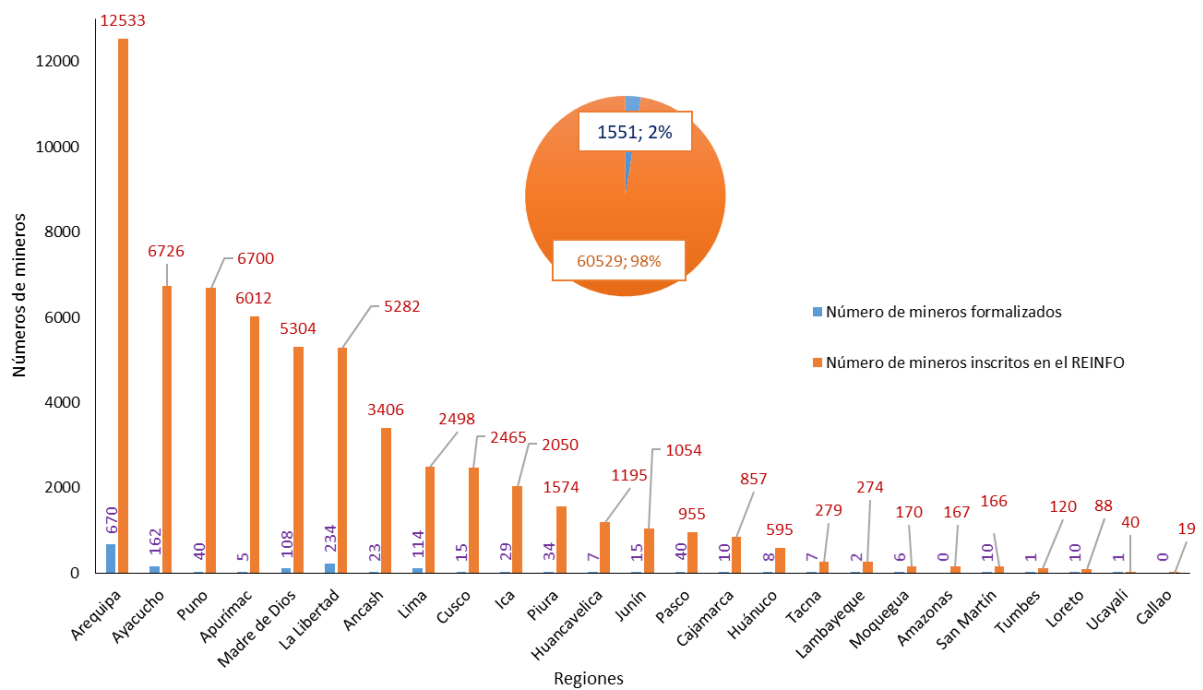
Esta última herramienta de gestión ambiental es personalizable para los pequeños mineros informales actualmente registrados en el Registro y es un requisito obligatorio del proceso de formalización, donde se simplificaron los requisitos y se redujeron las dificultades entre mineros y propietarios de terrenos, también se crearon incentivos para los concesionarios a la luz de la negociación. Además, se otorgó un derecho de preferencia a los

mineros; y se dio competencia completa a los gobiernos regionales para la autorización de inicio/reinicio de actividades.

León Pacheco (2020b) realizó una investigación del diagnóstico de la formalización de la minería artesanal y a pequeña escala en el Perú, determinando que al 13 de mayo del 2020 habían 60529 mineros inscritos en el Registro Integral de Formalización Minera (REINFO) del Ministerio de Energía y Minas del Perú. La tabla 1 muestra el número de mineros formalizados y mineros informales inscritos en el REINFO.

Figura 1

Números de mineros por regiones del Perú



Fuente: Adaptado de León Pacheco (2020b)

A junio del 2022, en el REINFO del Ministerio de Energía y Minas, se encuentran 88064 registros de mineros informales inscritos, de los cuales 23859 registros de mineros informales se encuentran vigentes y 64205 registros de mineros informales suspendidos (MINEM, 2022). Actualmente, el REINFO sigue abierto y, de acuerdo a la última extensión de plazo hecha por el MINEM, lo seguirá estando hasta el 2022 (considerando la modificación de fechas por el Estado de Emergencia actual).

Granados Posso (2019) manifiesta que la formalización minera integral en el Perú tiene el fin de “combatir la informalidad, fomentar la formalización de la minería artesanal y la pequeña minería busca mejorar las condiciones laborales, de salud y seguridad minera, impulsar el uso sostenible de los recursos minerales, controlar los impactos al medio ambiente, crear accesos a nuevos mercados y promover el desarrollo de las comunidades rurales que se encuentran en las áreas de influencia de la actividad minera”.

En los últimos años el crecimiento de la actividad minera en la Región Puno va en aumento. La provincia de Sandía y los distritos de Phara-Limbani cuenta con diversas minas artesanales y pequeñas minerías. Uno de los factores que ha hecho que esta actividad sea la principal de las familias son los altos precios de los minerales (oro). El pueblo de Limbani – Phara su principal actividad es la minería, pero está generando consecuencia especialmente al medio ambiente, uno de los problemas es la generación de aguas de relaves que son vertidas sin ningún tratamiento al medio ambiente, contaminando así las fuentes de los recursos hídricos y un impacto negativo a la flora y la fauna.

La mina San José de Quispipata II S.M.R.L está ubicada en la provincia de Sandia en los distritos de Phara - Limbani catalogada como minera artesanal, ejecutando minería aurífera de sistema de bocaminas subterráneas; para su extracción emplea equipos de perforación, proceso de voladura y acarreo de mineral que son llevados para pulverización en molinos de billas, en este proceso se emplea gran cantidad de agua. Estos efluentes producto del proceso de extracción del oro tienen altas concentraciones de sólidos suspendidos, teniendo altas turbiedades que son vertidas al medio ambiente.

1.2. Justificación de la investigación

El tratamiento para las aguas provenientes de los relaves mineros, se enfoca principalmente en la disminución de los sólidos en suspensión que contiene materia orgánica e inorgánica no deseados, obteniendo así un agua de buen color y olor. Esto se da mediante los procesos de coagulación, floculación y sedimentación de las aguas. Este estudio permitirá plantear soluciones al tratamiento de efluentes contaminadas por relaves provenientes de la pequeña o mediana minería, con alta turbiedad y concentraciones de metales pesados. Empleando coagulante químico y floculante (catiónico – aniónico) amigables con el medio

ambiente, así mismo dará solución a uno de los principales problemas ambientales que actualmente contaminan los ríos que son los relaves mineros. Generando aguas regeneradas que puedan ser empleadas para diferentes usos.

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo general.

- Evaluar el tratamiento de aguas de los relaves de la mina artesanal San José de Quispipata II S.M.R.L con coagulante químico más floculante (catiónicos – aniónico).

1.3.2. Objetivos específicos.

- Caracterizar el agua de relave proveniente de una mina artesanal
- Determinar la dosis optima de los tratamientos aplicados a relaves proveniente de una mina artesanal
- Evaluar el cumplimiento del marco normativo a los tratamientos con coagulantes y floculantes.
- Determinar la eficiencia de remoción de turbidez y de metales pesados

CAPÍTULO II

REVISIÓN DE LA LITERATURA

2.1. Fundamentos del objeto de estudio.

2.1.1. Aguas residuales.

Según la OEFA lo define a las aguas residuales, como aguas que fueron cambiado sus composiciones químicas por la actividad humana y estas requieren un tratamiento previo para luego así poder ser reusadas, vertidas aun cuerpo natural de aguas (OEFA, 2014).

2.1.2. Tipos de aguas residuales.

El Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental distingue a tres tipos de aguas residuales.

a) Agua residual domestica

Son aguas de uso residencial y comercial y por lo cual tienen desechos fisiológicos por las actividades humanas que deben ser tratadas adecuadamente (OEFA, 2014).

b) Agua residual industrial

Son las aguas que implican un proceso productivo, y estas pueden provenir de la agricultura, minería, agroindustria, entre otros (OEFA, 2014).

c) Agua residual urbana

Son las aguas domésticas que están mezcladas con las aguas pluviales como también con las aguas industriales que están tratadas, porque ya son admitidas en el sistema de alcantarillado (OEFA, 2014).

2.1.3. Relaves mineros.

Son los residuos que quedan de la mezcla de mineral en el tratamiento metalúrgico, en la planta de concentración y estas logran ser dos terceras partes superior al volumen original de mineral extraído de la superficie como también de la bocamina (Romero Baylón y Flores Chávez, 2010).

a) Características de los relaves.

Rojas Villanueva (2007) divide varios tipos de relaves en cuatro categorías generales de acuerdo con la granulometría y la plasticidad como se muestra en la tabla 1.

Tabla 1

Tipos de relaves distribuidas en cuatro diferentes categorías

CATEGORIA		CARACTERISTICA GENERAL
I	Relaves de roca blanda: desecho de carbón fino y potasa	Contiene fracciones de arena y lama, pero el que domina las propiedades es la lama por la presencia de arcilla.
II	Relave de roca dura: plomo, cobre, oro, plata y lamas de arena.	Contiene fracciones de arena y lama.
III	Relaves finos: arcillas fosfáticas, limos rojos de bauxita, taconita fina y lamas de arena	En este tipo de relaves la arena es bastante baja y en muchas ocasiones nula ya que estas son dominadas con partículas de tamaño de limo y arcilla.
IV	Relaves gruesos: arenas alquitranosas, relaves de uranio, relaves de taconita gruesa y arenas fosfatadas	Estas por lo general son partículas de arena o de tamaños de limos no plásticos

Fuente: Rojas Villanueva (2007)

b) Efluentes líquidos de actividad Minero - Metalúrgico

MINAM (2010) lo define como “cualquier flujo regular o estacional de sustancia líquida descargada a los cuerpos receptores que provienen de cualquier labor, excavación o movimiento de tierras efectuado en el terreno cuyo propósito es el desarrollo de actividades mineras o actividades conexas”.

2.1.4. Tratamiento físico – químico de las aguas.

Este tratamiento esencialmente consta en la añadiría de productos químicos que estos permitan la alteración física de estas sustancias y así volverlas en partículas idóneos para la separación por medio de la sedimentación (Andía Cárdenas, 2000).

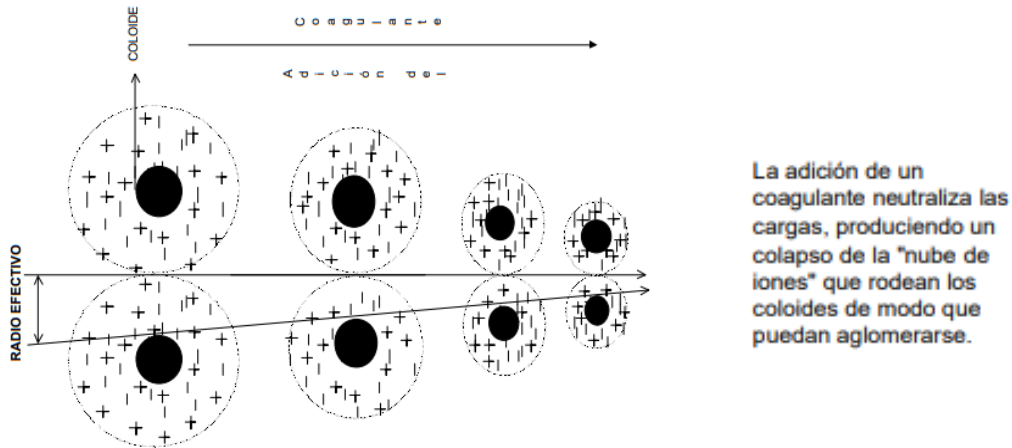
a) Coagulación.

Es un proceso de desestabilización química de las partículas coloidales que se producen al neutralizar las fuerzas que los mantienen separados, por medio de la adición de los coagulantes químicos y la aplicación de la energía de mezclado (Andía Cárdenas, 2000)

La figura 2 muestra como las sustancias químicas anulan las cargas eléctricas sobre la superficie del coloide, permitiendo que las partículas coloidales se aglomeren formando flóculos.

Figura 2

Formación de coloides



Fuente: Andía Cárdenas (2000)

2.1.5. Mecanismos de Coagulación

La coagulación es el resultado de la acción de 4 mecanismos: 1) Compresión de la doble capa, 2) Adsorción y neutralización de cargas, 3) Atrapamiento de partículas en un precipitado y 4) Adsorción y formación del puente.

a) Compresión de la doble capa

Esto se da cuando se acercan dos partículas parecidas, y sus capas difusas interactúan y se crea una fuerza de repulsión y estas logran caer rápidamente por el aumento de carga opuesta (Barrenechea Martel, 2004).

b) Adsorción y neutralización de la carga

Los coloides poseen cargas negativas en sus superficies como también llamada cargas primarias y estos se da gracias al movimiento browniano, pero esto no es suficiente así que es necesario dar una energía complementaria que puede ser, mecánica o hidráulica. Así poder ver cuando hay un exceso de coagulantes de agua a tratar tenga una estabilización de la carga de la partícula así produciendo una carga invertida a la carga original (Barrenechea Martel, 2004).

c) Atrapamiento de partícula en un precipitado

Esto consiente en poder atrapar un floc, adicionando una cantidad adecuada de coagulantes, para así lograr la aceleración de la formación de precipitados. Y esto implica que las partículas de suspensión pueden necesitar menos cantidad de coagulante (Barrenechea Martel, 2004).

d) Adsorción y puente interparticular

Este fenómeno se da por la teoría del puente consiste en que las moléculas de los polímeros forman el “puente” entre las partículas coloidales. Esto puede tener una estabilización de la suspensión, por una excesiva carga de polímeros (Barrenechea Martel, 2004).

2.1.6. Factores que influyen en el proceso de coagulación.

Los factores de mayor relevancia en el proceso de coagulación son:

- a) Se dice que la concentración mínima es del 0.5% en el tratamiento de aguas. Pero esta contradice al procedimiento usual en los ensayos de laboratorio que usan concentraciones de 0.1 y 0.2% (Barrenechea Martel, 2004).
- b) La calidad del agua cruda: Barrenechea Martel (2004) menciona que las variables que más “influyen en la eficiencia del proceso son la concentración de coloides, la alcalinidad y el pH, el tamaño de las partículas y la temperatura.
- c) La temperatura: Barrenechea Martel (2004) declara que el “rango de 10 a 40 °C muestra la mejor eficiencia al aumentar la temperatura porque se incrementaba la tasa de colisiones entre las partículas; dentro de este rango, son importantes la turbiedad y la alcalinidad”.
- d) Las variables químicas: Son la dosis óptima, el pH óptimo, la alcalinidad y la concentración óptima de coagulante (Barrenechea Martel, 2004).

2.2. Floculación.

Canepa de Vargas (2004) menciona que “el objetivo principal de la floculación es reunir las partículas desestabilizadas para formar aglomeraciones de mayor peso y tamaño que sedimenten con mayor eficiencia”.

2.2.1. Factores que influyen en la floculación.

Canepa de Vargas (2004) menciona que los “factores que influyen en este proceso, pero mencionaremos los más importantes que son: 1) la naturaleza del agua, 2) las variaciones de caudal, 3) la intensidad de agitación, 4) el tiempo de floculación y 5) el número de compartimentos de la unidad”.

Tanto como la coagulación y floculación son muy sensibles a la alcalinidad, pH y turbiedad del agua. Esto nos indica que un agua con alta turbiedad que presenta grandes variedades de partículas de gran tamaño son removidas más fácilmente, que un agua que tenga gran cantidad de turbiedad y esta fuera igual o mayor a 1000 UT, que nos indica que tenemos que obtener un tanque de pre sedimentación (Canepa de Vargas, 2004).

La floculación es variable y flexible sobre estas variaciones. Porque al disminuir el caudal aumenta el tiempo de retención y disminuye la gradiente de velocidad. En cambio, al aumenta el caudal el tiempo de retención disminuye y la gradiente de velocidad se incrementa (Canepa de Vargas, 2004).

Canepa de Vargas (2004) menciona que “los modelos propuesto para realizar la floculación, se da la aglomeración de partículas en razón al tiempo de 20 a 40 minutos mediante el uso de test de jarras.

2.3. Sedimentación.

Maldonado Yactayo (2004) menciona que la “sedimentación es la remoción por efecto gravitacional de las partículas en suspensión presentes en el agua y que tienen un peso específico mayor que el fluido”.

2.3.1. Tipos de sedimentación.

Dentro de los tipos de sedimentación tenemos a la 1) Sedimentación de las partículas discretas, 2) Sedimentación de las partículas floculentas y 3) la Sedimentación por caída libre e interferida (Maldonado Yactayo, 2004).

2.3.2. Factores que intervienen en el proceso de sedimentación.

Los factores que intervienen en el proceso de sedimentación son:

a) Calidad de agua.

Esto principalmente se da, por la concentración de partículas y de temperatura del agua, en consecuencia, trae corrientes cinéticas que genera como circuito hidráulico. Cuando el agua es fría la masa del agua pasa por el fondo, en cambio cuando el agua es caliente se logra producir un fenómeno contrario (Maldonado Yactayo, 2004).

b) Condiciones hidráulicas.

En esto se debe considerar el número Reynolds que este esté lo más bajo posible y el número de Froude que tiene que estar elevado para así poder estabilizar el flujo. En esta zona no deben tener ningún tipo de obstrucciones que puedan cambiar la trayectoria del fluido. Por si logra suceder esto no favorecería al proceso de sedimentación para el tratamiento de aguas (Maldonado Yactayo, 2004).

c) Factores externos.

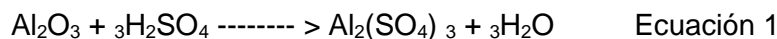
Los principales factores externos en el proceso de sedimentación logran ser las prácticas operacionales y factores ambientales los cuales tienen más influencia para lograr que un sedimentador funcione correctamente (Maldonado Yactayo, 2004)

2.4. Reactivos empleados en el tratamiento de aguas

2.4.1. Sulfato de aluminio.

El sulfato de aluminio es una sal sólida de color blanco. Se caracteriza principalmente para poder asociar los sólidos suspendidos en el agua y así logramos acelerar el proceso de

sedimentación, así poder contribuir a disminuir la carga bacteriana. El sulfato de aluminio se consigue por la reacción de Hidróxido de Aluminio con el ácido sulfúrico, y este se origina en forma sólida y en una solución de acuerdo a la ecuación 1 (QuimiNet, 2022).



El sulfato de aluminio es una alternativa muy económica para poder tratar el agua residual y se puede obtener en dos presentaciones líquido, sólido ya que es un coagulante y floculante muy efectivo para el tratamiento de aguas, y es muy sencillo de conseguir por su alta disponibilidad y la flexibilidad de uso en diferentes tipos de aguas (QuimiNet, 2022).

Tabla 2

Propiedades del sulfato de aluminio

Nombre General:	sulfato (VI) de aluminio
Formula química:	$\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$
Número CAS:	100043-01-3
Número RTECS:	BD1700000
Apariencia:	Cristal blanco
Densidad:	2.672 g/cm ³
Masa molar:	342,150g/mol

Fuente: QuimiNet (2022)

2.4.2. Policloruro de aluminio.

Es un coagulante inorgánico de color ambarino que tiene como su principal función es remover la materia colorada y coloidal en aguas residuales, estas se usan principalmente como el remplazo de cloruro férrico y sulfato de aluminio y otras sales (Industrial y Comercial Química Andina SAC, 2022)

Este producto muy eficaz y rápido para el proceso de floculación en el tratamiento de aguas residuales, ya que trabaja con un pH de 6-9. Debido a estas características es un producto muy bueno ya que tampoco genera ningún tipo de contaminación (Pacompia, 2016). (Pacompia, 2016) Se tiene dos formas de uso como son concentrado y diluido. Y las dosis es dependiendo del efluente a tratar como también en rigurosos ensayos en laboratorio Que

pueden ser desde 10 a 100 ppm cuando se habla de clarificación de aguas, y logrando alcanzar en efluentes 1000 ppm (QuimiNet, 2022).

2.4.3. Floquat FL 4440.

Polielectrolito líquido catiónico de Cloruro de polidimetil dialil amonio (cuaternario de amonio), que contiene un mediano peso molecular catiónico, de color amarillento ámbar, con un pH de 6.0 y una viscosidad de 8.000 – 12.000 cps. Puede almacenarse a temperatura de 5 a 40°C. Es empleado en tratamiento de agua potable, efluentes industriales con excelentes resultados en industria textil, papelera, minera, alimenticia, etc. Su aplicación combinada a la acción de un floculante ofrece excelentes resultados de remoción de sólidos suspendidos totales, turbidez y color, así como material coloidal en suspensión (SNF (UK) Ltd, 2022).

2.4.4. Zufloc 400.

El Zufloc 400 es un polímero orgánico a base de poliacrilamidas que contiene un alto peso molecular con cuyas características son de una forma física es un sólido granulado aniónico. Su aplicación principalmente para poder clarificar el drenaje de fangos ya que esta disminuye el tiempo de permanencia del jugo en los decantadores en el tratamiento del azúcar. El Zufloc 400 se adiciona al jugo en forma de solución acuosa muy diluida y esta debe estar en concentraciones de 3 a 4 g/m³ de jugo y no se requieren las precauciones especiales (EXIQUIM SAC, 2020).

2.5. Resultados de anteriores de investigaciones.

2.5.1. Antecedentes Internacionales.

Llano et al. (2014) realizó un estudio fisicoquímico de aguas residuales provenientes de una industria local de beneficio de arcillas, para remover la turbiedad en pruebas de jarras; en la investigación empleó sulfato de aluminio más un polímero aniónico (A-100). Empleando dos niveles de pH (6 y 9) en 2 dosis de coagulante (20 y 100 mg/L). Los resultados muestran que con una baja concentración de coagulante es posible obtener una alta remoción cercana al 100% de la turbiedad, y el polímero aniónico mostró ser altamente eficaz en concentración de 20 mg/L y pH=6.

Dzioba et al. (2004) realizaron una investigación para seleccionar reactivos floculantes y coagulantes más adecuados para disminuir el contenido de sólidos de un efluente de mineral fluorita, con un contenido de sólidos al 1 %. Realizaron una serie de ensayos a pH natural del efluente y a 25 °C de temperatura, y evaluaron los reactivos BOZEFLOC C 65 (floculante catiónico –Hoechst), SEPARAN AP 273 P (floculante aniónico - Dow Indoquímica), SEPARAN MG 200, como ayudantes del sulfato de aluminio. Obteniendo que el floculante más eficiente es el SEPARAN MG 200 (floculante aniónico - Dow Indoquímica) en una concentración de 4 g/Tn, y que el exceso de sulfato de aluminio perjudica su eficiencia.

2.5.2. Antecedentes Nacionales.

Tejada Mayta (2017) realizó un estudio de tratamiento de efluentes de relaves mineros donde trato la turbidez de la sedimentación de solidos totales con cal como coagulante – floculante, sus pruebas las realizo en laboratorio con un Test de jarras; obteniendo resultados de turbidez de 81 900 NTU a 19,39 NTU en un tiempo de sedimentación de 60 minutos, empleando una dosis optima de cal al 5 % (0.3 g de cal por litro de agua residual), con una remoción al 99,976 % para turbidez.

Chávez Villanueva y Salazar Torres (2019) realizaron un estudio en una empresa minera de Cajamarca, en aguas residuales con presencia de metales pesados, aplicando sulfato de aluminio y policloruro de aluminio para tratar cuatro de los metales pesados Cu, Fe, Mn y Pb, que se encontraban en bajas concentraciones pero sobrepasando los LMP. El objetivo fue evaluar la dosis optima de ambos reactivos para lo que aplicaron 8 pruebas, obteniendo eficiencias de 79.73 y 87.95% para el sulfato de aluminio y policloruro de aluminio, llegando a una turbidez de 10 UNT y teniendo pH dentro de los LMP. Al combinar los dos reactivos se obtuvo dosis óptima promedio de 25.75 mg/L de sulfato de aluminio y 0.49 mg/L de policloruro de aluminio.

Huaman Quispe y Betancurt Palomino (2019) realizaron una investigación para tratamientos de aguas mineras auríferas por métodos fisicoquímicos, empleando Sulfato de aluminio y Cloruro férrico como coagulantes, y Separan MG 200 (polímero aniónico) y Flopam PHP-40 (polímero aniónico) como ayudantes de coagulación Las características de la muestra de agua de mina inicial es de 3893 UNT de turbidez, 2360 mg/L de SST y un pH de 7.16. Ellos obtuvieron dosis optimas de 16 mg/L (41.58 UNT; 5.91 pH y 98.93% de remoción) y 24

mg/L (44.06 UNT; 5.85 pH y 98,89% de remoción) para el Sulfato de Aluminio y Cloruro férrico, respectivamente. En los floculantes obtuvieron dosis optima de 10mg/L (327 UNT; 7.08 pH y 91.57% de remoción) y 1 mg/L (120 UNT, 7.18 pH y 96.92% de remoción) para el Seperan MG200 y Flopam PHP 40, respectivamente. La mezcla de Sulfato de aluminio (dosis de 16 mg/L) más Flopam PHP 40 (dosis de 1.5 mg/L) obtuvieron turbiedades de 6.07 UNT y un pH de 7.21 con eficiencias de 99.84%.

De La Cruz García y Coronel Zárate (2017) realizaron una investigación en aguas ácidas de un efluente minero donde caracterizaron el pH (5.5), SST (115 mg/L), arsénico total (0.0824 mg/L), cadmio (0.0109 mg/L), Cobre (0.0234 mg/L), hierro disuelto (21.95 mg/L), plomo (0.0788 mg/L) y zinc (0.5485 mg/L). Para el tratamiento emplearon neutralización, oxidación y precipitación usando como reactivos el hidróxido de calcio y el floculante FLOPAM JC 7029 (polímero soluble solido), obteniendo un pH (9.0), SST (3 mg/L), arsénico total (0.003 mg/L), cadmio (0.0070 mg/L), Cobre (0.0045 mg/L), hierro disuelto (0.000132 mg/L), plomo (0.0004 mg/L) y zinc (0.0184 mg/L).

Tucto Ambrosio (2019) realizó un estudio para determinar la optimización del consumo del floculante para el tratamiento del Aluminio y Manganeso provenientes de aguas de mina. Además, determinó la concentración y el pH del floculante para el tratamiento del Aluminio y Manganeso. El agua en estudio provino de un efluente de la Compañía de Mina Buenaventura y los parámetros que se determinó fueron turbidez, pH y el potencial de oxidación de reducción. El agua en estudio tiene un pH de 6.5 a 7.0, se aplicó un floculante a 0.3, 0.5 y 0.8 ppm de floculante. Se empleó lechada de cal al 10 % a agitación de 100 rpm, como coagulante cloruro férrico a 0.05 mL/L a una agitación de 100 rpm, y como floculante se empleó Magnafloc 1011 a una dosificación de 0.5 ppm con agitación de 50 rpm. La muestra inicial tuvo 250 UNT y la final fue de 0.45 UNT a los 5 minutos.

2.6. Marco legal.

En esta sección se describe las normas alineadas al sector de actividades Minero – Metalúrgicas, y algunas normas de aguas para consumo humano para poder hacer comparaciones.

- **Decreto Supremo N° 010-2010-MINAM**

La norma establece los Límites Máximos Permisibles para la descarga de efluentes líquidos de Actividades Minero-Metalúrgicas, y fue publicada el 21 de agosto de 2010 en el Diario El Peruano. La tabla 3 muestra los LMP para las descargas de efluentes líquidos de actividad minero-metalúrgica.

Tabla 3

Límites máximos permisibles para la descarga de efluentes líquidos de actividad minera-metalúrgica

Parámetros	Unidad	Limite en cualquier momento	Límite para el promedio anual
pH	mg/L	6 a 9	6 a 9
Sólidos totales en suspensión	mg/L	50	25
Aceites y grasas	mg/L	20	16
Cianuro total	mg/L	1	0.8
Arsénico total	mg/L	0.1	0.08
Cromo hexavalente	mg/L	0.1	0.08
Cobre total	mg/L	0.05	0.4
Hierro disuelto	mg/L	2	1.6
Plomo total	mg/L	0.2	0.16
Mercurio Total	mg/L	0.002	0.0016
Zinc Total	mg/L	1.5	1.2

Fuente: D.S. N° 010-2010-MINAM (MINAM, 2010)

- **Norma Chilena oficial NCh409/1. Of 2005**

Esta norma chilena corresponde al para agua potable y para esta investigación se ha considerado el alcance en el tipo I sobre parámetros de turbiedad. Esta norma establece que ninguna muestra de agua potable podrá exceder el valor de 20 UNT (INN, 2005).

- **Reglamento (UE) 2020/741 del Parlamento Europeo y del Consejo**

Esta norma fue publicada el 25 de mayo de 2020, y concierne a los requisitos mínimos para la reutilización del agua

Tabla 4

Clases de calidad de las aguas regeneradas y uso agrícola y método de riego permitidos y requisitos de calidad de aguas regeneradas

Clase de calidad mínima de las aguas regeneradas	Categoría de cultivo	Métodos de riego	Turbidez (UNT)
A	Todos los cultivos de alimentos que se consumen crudos en los que la parte comestible está en contacto directo con las aguas regeneradas y los tubérculos que se consumen crudos	Todos los métodos de riego	≤ 5

Fuente: Comisión Europea (2020)

- **D.S. N° 011-2006 VIVIENDA – Reglamento Nacional de Edificaciones. OS.020 Plantas de tratamientos de agua para consumo humano**

Esta norma técnica peruana declara que la turbiedad del agua clarificada deberá ser menor o igual a 2UNT (MVCS, 2006).

- **D.S. N° 010-2010-SA – Reglamento de calidad del agua para consumo humano**

La tabla 5 muestra los límites máximos permisibles de los parámetros fisicoquímicos para aguas para consumo humano.

Tabla 5*Límites máximos permisibles de los parámetros fisicoquímicos*

Parámetros	Unidad	DS. 010-2010-SA	Parámetros	Unidad	DS. 010-2010-SA
Arsénico Total	mg/L	0.01	Mercurio	mg/L	0.001
Bario	mg/L	0.7	Molibdeno	mg/L	0.01
CaCO ₃	mg/L	500	pH		6.5 a 8.5
Cadmio Total	mg/L	0.003	Plomo	mg/L	0.01
Cobre	mg/L	2	Sodio	mg/L	200
Cromo (+6)	mg/L	0.05	Turbiedad	(UNT)	5
Hierro	mg/L	0.3	Zinc	mg/L	3

Fuente: **DS. 010-2010-SA** (MINSa, 2010)

CAPITULO III
MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Descripción del lugar de la toma de la muestra

El experimento se realizó en las instalaciones del Laboratorio de Saneamiento Ambiental de la Universidad Peruana Unión del Campus Juliaca; las aguas utilizadas en la investigación proceden de la concesión minera “San José de Quispipata II”, ubicada a una altitud de 3550 msnm que se encuentra en el Distrito de Limbani-Phara, Provincia de Sandía – Región Puno. La Tabla 4 muestra coordenadas de la Concesión Minera San José de Quispipata II S.M.R.L, y la figura 5 muestra el Mapa de ubicación de la Concesión Minera San José de Quispipata II S.M.R.L

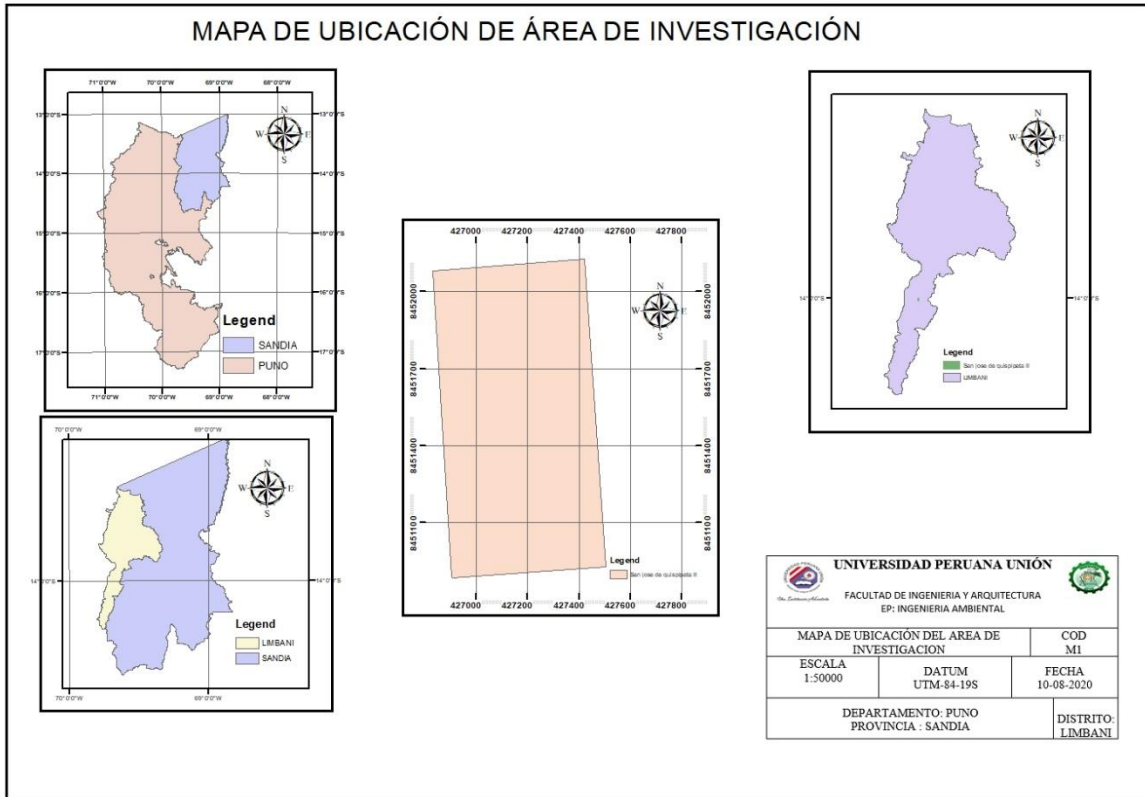
Tabla 6

Coordenadas de la Concesión Minera San José de Quispipata II S.M.R.L

Coordenadas UTM WGS 84 - ZONA 19L		
	ESTE	NORTE
1	427419.17	8452126.81
2	427501.42	8450930.70
3	426903.36	8450889.58
4	426821.11	8452085.69

Figura 3

Mapa de ubicación de la Concesión Minera San José de Quispipata II S.M.R.L.



3.2. Materiales, insumos, equipos y formatos.

3.2.1. Materiales.

- 1 Espátula.
- 1 Luna de reloj.
- 1 Pipeta de 1 ml - escala de 0.1 ml.
- 3 pipetas de 10 ml.
- 3 pipetas de 15 ml.
- 6 probetas de 100 ml.
- 6 vasos de precipitados de 1 L.

3.2.2. Insumos.

- Agua destilada.
- Floculante anicónico: Zufloc 400.
- Floculante catiónico: Floquat FL 4440.
- Lechada de cal.
- Policloruro de aluminio
- Sulfato de aluminio

3.2.3. Equipos.

- Balanza analítica.
- Cámara fotográfica.
- Cronometro.
- GPS
- pH metro
- Test de jarras VELP Scientifica modelo JLT6 Serie 35387
- Turbidímetro portatil VELP Scientifica TB1

3.3. Metodología.

3.3.1. Diseño de la investigación.

El diseño de la investigación es experimental, de tipo factorial DBCA de 2x2x2, para la determinación del proceso de Coagulación – Floculación- Sedimentación se aplicó la recomendación de la tecnología CEPIS, para la determinación de la “dosis óptima” para la remoción de solidos totales y turbidez del agua. El diseño es un arreglo factorial 8A x 12B x 3 R, haciendo un total de 288 unidades experimentales.

Tabla 7*Diseño estadístico experimental Diseño Completamente al Azar (8A x 12B)*

	Factor	Nivel
A	Tratamientos (Reactivos)	a1: Sulfato de aluminio ($Al_2(SO_4)_3$) a2: Policloruro de aluminio (PAC) a3: Floculante anicónico (Zufloc 400) a4: Floculante catiónico (Floquat 4440) a5: $Al_2(SO_4)_3$ +Zufloc 400 a6: $Al_2(SO_4)_3$ +Floquat 4440 a7: PAC+Zufloc400 a8: PAC+ Floquat 4440
B	Dosificación (Concentración del reactivo)	b1: D1=10 mg/L b2: D2= 15 mg/L b3: D3= 20 mg/L b4: D4= 25 mg/L b5: D5= 30 mg/L b6: D6= 35 mg/L b7: D7= 50 mg/L b8: D8= 100 mg/L b9: D9= 150 mg/L b10: D10= 200 mg/L b11: D11= 250 mg/L b12: D12= 300 mg/L

3.3.2. Tratamientos experimentales.

- Tratamiento 1: Sulfato de aluminio
- Tratamiento 2: Policloruro de aluminio
- Tratamiento 3: Floculante anicónico (Zufloc 400)
- Tratamiento 4: Floculante catiónico (Floquat 4440)
- Tratamiento 5. $Al_2(SO_4)_3$ + Floculante anicónico (Zufloc 400)
- Tratamiento 6: $Al_2(SO_4)_3$ + Floculante catiónico (Floquat 4440)
- Tratamiento 7. PAC+ Floculante anicónico (Zufloc400)
- Tratamiento 8. PAC+ Floculante catiónico (Floquat 4440)

Navarro (2016) manifiesta que este procedimiento se da para poder determinar las condiciones más representativas para lograr un correcto tratamiento de aguas. Donde se usará como coagulantes el sulfato de aluminio y policloruro de aluminio y como ayudantes de coagulación un floculante catiónico y un floculante aniónico, realizándose un total de 288 pruebas de laboratorio como se detalla en la tabla 6.

La tabla 8 muestra el diseño experimental de la investigación de los ocho reactivos en 12 concentraciones con las tres repeticiones.

Tabla 8

Diseño experimental de la investigación

Dosis (mg/L)	TRATAMIENTOS																							
	Tratamiento 1: Sulfato de aluminio			Tratamiento 2: Policloruro de aluminio			Tratamiento 3: Zufloc 400			Tratamiento 4: Floquat 4440			Tratamiento 5: Al ₂ (SO ₄) ₃ +Zufloc400			Tratamiento 6: Al ₂ (SO ₄) ₃ +Floquat 4440			Tratamiento 7: PAC+Zufloc400			Tratamiento 8: PAC+Floquat 4440		
D1	T1-D1-R1	T1-D1-R2	T1-D1-R3	T2-D1-R1	T2-D1-R2	T2-D1-R3	T3-D1-R1	T3-D1-R2	T3-D1-R3	T4-D1-R1	T4-D1-R2	T4-D1-R3	T5-D1-R1	T5-D1-R2	T5-D1-R3	T6-D1-R1	T6-D1-R2	T6-D1-R3	T7-D1-R1	T7-D1-R2	T7-D1-R3	T8-D1-R1	T8-D1-R2	T8-D1-R3
D2	T1-D2-R1	T1-D2-R2	T1-D2-R3	T2-D2-R1	T2-D2-R2	T2-D2-R3	T3-D2-R1	T3-D2-R2	T3-D2-R3	T4-D2-R1	T4-D2-R2	T4-D2-R3	T5-D2-R1	T5-D2-R2	T5-D2-R3	T6-D2-R1	T6-D2-R2	T6-D2-R3	T7-D2-R1	T7-D2-R2	T7-D2-R3	T8-D2-R1	T8-D2-R2	T8-D2-R3
D3	T1-D3-R1	T1-D3-R2	T1-D3-R3	T2-D3-R1	T2-D3-R2	T2-D3-R3	T3-D3-R1	T3-D3-R2	T3-D3-R3	T4-D3-R1	T4-D3-R2	T4-D3-R3	T5-D3-R1	T5-D3-R2	T5-D3-R3	T6-D3-R1	T6-D3-R2	T6-D3-R3	T7-D3-R1	T7-D3-R2	T7-D3-R3	T8-D3-R1	T8-D3-R2	T8-D3-R3
D4	T1-D4-R1	T1-D4-R2	T1-D4-R3	T2-D4-R1	T2-D4-R2	T2-D4-R3	T3-D4-R1	T3-D4-R2	T3-D4-R3	T4-D4-R1	T4-D4-R2	T4-D4-R3	T5-D4-R1	T5-D4-R2	T5-D4-R3	T6-D4-R1	T6-D4-R2	T6-D4-R3	T7-D4-R1	T7-D4-R2	T7-D4-R3	T8-D4-R1	T8-D4-R2	T8-D4-R3
D5	T1-D5-R1	T1-D5-R2	T1-D5-R3	T2-D5-R1	T2-D5-R2	T2-D5-R3	T3-D5-R1	T3-D5-R2	T3-D5-R3	T4-D5-R1	T4-D5-R2	T4-D5-R3	T5-D5-R1	T5-D5-R2	T5-D5-R3	T6-D5-R1	T6-D5-R2	T6-D5-R3	T7-D5-R1	T7-D5-R2	T7-D5-R3	T8-D5-R1	T8-D5-R2	T8-D5-R3
D6	T1-D6-R1	T1-D6-R2	T1-D6-R3	T2-D6-R1	T2-D6-R2	T2-D6-R3	T3-D6-R1	T3-D6-R2	T3-D6-R3	T4-D6-R1	T4-D6-R2	T4-D6-R3	T5-D6-R1	T5-D6-R2	T5-D6-R3	T6-D6-R1	T6-D6-R2	T6-D6-R3	T7-D6-R1	T7-D6-R2	T7-D6-R3	T8-D6-R1	T8-D6-R2	T8-D6-R3
D7	T1-D7-R1	T1-D7-R2	T1-D7-R3	T2-D7-R1	T2-D7-R2	T2-D7-R3	T3-D7-R1	T3-D7-R2	T3-D7-R3	T4-D7-R1	T4-D7-R2	T4-D7-R3	T5-D7-R1	T5-D7-R2	T5-D7-R3	T6-D7-R1	T6-D7-R2	T6-D7-R3	T7-D7-R1	T7-D7-R2	T7-D7-R3	T8-D7-R1	T8-D7-R2	T8-D7-R3
D8	T1-D8-R1	T1-D8-R2	T1-D8-R3	T2-D8-R1	T2-D8-R2	T2-D8-R3	T3-D8-R1	T3-D8-R2	T3-D8-R3	T4-D8-R1	T4-D8-R2	T4-D8-R3	T5-D8-R1	T5-D8-R2	T5-D8-R3	T6-D8-R1	T6-D8-R2	T6-D8-R3	T7-D8-R1	T7-D8-R2	T7-D8-R3	T8-D8-R1	T8-D8-R2	T8-D8-R3
D9	T1-D9-R1	T1-D9-R2	T1-D9-R3	T2-D9-R1	T2-D9-R2	T2-D9-R3	T3-D9-R1	T3-D9-R2	T3-D9-R3	T4-D9-R1	T4-D9-R2	T4-D9-R3	T5-D9-R1	T5-D9-R2	T5-D9-R3	T6-D9-R1	T6-D9-R2	T6-D9-R3	T7-D9-R1	T7-D9-R2	T7-D9-R3	T8-D9-R1	T8-D9-R2	T8-D9-R3
D10	T1-D10-R1	T1-D10-R2	T1-D10-R3	T2-D10-R1	T2-D10-R2	T2-D10-R3	T3-D10-R1	T3-D10-R2	T3-D10-R3	T4-D10-R1	T4-D10-R2	T4-D10-R3	T5-D10-R1	T5-D10-R2	T5-D10-R3	T6-D10-R1	T6-D10-R2	T6-D10-R3	T7-D10-R1	T7-D10-R2	T7-D10-R3	T8-D10-R1	T8-D10-R2	T8-D10-R3
D11	T1-D11-R1	T1-D11-R2	T1-D11-R3	T2-D11-R1	T2-D11-R2	T2-D11-R3	T3-D11-R1	T3-D11-R2	T3-D11-R3	T4-D11-R1	T4-D11-R2	T4-D11-R3	T5-D11-R1	T5-D11-R2	T5-D11-R3	T6-D11-R1	T6-D11-R2	T6-D11-R3	T7-D11-R1	T7-D11-R2	T7-D11-R3	T8-D11-R1	T8-D11-R2	T8-D11-R3
D12	T1-D12-R1	T1-D12-R2	T1-D12-R3	T2-D12-R1	T2-D12-R2	T2-D12-R3	T3-D12-R1	T3-D12-R2	T3-D12-R3	T4-D12-R1	T4-D12-R2	T4-D12-R3	T5-D12-R1	T5-D12-R2	T5-D12-R3	T6-D12-R1	T6-D12-R2	T6-D12-R3	T7-D12-R1	T7-D12-R2	T7-D12-R3	T8-D12-R1	T8-D12-R2	T8-D12-R3

3.4. Variable de estudio.

Las variables de estudio son:

Variable independiente :

Tratamientos de aguas de relaves.

Variable dependiente :

Remoción de turbiedad

Remoción de metales pesados

3.5. Parámetros monitoreados y método de análisis

La Tabla 9 muestra los parámetros monitoreados y los métodos de análisis.

Tabla 9

Parámetros monitoreados y método de análisis

PARÁMETRO	Método de Análisis
Determinación de pH en agua	NTP 214.029:2015. Método electrométrico
Determinación de la temperatura en agua	NTP.214.050:2013 (revisada el 2018). Método termométrico
Determinación de turbiedad	NTP 214.006 1999. Método nefelométrico

3.6. Procedimiento experimental

3.6.1. Procedimiento experimental del Test de Jarras.

- Se agrega a cada vaso del Test de Jarras 1 L de muestra de agua proveniente del relave minero.
- Se enciende el Test de Jarras, programando la memoria 1 a 5s y 300 rpm, y la memoria 2 a 20 min y 40 rpm.

- Se colocó 6 jeringas hipotérmicas con las dosis experimentales (reactivos) delante de las jarras correspondientes.
- Se encendió el equipo y se aplicó la dosis experimental simultáneamente en caja jarra, aplicado en el punto de máxima turbulencia.
- Después de haber concluido los tiempos programados del Test de Jarras se apaga y se retira las paletas, luego se deja reposar por 20 minutos.
- Se extraerá una muestra de cada uno de las jarras donde se lo sacará los parámetros monitoreados (pH, turbidez).

3.6.2. Preparación de reactivos.

- **Preparación del $\text{Al}_2(\text{SO}_4)$.** Se prepara una solución patrón al 10%, se pesa 100 g de $\text{Al}_2(\text{SO}_4)$ y se agrega en una fiola de 1 L, luego se afora con agua destilada. Para los ensayos de las pruebas de jarras se prepara una solución al 1%, se diluye 10 mL de la solución patrón hasta completar 100 mL con agua destilada.
- **Preparación del policloruro de aluminio.** Se prepara una solución patrón al 10%, se pesa 100 g de $(\text{Al}_2(\text{OH})_n \cdot \text{Cl}_{6-n})_x$ y se agrega en una fiola de 1 L, luego se afora con agua destilada. Para los ensayos de las pruebas de jarras se prepara una solución al 1%, se diluye 10 mL de la solución patrón hasta completar 100 mL con agua destilada.
- **Preparación del zulfloc 400.** Las concentraciones de Zufloc fueron al 0.01% para el tratamiento de aguas de relaves mineros.
- **Preparación para el floquat 4440.** Las concentraciones de floquat se dio al 1% para el tratamiento de agua de relaves minero.

3.6.3. Dosis experimentales.

Se evaluó un total de 12 dosis: D1:10 mg/L, D2:15 mg/L, D3:20 mg/L, D4:25 mg/L, D5:30 mg/L, D6:35 mg/L, D7:50 mg/L, D8:100 mg/L, D9:150 mg/L, D10:200 mg/L, D11:250 y D12:300 mg/L. Se empleó la ecuación 1 de balance de masas, en las equivalencias en mililitros para las dosis y concentraciones (Canepa De Vargas, 2004).

$$q \text{ (mL)} = \frac{Q \text{ (L)} \times D \left(\frac{\text{mg}}{\text{L}}\right) \times 1000}{C \left(\frac{\text{mg}}{\text{L}}\right)} \quad \text{Ecuación 1}$$

Donde, D es la dosis de coagulante en mg/L, Q es la capacidad de la jarra en L, q es el volumen de la solución por aplicar en mL y C es la concentración de la solución en mg/L.

3.7. Porcentajes de remoción

Para hallar el porcentaje de remoción de concentración se usó la siguiente ecuación

2.

$$\text{Porcentaje de remoción} = \frac{C_o - C_f}{C_o} * 100 \quad \text{Ecuación 2}$$

Donde C_o es la concentración inicial y C_f es la concentración final.

3.8. Análisis de datos.

Para evaluar el análisis de datos se empleó los programas MS Excel y el programa estadístico IBM SPSS Statistics 27 .

CAPITULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Para la determinación de la dosis optima se consideró las condiciones de trabajo en el equipo de Test de Jarras recomendados por el CEPIS, para la mezcla rápida (300rpm -5 s), coagulación – floculación (40rpm -20 min) y sedimentación (20 min). Se consideró 12 dosis experimentales de los reactivos para encontrar la dosis óptima que presente la menor turbiedad expresada en Unidades Nefelométricas de Turbiedad.

4.1. Características del agua del relave

La muestra de agua procedente de relave minero presentó 450 UNT de turbiedad, 6.12 pH, 402.3 mg/L CaCO₃ y temperatura de 21 °C. En metales presento concentraciones de 0.006, 35.4, 0.0106, 0.48756, 0.000079, 2.35, 0.01868, 0.193618, 0.25397, 0.1464, 84.4, 0.00041, 4.09, 4.698, 0.00038, 2.37, 0.10451, 1.523, 0.00811, 0.002, 0.013, 0.02665 y 0.4103 mg/L de Plata, Aluminio, Arsénico Total, Bario, Berilio, Calcio, Cadmio Total, Cobalto, Cromo Hexavalente, Cobre, Hierro, Mercurio, Potasio, Magnesio, Molibdeno, Sodio, Níquel, Plomo, Antimonio, Selenio, Talio, Vanadio y Zinc, respectivamente. Estos valores son característicos de aguas procedentes de relaves mineros y que superan los LMP del DS N° 010-2010- MINAM.

4.2. Determinación de dosis óptima de los tratamientos en aguas de relaves minero.

Debido a su simplicidad y eficacia, la coagulación es uno de los enfoques más utilizados para el tratamiento de aguas residuales (Abu Tawila et al., 2019). La figura 4 muestra el comportamiento de la turbiedad de los tratamientos en función a las dosis de reactivos, se considera la dosis optima al valor más bajo de las dosis. El tratamiento 5 (Al₂(SO₄)₃+ Floculante anicónico (Zufloc 400)) muestra la mejor dosis optima (D8=100 mg/L

– 2.4 UNT), la mejor dosis media (6.7 UNT) y la mejor desviación estándar (4.04 UNT). Pero los tratamientos que obtienen turbiedades menores a 5 UNT son el tratamiento 6 ($\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ + Floculante catiónico (Floquat 4440)), 1 ($\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$) y 2 (Policloruro de aluminio), en orden decreciente (ver figura 5). Además, la figura 5 muestra los tratamientos que presentan mejores medias y desviaciones estándar, donde el tratamiento 5 presenta turbiedades más bajas, seguidas del tratamiento 1, tratamiento 6, tratamiento 2, tratamiento 7 y el tratamiento 3.

Figura 4

Comportamiento de la turbiedad de los tratamientos en función a las dosis de reactivos

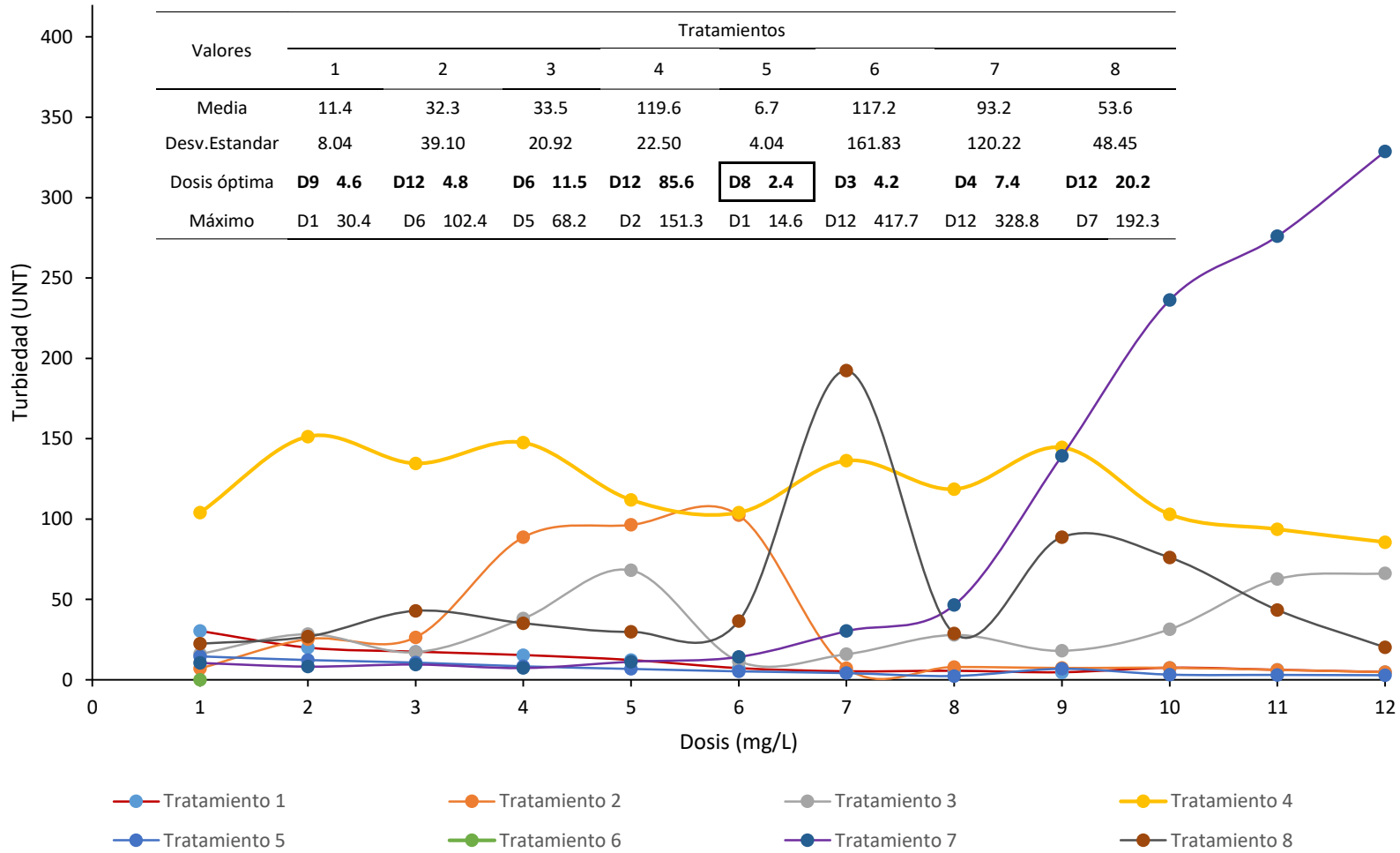


Figura 5

Unidades experimentales (dosis) menores a 20 UNT

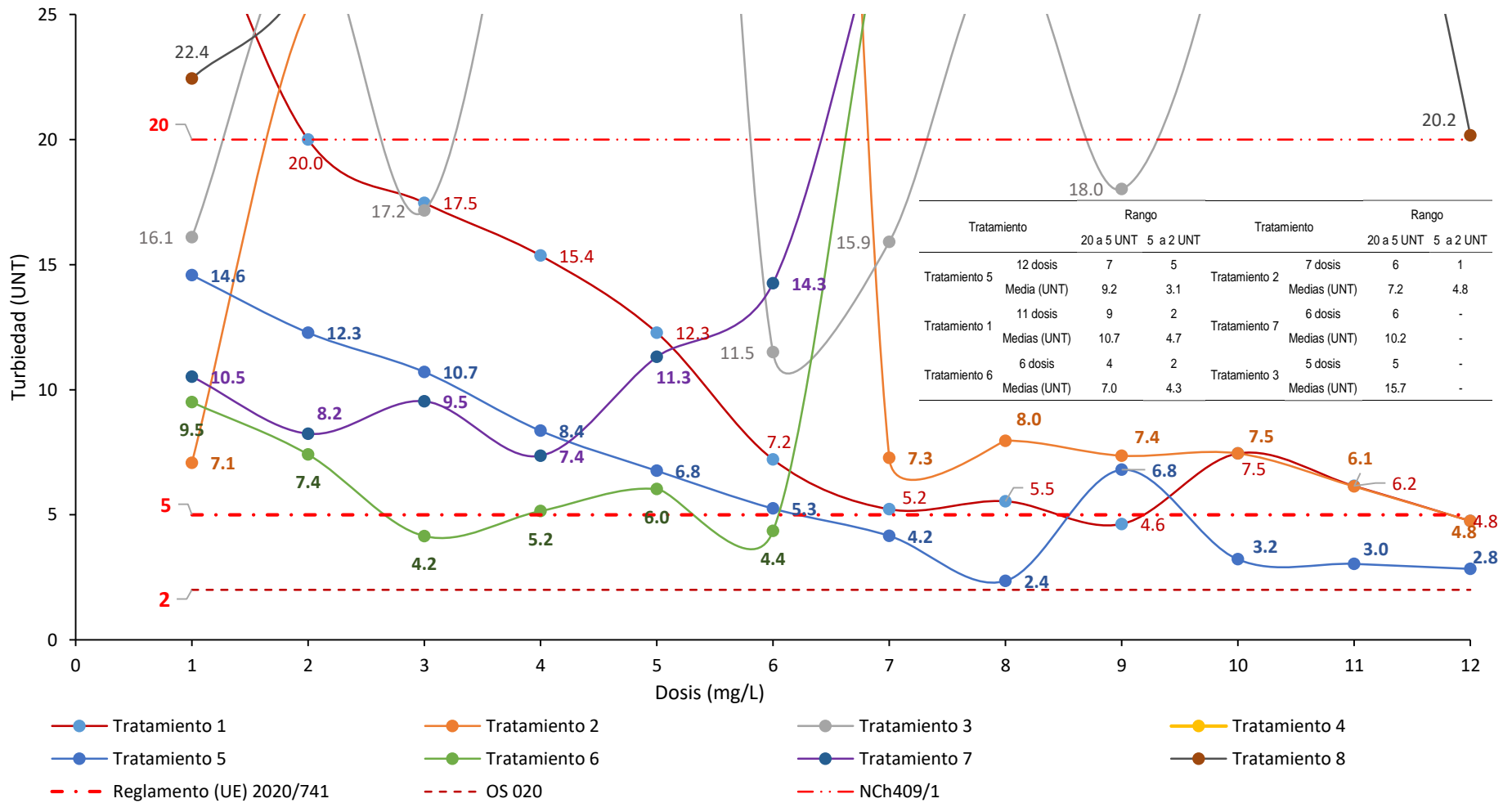
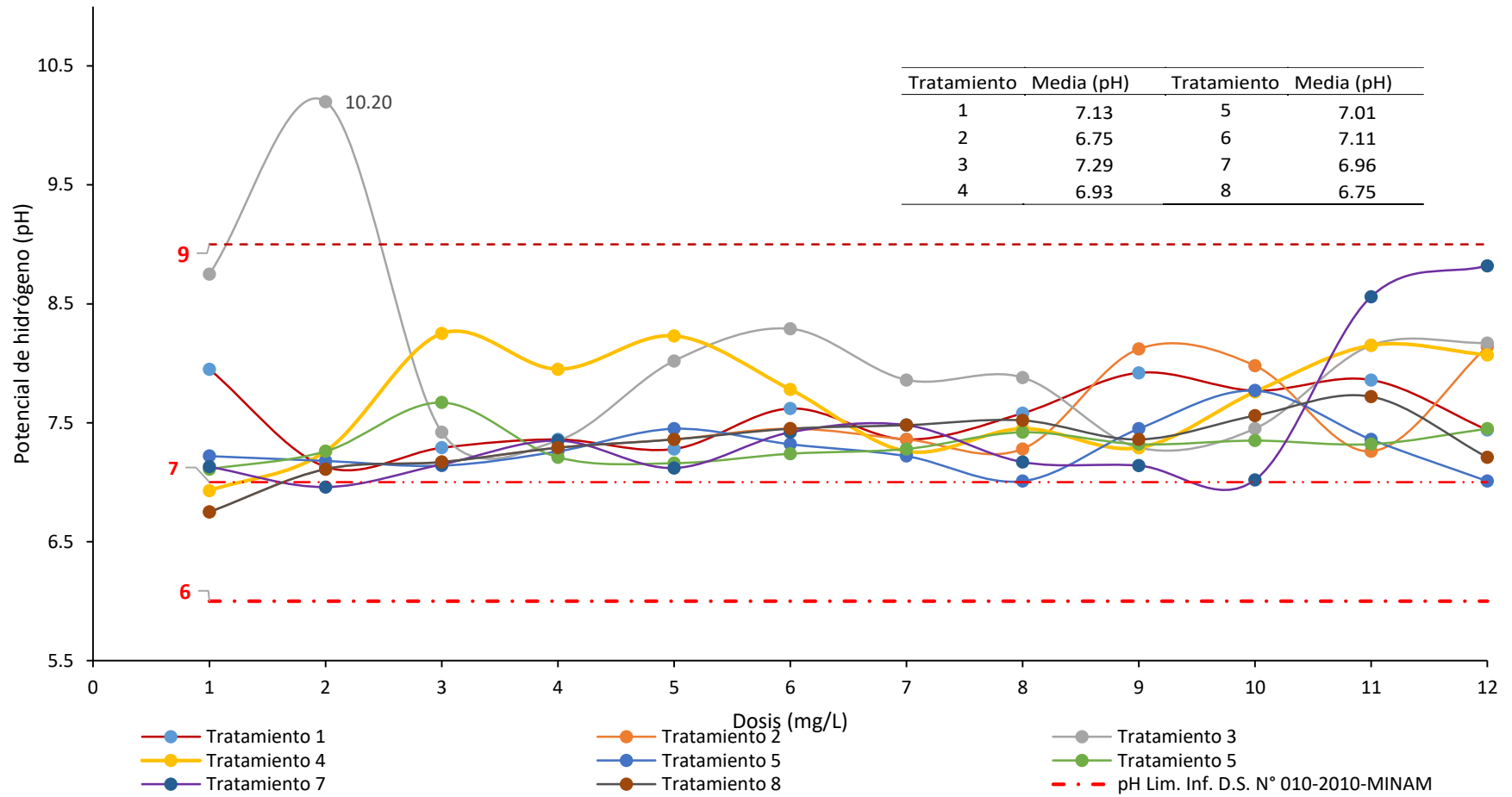


Figura 6

Comportamiento del potencial de hidrógeno de los tratamientos



La figura 5 muestra las unidades experimentales de los tratamientos menores a 20 UNT, la figura divide en segmentos 2 segmentos de acuerdo a la norma Chilena NCH409/1, norma de la Unión Europea (Reglamento(UE) 2020/741) y la norma Técnica Peruana OS 020. El tratamiento 5 ($\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ + Floculante anicónico (Zufloc 400)), presenta 12 dosis de reactivos planteadas son inferiores a 20 UNT, 7 dosis están en el rango de 20 a 5 UNT, y 5 dosis en el rango de 5 a 2 UNT, el valor máximo es la Dosis 1 con 14.6 UNT. El tratamiento 1 (Sulfato de aluminio) presenta 11 dosis de reactivos inferiores a 20 UNT 9 dosis en el rango de 20 a 5 UNT y 2 dosis inferiores a 5 UNT. El tratamiento 6 ($\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ + Floculante catiónico (Floquat 4440)) presenta 6 dosis inferiores a 20 UNT, 4 en el rango de 20 a 5 UNT, y 2 dosis inferiores a 5 UNT. El tratamiento 2 (Policloruro de aluminio) presenta 7 dosis inferiores a 20 UNT, 5 en el rango de 20 a 5 UNT, y 1 dosis inferiores a 5 UNT. Además, el tratamiento 7 presenta 6 valores en el rango 20 a 5 UNT y el tratamiento 3 presenta 6 valores en el rango 20 a 5 UNT.

Tejada Mayta (2017) realizó un estudio de coagulación –floculación en aguas de relaves mineros proveniente de Ananea –Puno, para tratar turbidez utilizando cal como floculante en test de jarras con una turbidez final de 19.39 UNT y 99.973% de eficiencia empleando una dosis optima del 5% (0.3 g Cal/L de agua residual).

Chávez Villanueva y Salazar Torres (2019) hicieron un estudio en aguas residuales con metales pesados (Cu, Fe, Mn y Pb) empleando sulfato de aluminio con una dosis optima de 27 mg/L con turbidez final de 1.51 UNT y pH 6.77y eficiencia de 74.92%. Además, emplearon policloruro de aluminio con dosis optima de 0.6 mg/L con turbidez final de 1.05 UNT y pH 6.87 y eficiencia de 91.32%.

La figura 6 muestra el potencial de hidrógeno de los tratamientos son cercanos a 7, al igual que en el estudio de Abu Tawila et al. (2019) donde emplearon un biofloculante para eliminación de metales pesados de aguas residuales industriales donde emplearon un pH de 7.

Huaman Quispe y Betancurt Palomino (2019) realizaron una investigación para reducir la turbiedad de aguas mineras proveniente de una minera aurífera, la turbiedad inicial fue de 3893 UNT y un pH de 7.16, ellos emplearon la coagulación – floculación en un test de jarras. Los coagulantes empleados fue el $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ y el FeCl_3 , la dosis óptima para el sulfato de aluminio fue de 16 mg/L con una turbiedad final 5.92 UNT (98.93 % de remoción). Como floculantes anionico emplearon Separan MG 200 para una concentración de 0.5 g/L ,

obteniendo una dosis optima de 10 mg/L con una turbiedad de 327 ((remoción de 91.57 %).) . Además, emplearon Flopam PHP (0.5 g/L) con una dosis optima de 1 mg/L con una turbiedad final de 120 (remoción de 96.92 %).

Con el diseño factorial 8Ax12B se realizó interacciones entre los factores para observar el efecto significativo en la remoción de turbidez, trabajándose a un nivel de confianza de 95% (0.05), obteniéndose el siguiente resultado estadístico que se muestra en la tabla 10, donde se muestra el resumen estadístico de la significancia de los factores en la remoción de la turbidez, los tratamientos que representan los reactivos y las dosificaciones expresadas en concentraciones de los reactivos.

Tabla 10

Resumen estadístico de la significancia de los factores en la remoción de la turbidez

Factores	Tipo III de suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Tratamientos (Reactivos)	526211.1	7	75173.017	10617.499	0.000
Dosificación (Concentraciones de reactivos)	273115.7	11	24828.700	3506.826	0.000
Tratamiento * Dosificación	1229853.6	77	15972.125	2255.916	0.000
Error	1359.4	192	7.080		
Total corregido	2030539.8	287			

a. R al cuadrado = .999 (R al cuadrado ajustada = .999)

La tabla 10 muestra que los factores como los Tratamientos (A) y Dosificación (B) y su interacción A x B son altamente significativos en la remoción de la turbidez, ya que presentan valor de significancia de 0.000 y la interacción A x B es altamente significativos siendo menores a 0.000.

La tabla 11 muestra las Pruebas de Tukey y Duncan para la turbidez de los Tratamientos, donde se muestra que el tratamiento 5 ($Al_2(SO_4)_3$ +Zufloc400), es el mejor tratamiento en la remoción de la turbidez, corroborando los resultados de la figura 4 y 5. Tanto la prueba de Tukey y Duncan muestran los mismos resultados para todos los tratamientos.

Tabla 11*Pruebas de Tukey y Duncan para la turbidez de los Tratamientos*

	Tratamiento	N	Subconjunto							
			1	2	3	4	5	6	7	
HSD Tukey ^{a,b}	Al ₂ (SO ₄) ₃ +Zufloc400	36	6.7							
	Al ₂ (SO ₄) ₃	36		11.4						
	PAC	36			32.3					
	Zufloc 400	36			33.5					
	PAC+Floquat 4440	36				53.6				
	PAC+Zufloc400	36					93.2			
	Al ₂ (SO ₄) ₃ +Floquat 4440	36						117.2		
	Floquat 4440	36							119.6	
	Sig.		1.0	1.0	0.5	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
Duncan ^{a,b}	Al ₂ (SO ₄) ₃ +Zufloc400	36	6.7							
	Al ₂ (SO ₄) ₃	36		11.4						
	PAC	36			32.3					
	Zufloc 400	36			33.5					
	PAC+Floquat 4440	36				53.6				
	PAC+Zufloc400	36					93.2			
	Al ₂ (SO ₄) ₃ +Floquat 4440	36						117.2		
	Floquat 4440	36							119.6	
	Sig.		1.0	1.0	0.1	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0

a. Utiliza el tamaño de la muestra de la media armónica = 36. El término de error es la media cuadrática(Error) = 7.080.

b. Alfa = 0.05.

4.3. Evaluación del cumplimiento del marco normativo

La tabla 12 muestra el cumplimiento del marco normativo de la mejor dosis optima que corresponde al Tratamiento 5 con la dosis 8.

Tabla 12*Cumplimiento del marco normativo de la mejor dosis optima (Tratamiento 5 - dosis 8)*

Parámetros	Unidad	Valores inicial	Valores final	D.S. N° 010-2010-MINAM				DS. 010-2010-SA	
				Limites anual		Limite en cualquier momento		LMP	
Turbiedad	(UNT)	450	2.5	-	-	-	-	5	Cumple
CaCO ₃	mg/L	402.3	48.2	-	-	-	-	500	Cumple
pH		6.12	6.71	6-9	Cumple	6-9	Cumple	6.5 a 8.5	Cumple
Plata	mg/L	0.006	0.00019	-	-	-	-	-	-
Aluminio	mg/L	35.4	0.00387	-	-	-	-	-	-
Arsénico Total	mg/L	0.0106	0.000578	0.1	Cumple	0.08	Cumple	0.01	Cumple
Bario	mg/L	0.48756	0.03024	-	-	-	-	0.7	Cumple
Berilio	mg/L	0.000079	0.00	-	-	-	-	-	-
Calcio	mg/L	2.35	0.62	-	-	-	-	-	-
Cadmio Total	mg/L	0.01868	0.000052	0.05	Cumple	0.04	Cumple	0.003	Cumple
Cobalto	mg/L	0.193618	0.02094	-	-	-	-	-	-
Cromo (+6)	mg/L	0.25397	0.00023	0.1	Cumple	0.08	Cumple	0.05	Cumple
Cobre	mg/L	0.1464	0.004115	0.5	Cumple	0.4	Cumple	2	Cumple
Hierro	mg/L	84.4	0.0411	2	Cumple	1.6	Cumple	0.3	Cumple
Mercurio	mg/L	0.00041	0.00016	0.02	Cumple	0.0016	Cumple	0.001	Cumple
Potasio	mg/L	4.09	1.866	-	-	-	-	-	-
Magnesio	mg/L	4.698	3.633	-	-	-	-	-	-
Molibdeno	mg/L	0.00038	0.000076	-	-	-	-	0.01	Cumple
Sodio	mg/L	2.37	1.645	-	-	-	-	200	Cumple
Níquel	mg/L	0.10451	0.008085	-	-	-	-	-	-
Plomo	mg/L	1.523	0.002429	0.2	Cumple	0.16	Cumple	0.01	Cumple
Antimonio	mg/L	0.00811	0.00006	-	-	-	-	-	-
Selenio	mg/L	0.002	0.00171	-	-	-	-	-	-
Talio	mg/L	0.013	0.000024	-	-	-	-	-	-
Vanadio	mg/L	0.02665	0.0000798	-	-	-	-	-	-
Zinc	mg/L	0.4103	0.00774	1.5	Cumple	1.2	Cumple	3	Cumple

La tabla 12 muestra que los valores iniciales incumplen los LMP para efluentes líquidos de Actividades Minero – Metalúrgicas (D.S. N° 010-2010-MINAM). De acuerdo a Wolkersdorfer y Mugova (2021) existe un vacío de conocimiento sobre la composición química y toxicológica del agua influenciada por la minería y su influencia con las interacciones con los lagos, las vías fluviales y el agua subterránea.

Además, la tabla 12 muestra el cumplimiento del marco normativo D.S. N° 010-2010-MINAM que aprueban los Límites Máximos Permisibles sobre descarga de efluentes líquidos de Actividad Minero – Metalúrgica, pero además se hace un análisis de los requerimientos del reglamento de Calidad de agua para consumo humano sobre los LMP, donde se muestra que para ambas normas se cumple con los requerimientos especificados.

4.3. Evaluación de la Eficiencia de Turbidez

La tabla 13 muestra la remoción de Turbiedad de los Tratamientos

Tabla 13

Remoción de turbiedad de los tratamientos

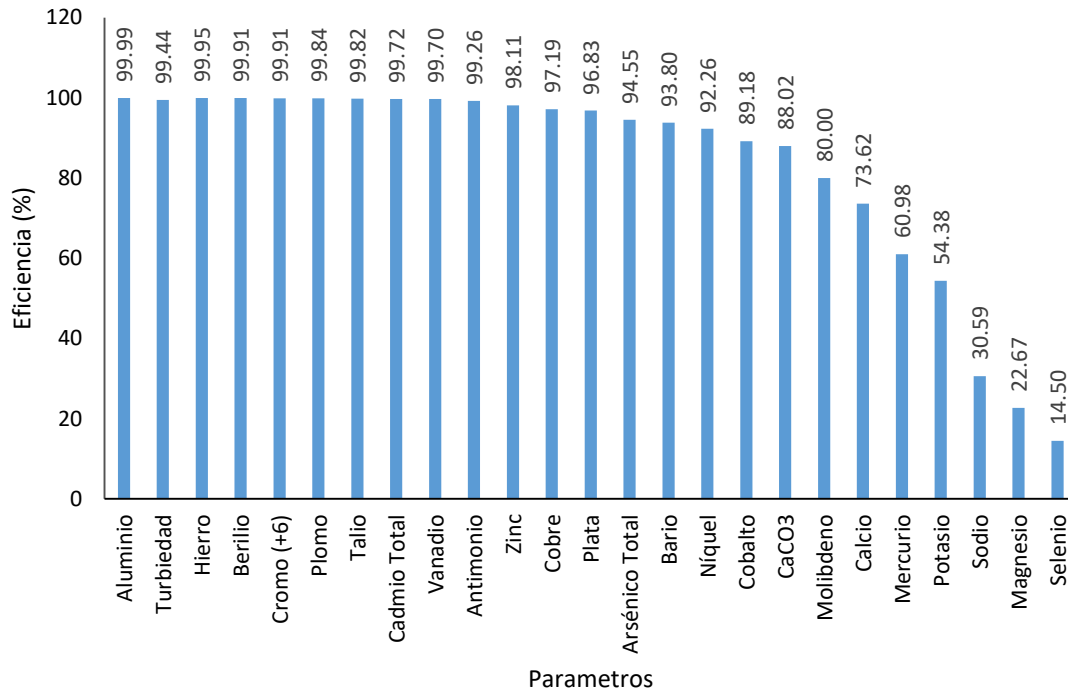
Tratamiento 1		Tratamiento 2		Tratamiento 3		Tratamiento 4		Tratamiento 5		Tratamiento 6		Tratamiento 7		Tratamiento 8	
Dosis	Eficiencia	Dosis	Eficiencia	Dosis	Eficiencia	Dosis	Eficiencia	Dosis	Eficiencia	Dosis	Eficiencia	Dosis	Eficiencia	Dosis	Eficiencia
mg/L	%	mg/L	%	mg/L	%	mg/L	%	mg/L	%	mg/L	%	mg/L	%	mg/L	%
D9	99.0	D12	98.9	D6	97.4	D12	81.0	D8	99.5	D3	99.1	D4	98.4	D12	95.5
D12	98.9	D11	98.6	D7	96.5	D11	79.2	D12	99.4	D6	99.0	D2	98.2	D1	95.0
D7	98.8	D1	98.4	D1	96.4	D10	77.1	D11	99.3	D4	98.9	D3	97.9	D2	94.0
D8	98.8	D7	98.4	D3	96.2	D6	76.9	D10	99.3	D5	98.7	D1	97.7	D8	93.6
D11	98.6	D9	98.4	D9	96.0	D1	76.9	D7	99.1	D2	98.4	D5	97.5	D5	93.4
D6	98.4	D10	98.3	D8	93.8	D5	75.1	D6	98.8	D1	97.9	D6	96.8	D4	92.2
D10	98.3	D8	98.2	D2	93.7	D8	73.6	D5	98.5	D7	93.3	D7	93.3	D6	91.9
D5	97.3	D2	94.4	D10	93.0	D3	70.1	D9	98.5	D8	89.7	D8	89.7	D3	90.5
D4	96.6	D3	94.1	D4	91.5	D7	69.7	D4	98.1	D9	57.0	D9	69.0	D11	90.3
D3	96.1	D4	80.3	D11	86.1	D9	67.9	D3	97.6	D10	35.6	D10	47.5	D10	83.1
D2	95.6	D5	78.6	D12	85.3	D4	67.2	D2	97.3	D11	12.9	D11	38.7	D9	80.3
D1	93.2	D6	77.3	D5	84.8	D2	66.4	D1	96.8	D12	7.2	D12	26.9	D7	57.3
Media	97.5	Media	92.8	Media	92.6	Media	73.4	Media	98.5	Media	74.0	Media	79.3	Media	88.1

La tabla 13 muestra que el tratamiento 5 - dosis 8 presenta la mejor eficiencia (99.5%), seguido de los Tratamientos 6 – dosis 3 (99.1 %), Tratamiento 1- dosis 9 (99.0%). Además, la tabla 9 muestra que el tratamiento 5 presenta la mejor media de eficiencia (98.5 %), seguida del Tratamiento 1 (97.5 %), Tratamiento 2 (92.8 %) y el Tratamiento 3 (92.6%).

La figura 7 muestra eficiencia de remoción del Tratamiento 5 (Sulfato de Aluminio + Floculante anicónico) con la dosis 8 (100 mg/L).

Figura 7

Eficiencia de remoción de la mejor unidad experimental (Tratamiento 5 con la dosis 8)



Como se muestra en la figura 7 los parámetros analizados como el Aluminio, la Turbiedad, el Hierro, el Berilio, el Cromo Hexavalente, el Plomo, el Talio, el Cadmio Total, el Vanadio y el Antimonio superan el 99 % de remoción; los parámetros analizados como el Zinc, el Cobre, la Plata, el Arsénico Total, el Bario y el Níquel superan el 90% de remoción; los parámetros del Cobalto, el Carbonato de Calcio y el Molibdeno superan el 80 % de remoción; el Calcio, el Mercurio y el Potasio superan el 50 % de remoción; pero el Sodio un 30.59 %, el para el Magnesio es 22.67 % y el Selenio 14.50% que son remociones muy bajas. De acuerdo a Bahmani-Ghaedi et al. (2022) en su investigación sobre el efecto de los floculantes residuales en agua de deshidratación minera el floculante aniónico demostró mayor eficiencia debido a su fuerte propiedad de enlace de hidrógeno y grandes flóculos formados a través de la fuerza repulsiva entre el floculante y las superficies de las partículas.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

En base a los ensayos y análisis realizados en laboratorio se pudo obtener las siguientes conclusiones:

- Es factible utilizar coagulantes químicos y floculantes en el tratamiento de aguas de relaves de la minería artesanal.
- El tratamiento con $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ + Floculante anicónico presento la mejor dosis optima (D=100 mg/L, 2.4 UNT); seguido del tratamiento con $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ + Floculante catiónico (D=20 mg/L, 4.2 UNT), tratamiento con $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ (D=150 mg/L – 4.6 UNT) y el Tratamiento con policloruro de aluminio (D=300 mg/L – 4.8 UNT). Además, el tratamiento 5 presento que todas las turbiedades de las dosis aplicadas son iguales e inferiores a 14.6 UNT.
- El agua proveniente de relaves mineros artesanales tratada con Sulfato de aluminio más floculante aniónico cumple con el marco normativo de los LMP para la descarga de efluentes líquidos de actividades mineros –metalúrgicas (DS N° 010-2010 MINAM).
- El tratamiento con Sulfato de aluminio más floculante aniónico tuvo una eficiencia de remoción de 99.99, 99.44, 99.91, 99.84, 99.70, 94.55 y 60.98 % de aluminio, turbidez, Cromo (+6), plomo, cadmio, arsénico y mercurio, respectivamente.

5.2. Recomendaciones

- Para poder realizar más estudios como son aceites y grasas comparando los límites permisibles para la descarga de efluentes líquidos en actividad minero – metalúrgico de Decreto Supremo N°010-2010-MINAM utilizando coagulante químico y floculante (catiónico – anionico) para observar hasta qué punto es su rendimiento.
- Para recuperar aguas esclarecidas se recomienda que se utilice el tratamiento de coagulante químico más floculante (catiónico – anionico) en las pozas de lodos, teniendo en cuenta que el pH debe estar entre 6 – 9 según D.S. N° 010-2010-MINAM.
- Realizar más estudios a las lamas para saber si este tiene oro en polvo o hidrológico que pueda contener las lamas sedimentadas en caso de no contar con oro, industrializar las lamas.
- Realizar un análisis de costos de aplicación del producto a gran escala para el tratamiento de aguas industriales de la mina.

REFERENCIAS

- Abu Tawila, Z. M. M., Ismail, S., Abu Amr, S. S., y Abou Elkhair, E. K. (2019). A novel efficient bioflocculant QZ-7 for the removal of heavy metals from industrial wastewater. *RSC Advances*, 9(48), 27825-27834. <https://doi.org/10.1039/c9ra04683f>
- Andía Cárdenas, Y. (2000). Tratamiento de agua coagulación y floculación. En *Sedapal*. http://www.sedapal.com.pe/c/document_library/get_file?uuid=2792d3e3-59b7-4b9e-ae55-56209841d9b8&groupId=10154
- Bahmani-Ghaedi, A., Hassanzadeh, A., Sam, A., y Entezari-Zarandi, A. (2022). The effect of residual flocculants in the circulating water on dewatering of Gol-e-Gohar iron ore. *Minerals Engineering*, 179(September 2021), 107440. <https://doi.org/10.1016/j.mineng.2022.107440>
- Barrenechea Martel, A. (2004). Coagulación. En C. P. de I. S. y C. del A. CEPIS/OPS (Ed.), *Plantas de Tratamiento de Filtración Rápida. Manual I: Teoría* (pp. 153-220). http://www.bvsde.paho.org/bvsatr/fulltext/tratamiento/manuall/tomol/ma1_tomo1_cap4.pdf
- Canepa de Vargas, L. (2004). FLOCULACIÓN. En C. P. de I. S. y C. del A. CEPIS/OPS (Ed.), *Tratamiento de agua para consumo humano: Plantas de filtración rápida. . Manual I: Teoría tomo 1*.
- Canepa De Vargas, L. (2004). Criterios para la selección de los procesos y de los parámetros óptimos de las unidades. En CEPIS/OPS (Ed.), *Tratamiento de agua para consumo humano: Plantas de filtración rápida. Manual I: Teoría Tomo II* (pp. 216-281).
- Chávez Villanueva, C., y Salazar Torres, E. J. (2019). *Eficiencia del floculante sulfato de aluminio y polifloc (policloruro de aluminio) en la remoción de metales y depuración de aguas residuales de una empresa minera en Cajamarca, 2019* [Universidad Privada del Norte]. https://repositorio.upn.edu.pe/bitstream/handle/11537/25862/TRABAJO_PARCIAL.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Comisión Europea. (2020). Reglamento (UE) 2020/741 del Parlamento Europeo y del Consejo, de 25 de mayo de 2020, relativo a los requisitos mínimos para la reutilización del agua. *Diario Oficial de la Unión Europea*, 2-32. https://eur-lex.europa.eu/resource.html?uri=cellar:e8951067-627c-11e8-ab9c-01aa75ed71a1.0024.02/DOC_2&format=PDF
- De La Cruz García, C. J., y Coronel Zárata, H. G. (2017). *Estudio de optimización del*

- sistema de tratamiento de las aguas ácidas de un efluente minero*. Unioversidad Nacional de Ingeniería.
- Dzioba, B. R., Díaz, A. A., y Menéndez-Aguado, J. M. (2004). Estudio del comportamiento de las colas de una planta de beneficio de mineral de fluorita frente a procesos floculación-coagulación. *Revista de Metalurgia*, 40(4), 312-316.
<https://doi.org/https://doi.org/10.3989/revmetalm.2004.v40.i4.279>
- EXIQUIM SAC. (2020). *Zufloc 400*.
- Granados Posso, C. C. (2019). El Proceso de Formalización Minera Integral en el Perú y la Vulneración de los Derechos de los Concesionarios Mineros. En *Universidad de Lima*. Univesidad de Lima.
- Huaman Quispe, A., y Betancurt Palomino, J. A. (2019). *Tratamiento fisicoquímico de aguas turbias de la minera aurífera Tunquimayo Mining E.I.R.L Camanti- Quince Mil*. Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco.
- Industrial y Comercial Química Andina SAC, . (2022). *Ficha técnica Polifloc*.
<http://www.quimicaandina.com.pe/wp-content/uploads/2016/10/Especificacion-Tecnica-POLICLORURO-PACSO-100.pdf>
- INN (Instituto Nacional de Normalización). (2005). *Norma Chilena Oficial NCh 409/1.Of2005*. 9. http://www.dinta.cl/docs/NCh409_1_2005.pdf
- León Pacheco, L. (2020a). *Minería Artesanal y a Pequeña Escala en el Perú: la formalización que nunca llega*. <https://dar.org.pe/mineria-artesanal-y-a-pequena-escala-en-el-peru-la-formalizacion-que-nunca-llega/>
- León Pacheco, L. (2020b). *Minería Artesanal y a Pequeña Escala en el Perú: la formalización que nunca llega*. <https://dar.org.pe/mineria-artesanal-y-a-pequena-escala-en-el-peru-la-formalizacion-que-nunca-llega/>
- Llano, B. A., Cardona, J. F., Ocampo, D., y Ríos, L. A. (2014). Tratamiento fisicoquímico de las aguas residuales generadas en el proceso de beneficio de arcillas y alternativas de uso de los lodos generados en el proceso. *Informacion Tecnologica*, 25(3), 73-82. <https://doi.org/10.4067/S0718-07642014000300010>
- Maldonado Yactayo, V. (2004). Sedimentación. En C. P. de I. S. y C. del A. CEPIS/OPS (Ed.), *Plantas de Tratamiento de Filtración Rápida. Manual II: Teoría* (pp. 1-61). <https://doi.org/10.2307/j.ctv893j19.19>
- MINAM (Ministerio del Ambiente). (2010). Decreto Supremo N°010-2010-MINAM aprueban Límites Máximos Permisibles para la descarga de efluentes líquidos de actividades minero - metalúrgicas. *El Peruano*, 4. <http://www.minam.gob.pe/wp->

- content/uploads/2013/09/ds_010-2010-minam.pdf
- MINEM, M. de E. y M. (2022). *Registro Integral de Formalización Minera – REINFO*.
http://pad.minem.gob.pe/REINFO_WEB/Index.aspx
- Ministerio de Vivienda Construcción y Saneamiento (MVCS). (2006). DS. N° 011-2006-Vivienda -Reglamento Nacional De Edificaciones. OS. 020 Plantas de tratamiento de agua para consumo humano. *Reglamento Nacional De Edificaciones*, 53(9), 1689-1699. <http://www3.vivienda.gob.pe/pnc/docs/normatividad/varios/Reglamento Nacional de Edificaciones.pdf>
- MINSA, M. de S. (2010). Digesa. *Reglamento de Calidad del Agua Para Consumo Humano*, 9, 1689-1699.
- OEFA. (2014). Fiscalización ambiental en aguas residuales. *Organismo de Evaluacion y Fiscalizacion Ambiental*, 36. https://www.oefa.gob.pe/?wpfb_dl=7827
- Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo – PNUD. (2021). *Hacia la inclusión financiera de la MAPE*. planetgold.org/es/peru o
- QuimiNet. (2022). *El sulfato de aluminio y sus aplicaciones en la industria*.
<https://www.quiminet.com/articulos/el-sulfato-de-aluminio-y-sus-aplicaciones-en-la-industria-27849.htm>
- Rojas Villanueva, A. J. (2007). *Manejo Ambiental Relaves - Disposición Subacuática*. Universidad Nacional de San Marcos.
- Romero Baylón, A., y Flores Chávez, S. (2010). Reuso de relaves mineros como insumo para la elaboración de agregados de construcción para fabricar ladrillos y baldosas. *Industrial Data*, 13(2), 75-82. <https://doi.org/https://doi.org/10.15381/idata.v13i2.6193>
- SNF (UK) Ltd, . (2022). *FLOQUAT FL4440*. <https://www.snf.co.uk/coagulants/>
- Tejada Mayta, R. (2017). *Tratamiento y sedimentación de la turbidez con cal en las aguas residuales de los relaves mineros de la Unidad Operativa Minera Santiago - B* [Universidad Nacional del Altiplano].
<http://repositorio.unap.edu.pe/handle/UNAP/4695>
- Tucto Ambrosio, R. A. (2019). *Optimización del consumo del floculante para el tratamiento del Aluminio y Manganeso del agua de mina Unidad Minera Orcopampa – Buenaventura - Arequipa, 2019* [Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión].
http://repositorio.undac.edu.pe/bitstream/undac/629/1/T026_71393625_T.pdf
- Wolkersdorfer, C., y Mugova, E. B. T.-R. M. in E. S. and E. S. (2021). *Effects of Mining on Surface Water*. Elsevier. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/B978-0-12-819166-8.00036-0>

ANEXOS

Anexo 1. Resultados experimentales

Tabla 14

Turbidez de los Tratamientos de las doce dosis

Dosis (mg/L)	Tratamiento 1: Sulfato de aluminio			Tratamiento 2: Policloruro de aluminio			Tratamiento 3: Zufloc 400			Tratamiento 4: Floquat 4440			Tratamiento 5. Al ₂ (SO ₄) ₃ +Zufloc400			Tratamiento 6: Al ₂ (SO ₄) ₃ +Floquat 4440			Tratamiento 7. PAC+Zufloc400			Tratamiento 8. PAC+Floquat 4440		
	Turbidez (UNT)	Turbidez (UNT)	Turbidez (UNT)	Turbidez (UNT)	Turbidez (UNT)	Turbidez (UNT)	Turbidez (UNT)	Turbidez (UNT)	Turbidez (UNT)	Turbidez (UNT)	Turbidez (UNT)	Turbidez (UNT)	Turbidez (UNT)	Turbidez (UNT)	Turbidez (UNT)	Turbidez (UNT)	Turbidez (UNT)	Turbidez (UNT)	Turbidez (UNT)	Turbidez (UNT)	Turbidez (UNT)	Turbidez (UNT)	Turbidez (UNT)	Turbidez (UNT)
D1=10	29.54	31.12	30.55	7.04	7.02	7.18	17.60	15.30	15.40	106.00	103.00	103.00	16.45	12.80	14.50	9.80	10.20	8.50	11.20	10.35	10.00	23.00	22.60	21.60
D2=15	18.00	22.00	20.01	25.44	25.20	25.30	32.40	26.40	26.40	153.20	149.40	151.40	11.27	13.36	12.20	7.30	7.10	7.82	8.00	8.24	8.48	28.00	26.00	26.40
D3=20	17.10	17.20	18.10	26.25	26.50	26.40	17.16	17.20	17.12	129.36	134.10	140.35	12.60	8.74	10.80	4.10	4.25	4.10	10.30	9.52	8.80	40.50	44.60	43.50
D4=25	17.22	14.10	14.75	88.98	90.50	86.58	42.30	36.12	36.00	147.40	146.50	148.70	10.40	8.45	6.24	4.20	5.40	5.85	8.00	5.88	8.20	33.00	38.00	34.60
D5=30	13.34	11.18	12.32	97.92	95.20	96.00	72.00	64.10	68.50	110.90	112.90	111.90	5.80	7.80	6.68	6.30	5.90	5.89	12.00	11.00	10.92	30.00	28.50	31.00
D6=35	8.17	6.36	7.10	105.36	99.36	102.36	12.50	10.60	11.40	102.00	106.00	104.00	6.26	4.18	5.30	3.70	4.70	4.66	15.00	16.00	11.78	36.50	34.00	39.00
D7=50	4.92	5.36	5.38	6.35	8.30	7.20	12.52	17.40	17.80	143.00	132.00	134.00	4.18	4.00	4.30	33.30	28.20	29.50	31.00	29.00	31.00	195.00	197.00	185.00
D8=100	5.58	5.40	5.57	7.42	8.10	8.36	31.60	24.10	28.00	115.39	118.60	121.80	2.25	2.17	2.65	48.00	46.00	45.50	47.00	46.00	46.50	32.00	27.50	27.00
D9=150	3.40	5.30	5.20	8.20	7.10	6.78	16.00	17.96	20.10	148.00	142.20	143.40	7.20	6.49	6.70	200.00	190.20	189.80	140.00	138.00	140.00	86.40	92.00	87.90
D10=200	7.50	7.30	7.55	7.36	7.50	7.50	32.00	30.35	32.00	99.80	104.31	104.60	4.20	3.26	2.20	297.00	290.00	283.00	235.00	236.72	237.00	82.00	75.07	71.09
D11=250	6.43	6.75	5.28	6.10	6.16	6.12	59.80	65.80	62.50	94.38	93.70	92.80	2.80	3.00	3.32	400.00	395.00	381.00	280.00	272.00	276.00	52.00	36.00	42.30
D12=300	4.48	4.98	4.80	5.25	3.80	5.20	68.00	62.20	68.58	89.90	86.70	80.20	2.28	2.80	3.45	420.00	418.00	415.00	330.00	326.00	330.28	17.00	22.00	21.52

Tabla 15

Potencial de hidrogeno de los tratamientos

Dosis (mg/L)	Tratamiento 1: Sulfato de aluminio			Tratamiento 2: Policloruro de aluminio			Tratamiento 3: Zufloc 400			Tratamiento 4: Floquat 4440			Tratamiento 5. Al ₂ (SO ₄) ₃ +Zufloc400			Tratamiento 6: Al ₂ (SO ₄) ₃ +Floquat 4440			Tratamiento 7. PAC+Zufloc400			Tratamiento 8. PAC+Floquat 4440		
	pH	pH	pH	pH	pH	pH	pH	pH	pH	pH	pH	pH	pH	pH	pH	PH	PH	PH	PH	PH	PH	PH	PH	PH
D1=10	7.95	7.36	7.58	6.75	7.05	6.98	8.75	7.98	8.04	6.93	7.06	7.36	5.96	6.10	6.50	7.22	7.14	7.36	7.13	7.45	7.17	6.75	6.36	7.05
D2=15	7.13	6.98	7.06	7.11	6.76	7.04	10.2	9.36	8.76	7.26	7.28	7.39	5.63	4.93	5.43	7.18	7.25	7.13	6.96	7.36	7.22	7.11	7.45	7.98
D3=20	7.29	7.52	7.78	7.17	7.19	7.14	7.42	7.89	7.06	8.25	8.23	8.12	5.31	5.17	5.94	7.14	7.24	7.72	7.15	7.08	7.14	7.17	7.16	7.36
D4=25	7.36	7.02	7.45	7.29	7.26	7.78	7.35	7.28	7.42	7.95	8.06	7.86	5.04	4.96	5.36	7.26	7.73	7.17	7.35	7.26	7.21	7.29	7.42	7.24
D5=30	7.28	7.30	7.26	7.36	7.09	7.16	8.02	7.76	7.28	8.23	8.14	8.18	4.97	5.18	5.90	7.45	7.14	7.18	7.12	6.98	7.06	7.36	7.17	7.36
D6=35	7.62	7.52	7.50	7.45	7.36	7.42	8.29	8.04	7.90	7.78	7.24	7.16	4.83	4.72	5.26	7.32	7.26	7.78	7.42	7.78	7.14	7.45	7.25	7.42
D7=50	6.70	3.80	4.25	7.04	7.43	7.84	5.60	7.28	6.36	5.60	8.35	7.73	4.18	4.00	4.30	6.93	7.86	7.50	7.21	7.18	7.36	7.15	7.69	7.36
D8=100	5.29	4.26	5.28	7.00	7.37	7.65	5.20	7.31	6.45	7.80	7.54	7.93	2.25	2.17	2.65	7.17	7.75	7.36	6.98	6.48	6.43	7.05	8.24	7.45
D9=150	5.28	6.30	6.26	5.28	7.34	7.37	5.10	7.62	7.21	6.70	7.02	7.64	7.20	6.49	6.70	7.15	7.58	6.98	7.60	7.88	7.56	6.28	7.09	8.02
D10=200	5.14	5.40	6.29	6.14	4.26	7.07	5.31	7.64	7.14	4.90	7.05	7.47	4.20	3.26	2.20	7.36	7.92	9.73	7.39	7.52	7.50	6.08	7.30	7.40
D11=250	4.87	4.20	6.36	4.40	6.76	7.17	5.82	7.73	7.18	9.60	7.00	7.52	2.80	3.00	3.32	7.29	7.43	8.30	7.02	7.36	7.24	5.33	6.89	7.08
D12=300	4.86	4.90	6.90	5.69	6.64	6.86	4.78	7.43	7.49	5.80	6.76	7.48	2.28	2.80	3.45	7.35	7.36	7.70	7.08	7.59	7.26	5.28	6.51	6.76

Anexo 2. Análisis de laboratorio.



Laboratorios Analíticos del Sur

**LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR
LA DIRECCIÓN DE ACREDITACIÓN DEL
INACAL CON REGISTRO N° LE-050**



Registro N° LE-050

INFORME DE ENSAYO LAS01-AG-AC-19-00570

Fecha de emisión : 15/11/2019

Página 1 de 3

Señores : INFUENTE MAMANI ERIC DANNY
Dirección : AREQUIPA
Atención : INFUENTE MAMANI ERIC DANNY
Proyecto : -

PROTOCOLO DE MUESTREO

Muestreo realizado por : Cliente : INFUENTE MAMANI ERIC DANNY
Registro de muestreo : 395-19
Procedimiento Aplicado : Muestreo por el cliente

Fecha de recepción : 28/10/2019
Fecha de ensayo : 28/10/2019
Nro de muestras : 1

Cod. Interno L.A.S	(c) Nombre de muestra	(c) Matriz de la muestra	(c) Zona, Urb, AAHH/Dist/Prov/Depart.	(c) Punto de muestreo y/o coordenadas	(c) Fecha de inicio de muestreo	(c) Hora de inicio de muestreo
AG18001031	AGUA DE PROCESO DE MOLIENDA EN MINERA	Agua Residual - Agua Residual Industrial	S.M.R.L SAN JOSE / SANDA / PUNO	ESTE 428889 NORTE 8451497	28/10/2019	11:00

(c) : datos proporcionados por el cliente. El laboratorio no se responsabiliza técnica ni legalmente por esta información.

Condiciones de recepción de la muestra
Cooler refrigerado

Observación
-

Laboratorios Analíticos del Sur E.I.R.L.
 Ornar A. Juárez Soto
 Gerente de Operaciones
 Ing. Químico CIP 114426

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

"<Valor numérico" = Límite de detección del método, "<Valor Numérico" = Límite de cuantificación del método.

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. Los resultados presentados solo están relacionados a la muestra ensayada.

Está terminantemente prohibida la reproducción parcial o total de este documento sin la autorización escrita de LAS. Cualquier omisión o corrección en el contenido del presente documento lo anula.

Parque Industrial Río Seco C - 1 Cerro Colorado - Arequipa - Perú
Teléfono (054) 443294 Fax (054) 444582 www.laboratoriosanaliticosdelsur.com

A-18 N° 9743



Laboratorios Analíticos del Sur

LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR
LA DIRECCIÓN DE ACREDITACIÓN DEL
INACAL CON REGISTRO N° LE-050



Registro N° LE-050

INFORME DE ENSAYO LAS01-AG-AC-19-00570

Fecha de emisión : 15/11/2019

Página 2 de 3

RESULTADOS DE ENSAYO FISICO QUIMICO

Código Interno L.A.S	Nombre de Muestra	*807		*811	796	800	802						
		C	E	T	Turbidez	As	Hg	Ag	Al	B	Ba	Be	Ca
		mS/cm	°C	NTU	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L
AG19001031	AGUA DE PROCESO DE MOLIENDA EN MINERIA	26,77	21,1	>80	0,0106	±0,00041	0,0002	35,4	±0,00053	0,48750	±0,000079	2,35	

Código Interno L.A.S	Nombre de Muestra	802										
		Cd	Co	Cr	Cu	Fe	K	Li	Mg	Mn	Mo	Na
		mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L
AG19001031	AGUA DE PROCESO DE MOLIENDA EN MINERIA	0,01688	0,100535	0,25307	0,1454	85,4	4,09	0,99179	4,899	6,5566	±0,00030	2,37

Código Interno L.A.S	Nombre de Muestra	802											
		Ni	P	Pb	Sb	Se	SiO2	Sn	Sr	Ti	Tl	V	Zn
		mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L
AG19001031	AGUA DE PROCESO DE MOLIENDA EN MINERIA	0,19451	1,002	1,523	0,00811	±0,002	48,60	0,00432	0,0364	0,17585	±0,0013	0,02965	0,4103

Código Interno L.A.S	Nombre de Muestra	803		810	846
		pH	T	Dureza Total CaCO3	SST
		Unidad de pH	°C	mg/L	mg/L
AG19001031	AGUA DE PROCESO DE MOLIENDA EN MINERIA	6,12	21,1	402,33	>20000

Laboratorios Analíticos del Sur E.I.R.L.
Omar A. Juárez Soto
Gerente de Operaciones
M. Sc. Ingeniero Químico CP. 114426

"Los ensayos acreditados del presente informe/certificado al estar en el marco de la acreditación del INACAL - DA, se encuentran dentro del ámbito de reconocimiento mutuo de los miembros firmantes de IAAC e ILAC"

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

<Valor numérico> = Límite de detección del método. * <Valor Numérico> = Límite de cuantificación del método.

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. Los resultados presentados solo están relacionados a la muestra ensayada.

Está terminantemente prohibida la reproducción parcial o total de este documento sin la autorización escrita de LAS. Cualquier omisión o corrección en el contenido del presente documento lo anula.

Parque Industrial Río Seco C - 1 Cerro Colorado - Arequipa - Perú
Teléfono (054) 443294 Fax (054) 444582 www.laboratoriosanaliticosdelsur.com

A-18 N° 9744



Laboratorios Analíticos del Sur

LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR
LA DIRECCIÓN DE ACREDITACIÓN DEL
INACAL CON REGISTRO N° LE-050



INFORME DE ENSAYO LAS01-AG-AC-19-00570

Fecha de emisión : 15/11/2019

Página 3 de 3

MÉTODOS DE ENSAYO UTILIZADOS

Código	Título	Rango
*607	ASTM D 1125 - 95 Método de ensayo estándar para la conductividad eléctrica y resistividad del agua	[- 50] mS/cm
611	Método de ensayo para la determinación de Turbidez en agua	[1.2 - 10000] NTU
705	EPA 200.7 Determinación de metales y elementos traza en agua y aguas residuales por ICP -OES, Revisión 4.4. Arsénico (MÉTODO DE ENSAYO ACREDITADO)	[* 0.0012 - 50] mg/L
800	EPA 200.7 Determinación de metales y elementos traza en agua y aguas residuales por ICP -OES, Revisión 4.4. Mercurio (MÉTODO DE ENSAYO ACREDITADO)	[* 0.00241 - 250] mg/L
802	EPA 200.7 Determinación de metales Totales y elementos traza en agua y aguas residuales por ICP -OES, Revisión 4.4. (MÉTODO DE ENSAYO ACREDITADO)	[- 2.5] mg/L
808	Determinación de pH en aguas SWEWW. 22 th Ed.4950-H pH Part B. Electrometric Method. (MÉTODO DE ENSAYO ACREDITADO)	[- 14] Unidad de pH
830	Dureza Total (CaCO ₃): SWEWW - APHA - AWWA - WEF Part 2340 B, 22nd Ed. Hardness. Hardness by Calculation. (MÉTODO DE ENSAYO ACREDITADO)	[* 0.2 - 24973] mg/L
846	Sólidos Suspensos Totales en aguas SWEWW. 23rd Ed. Item 2540-Sólidos D. Total Suspended Solids Dried at 103 - 105 °C (MÉTODO DE ENSAYO ACREDITADO)	[* 7.6 - 203000] mg/L

* - Límite de detección * - Límite de cuantificación

Fin del Informe


Laboratorios Analíticos del Sur E.I.R.L.
Omar A. Juárez Soto
Gerente de Operaciones
M. Sc. Ingeniería Química CP 114428

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

"*Valor numérico" = Límite de detección del método, "Valor Numérico" = Límite de cuantificación del método.

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. Los resultados presentados solo están relacionados a la muestra ensayada.

Está terminantemente prohibida la reproducción parcial o total de este documento sin la autorización escrita de LAS. Cualquier enmienda o corrección en el contenido del presente documento lo anula.

Parque Industrial Río Seco C - 1 Cerro Colorado - Arequipa - Perú
Teléfono (054) 443284 Fax (054) 444582 www.laboratoriosanaliticosdelsur.com

A-18 N° 9745



Laboratorios Analíticos del Sur

Laboratorios Analíticos del Sur

Parque Industrial Río Seco C-1 Cerro Colorado – Arequipa – Perú
www.laboratoriosanaliticosdelsur.com

+51 (054) 443294
+51 (054) 444582
+51 958 961 254
+51 958 961 253

INFORME DE ENSAYO LAS01-AG-21-00072

Fecha de emisión: 1/07/2021

Página 1 de 3

Clave generada : AE85B63F

Señores : INCUENTE MAMANI ERIC DANNY
Dirección : AREQUIPA
Atención : INCUENTE MAMANI ERIC DANNY
Proyecto : -

PROTOCOLO DE MUESTREO

Muestreo realizado por : Cliente : INCUENTE MAMANI ERIC DANNY
Registro de muestreo : Cadena de custodia N°. 107-21
Plan de muestreo : Muestreado por el cliente
Procedimiento Aplicado : Muestreado por el cliente

Fecha de recepción : 17/04/2021

Fecha de ensayo : 17/04/2021

Nro de muestras : 1

Cod. Interno L.A.S.	(c) Nombre de muestra	(c) Matriz de la muestra	(c) Zona, Urb, AAHH/Dist/Prov/Depart.	(c) Punto de muestreo y/o coordenadas	(c) Fecha de inicio de muestreo	(c) Hora de inicio de muestreo
AG21000265	SAN JOSE DE QUISPIPATA	Agua Residual - Agua Residual Industrial	SOCIEDAD MINERA SAN JOSE II / SANDIA / PUNO	E 426869 N 841487	17/04/2021	10:00

(c) : Datos proporcionados por el cliente. El laboratorio no se responsabiliza técnica ni legalmente por esta información.

Condiciones de recepción de la muestra

Al ambiente

Observación

-


Laboratorios Analíticos del Sur E.I.R.L.
Sixto Vicente Juárez Neira
Gerente General
Ing. Químico C.I.R. 16474

*«Valor numérico»=Límite de detección del método, **«Valor Numérico»=Límite de cuantificación del método

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. Los resultados presentados sólo están relacionados a la muestra ensayada. Está terminantemente prohibida la reproducción parcial o total de este documento sin autorización escrita de LAS. Cualquier enmienda o corrección en el contenido del presente documento lo anula.

Los resultados se aplican a la muestra como se recibió

Web: <https://www.laboratoriosanaliticosdelsur.com> Parque Ind. Río Seco C-1 C. Colorado-Arequipa-Perú.(054)443294 - (054)





Laboratorios Analíticos del Sur

Laboratorios Analíticos del Sur

Parque Industrial Río Seco C-1 Cerro Colorado - Arequipa - Perú
www.laboratoriosanaliticosdelsur.com

+51 (054) 443294
+51 (054) 444582
+51 958 961 254
+51 958 961 253

INFORME DE ENSAYO LAS01-AG-21-00072

Fecha de emisión: 1/07/2021

Página 2 de 3

Clave generada : AE85B83F

RESULTADOS DE ENSAYO FISICO QUÍMICO

Código Informe L.A.S.	Nombre de Muestra	*3030		*3090												
		pH	T	Ag	Al	Aa	Be	Ba	Ca	Cd	Co	Cr	Cu	Fe	Mg	
		Unidad de pH	°C	ppb	ppb	ppb	ppb	ppb	ppb	ppb	ppb	ppb	ppb	ppb	ppb	ppb
AG21000285	SAN JOSE DE QUISPAPATA	8,71	21,5	<0,019	33,87	0,578	30,237	0,007	12816,8	0,052	20,938	0,23	4,155	41,1	0,181	

Código Informe L.A.S.	Nombre de Muestra	*3090														*811
		K	Mg	Mn	Mo	Na	Ni	Pb	Sb	Se	Th	Ti	U	V	Zn	Turbidez
		ppb	ppb	ppb	ppb	ppb	ppb	ppb	ppb	ppb	ppb	ppb	ppb	ppb	ppb	ppb
AG21000285	SAN JOSE DE QUISPAPATA	1886,0	3632,7	>500	0,076	1644,7	8,265	2,429	0,060	1,71	0,011	0,024	0,010	0,798	7,74	2,5

Código Informe L.A.S.	Nombre de Muestra	*883
		Dureza Total CaCO3
		mg/L
AG21000285	SAN JOSE DE QUISPAPATA	48,2


 Laboratorios Analíticos del Sur E.I.R.L.
 Sixto Vicente Juárez Neira
 Gerente General
 Ing Químico C.I.P. 10474

*«Valor numérico»=Limite de detección del método, **«Valor Numérico»=Limite de cuantificación del método

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. Los resultados presentados sólo están relacionados a la muestra ensayada. Está terminantemente prohibida la reproducción parcial o total de este documento sin autorización escrita de LAS. Cualquier enmienda o corrección en el contenido del presente documento lo anula.

Los resultados se aplican a la muestra como se recibió

Web: <https://www.laboratoriosanaliticosdelsur.com>

Parque Ind. Río Seco C-1 C. Colorado-Arequipa-Perú (054)443294 - (054)444582





Laboratorios Analíticos del Sur

Laboratorios Analíticos del Sur

Parque Industrial Río Seco C-1 Cerro Colorado - Arequipa - Perú
www.laboratoriosanaliticosdelsur.com

+51 (054) 443294
+51 (054) 444582
+51 958 961 254
+51 958 961 253

INFORME DE ENSAYO LAS01-AG-21-00072

Fecha de emisión: 1/07/2021

Página 3 de 3

Clave generada : AE8583F

MÉTODOS DE ENSAYO UTILIZADOS

Código	Título	Rango de método analítico
*3030	Determinación de pH en aguas SMEWW 22 th Ed. 4500-H pH Part B. Electrode Method.	[- 14] Unidad de pH
*3090	EPA- Method 200.8 Rev. 5.4 Determination of trace elements in water and wastes by Inductively Coupled Plasma-Mass Spectrometry (Metales Totales Ampliado)	(0.019 - 500) ppb
*611	Método de ensayo para la determinación de turbidez en agua	≥ 1.2 - 10000 NTU
*893	Dureza Total (CaCO3) SMCWW - APHA - AWWA - WEF Part 2340 B, 22nd Ed. Hardness. Hardness by Calculation	[0.2 - 24073] mg/L

* Límite de detección † Límite de cuantificación

Fidel informe

Laboratorios Analíticos del Sur E.I.R.L.
Sido Vicente Juárez Neira
Gerente General
Ing. Químico C.I.P. 19434



***Valor numérico**=Límite de detección del método, **Valor Numérico**=Límite de cuantificación del método
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. Los resultados presentados sólo están relacionados a la muestra ensayada. Está terminantemente prohibida la reproducción parcial o total de este documento sin autorización escrita de LAS. Cualquier enmienda o corrección en el contenido del presente documento lo anula.
Los resultados se aplican a la muestra como se recibió

Web: <http://www.laboratoriosanaliticosdelsur.com> Parque Ind. Río Seco C-1 C. Colorado-Arequipa-Perú.(054)443294 - (054)444582



Validar el informe
vía web

Anexo 3. Análisis Estadístico

Tabla 16
Resumen de procesamiento de casos

Casos	Incluido		Excluido		Total	
	N	Porcentaje	N	Porcentaje	N	Porcentaje
Turbidez (UNT) * Tratamiento	288	100.0%	0	0.0%	288	100.0%
Turbidez (UNT) * Dosis (mg/L)	288	100.0%	0	0.0%	288	100.0%

Tabla 17

Comparaciones múltiples – variable turbidez

Prueba	Tratamiento	Diferencia de medias	Desv. Error	Sig.	Intervalo de confianza al 95%		
					Límite inferior	Límite superior	
HSD Tukey	Al2(SO4)3	PAC	-20.8147*	0.6	0.0	-22.737	-18.893
		Zufloc 400	-22.0319*	0.6	0.0	-23.954	-20.110
		Floquat 4440	-108.1342*	0.6	0.0	-110.056	-106.212
		Al2(SO4)3+Zufloc400	4.7494*	0.6	0.0	2.827	6.672
		Al2(SO4)3+Floquat 4440	-105.7558*	0.6	0.0	-107.678	-103.834
		PAC+Zufloc400	-81.7531*	0.6	0.0	-83.675	-79.831
		PAC+Floquat 4440	-42.1533*	0.6	0.0	-44.075	-40.231
	PAC	Al2(SO4)3	20.8147*	0.6	0.0	18.893	22.737
		Zufloc 400	-1.2	0.6	0.5	-3.139	0.705
		Floquat 4440	-87.3194*	0.6	0.0	-89.242	-85.397
		Al2(SO4)3+Zufloc400	25.5642*	0.6	0.0	23.642	27.486
		Al2(SO4)3+Floquat 4440	-84.9411*	0.6	0.0	-86.863	-83.019
		PAC+Zufloc400	-60.9383*	0.6	0.0	-62.860	-59.016
		PAC+Floquat 4440	-21.3386*	0.6	0.0	-23.261	-19.417
	Zufloc 400	Al2(SO4)3	22.0319*	0.6	0.0	20.110	23.954
		PAC	1.2	0.6	0.5	-0.705	3.139
		Floquat 4440	-86.1022*	0.6	0.0	-88.024	-84.180
		Al2(SO4)3+Zufloc400	26.7814*	0.6	0.0	24.859	28.703
		Al2(SO4)3+Floquat 4440	-83.7239*	0.6	0.0	-85.646	-81.802
		PAC+Zufloc400	-59.7211*	0.6	0.0	-61.643	-57.799
		PAC+Floquat 4440	-20.1214*	0.6	0.0	-22.043	-18.199
	Floquat 4440	Al2(SO4)3	108.1342*	0.6	0.0	106.212	110.056
		PAC	87.3194*	0.6	0.0	85.397	89.242

	Zufloc 400	86.1022*	0.6	0.0	84.180	88.024
	Al2(SO4)3+Zufloc400	112.8836*	0.6	0.0	110.962	114.806
	Al2(SO4)3+Floquat 4440	2.3783*	0.6	0.0	0.456	4.300
	PAC+Zufloc400	26.3811*	0.6	0.0	24.459	28.303
	PAC+Floquat 4440	65.9808*	0.6	0.0	64.059	67.903
Al2(SO4)3+Zufloc400	Al2(SO4)3	-4.7494*	0.6	0.0	-6.672	-2.827
	PAC	-25.5642*	0.6	0.0	-27.486	-23.642
	Zufloc 400	-26.7814*	0.6	0.0	-28.703	-24.859
	Floquat 4440	-112.8836*	0.6	0.0	-114.806	-110.962
	Al2(SO4)3+Floquat 4440	-110.5053*	0.6	0.0	-112.427	-108.583
	PAC+Zufloc400	-86.5025*	0.6	0.0	-88.425	-84.580
	PAC+Floquat 4440	-46.9028*	0.6	0.0	-48.825	-44.981
Al2(SO4)3+Floquat 4440	Al2(SO4)3	105.7558*	0.6	0.0	103.834	107.678
	PAC	84.9411*	0.6	0.0	83.019	86.863
	Zufloc 400	83.7239*	0.6	0.0	81.802	85.646
	Floquat 4440	-2.3783*	0.6	0.0	-4.300	-0.456
	Al2(SO4)3+Zufloc400	110.5053*	0.6	0.0	108.583	112.427
	PAC+Zufloc400	24.0028*	0.6	0.0	22.081	25.925
	PAC+Floquat 4440	63.6025*	0.6	0.0	61.680	65.525
PAC+Zufloc400	Al2(SO4)3	81.7531*	0.6	0.0	79.831	83.675
	PAC	60.9383*	0.6	0.0	59.016	62.860
	Zufloc 400	59.7211*	0.6	0.0	57.799	61.643
	Floquat 4440	-26.3811*	0.6	0.0	-28.303	-24.459
	Al2(SO4)3+Zufloc400	86.5025*	0.6	0.0	84.580	88.425
	Al2(SO4)3+Floquat 4440	-24.0028*	0.6	0.0	-25.925	-22.081
	PAC+Floquat 4440	39.5997*	0.6	0.0	37.678	41.522
PAC+Floquat 4440	Al2(SO4)3	42.1533*	0.6	0.0	40.231	44.075
	PAC	21.3386*	0.6	0.0	19.417	23.261
	Zufloc 400	20.1214*	0.6	0.0	18.199	22.043
	Floquat 4440	-65.9808*	0.6	0.0	-67.903	-64.059
	Al2(SO4)3+Zufloc400	46.9028*	0.6	0.0	44.981	48.825
	Al2(SO4)3+Floquat 4440	-63.6025*	0.6	0.0	-65.525	-61.680
	PAC+Zufloc400	-39.5997*	0.6	0.0	-41.522	-37.678

Se basa en las medias observadas.

El término de error es la media cuadrática(Error) = 7.080.

*. La diferencia de medias es significativa en el nivel 0.05.

Anexo 4. Standard Test Method for Turbidity of Water



Designation: D 1889 – 00

An American

Standard Test Method for Turbidity of Water¹

This standard is issued under the fixed designation D 1889; the number immediately following the designation indicates the year of original adoption or, in the case of revision, the year of last revision. A number in parentheses indicates the year of last reapproval. A superscript epsilon (ϵ) indicates an editorial change since the last revision or reapproval.

This standard has been approved for use by agencies of the Department of Defense.

1. ALCANCE

- 1.1 Este método de ensayo permite determinar la turbidez en agua y agua residual.
- 1.2 Este método de ensayo es aplicable para medir turbidez en el rango de 1.0 a 40 unidades nefelométricas de turbidez (NTU).
- 1.3 Se pueden medir rangos de turbidez más altos usando este método de ensayo, por dilución en serie hasta lograr el rango aplicable.
- 1.4 Este método de ensayo fue probado en agua potable municipal y descargas de efluentes finales. Es responsabilidad del usuario asegurar la validez de este método de ensayo para aguas de matrices no probadas.
- 1.5 Este estándar no tiene el propósito de mencionar todas las actividades de seguridad, si hay algunas asociadas con su uso. Es responsabilidad del usuario establecer las prácticas de seguridad y salud apropiadas y determinar la aplicabilidad de limitaciones regulatorias antes de su uso. Declaraciones de peligros específicos son dadas en la Nota 5. Refiérase todo el material a la hoja de datos de seguridad para preparar o para usar los estándares y antes de calibrar o optimizar el equipo con el mantenimiento.

12. PROCEDIMIENTO

- 12.1 Estandarice el instrumento con un valor (NTU) del patrón de turbidez en el rango de medición de interés.
 - 12.1.1 Permita que el equipo se estabilice según las instrucciones del fabricante.
 - 12.1.2 Enjuague una celda marcada (con bolígrafo de punta de felpa), limpia, seca y libre de ralladuras con un patrón de turbidez (AEPA-I o Formazin) en el rango de interés. Llene la celda con este patrón de turbidez. Limpie el exterior de la celda.
 - 12.1.3 Coloque la celda llena, limpia y marcada, y lea el valor. Será una lectura NTU para tipos fotoeléctrico y una lectura de disco para nefelómetro tipos ranura.
 - 12.1.4 A partir de la curva de calibración para este rango del instrumento, determine la lectura requerida para el patrón de turbidez en la celda.
 - 12.1.4.1 Mueva el ajuste de calibración para dar al nefelómetro fotoeléctrico la lectura NTU requerida.

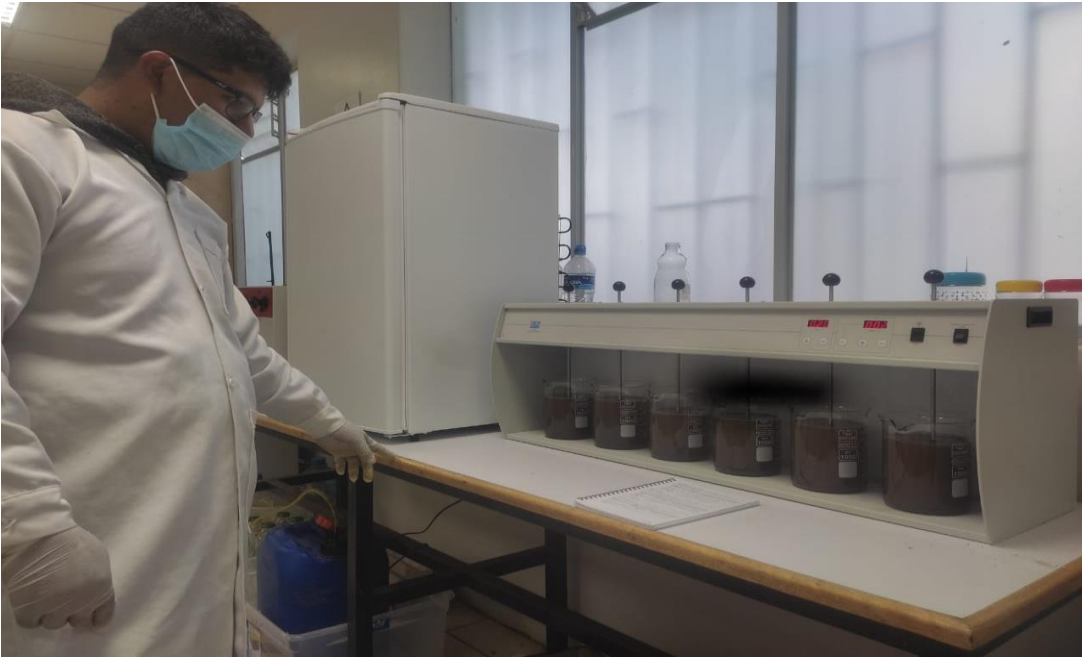
Anexo 5. Panel fotográfico



Anexo 5.1 Lugar de la toma de agua.



Anexo 5.2 Test de jarras marca VELP Scientifica modelo JLT6 Serie 35387



Anexo 5.3 Uso del test de jarras para el tratamiento de aguas marca VELP Científica modelo JLT6 Serie 35387.



Anexo 5.4 Medición del Potencial de hidrogeno del agua con el peachimetro MI151 marca milwauke.



Anexo 5.5 Turbidímetro portátil VELP Scientifica TB1



Anexo 5.6 Laboratorio de Saneamiento Ambiental - Universidad Peruana Unión CJ.

Anexo 6. Carta de consentimiento

Juliaca, 2 de enero del 2019

Carta de consentimiento

Yo, David Inofuente Estrada, identificado con el numero DNI 02534853 Gerente de la empresa Minera SAN JOSE DE QUISPIPATA II S.M.R.L autorizo las instalaciones de la concesiones mineras para realizar su trabajo de investigación titulada “Tratamiento de aguas de los relaves de la mina artesanal San Jose de Quispipata II con coagulante químico mas floculante (catiónico - anionico)” al Bachiller Eric Danny Inofuente Mamani con código universitario 201421123.

Todos los datos que fueran vertidos a través del estudio tendrá mi consentimiento para ser usados únicamente a partir de la presente carta.



SAN JOSE DE QUISPIPATA II S.M.R.L.
David Inofuente Estrada
GERENTE

Atentamente