

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CALLAO

FACULTAD DE INGENIERÍA AMBIENTAL Y DE RECURSOS
NATURALES

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL Y DE
RECURSOS NATURALES



**“APLICACIÓN DEL PROCESO DE COAGULACIÓN-
FLOCULACIÓN CON FOSFATO DIPOTÁSICO PARA EL
TRATAMIENTO DE DRENAJES ÁCIDOS DE MINA EN LA
QUEBRADA VISO - DISTRITO DE SAN MATEO, 2022.”**

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

BACH. HUAMAN BORJA LIZBEL MARILÚ

BACH. ROMERO AQUINO ROSA YOLANDA

ASESOR: Mg. ANARCAYA TORRES DAN SKIPPER

Ing. DAN ANARCAYA TORRES

Callao, 2022

PERÚ



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CALLAO
FACULTAD DE INGENIERIA AMBIENTAL Y DE RECURSOS NATURALES
(Resolución N° 019-2021-CU del 20 de enero de 2021)



II CICLO TALLER DE TESIS

ANEXO 3

ACTA N° 006-2022 DE SUSTENTACIÓN DE TESIS CON CICLO DE TESIS PARA LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO AMBIENTAL Y DE RECURSOS NATURALES.

LIBRO 01 FOLIO No. 32 ACTA N°006-2022 DE SUSTENTACIÓN DE TESIS CON CICLO DE TESIS PARA LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO AMBIENTAL Y DE RECURSOS NATURALES.

A los 16 días del mes de julio del año 2022, siendo las 13:08 horas, se reunieron, en la sala meet: <https://meet.google.com/pdz-iucr-pbo>, el **JURADO DE SUSTENTACION DE TESIS** para la obtención del **TÍTULO** profesional de Ingeniero Ambiental y de Recursos Naturales de la Facultad de Ingeniería Ambiental y de Recursos Naturales, conformado por los siguientes docentes ordinarios de la Universidad Nacional del Callao:

Mg.	Edgar Zárate Sarapura	: Presidente
MsC.	María Antonieta Gutiérrez Díaz	: Secretaria
Ing.	Godofredo Teodoro León Ramírez	: Vocal
Mtro.	Dan Skipper Anarcaya Torres	: Asesor

Se dio inicio al acto de sustentación de la tesis de las Bachilleres Lizbel Marilú Huaman Borja y Rosa Yolanda Romero Aquino, quienes habiendo cumplido con los requisitos para optar el Título Profesional de Ingeniero Ambiental y de Recursos Naturales, sustentan la tesis titulada: **"APLICACIÓN DEL PROCESO DE COAGULACIÓN-FLOCULACIÓN CON FOSFATO DIPOTÁSICO PARA EL TRATAMIENTO DE DRENAJES ÁCIDOS DE MINA EN LA QUEBRADA VISO - DISTRITO DE SAN MATEO, 2022"**, cumpliendo con la sustentación en acto público, de manera no presencial a través de la Plataforma Virtual, en cumplimiento de la declaración de emergencia adoptada por el Poder Ejecutivo para afrontar la pandemia del Covid19, a través del D.S. N° 044-2020-PCM y lo dispuesto en el DU N° 026-2020 y en concordancia con la Resolución del Consejo Directivo N°039-2020-SUNEDU-CD y la Resolución Viceministerial N° 085-2020-MINEDU, que aprueba las "Orientaciones para la continuidad del servicio educativo superior universitario";

Con el quórum reglamentario de ley, se dio inicio a la sustentación de conformidad con lo establecido por el Reglamento de Grados y Títulos vigente. Luego de la exposición, y la absolución de las preguntas formuladas por el Jurado y efectuadas las deliberaciones pertinentes, acordó: Dar por Aprovecho con la escala de calificación cualitativa Bueno y calificación cuantitativa 14, la presente Tesis, conforme a lo dispuesto en el Art. 27 del Reglamento de Grados y Títulos de la UNAC, aprobado por Resolución de Consejo Universitario N° 099-2021-CU del 30 de junio de 2021.


Se dio por cerrada la Sesión a las 14:04 horas del día sábado 16 de julio del año en curso.



Presidente



Secretaria



Vocal



Asesor

DEDICATORIA

A Dios por la fortaleza que me brindó para culminar esta investigación. A mis padres por apoyo incondicional a lo largo de toda la carrera universitaria y a mis hermanos, quienes con su ejemplo me motivaron a continuar y cumplir mis metas.

Bach. Rosa Yolanda Romero Aquino

Dedicado a Dios, a mi familia que me apoyaron en todo el proceso de desarrollo de la presente tesis.

Bach. Lizbel Marilú Huaman Borja

AGREDECIMIENTO

Agradecimiento a nuestra familia en especial a nuestros padres, por brindarnos todo su apoyo incondicional en el desarrollo profesional. A Dios por la fortaleza en la culminación de nuestra investigación.

A nuestro asesor. Ing. Dan Anarcaya por todo el apoyo en el proceso de elaboración de nuestra tesis.

ÍNDICE

DEDICATORIA	4
AGREDECIMIENTO	5
LISTA DE TABLAS	9
LISTA DE FIGURAS	10
RESUMEN	12
ABSTRACT	13
INTRODUCCIÓN	14
I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	15
1.1. Descripción de la realidad problemática	15
1.2. Formulación del problema	17
1.2.1. Problema general	17
1.2.2. Problemas específicos	17
1.3. Objetivos	17
1.3.1. Objetivo general	17
1.3.2. Objetivos específicos	18
1.4. Limitantes de la investigación	18
1.4.1. Limitante teórica	18
1.4.2. Limitante espacial	18
1.4.3. Limitante temporal	18
II. MARCO TEÓRICO	19
2.1. Antecedentes	19
2.1.1. Antecedentes internacionales	19
2.1.2. Antecedentes Nacionales	21
2.2. Bases teóricas	24
2.2.1. Drenajes ácidos	24
2.2.2. Parámetros físico químico	25
2.2.3. pH	25
2.2.4. Turbidez	25
2.2.5. Conductividad eléctrica	26
2.2.6. Oxígeno disuelto	26
2.2.7. Proceso de coagulación/Floculación	26
2.2.8. Dosis optima de coagulante	27
2.2.9. Cantidad de fosfato dipotásico	27

2.2.10. Velocidad de agitación

27

2.3. Conceptual	27
2.3.1. Coagulación/Floculación	27
2.3.2. Coagulante	28
2.3.3. Floculante	28
2.3.4. Coagulación floculación usando fosfato.....	28
2.3.5. Enfoque ecosistémico	28
2.3.6. Normativa legal.....	29
2.4. Definición de términos básicos	31
III. HIPOTESIS Y VARIABLES	34
3.1. Hipótesis	34
3.1.1. Hipótesis general.....	34
3.1.2. Hipótesis específica.....	34
3.2. Definición conceptual de variables.....	35
3.2.1. Operacionalización de variables	36
IV. DISEÑO METODOLÓGICO	37
4.1. Tipo y diseño de investigación	37
4.1.1. Tipo de investigación.....	37
4.1.2. Diseño de investigación	37
4.2. Método de investigación	41
4.3. Población y muestra.....	41
4.3.1. Población.....	41
4.3.2. Muestra.....	42
4.4. Lugar de estudio y periodo desarrollado.....	42
4.5. Técnicas e instrumentos para la recolección de la información	42
4.6. Análisis y procesamientos de datos.....	44
4.6.1. Descriptivo.....	44
4.6.2. Inferencial.....	44
V. RESULTADOS	45
5.1. Resultados descriptivos	45
5.1.1. Resultados de las Caracterización drenaje acido de mina de la quebrada Viso, Distrito de San Mateo, 2022.....	45
5.1.2. Caracterización descriptivos del drenaje acido de mina de la quebrada Viso, Distrito de San Mateo, 2022.	45
5.1.3. Análisis cualitativo de la remoción de metales pesados en las muestras.....	49

5.1.4. Resultados descriptivos de los experimentos	57
5.2. Resultados Inferenciales.....	58
5.2.1. Prueba estadística de normalidad de residuales	58
5.2.2. Prueba de hipótesis estadística en el proceso de coagulación-floculación ANOVA	66
5.2.3. Estadísticos de bondad en el proceso proceso de coagulación-floculación	69
5.2.4. Gráficas de efectos principales del proceso de coagulación-floculación	74
5.2.5. Gráficas de contorno del proceso de coagulación-floculación	77
VI. DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....	82
6.1. Contrastación y demostración de la hipótesis con los resultados	82
6.1.1. Contrastación con la hipótesis general	82
6.1.2. Contrastación con la hipótesis específica 1	82
6.1.3. Contrastación con la hipótesis específica 2	83
6.2. Contrastación de los resultados con otros estudios similares	83
6.2.1. Para el tratamiento de drenajes ácidos de mina en la quebrada viso - distrito de San Mateo mediante aplicación del proceso de coagulación-floculación con fosfatos	83
6.2.3. Para el tratamiento de drenajes ácidos de mina en la quebrada viso - distrito de San Mateo mediante la dosis óptima de coagulante en el proceso de coagulación-floculación	84
6.2.4. Para el tratamiento de drenajes ácidos de mina en la quebrada viso - distrito de San Mateo mediante la velocidad de agitación en el proceso de coagulación- floculación.	84
6.3. Responsabilidad ética	85
CONCLUSIONES.....	86
RECOMENDACIONES.....	87
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	88
ANEXOS.....	94

LISTA DE TABLAS

Tabla 1 <i>Definición conceptual de las variables</i>	35
Tabla 2 <i>Definición operacional de las variables</i>	36
Tabla 3 <i>Factores y niveles del diseño experimental</i>	40
Tabla 4 <i>Matriz de arreglo experimental con diseño factorial múltiples niveles</i> . 40	
Tabla 5 <i>Condiciones estándares del proceso del test de Jarras</i>	41
Tabla 6 <i>Técnicas analíticas e instrumentos</i>	42
Tabla 7 <i>Caracterización fisicoquímicas de los drenajes ácidos de mina</i>	45
Tabla 8 <i>Resultados del potencial de hidrógeno (pH)</i>	46
Tabla 9 <i>Resultados de la turbidez y su % de reducción</i>	47
Tabla 10 <i>Resultados de la conductividad eléctrica (C.E.)</i>	48
Tabla 11 <i>Resultados de la oxígeno disuelto (O.D)</i>	49
Tabla 12 <i>Resultados da análisis químico por fluorescencia de rayos X</i>	53
Tabla 13 <i>Resultados descriptivos experimentales de los diferentes tratamientos factoriales</i>	57
Tabla 14 <i>Análisis de varianza (ANOVA) del pH</i>	67
Tabla 15 <i>Análisis de varianza (ANOVA) de la remoción % de turbidez</i>	68
Tabla 16 <i>Análisis de varianza (ANOVA) de C.E</i>	68
Tabla 17 <i>Análisis de varianza (ANOVA) del O.D</i>	69
Tabla 18 <i>Resumen de los estadísticos de bondad del pH</i>	69
Tabla 19 <i>Resumen de los estadísticos de bondad de la remoción % de turbidez</i>	70
Tabla 20 <i>Resumen de los estadísticos de bondad del C.E</i>	71
Tabla 21 <i>Resumen de los estadísticos de bondad del O.D</i>	73

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 <i>Límites Máximos Permisibles para los efluentes líquidos de Actividades Minero - Metalúrgicas</i>	31
Figura 2 <i>Diagrama de los procedimientos experimentales</i>	38
Figura 3 <i>Espectroscopia de Energía Dispersiva (EDS) muestras de sin di-fosfato (DPHP)</i>	50
Figura 4 <i>Espectro en metales según su ubicación con relación a la energía (keV)</i>	51
Figura 5 <i>suma de las intensidades de los 3 picos de cada elemento</i>	52
Figura 6 <i>Resultados del precipitado de la combinación del agua acida de drenaje acido de mina cuando interactúa con el Fosfato dipotásico</i>	54
Figura 7 <i>Resultados del precipitado de la combinación del agua acida de relavas mineros cuando interactúa con el Fosfato di potásico</i>	56
Figura 8 <i>Gráfica de probabilidad normal de residuos de pH.</i>	58
Figura 9 <i>Gráfica de probabilidad normal de residuos remoción % de turbidez</i>	59
Figura 10 <i>Gráfica de probabilidad normal de residuos C.E</i>	60
Figura 11 <i>Gráfica de probabilidad normal de residuos O.D</i>	61
Figura 12 <i>Diagrama de Pareto de pH</i>	62
Figura 13 <i>Diagrama de Pareto de la remoción % de turbidez.</i>	63
Figura 14 <i>Diagrama de Pareto de C.E</i>	64
Figura 15 <i>Gráfica de probabilidad normal de residuos O.D</i>	65
Figura 16 <i>Gráfica de efectos principales del pH</i>	74
Figura 17 <i>Gráfica de efectos principales de la remoción % de turbidez.</i>	75
Figura 18 <i>Gráfica de efectos principales de la C.E</i>	75
Figura 19 <i>Gráfica de efectos principales del O.D.</i>	76
Figura 20 <i>Gráfica de contorno del pH vs tipo de Coagulante y Velocidad de agitación</i>	77
Figura 21 <i>Gráfica de contorno de la remoción % de turbidez vs tipo de Coagulante y Velocidad de agitación</i>	78
Figura 22 <i>Gráfica de contorno de la C.E vs tipo de Coagulante y Velocidad de agitación</i>	79

Figura 23 *Gráfica de contorno del O.D vs tipo de Coagulante y Velocidad de agitación*.....80

RESUMEN

La presente tesis tiene como objetivo principal determinar como la aplicación del proceso de coagulación-floculación con fosfato dipotásico trata los drenajes ácidos de mina en la quebrada de Viso- distrito de San Mateo mediante la prueba de jarras utilizando como coagulante fosfato dipotásico a nivel de laboratorio. La investigación tuvo 3 etapas: la primera etapa consistió en la caracterización del drenaje ácido de mina, la segunda etapa se realizaron los tratamientos con la prueba de jarras y la tercera etapa se basó en la caracterización post tratamiento de los drenajes ácidos de mina. Los resultados en los tratamientos, fueron validados usando métodos estadísticos como el Análisis de Varianza, (ANOVA) y el Método Tukey, con el objetivo de evaluar nuestra hipótesis. El experimento a nivel laboratorio tuvo 18 tratamientos con 3 repeticiones para cada uno. Se llenaron 6 vasos precipitados con 500 ml de drenaje ácido de mina, luego se agregaron a cada uno diferentes dosis de fosfato dipotásico (100 PPM, 500 PPM, 1000 PPM, 1500 PPM, 2000 PPM, 3000 PPM) y se sometieron a una agitación con velocidades de 50rpm, 150rpm y 250rpm para cada dosis añadida al drenaje ácido de mina durante 20 min ;posteriormente se esperó la sedimentación durante 4 h para realizar la medición de los parámetros físico-químico de las muestras tratadas. Los resultados antes del tratamiento mostraron valores de pH 3.3, turbidez 137 NTU, conductividad eléctrica 3.7 mS/cm, oxígeno disuelto 5.81 ppm. Se concluye que los drenajes ácidos de mina a mayor dosis de fosfato dipotásico mejoran las características de las DAM y que la velocidad de agitación de 50 RPM tuvo relevancia en la reducción de turbidez hasta en un 98,87%.

Palabras clave: Drenaje ácido de mina, coagulación, floculación, decantación, y velocidades.

ABSTRACT

The main objective of this thesis is to determine how the application of the coagulation-flocculation process with dipotassium phosphate treats the acid mine drainage in the Viso creek- San Mateo district through the jar test using dipotassium phosphate as a coagulant at the laboratory level. . The investigation had 3 stages: the first stage consisted of the characterization of the acid mine drainage, the second stage the treatments were carried out with the jar test and the third stage was based on the post-treatment characterization of the acid mine drainage. The results in the treatments were validated using statistical methods such as the Analysis of Variance (ANOVA) and the Tukey Method, in order to evaluate our hypothesis. The experiment at the laboratory level had 18 treatments with 3 repetitions for each one. 6 beakers were filled with 500 ml of acid mine drainage, then different doses of dipotassium phosphate (100 PPM, 500 PPM, 1000 PPM, 1500 PPM, 2000 PPM, 3000 PPM) were added to each one and subjected to stirring. with speeds of 50rpm, 150rpm and 250rpm for each dose added to the acid mine drainage for 20 min; later, sedimentation was waited for 4 h to carry out the physical-chemical analysis. The results before treatment showed pH values 3.3, turbidity 137 NTU, electrical conductivity 3.7 mS/cm, dissolved oxygen 5.81 ppm. It is concluded that acid mine drainage at higher doses of dipotassium phosphate improve the characteristics of AMD and that the speed of agitation was not relevant in the treatment of acid mine drainage.

Keywords: Acid mine drainage, coagulation, flocculation, settling, and velocities.

INTRODUCCIÓN

Los drenajes ácidos de mina son un problema importante en la contaminación del agua, es decir, sin un manejo ambiental apropiado y certificado por la autoridad competente son un riesgo permanente y potencial para la salud humana, el medio ambiente y la propiedad.

Es por ello que en esta investigación se plantea como objetivo aplicar el proceso de coagulación-floculación usando fosfato dipotásico para el tratamiento de drenajes ácidos de mina y darles las características adecuadas para su posterior vertimiento en el cuerpo receptor.

El proceso de coagulación - floculación es importante y eficaz para la remoción de partículas coloidales suspendidas del agua, como también ayuda a remover la turbiedad, color, bacterias y virus, entre otros.

La metodología para el tratamiento de drenajes ácidos de mina consistió en la caracterización del drenaje ácido luego se realizaron los tratamientos con la prueba de jarras y por último la caracterización post tratamiento de los drenajes ácidos de mina. Los resultados obtenidos nos muestran remoción significativa de turbidez a una velocidad de 50 RPM y una dosificación de 1000 PPM, así como también metales pesados Cu y Zn, y un PH óptimo de 6,3 en 1000 PPM valor dentro del rango permitido del LMP para descarga de efluentes según el D.S 010- 2010 – MINAM.

I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. Descripción de la realidad problemática

Los drenajes ácidos de mina (DAM) son uno de los grandes problemas ambientales que enfrenta hoy la industria minera, estos son producto de la oxidación de minerales sulfurosos, proceso que ocurre aún tras el cierre y abandono de las minas. La problemática de los DAM ha suscitado en el mundo importantes investigaciones en torno a su identificación y es el análisis de la reflectancia espectral con el apoyo de muestreos de aguas y de sedimentos, la metodología más usada en países como Estados Unidos y España para su identificación y cartografía. En Colombia, sin embargo, hasta ahora no se han implementado metodologías que permitan la estimación de las fuentes hídricas con problemas de acidez generados por la extracción mineral (Montoya Cano, 2015).

Muchos de los métodos utilizados para remediar el DAM tienen una implementación limitada debido a su bajo rendimiento, imprecisiones de diseño, dificultad para comprender su funcionalidad, altos costos, uso de sustancias químicas peligrosas, agotamiento de los recursos naturales y generación de más desechos (Moodley et al., 2018).

En México, la minería ha sido una de las actividades económicas más importantes, a pesar de que ofrece grandes beneficios para la economía del país, también es una fuente de contaminación ambiental que genera una gran cantidad de residuos (jales, relaves o colas). El drenaje ácido de mina (DAM) es uno de los desafíos ambientales más importantes que enfrenta la industria minera en todo el mundo, debido a que el agua que se infiltra a través de los minerales de sulfuro metálico tiene valores bajos de pH, con alto contenido de metales y metaloides. Los residuos de las plantas de procesamiento de minerales y las filtraciones de presas de relaves se vuelven ácidos, y esta solución permite que los metales se transporten en sus formas solubles, lo cual puede alterar la calidad del agua, el suelo y la biota (Salas Urviola et al., 2020).

En el Perú de acuerdo a su condición geológica natural y la actividad minera extractiva desarrollada principalmente en cabeceras de cuencas alto andinas, está expuesto a procesos de generación de drenaje ácido que impactan directamente en la movilización de diversos contaminantes (metales y no-metales). Las reacciones catalizadas por microorganismos tienen un impacto directo en los procesos de generación ácida, así como en el desarrollo de alternativas de tratamiento (Aparicio Ilazaca et al., 2014).

En nuestro país el tratamiento más utilizado son los convencionales para la neutralización y precipitación de metales de los drenajes ácidos. El drenaje ácido de mina, caracterizado por un pH bajo y concentraciones elevadas de iones de metales pesados, causa graves daños al medio ambiente. En este estudio, se evaluó la viabilidad de un nuevo adsorbente de biomezcla orgánica para eliminar iones metálicos Fe^{3+} , Zn^{2+} , Cu^{2+} y Mn^{2+} del drenaje de mina de ácido (Levio et al., 2021). El drenaje ácido de mina (AMD), una fuente de contaminación ambiental considerable en todo el mundo, ha impulsado el desarrollo de muchas estrategias para paliar sus efectos. Desafortunadamente, los métodos disponibles para el tratamiento reparador de AMD y el daño que causa son generalmente costosos, laboriosos y lentos. Además, tales tratamientos pueden dar lugar a una contaminación secundaria (Tu et al., 2022). Esto empeorará dada la insuficiente participación del estado peruano al momento de fiscalizar y exigir a las compañías mineras, la implementación de tecnologías adecuadas y óptimas para tratar las aguas residuales, por lo cual, es muy difícil que los impactos generados por las actividades minero-metalúrgicas sean mínimos a los ecosistemas debido a la carencia de sistemas tecnológicos ecoeficientes para los cuidados de los recursos como agua, suelo, aire, fauna y flora.

La larga tradición minera de Perú y su contribución de la economía peruana, produce aguas de drenaje rojizas y la lixiviación de altas concentraciones de metales, por lo cual se considera a estos drenajes como una forma de contaminados no solo se limitan a los relaves, pues también son generados por rocas de desecho y escombros subterráneos excavados en túneles que contienen minerales, que se conocen libremente como drenaje

ácido de mina (DAR). los drenajes ácidos de mina además de un bajo pH contienen una gran cantidad de sólidos en suspensión con un alto contenido en sulfato y metales (Fe, Al, Mn, Zn, Cu, Pb, Hg, Cd, Ni), del orden de varios cientos de miligramos por litro, los cuales en altas concentraciones son nocivos para la actividad biológica, contaminan los cursos de aguas y pueden llegar a causar daños a las estructuras construidas por el hombre (Pérez Falcón et al., 2020).

El uso de Fosfato como Coagulante/Floculante a determinadas condiciones de operación del proceso podría tratar el efluente generado por pasivos ambientales mineros, removiendo la materia suspendida y clarificando el agua. Este proyecto contribuirá con el control drenaje ácido de en las minas ubicadas en el Perú en tal sentido nuestra propuesta es implementar programas de muestreo, programas de pruebas, así como la selección e implementación de medidas de control cada asiento minero.

1.2. Formulación del problema

1.2.1. Problema general

¿De qué manera la aplicación del proceso de coagulación/floculación con fosfato dipotásico trata los drenajes ácidos de mina en la quebrada Viso - distrito de San Mateo, 2022?

1.2.2. Problemas específicos

- ¿De qué manera la dosificación de fosfato dipotásico trata los drenajes ácidos de mina?
- ¿De qué manera la velocidad de agitación trata los drenajes ácidos de mina?

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo general

Determinar cómo la aplicación del proceso coagulación-floculación con fosfato dipotásico trata los drenajes ácidos de mina en la quebrada Viso - distrito de San Mateo, 2022.

1.3.2. Objetivos específicos

- Determinar cómo la dosificación de fosfato dipotásico trata los drenajes ácidos de mina.
- Determinar cómo la velocidad de agitación trata los drenajes ácidos de mina.

1.4. Limitantes de la investigación

El presente estudio presenta las siguientes limitantes.

1.4.1. Limitante teórica

Las investigaciones acerca de cómo se comporta el fosfato en el tratamiento de drenajes de mina, se encontró poca información en la literatura acerca de este tema.

1.4.2. Limitante espacial

Para la aplicación de la tesis la limitación considerable es la distancia del drenaje ácido de la mina, ya que para realizar los experimentos se trasladó la muestra al laboratorio de la facultad de Ingeniería Ambiental y de Recursos Naturales-UNAC.

1.4.3. Limitante temporal

La investigación es de un corte transversal, el acceso al drenaje ácido de mina solo fue en temporada de estiaje, lo que implicaría una cierta variación en la caracterización del efluente.

II. MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes

En la literatura científica se han encontrado antecedentes sobre la aplicación del proceso de coagulación/floculación con diversas sustancias químicas, para el tratamiento de drenajes ácidos de mina, sin embargo, no se ha encontrado tratamiento con fosfatos.

2.1.1. Antecedentes internacionales

Masindi et al. (2022) en su artículo titulado “*co-tratamiento de drenaje ácido de minas (dam) y efluentes de aguas residuales municipales (arm): énfasis en el destino y la división de contaminantes químicos*” tuvo como objetivo examinar de forma conjunta el tratamiento de las aguas residuales municipales y el drenaje ácido de mina. Para ello se trabajó a las siguientes condiciones: 15 minutos de tiempo de contacto, relación de líquido a líquido de 1: 7 DAM a ARM, y temperatura ambiente y pH. Como resultado se obtuvo que el contenido de metales del drenaje ácido de mina se redujo en porcentajes mayores al 95% (Al, Fe, Mn y Zn) junto con el sulfato (~ 92%), mientras que el contenido de fosfato del agua residual municipal prácticamente se eliminó ($\geq 99\%$). Se concluye en general que el tratamiento conjunto de DAM y ARM parece ser factible, pero no práctico debido al volumen excesivo de ARM que se requiere para lograr la calidad de tratamiento deseada. Este estudio nos permite conocer que el co-tratamiento de DAM y efluentes ARM se requiere grandes volúmenes de ARM para reducir metales Al, Fe, Mn Y Zn del DAM. Esta investigación presenta la precipitación de los componentes de dos aguas residuales, el fosfato proveniente de las aguas domésticas y los metales pesados provenientes del DAM, lo que confiere resultados similares para poder contrastarlo en nuestra investigación.

Spellman et al. (2020) en su artículo titulado “*reducción del drenaje de la mina circunneutral mediante el tratamiento conjunto con aguas residuales municipales secundarias*”, tuvo como objetivo examinar el impacto del co-tratamiento combinando un drenaje de mina de ácido suave en varias proporciones con aguas residuales municipales, seguido de sedimentación

de lodos y análisis comparativo de sobrenadantes utilizando una variedad de parámetros de calidad del agua de efluentes. Para ello se combinaron el sistema de carbonato y el modelado de isotermas de adsorción para dilucidar los mecanismos subyacentes a los resultados experimentales. Los resultados muestran que la adición de drenaje ácido de la mina disminuyó el efluente de aguas residuales municipales PO_4^{3-} concentraciones inferiores a 0,2 mg / L con una eliminación superior al 97%, lo que demuestra que el tratamiento conjunto es una solución alternativa para la eliminación de nutrientes de las aguas residuales municipales. De la misma forma que en la investigación anterior se presenta la precipitación de los componentes de dos aguas residuales, el fosfato proveniente de las aguas residuales municipales y los metales pesados provenientes del DAM, lo que confiere resultados similares para poder contrastarlo en nuestra investigación.

Delgado et al. (2018) en su artículo titulado "*sistema de tratamiento para mejorar la calidad de aguas de drenaje de pasivos ambientales mineros en la cuenca del río puyango (ecuador)*", tuvo como objetivo implementar un método Sustrato alcalino disperso (DAS por sus siglas en inglés), para tratar efluentes ácidos de pasivos ambientales mineros en la cuenca del río Puyango (Ecuador). Para ello se implementó a escala de laboratorio un sistema de tratamiento. Dos columnas (por duplicado), una compuesta con reactivo cálcico (DAS-Ca; 25% de arena caliza tamaño <2mm con pureza del 94% y 75% v/v de virutas de madera) y otra con reactivo magnesio (DAS-Mg; MgO de tamaño de partícula 0,15 mm y virutas de madera al 87,5% v/v, se configuraron con una capa de 2,5 cm de grava de cuarzo "Arenas del Pindo" (3-5 mm de diámetro) como dren, una capa de 15 cm de material reactivo y 10 cm de agua sobrenadante. Los resultados mostraron importantes mejoras en la calidad de los drenajes tras 7 meses de tratamiento, con valores por debajo de los estándares de calidad internacionales para la mayoría de los contaminantes a excepción de sulfatos, Zn y Mn. Este estudio nos permitirá contrastar los resultados de utilizar floculantes convencionales con el fosfato en nuestra investigación.

Jordán Santamaría, (2018) en su tesis titulada "*sistema de coagulación-floculación a escala laboratorio y su eficiencia en el tratamiento*

de aguas residuales provenientes del proceso de preparación de pega para la elaboración de zapatos de cuero” tuvo como objetivo Evaluar la eficiencia del sistema de coagulación-floculación a escala laboratorio para el tratamiento de las aguas residuales provenientes del proceso de preparación de pega, para la elaboración de zapatos de cuero. Se muestra la investigación del tratamiento de aguas residuales y la metodología técnica desarrollada en su clarificación, el enfoque se da por el análisis del problema, que involucra las aguas residuales industriales que se presentan en el área de Preparación de Pega, además se señala las directrices que involucran el estudio teórico-experimental. Mediante la encuesta se amplían los resultados cualitativos de la hipótesis que se plantea. Los métodos aplicados en el Área de Preparación de Pega de la Planta Calzado Escolar de la Empresa Plasticaucho Industrial se utilizan para la caracterización de sus aguas residuales y se encuentran valores de Demanda Biológica de Oxígeno (DBO) de 4891,97 y de Demanda Química de Oxígeno (DQO) de 10780. Los resultados cuantitativos señalan la concentración y tipo de reactivos coagulantes como PRP 80 (4000ppm) y floculantes como el PHP 20 PLUS (12ppm), que se aplican a las aguas residuales para obtener un 99.7% de remoción de turbidez, como paso a la propuesta de los controles adecuados y mejoramiento del medio ambiente; mediante la implementación de una Planta de tratamiento de aguas, la secuencia metodológica ambiental es aplicada para el tratamiento de efluentes se presentan análisis físico químicos con valores fuera del rango establecido.

La planta de tratamiento se basa en la adición de reactivos que permitan clarificar el agua residual y se concluye que el método propuesto implica una eficiencia económica en comparación al tratamiento actual.

2.1.2. Antecedentes Nacionales

Azabache Liza (2017) En su tesis titulada “*efecto del proceso de coagulación floculación, en la remoción del hierro (ii), presente en las aguas de la quebrada Juninguillo, moyobamba*”, Tuvo como objetivo principal: Evaluar el efecto del proceso de coagulación floculación en la remoción del hierro (II) presente en las aguas de la quebrada Juninguillo, Moyobamba. En la presente investigación, se evaluó el efecto que ejerce la velocidad y dosis

aplicada de sulfato de aluminio $Al_2(SO_4)_3$, así como la ejercida por el cloruro férrico $FeCl_3$ -floculante.

Para la obtención de los datos experimentales, se utilizó un equipo de "Test de Jarras", realizando pruebas a 06 niveles de dosis aplicada (1, 2, 3, 4, 5 y 6 mL), y a 05 niveles de velocidad de agitación (100, 150, 200, 250 y 300 r.p.m.). Los resultados reportan que las mejores condiciones, con Sulfato de Aluminio, se lograron con una dosis de 120 mg/L y a una velocidad de 100 r.p.m. de mezcla rápida y 25 r.p.m. de mezcla lenta, disminuyendo el color inicial de 213 UPC hasta 10 UPC, una turbidez inicial de 66.6 hasta 1.1 UNT, una concentración inicial de Fe (II) de 1.37 hasta 0.05 mg/L y una disminución del pH de 6.6 hasta 4.20. Además, usando una dosis de 80 mg/L cloruro férrico- floculante, demuestran que la velocidad de agitación adecuada es de 200 r.p.m. de mezcla rápida y 50 r.p.m. de mezcla lenta, pues ha permitido reducir el color hasta 12 UPC, la turbidez hasta 11.30, la concentración de hierro hasta 0.20 ppm, observándose una disminución del pH hasta 6.50. La evaluación estadística demuestra que, si hay diferencia significativa cuando se utiliza al sulfato de aluminio, así como cuando se utiliza cloruro férrico-floculante, por lo cual su utilización, si tiene efecto en la reducción de la concentración de Fe (II). Esta investigación nos permitirá comparar el efecto que tiene los fosfatos respecto a los floculantes convencionales utilizados hoy en la remoción de metales pesados.

Bendezu y Capcha (2021) En su tesis titulada "*remoción de hierro y plomo en aguas ácidas de la minera julcani con coagulante opuntia floccosa*" Tuvo como objetivo principal determinar el tiempo de coagulación y la concentración del coagulante *Opuntia floccosa* La metodología para la remoción de los metales tuvo dos etapas: Etapa I, consistió en la preparación del coagulante natural del cactáceo realizando los siguientes procesos como secado, molido y tamizado para la obtención de un producto pulverizado. Etapa II, comprendió en el uso del equipo de Prueba de Jarras para la determinación de remoción de Hierro y Plomo, donde las condiciones de coagulación fueron a 100 rpm en tiempos de 2, 5 y 8 min, a una concentración de coagulante de 10, 20, 30, 50 y 70 ppm, con floculación de 50 rpm por 20 min y sedimentación de 60 min, donde se realizaron 15

tratamientos obteniendo como resultado que el tratamiento 4 maximiza la remoción de Hierro y Plomo a un 92.3 % y 87.4 % respectivamente, llegando a la conclusión que existe un tratamiento que maximiza la remoción de Hierro y Plomo, siendo este el tiempo de coagulación de 2 min y la concentración de 50 ppm de coagulante *Opuntia floccosa*. Esta investigación nos permite conocer a la *Opuntia floccosa* como un removedor natural de hierro y plomo en aguas ácidas a diversas concentraciones y conocer la velocidad óptima de agitación en el proceso de coagulación, por lo cual se podrían seguir más investigaciones con esta planta.

Palao Fernandez (2021); *en su tesis titulada "evaluación del tratamiento activo de drenajes ácidos de mina provenientes del distrito de yarabamba, Arequipa"* Tuvo como objetivo principal evaluar los parámetros óptimos del tratamiento activo de drenajes ácidos de mina provenientes de la unidad minera Santa Cecilia en el distrito de Yarabamba, Arequipa. Se recolectó y caracterizó el DAM proveniente de una unidad minera del distrito de Yarabamba (Arequipa), éstas se sometieron a etapas de neutralización y oxidación previos a los procesos de floculación y sedimentación usando 5 floculantes existentes en el mercado. Luego, en función al mejor rendimiento obtenido con los floculantes se seleccionó a uno de ellos y se determinó sus parámetros óptimos (pH, concentración y dosis de cal, concentración y dosis de floculante, velocidad y tiempo de agitación) para el tratamiento del DAM. Se determinó que el floculante MT4285 es el óptimo, el cual tuvo un porcentaje de remoción de 99.99% (0.000481 mg/L) para el Fe disuelto y de 98.32 % (1.43 ± 0.021 NTU) para la turbidez, logrando cumplir con los LMP del D.S. N° 010-2010-MINAM. Esta investigación nos permite conocer de 5 floculantes cuál fue el más óptimo para la remoción de hierro, así como el PH y el tiempo de agitación en el proceso de floculación.

Vargas y Guadalupe (2019); *en sus tesis de grado titulada "uso del agua residual doméstica para la reducción de arsénico y cadmio en los efluentes generados por pasivos ambientales mineros de la quebrada viso - distrito de san mateo"*, tuvo como objetivo principal la reducción de la concentración de Arsénico y Cadmio presentes en los efluentes mineros, generados por la bocamina abandonada y no cerrada, ubicada a 24 metros

de la quebrada Viso en el Distrito de San Mateo, utilizando como coagulante el agua residual doméstica. Para ello el experimento a nivel laboratorio tuvo 4 tratamientos con las siguientes relaciones volumétricas: M1: 2ARD/8EM, M2: 4ARD/6EM, M3: 6ARD/4EM y M4: 8ARD/2EM, cada una con tres repeticiones. Las mezclas entre el efluente minero y el agua residual doméstica siempre sumaron 1 litro entre ambas. Los ensayos fueron realizados con el equipo de Prueba de Jarras, a 3 velocidades (50, 100 y 150 RPM) y en un tiempo de 25 minutos (coagulación, floculación y decantación). Los resultados mostraron eficiencias de remoción de un 99.99% para Arsénico y 99.57% para Cadmio. Esta investigación nos permite conocer la eficiencia de las aguas residuales domésticas como coagulante para la remoción de arsénico y cadmio de aguas ácidas.

2.2. Bases teóricas

2.2.1. Drenajes ácidos

El drenaje ácido de mina (AMD) plantea graves problemas de contaminación ambiental debido a su alta acidez, metales tóxicos y contenido de sulfato. Los métodos actuales para abordar el problema son inadecuados y los que funcionan son costosos (Mwewa et al., 2022).

El drenaje ácido de mina (AMD) formado durante la extracción y fundición del cobre tiene un pH bajo, una alta concentración de sulfato y grandes cantidades de metales valiosos como Fe, Cu y Mn. Para lograr la recuperación paso a paso de estos recursos, primero es necesario eliminar las altas concentraciones de hierro de las aguas residuales (Hu et al., 2022).

El drenaje ácido de mina (AMD) es una contaminación multifactorial formada por complejas interacciones químicas, físicas y biológicas que tiene lugar en condiciones ambientales en minas abandonadas y activas. A lo largo de los años, los investigadores han estado investigando formas de mitigar su impacto potencial en el medio ambiente a través de diversas tecnologías de tratamiento (Ighalo et al., 2022).

El drenaje ácido de mina (AMD) es un problema ambiental grave en todo el mundo que requiere tecnologías de remediación eficientes y sostenibles,

incluido el uso de mecanismos biológicos. Un desafío clave para la biorremediación de AMD es proporcionar condiciones óptimas para la inmovilización de metales traza mediada por microbios (Aguinaga et al., 2021).

El drenaje ácido de mina (AMD) generado tiene un pH bajo (1.92–4.06) y es principalmente agua tipo Fe–Zn–SO₄ con altas concentraciones de metales que en orden de abundancia relativa varían como: Al >> Cd > As(T) > Ni > V > Cu > Co > Sb > Cr > Pb > Sn > Ag (Murray et al., 2021).

Según (Mwewa et al., 2022) el drenaje ácido de mina (DAM) es un problema ambiental bien conocido en muchas minas sulfurosas es la formación de aguas ácidas, ricas en sulfatos y metales pesados. Esto es provocado por la lixiviación de sulfuros metálicos y de la pirita presente en carbonos que se caracteriza por un pH bajo que da como resultado un ambiente ácido y, en consecuencia, altas concentraciones de varios metales pesados.

2.2.2. Parámetros físico químico

Los parámetros físico-químicos dan una información extensa de la naturaleza de las especies químicas del agua y sus propiedades físicas, sin aportar información de su influencia en la vida acuática; los métodos biológicos aportan esta información, pero no señalan nada acerca del contaminante o los contaminantes responsables, por lo que muchos investigadores recomiendan la utilización de ambos en la evaluación del recurso hídrico (Orozco, et al., 2005).

2.2.3. pH

El pH del drenaje ácido de mina se caracteriza por un pH bajo y concentraciones elevadas de iones de metales pesados (Levio et al., 2021)

2.2.4. Turbidez

La turbidez establece un balance de masa de alta resolución correspondiente al tratamiento, la turbidez como indicador del hierro puede proporcionar una estimación más precisa de la eliminación de hierro y, por lo tanto, una mejor evaluación del balance de masa de hierro, especialmente si la tasa de flujo y/o la concentración de entrada están sujetas a fluctuaciones (Opitz et al., 2020)

2.2.5. Conductividad eléctrica

conductividad eléctrica (CE) podría ser un correlato útil para la predicción de la acidez total, el hierro disuelto y las concentraciones de azufre en aguas ácidas AMD (Smith et al., 2022).

2.2.6. Oxígeno disuelto

Oxígeno disuelto necesario para el sostenimiento de los ecosistemas acuáticos. El valor del promedio anual para el OD del año 2019, antes de la recirculación, fue de 7.2 mg L⁻¹ mientras que en el año 2020 posterior a la recirculación fue 7.9 mg L⁻¹. A diferencia de otros parámetros medidos el aumento en la concentración del oxígeno disuelto es un resultado remarcable y positivo, ya que se logra la inhibición del crecimiento de las comunidades bacterianas anaerobias, quienes son responsables de la producción de H₂S; por lo tanto, disminuyen los efectos nocivos de este compuesto y por ende los malos olores (López et al., 2022).

2.2.7. Proceso de coagulación/Floculación.

Es un proceso coagulación/floculación y sedimentación en aguas ADM, pluviales semisintéticas. Se evaluaron cinco coagulantes en términos de contenido de partículas reductoras, carbono orgánico, metales totales y disueltos, Los contaminantes en las aguas ADM se encontraban predominantemente en la fase de partículas (Nyström et al., 2020).

El procesos coagulación/Floculación del tratamiento terciario (incluyendo coagulación-floculación-desinfección) fueron evaluadas utilizando AMD, los resultados mostraron que las eficiencias de eliminación más altas usando coagulación, floculación y desinfección de sólidos en suspensión, demanda química de oxígeno, turbidez y coliformes totales (Üstün et al., 2011).

Se utilizó un proceso de coagulación-floculación para pretratar las aguas residuales derivadas ADM de un tratamiento biológico posterior. Se empleó un diseño experimental factorial completo S² y una metodología de superficie de respuesta para evaluar y optimizar las dosis de coagulante y floculante y lograr un compromiso entre la eficiencia, los costos operativos y los efectos de un posible tratamiento físico químicos posterior (Martín et al., 2011)

Se realizaron pruebas coagulación-floculación para evaluar las dosis y condiciones (velocidades de agitación de mezcla y floculación, duraciones y tiempos de sedimentación) requeridas para lograr una captura óptima de los residuos de ADM (Ebeling et al., 2003).

2.2.8. Dosis óptima de coagulante

Se entiende por dosis óptima la cantidad de coagulante que es preciso aplicar en el proceso de tratamiento para eliminar la turbiedad y coloidal presente en el agua. Se considere como "coagulación" al proceso de desestabilización de las partículas en estado de suspensión y coloidal. Este proceso tiene dos etapas, la primera, la reducción de uno o más productos químicos (coagulantes) para hacer inestables las partículas coloidales de partículas desestabilizadas al entrar en contacto unas con otras. Durante la determinación de la dosis óptima de coagulante. Todos los coagulantes probados en este estudio podrían eliminar de manera eficiente los compuestos orgánicos hidrofóbicos y de alto peso molecular. Hubo una diferencia obvia entre ellos para la eliminación de compuestos orgánicos hidrofóbicos y de peso molecular pequeño o mediano (Hao et al., 2022).

2.2.9. Cantidad de fosfato dipotásico

Es una sal soluble en el agua con fórmula química $(K_2HPO_4 \cdot H_2O)_x$.

2.2.10. Velocidad de agitación

Es la velocidad durante la cual la muestra ha sido sometida a una homogeneización constante, se evidencia la necesidad de realizar ajustes en las condiciones del proceso, como pueden ser el tamaño de partícula, velocidad de agitación, carga de sólido o dosificación con el fin de conseguir incrementar la descontaminación (Sinche et al., 2022).

2.3. Conceptual

2.3.1. Coagulación/Floculación.

Los procesos de tratamiento convencionales, incluida la coagulación-floculación para la eliminación de contaminantes orgánicos e inorgánicos junto con partículas sólidas en suspensión, todavía se utilizan para el tratamiento del agua, la coagulación-floculación para el tratamiento de aguas residuales se enfatiza la desestabilización de los coloides, eliminación de materia orgánica e

inorgánica (particulada y/o disuelta), eliminación de metales y aniones, y eliminación de microorganismos mediante coagulación-floculación (Hanif et al., 2021).

2.3.2. Coagulante

Consiste en la neutralización de las cargas eléctricas de los coloides que componen una solución. Los coagulantes inorgánicos más empleados son: $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$ (sulfato de aluminio), $\text{Na}_2\text{Al}_2\text{O}_4$ (aluminato de sodio), $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot (\text{NH}_4)\text{SO}_4 \cdot 24\text{H}_2\text{O}$ (alumbre de amonio), $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ (caparrosa), $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$ (sulfato férrico), $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ (cloruro férrico); MgO (óxido de magnesio); Bentonita; $\text{Na}_2\text{O} \cdot 3\text{SiO}_2$ (silicato de sodio); $\text{Ca}(\text{OH})_2$ (hidróxido de calcio) (Rivas et al., 2017)

2.3.3. Floculante

Los floculantes juegan un papel importante en la eliminación de coloides, partículas en suspensión y colorantes de las aguas residuales industriales. Actualmente, los floculantes sintéticos se han aplicado ampliamente en el sector industrial como agregados coloidales (Ramadhani et al., 2022)

2.3.4. Coagulación floculación usando fosfato

Según algunas evidencias la eliminación de metales pesados de las aguas residuales puede llevarse a cabo a través de una sinergia en donde el P forma precipitados con los metales, un ejemplo de ello es el sólido fosfato ferroso. La concentración de floculante se ha informado ampliamente en la literatura para la sedimentación de minerales de hierro y sus respectivos monominerales, se conoce poca información sobre el efecto del floculante residual en el agua circulante (Bahmani et al., 2022).

2.3.5. Enfoque ecosistémico

La investigación ejecutada identificó como problema científico que los impactos ambientales provocados por la actividad minero-metalúrgica, no habían sido evaluados con un enfoque ecosistémico, para permitir minimizar sus efectos. De ahí que se formula como objetivo, desarrollar un modelo de gestión ambiental integral con un enfoque ecosistémico para la recuperación de los impactos negativos desviándose como objetivos específicos evaluar el comportamiento en el medio ambiente de los impactos negativos provocados por

el drenaje ácido de mina, tomándose como caso el presente estudio determinar los principales procesos que intervienen en la contaminación de las aguas terrestres por metales pesados en la región de estudio y proponer el modelo de gestión ambiental integral para la recuperación de los impactos negativos de la actividad minero-metalúrgica.

El enfoque por ecosistemas se basa en la aplicación de metodologías científicas adecuadas, centradas en los niveles de organización biológica, que comprende la estructura esencial, procesos, funciones e interacciones entre organismos y su medio ambiente. En el enfoque por ecosistemas se reconoce que los seres humanos, con su diversidad cultural, son un componente integral de muchos ecosistemas. El enfoque por ecosistemas orienta de manera fundamental las actividades de los distintos programas de trabajo del Convenio, y facilita que se relacionen entre sí. Al fin y al cabo, todos los biomas y, por ende, todos los programas de trabajo, implican un cierto grado de interconexión, y poco cabrá esperar de las actividades de gestión si estas conexiones no se toman en cuenta (Directrices del CDB, 2004.)

2.3.6. Normativa legal

La necesidad de tener un marco legal que le dé fundamentación y sustento al comportamiento de las variables son de gran importancia ya que regulan los pasivos ambientales de la actividad minera y así esta investigación estaría justificada:

- **Constitución Política del Perú 1993**, Esta norma fundamental de la República del Perú fue aprobada mediante el referéndum del 1993, en el Artículo 66, capítulo II – Del Ambiente y los Recursos Naturales, establece que los recursos naturales, renovables y no renovables, son patrimonio de la Nación.
 - ✓ En el Artículo 67 del mismo capítulo señala que el Estado determina la política nacional del ambiente y promueve el uso sostenible de sus recursos naturales
 - ✓ Por otro lado, en el Artículo 68 (también del capítulo ii), establece que el Estado está obligado a promover la conservación de la diversidad biológica y de las áreas naturales protegidas. Por otro lado, en el Artículo 68 (también del capítulo ii), establece que el

Estado está obligado a promover la conservación de la diversidad biológica y de las áreas naturales protegidas.

- **Ley N° 28611 - Ley General del Ambiente**, Ley publicada el 15 de octubre del 2005, indica en el Artículo 47.- Del deber de participación responsable, (título I, del capítulo 4). 47.1 Toda persona, natural o jurídica, tiene el deber de participar responsablemente en la gestión ambiental, actuando con buena fe, transparencia y veracidad conforme a las reglas y procedimientos de los mecanismos formales de participación establecidos y a las disposiciones de la presente Ley y las demás normas vigentes
 - ✓ Artículo 120.- De la protección de calidad de las aguas (título III, del capítulo 3).
 - ✓ 120.1 El Estado, a través de las entidades señaladas en la Ley, está a cargo de la protección de la calidad del recurso hídrico del país.
 - ✓ 120.2 El Estado promueve el tratamiento de las aguas residuales con fines de su reutilización, considerando como premisa la obtención de la calidad necesaria para su reuso, sin afectar la salud humana, el ambiente o las actividades en las que se utilizarán.
- **Ley de Recursos Hídricos – Ley N° 29338**, Publicado el 30 de marzo del 2009, menciona en el Artículo 82.- Reutilización del agua residual, (título V).

La Autoridad Nacional, a través del Consejo de Cuenca, autoriza el reúso del agua residual tratada, según el fin para el que se destine la misma, en coordinación con la autoridad sectorial competente y, cuando corresponda, con la Autoridad Ambiental Nacional.
- **Decreto Supremo 010-2010-MINAM** que Aprueban la Límites Máximos Permisibles para los efluentes líquidos de Actividades Minero - Metalúrgicas, Publicado el 21 de agosto del 2010, esta normativa dicta los valores límites para los efluentes líquidos generados de las actividades minero - metalúrgicas. En la figura 1.

Figura 1

Límites Máximos Permisibles para los efluentes líquidos de Actividades Minero - Metalúrgicas

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

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

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

2.4. Definición de términos básicos

Concentración

La relación de una sustancia disuelta o contenida en una cantidad dada de otra sustancia (Ministerio del Ambiente, 2012).

Pasivo Ambiental

Impactos negativos generados por las actividades productivas o de servicios abandonadas, con o sin responsable identificable y en donde no se haya realizado un cierre de actividades regulado y certificado por la autoridad correspondiente (MINAN, 2016)

Tiempo de retención

La velocidad de aglomeración de las partículas es proporcional al tiempo de detención. Debe estar lo más cerca posible al óptimo determinado por medio de ensayo de Jarras, se probaron el tiempo de retención hidráulica (HRT promovió la eliminación de iones (Ashraf et al., 2021).

Gradiente de velocidad

Los estudios han investigado el impacto causado por los productos químicos utilizados en el tratamiento del agua (coagulantes y oxidantes) sobre los fosfatos, el efecto aislado del esfuerzo cortante durante la coagulación aún no se comprende por completo. Este estudio evaluó el impacto de diferentes gradientes de velocidad, tiempos de mezcla y la adición de fosfatos (Oliveira et al., 2021).

Absorción y neutralización de cargas

La fuerte carga superficial del residuo de fosfato y su gran finura han hecho que su rápida y eficiente separación sólido-líquido sea un problema urgente a resolver. Se llevó a cabo el procedimiento de dos pasos propuesto que involucra la neutralización de carga y la floculación a través de la sinergia (Zeng et al., 2022).

Efluentes

Residual líquido, tratado o sin tratar, que se origina en un proceso industrial o actividad social y se dispone generalmente en los suelos o diversos cuerpos de agua superficiales o subterráneos (Camacho y Ariosa, 2000).

Límite Máximo Permisible

Instrumento de gestión ambiental que regula la concentración o el grado de elementos, sustancias o parámetros físicos, químicos y biológicos, que caracterizan a un efluente o una emisión, que al ser excedida causa o puede causar daños a la salud, al bienestar humano y al ambiente (Ministerio del Ambiente, 2012).

Atrapamiento de partículas y precipitado

Estudios recientes han demostrado que los precipitados ácidos de drenaje de minas (AMDp) pueden ser una fuente prometedora para comprender mejor este recurso, se realizaron varios estudios de caracterización de partículas en muestras de AMDp de tres sitios de tratamiento de AMD en el norte y centro de los Apalaches. Este trabajo incluyó la determinación del tamaño de las partículas, la distribución del tamaño, la morfología, la mineralogía, la especiación química y el contenido, si bien las características de las partículas y la mineralogía

variaron considerablemente de un sitio a otro, las pruebas de extracción secuencial mostraron que la mayor parte de los REE (45 % a 75 %) se encontraban en fases solubles unidas a óxidos de Fe-Mn (Wang et al., 2021).

Coagulación por absorción

Eliminación de algunos metales, *a saber*. Cd, Pb, Ni, Cr, Cu y Co por oxidación-coagulación-adsorción a pH optimizado (OCOP), se ha estudiado un método eficiente y de bajo costo para la eliminación simultánea de As, Fe y Mn de las aguas subterráneas. NaHCO₃ KMnO₄ y FeCl₃ se utilizan en OCOP como acondicionador de pH, oxidante y coagulante, respectivamente. Los efectos de la variación de la concentración inicial y el tiempo de residencia en la eliminación de los iones de pesados (Bora y Dutta, 2019).

Floculación Pericínética

La floculación a través de electro coagulantes de aluminio (Al) y hierro (Fe). La viabilidad de utilizar este método se ha determinado en términos de turbidez (TUR), demanda bioquímica de oxígeno (DBO), demanda química de oxígeno (DQO) y reducción de color (COL). El estudio analizó el papel del pH, la dosis actual, el tiempo de electrólisis, el tiempo de sedimentación, la temperatura y la concentración de NaCl en el proceso (Igwegbe et al., 2021).

Drenaje ácido de mina

El drenaje ácido de mina (AMD) es una contaminación multifactorial formada por complejas interacciones químicas, físicas y biológicas que tiene lugar en condiciones ambientales en minas abandonadas y activas. A lo largo de los años, los investigadores han estado investigando formas de mitigar su impacto potencial en el medio ambiente a través de diversas tecnologías de tratamiento (Ighalo et al., 2022).

Cuerpo receptor

Componente del medio ambiente que recibe los aportes de carga contaminante generados por la actividad económica y social (Martinez y Garcia, 2011).

Prueba de Jarras o Test de Jarras

Una prueba de jarra es un método confiable para optimizar las condiciones de coagulación; sin embargo, lleva mucho tiempo y requiere un

técnico experimentado. Jar-test es una herramienta muy conocida para la selección de productos químicos para el tratamiento físico-químico de aguas residuales. Los resultados de la prueba de jarras muestran la eficiencia del tratamiento en términos de eliminación de materia en suspensión y materia orgánica. Sin embargo, a pesar de tener todos estos resultados, la selección de coagulantes no es una tarea fácil porque un coagulante puede remover eficientemente los sólidos en suspensión, pero al mismo tiempo aumentar la conductividad o aumentar considerablemente la producción de lodos que contienen químicos y colorantes tóxicos. Esto hace que la selección final de coagulantes dependa mucho de la importancia relativa asignada a cada parámetro medido (Yamamura et al., 2020).

Descontaminación

Remoción de sustancias peligrosas tales como sustancias químicas nocivas, bacterias peligrosas u otros organismos, o material radioactivo de individuos, ambientes y mobiliarios expuestos en edificios, o el ambiente exterior (Ministerio del Ambiente, 2012).

III. HIPOTESIS Y VARIABLES

3.1. Hipótesis

3.1.1. Hipótesis general

La aplicación del proceso de coagulación-floculación con fosfatos trata significativamente los drenajes ácidos de mina en la quebrada Viso - distrito de San Mateo, 2022

3.1.2. Hipótesis específica

H1: La dosificación de fosfato dipotásico en el proceso de coagulación-floculación influye significativamente en el tratamiento de drenajes ácidos de mina.

H2: La velocidad de agitación en el proceso de coagulación-floculación influye positivamente en el tratamiento de drenajes ácidos de mina.

3.2. Definición conceptual de variables

Tabla 1

Definición conceptual de las variables

Variables	Definición Conceptual
Variable Independiente Proceso de coagulación/floculación con fosfato dipotásico.	Es un proceso que se realiza a los residuos para aumentar la eficacia de otros tratamientos complementarios como son la sedimentación o la decantación. Consiste en aumentar la velocidad y/o el volumen de las partículas del residuo para fomentar su precipitación o modificar entorno de las propiedades de dicha sustancia, añadiendo productos químicos. (Trujillo Barrera, 2016).
Variable dependiente: Drenaje ácido de Mina	El drenaje ácido de mina (AMD) plantea graves problemas de contaminación ambiental debido a su alta acidez, metales tóxicos y contenido de sulfato. Los métodos actuales para abordar el problema son inadecuados y los que funcionan son costosos (Mwewa et al., 2022).

3.2.1. Operacionalización de variables

Tabla 2

Definición operacional de las variables

VARIABLES	DIMENSIÓN	INDICADORES	ÍNDICE	UNIDAD	MÉTODO	TÉCNICA		
Independiente: Proceso de coagulación/floculación con fosfatos	Dosificación de fosfato dipotásico	Cantidad de fosfato dipotásico	100	mg/L	Hipotético-deductivo			
			500					
			1000					
			1500					
			2000					
	Parámetro de operación	Velocidad de agitación	3000	rpm		Observacional experimental		
			50					
			150					
			250					
VARIABLES	DIMENSIONES	INDICADORES	INDICE	UNIDAD	MÉTODO	TÉCNICA		
Dependiente: Drenaje ácido de Mina	Tratamiento de drenaje ácido de mina	parámetros físico-químicos	pH	Unidad de pH		SMEWW-APHAWWA-WEF Parte 4500 P, E, 23rd Ed:2017		
			Turbiedad					
			Conductividad eléctrica				NTU	Electrometría
			Oxígeno disuelto				mS/cm	
			Remoción de metales pesados					
		Remoción de Cu		%Remoción del Cu				
		Remoción de Zn		%Remoción del Zn				
								Estudio de análisis por espectroscopia de fluorescencia de rayos-X (XRF)
						Caracterización estructural por medio de Difracción de rayos X		
						Caracterización por Espectroscopia Ultravioleta-Visible (UV-Vis)		

IV. DISEÑO METODOLÓGICO

4.1. Tipo y diseño de investigación

4.1.1. Tipo de investigación

La investigación es de tipo básica, aplicada porque está orientada a resolver objetivamente los problemas de cualquier actividad. Se formulan problemas e hipótesis para resolverlos. (Ñaupas, 2018)

4.1.2. Diseño de investigación

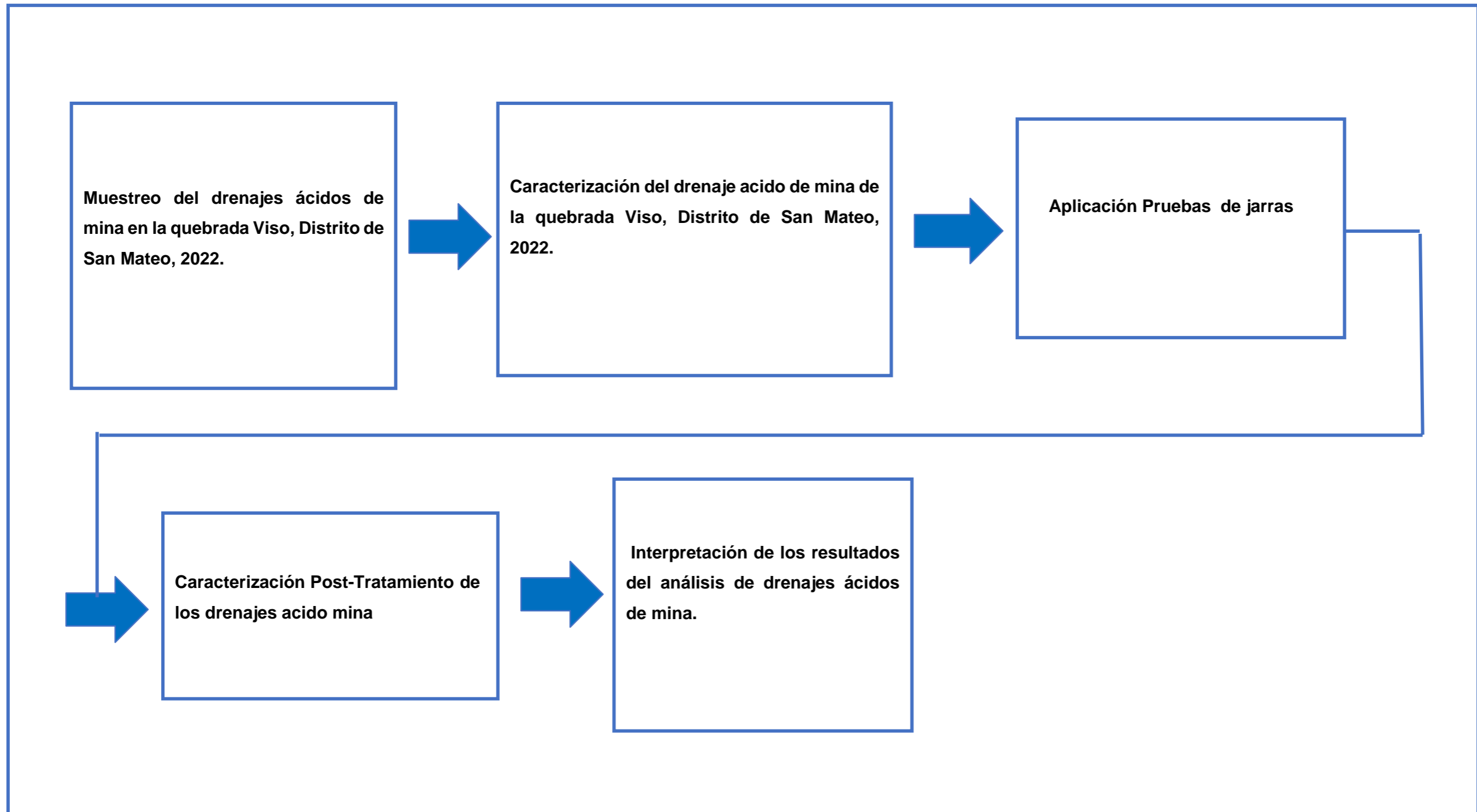
Se tiene un diseño experimental según la clasificación Hernández y Mendoza (2018) donde los experimentos manipulan el tratamiento o variable independiente (proceso de coagulación-floculación con fosfatos) para observar sus efectos sobre la variable dependiente (drenajes ácidos de mina).

a. Plan del diseño de investigación

El plan del diseño de investigación consiste en el planteamiento de los procedimientos a desarrollar para el cumplimiento de los objetivos de esta investigación. En la Figura 2 se muestra los pasos que se han desarrollado para la realización de la experiencia en laboratorios.

Figura 2

Diagrama de los procedimientos experimentales



i. Muestreo de los drenajes ácidos de mina en la quebrada Viso, Distrito de San Mateo, 2022.

El muestreo se llevó a cabo a 24 metros de la quebrada Viso, perteneciente a la comunidad con este mismo nombre, se recolectaron en horas de la mañana aproximadamente 60 litros de muestra.

ii. Caracterización del drenaje ácido de mina de la quebrada Viso, Distrito de San Mateo, 2022.

Determinación de los parámetros físico-químico como pH, conductividad, oxígeno disuelto, turbidez y metales pesados. de la muestra control del drenaje ácido de mina de la quebrada de viso-districto de San Mateo.

iii. Aplicación de prueba de Jarra

Se aplicará el proceso de coagulación-floculación, usando la prueba de Jarras. Se llenaron 6 vasos precipitados con 500 ml de drenaje ácido de mina, luego se agregaron a cada uno diferentes dosis de fosfato dipotásico (100 PPM, 500 PPM, 1000 PPM, 1500 PPM, 2000 PPM, 3000 PPM) y se sometieron a una agitación con velocidades de 50rpm, 150rpm y 250rpm para cada dosis añadida al drenaje ácido de mina durante 20 min..

iv. Caracterización Post-Tratamiento de los drenajes ácido mina.

Se esperará la sedimentación durante 4 h de la mezcla para realizar la medición de los parámetros físico-químico de las muestras tratadas como pH, turbidez, oxígeno disuelto, conductividad eléctrica y posterior el análisis de los metales pesados. Todos los experimentos se realizarán por triplicado.

v. Interpretación de los resultados del análisis de drenajes ácidos de mina.

Una vez obtenido los resultados se procederá a compararlos con los Decreto Supremo 010-2010-MINAM que Aprueban la Límites Máximos Permisibles para los efluentes líquidos de Actividades

Minero - Metalúrgicas con el fin de establecer que parámetros superan los límites establecidos en esta norma.

b. Diseño experimental

Se planteó un Diseño factorial de múltiples niveles de 2 factores, con 6 niveles y 3 niveles con 1 réplicas empleando el software estadístico Minitab 20. Este diseño nos permitirá estudiar los efectos que varios factores pueden tener en una respuesta en la tabla 3 y 4.

Tabla 3

Factores y niveles del diseño experimental.

Factores	Niveles					
	6			3		
Coagulante (ppm)	100	500	1000	1500	2000	3000
Velocidad de agitación (rpm)	50	150	250			

Tabla 4

Matriz de arreglo experimental con diseño factorial múltiples niveles.

Nº	Tratamientos	Réplicas	Factor 1 Coagulante (ppm)	Factor 2 Velocidad de agitación (rpm)	Resultados			
					pH Prom	Turbidez remoción %	C.E Prom	O. D Prom
0	T0	T0 - M0	0	0	0	0	0	0
1		T1 - M1	100	50				
2	T1	T1 - M2	100	150				
3		T1 - M3	100	250				
4		T2 - M1	500	50				
5	T2	T2 - M2	500	150				
6		T2 - M3	500	250				
7		T3 - M1	1000	50				
8	T3	T3 - M2	1000	150				
9		T3 - M3	1000	250				
10	T4	T4 - M1	1500	50				

11		T4 - M2	1500	150
12		T4 - M3	1500	250
13		T5 - M1	2000	50
14	T5	T5 - M2	2000	150
15		T5 - M3	2000	250
16		T6 - M1	3000	50
17	T6	T6 - M2	3000	150
18		T6 - M3	3000	250

c. Condiciones de operación

Con el Proceso del test de Jarras ya instalado, se procederá a realizar los experimentos y se mantendrán otros factores constantes los cuales se muestran en la tabla 5.

Tabla 5

Condiciones estándares del proceso del test de Jarras.

Condiciones	Valor
temperatura	22°C
Tiempo de agitación	20 min

4.2. Método de investigación

El método de nuestro estudio es analítico ya que a partir del conocimiento general de una realidad realiza la distinción, conocimiento y clasificación de los distintos elementos esenciales que forman parte de ella y de las interrelaciones que sostienen entre sí. Se fundamenta en la premisa de que a partir del todo absoluto se puede conocer y explicar las características de cada una de sus partes y de las relaciones entre ellas (Abreu, 2014).

4.3. Población y muestra

4.3.1. Población

La población en el presente estudio de investigación corresponde Drenajes ácidos de mina Quebrada Viso - distrito de San Mateo que constituye de la unidad de análisis.

La población está constituida por un conjunto de sujetos, objetos o hechos, que presentan características similares, que son medibles y que constituyen la unidad de investigación (Ñaupas et al., 2014).

4.3.2. Muestra

La muestra corresponde a un volumen de 40 litros de drenaje ácido de mina. El muestreo es No probabilístico, específicamente se realizará un muestreo según criterio del investigador (Ñaupas et al., 2014).

4.4. Lugar de estudio y periodo desarrollado

Todos los experimentos propuestos de la investigación se realizaron en la Facultad de Ingeniería Ambiental y de Recursos Naturales de la Universidad Nacional del Callao, en un periodo del mes abril del año 2022.

4.5. Técnicas e instrumentos para la recolección de la información

La técnica utilizada para la recolección de los datos es la observación según señala (Hernández Sampieri, Fernández Collado, & Baptista Lucio, 2014a), la cual consiste en “registrar de manera sistemática, válida y confiable los comportamientos o conductas que se manifiestan, de acuerdo a un conjunto de reglas y procedimientos predeterminados derivados del planteamiento del problema de investigación.

Los instrumentos serán Mecánicos y se describen a continuación en la Tabla 6.

Tabla 6

Técnicas analíticas e instrumentos

parámetro	técnica analítica	Instrumento
OD	Método colorimétrico de reflujo cerrado (5220 del standard methods)	Espectrofotómetro UV-1700 Pharma Spec SHIMADZU
pH	SM 4500-H+ B. pH Value. Electrometric Method.	Potenciómetro digital
Conductividad	SM 2510 B. Conductivity. Laboratory Method.	conductímetro
Turbidez	SM 2130 B. Turbidity. Nephelometric Method. 2012	Turbidímetro
Cobre, Zinc	-Espectroscopia de Energía Dispersiva (EDS). -Estudio de análisis por espectroscopia de fluorescencia de rayos-X (XRF). -Caracterización estructural por medio de Difracción de rayos X	Ficha de datos.

-Caracterización por
Espectroscopia Ultravioleta-
Visible (UV-Vis)

Los equipos, materiales y reactivos que fueron utilizados en laboratorio se detallan a continuación:

Equipos

- ✓ Oxímetro
- ✓ Espectrofotómetro UV-1700 Pharma Spec SHIMADZU
- ✓ Balanza analítica
- ✓ Potenciómetro digital
- ✓ conductímetro
- ✓ Turbidímetro
- ✓ Equipo de filtración
- ✓ Test de jarras

Materiales

- ✓ Vasos precipitados de 1L y 500 ml
- ✓ Matraces
- ✓ Pipeta de 10 ml
- ✓ Pipeta
- ✓ Bagueta
- ✓ Luna de reloj
- ✓ Papel aluminio
- ✓ Agua destilada

Reactivos

- ✓ Fosfato dipotásico

4.6. Análisis y procesamientos de datos

4.6.1. Descriptivo

Una vez recolectados los porcentajes y remoción de los drenajes ácidos de mina en cada tratamiento, se procederá a realizar un análisis descriptivo en el que se determine las medidas de tendencia central y medidas de dispersión más empleadas en el ámbito científico como la media, desviación estándar, mediana, valor mínimo y valor máximo.

4.6.2. Inferencial

Posteriormente se realizarán análisis inferenciales con los distintos resultados tanto porcentajes y remoción de los drenajes ácidos de mina, pasando por un análisis de normalidad para luego definir el tipo de estadístico paramétrico o no paramétrico a usar y validar las hipótesis de investigación.

La información obtenida en laboratorio se registrará en hoja de Excel, y se utilizó el software estadístico Minitab 20 para validar las hipótesis haciendo uso del análisis de la varianza (ANOVA) con un intervalo de confianza del 95% ($p < 0.05$), comprobando asimismo la normalidad de los residuales. Por otro lado, se determinarán los R^2 y el R^2 ajustado para explicar el ajuste del diseño factorial fraccionada propuesta. Para evaluar la interacción de los factores se interpretó el diagrama de Pareto y las gráficas de interacciones de cada factor (Dosificación de coagulante ppm y Velocidad de agitación rpm) sobre la variable respuesta (drenajes ácidos de mina).

V. RESULTADOS

5.1. Resultados descriptivos

5.1.1. Resultados de las Caracterización drenaje ácido de mina de la quebrada Viso, Distrito de San Mateo, 2022.

Los resultados de los análisis realizados a los drenajes ácidos de mina en la quebrada Viso, en la tabla 7 se muestran las características fisicoquímicas evaluadas antes de ser tratadas mediante la dosificación del coagulante (fosfato dipotásico ppm) y operación de Velocidad de agitación (rpm).

Tabla 7

Caracterización fisicoquímicas de los drenajes ácidos de mina

Parámetros	Unidad	Resultado
pH	unidad de pH	3.3
Turbidez	NTU	137
Conductividad eléctrica	mS/cm	3.7
Oxígeno Disuelto	ppm	5.81

5.1.2. Resultados descriptivos de Caracterización Post-Tratamiento del drenaje ácido de mina de la quebrada Viso, Distrito de San Mateo, 2022.

Se presentan 4 tablas con los resultados descriptivos de los resultados experimentales obtenidos para cada indicador de la variable dependiente (pH, turbidez, Conductividad eléctrica y Oxígeno Disuelto).

Resultados obtenidos del tratamiento con relación del pH en la tabla 8 muestra los resultados experimentales pH obtenidos mediante el potenciómetro, y su promedio con respecto al valor de la concentración inicial en la tabla 7.

Tabla 8*Resultados del potencial de hidrógeno (pH)*

N.º	Tratamientos	Réplicas	Factor 1 Coagulante (ppm)	Factor 2 Velocidad de agitación (rpm)	Resultados			
					Ph			
					pH1	pH2	pH3	Promedio
0	T0	T0 - M0	0	0	0	0	0	3.3
1		T1 - M1	100	50	3.27	3.55	3.68	3.50
2	T1	T1 - M2	100	150	3.54	3.60	3.69	3.61
3		T1 - M3	100	250	3.26	3.20	3.42	3.20
4		T2 - M1	500	50	5.48	4.48	4.89	4.95
5	T2	T2 - M2	500	150	5.76	5.62	5.02	5.47
6		T2 - M3	500	250	5.68	5.37	5.54	5.53
7		T3 - M1	1000	50	6.21	6.40	6.28	6.30
8	T3	T3 - M2	1000	150	6.40	6.36	6.02	6.26
9		T3 - M3	1000	250	5.69	6.28	6.12	6.03
10		T4 - M1	1500	50	6.40	6.52	6.52	6.48
11	T4	T4 - M2	1500	150	6.63	6.51	6.34	6.49
12		T4 - M3	1500	250	6.70	6.80	6.90	6.80
13		T5 - M1	2000	50	6.43	6.69	6.34	6.49
14	T5	T5 - M2	2000	150	6.70	6.55	6.83	6.63
15		T5 - M3	2000	250	6.60	6.66	6.87	6.71
16		T6 - M1	3000	50	6.76	6.92	6.82	6.83
17	T6	T6 - M2	3000	150	7.30	6.94	6.50	6.91
18		T6 - M3	3000	250	6.80	6.86	7.10	6.92

Resultados obtenidos del tratamiento con relación de la turbidez en la tabla 9 muestra los resultados experimentales de la turbidez obtenida mediante el turbidímetro, y su % de reducción de este con respecto al valor de la concentración inicial en la tabla 7.

Tabla 9*Resultados de la turbidez y su % de reducción*

Tratamientos	Réplicas	Factor 1 Coagulante (ppm)	Factor 2 Velocidad de agitación (rpm)	Resultados				
				Turbidez				Remoción
				NTU1	NTU2	NTU3	Promedio	%
T0	T0 - M0	0	0	0	0	0	137	0
T1	T1 - M1	100	50	12.9	13.5	11.8	12.7	90.71
	T1 - M2	100	150	52.3	60.8	56.3	56.5	58.78
	T1 - M3	100	250	65.6	62.2	59.3	62.4	54.48
T2	T2 - M1	500	50	10.2	11.5	9.2	10.3	92.47
	T2 - M2	500	150	24.6	29.7	26.8	27.0	80.27
	T2 - M3	500	250	29.4	33.6	32.8	31.9	76.69
T3	T3 - M1	1000	50	1.7	1.3	1.7	1.6	98.87
	T3 - M2	1000	150	3.4	4.9	4.0	4.1	97.00
	T3 - M3	1000	250	5.1	4.9	5.2	5.1	96.29
T4	T4 - M1	1500	50	2.1	2.7	2.4	2.4	98.24
	T4 - M2	1500	150	4.9	4.2	4.9	4.7	96.60
	T4 - M3	1500	250	5.3	5.8	5.5	5.5	95.99
T5	T5 - M1	2000	50	3.1	2.4	3.0	2.8	97.93
	T5 - M2	2000	150	4.5	4.7	4.6	4.6	96.65
	T5 - M3	2000	250	10.5	8.8	9.3	9.5	93.04
T6	T6 - M1	3000	50	5.0	4.2	5.7	4.9	96.39
	T6 - M2	3000	150	5.0	5.0	5.8	5.3	96.16
	T6 - M3	3000	250	6.5	6.3	7.4	6.7	95.09

Resultados obtenidos del tratamiento con relación con relación a la conductividad eléctrica en la tabla 10 muestra los resultados experimentales de la conductividad eléctrica obtenidos con conductímetro digital, y su promedio de este con respecto al valor de la concentración inicial en la tabla 7.

Tabla 10*Resultados de la conductividad eléctrica (C.E.)*

N.º	Tratamientos	Réplicas	Factor 1 Coagulante (ppm)	Factor 2 Velocidad de agitación (rpm)	Resultados			
					Conductividad eléctrica			
					mS/cm1	mS/cm2	mS/cm3	Promedio
0	T0	T0 - M0	0	0	0	0	0	3.7
1		T1 - M1	100	50	3.83	3.01	3.50	3.44
2	T1	T1 - M2	100	150	3.65	3.74	3.71	3.68
3		T1 - M3	100	250	3.78	3.10	3.10	3.32
4		T2 - M1	500	50	3.97	3.10	3.00	3.35
5	T2	T2 - M2	500	150	3.06	3.92	3.92	3.63
6		T2 - M3	500	250	4.00	3.27	3.27	3.51
7		T3 - M1	1000	50	4.41	3.73	3.73	3.95
8	T3	T3 - M2	1000	150	4.60	4.60	4.60	4.60
9		T3 - M3	1000	250	4.10	3.82	3.82	3.91
10		T4 - M1	1500	50	5.20	4.10	4.10	4.46
11	T4	T4 - M2	1500	150	5.19	5.11	5.11	5.13
12		T4 - M3	1500	250	5.25	4.15	4.15	4.51
13		T5 - M1	2000	50	5.74	4.69	4.69	5.04
14	T5	T5 - M2	2000	150	5.89	5.80	5.80	5.83
15		T5 - M3	2000	250	5.84	4.84	4.84	5.17
16		T6 - M1	3000	50	6.86	5.55	5.55	5.98
17	T6	T6 - M2	3000	150	5.98	7.24	7.24	6.82
18		T6 - M3	3000	250	7.09	5.94	5.94	6.32

Resultados obtenidos del tratamiento con relación al oxígeno disuelto en la tabla 11 muestra los resultados experimentales del oxígeno disuelto obtenidos con el oxímetro, y su promedio de este con respecto al valor de la concentración inicial en la tabla 7.

Tabla 11*Resultados de la oxígeno disuelto (O.D)*

N.º	Tratamientos	Réplicas	Factor 1 Coagulante (ppm)	Factor 2 Velocidad de agitación (rpm)	Resultados			
					Oxígeno disuelto			
					ppm1	ppm2	ppm3	Promedio
0	T0	T0 - M0	0	0	0	0	0	5.81
1		T1 - M1	100	50	6.40	5.61	5.00	5.70
2	T1	T1 - M2	100	150	6.31	6.09	6.09	6.09
3		T1 - M3	100	250	5.78	3.20	3,5	5.78
4		T2 - M1	500	50	5.77	5.19	5.20	5.38
5	T2	T2 - M2	500	150	5.95	6.27	6.27	6.16
6		T2 - M3	500	250	5.63	5.21	5.21	5.35
7		T3 - M1	1000	50	5.82	5.89	5.89	5.86
8	T3	T3 - M2	1000	150	5.40	6.05	6.05	5.83
9		T3 - M3	1000	250	6.02	5.89	5.89	5.93
10		T4 - M1	1500	50	5.93	6.23	6.23	6.13
11	T4	T4 - M2	1500	150	6.03	6.02	6.02	6.02
12		T4 - M3	1500	250	6.20	6.01	6.01	6.07
13		T5 - M1	2000	50	6.17	6.63	6.63	6.47
14	T5	T5 - M2	2000	150	5.89	5.99	5.99	5.95
15		T5 - M3	2000	250	6.25	6.50	6.50	6.41
16		T6 - M1	3000	50	6.20	6.26	6.26	6.24
17	T6	T6 - M2	3000	150	5.93	5.96	5.96	5.95
18		T6 - M3	3000	250	6.25	6.45	6.45	6.38

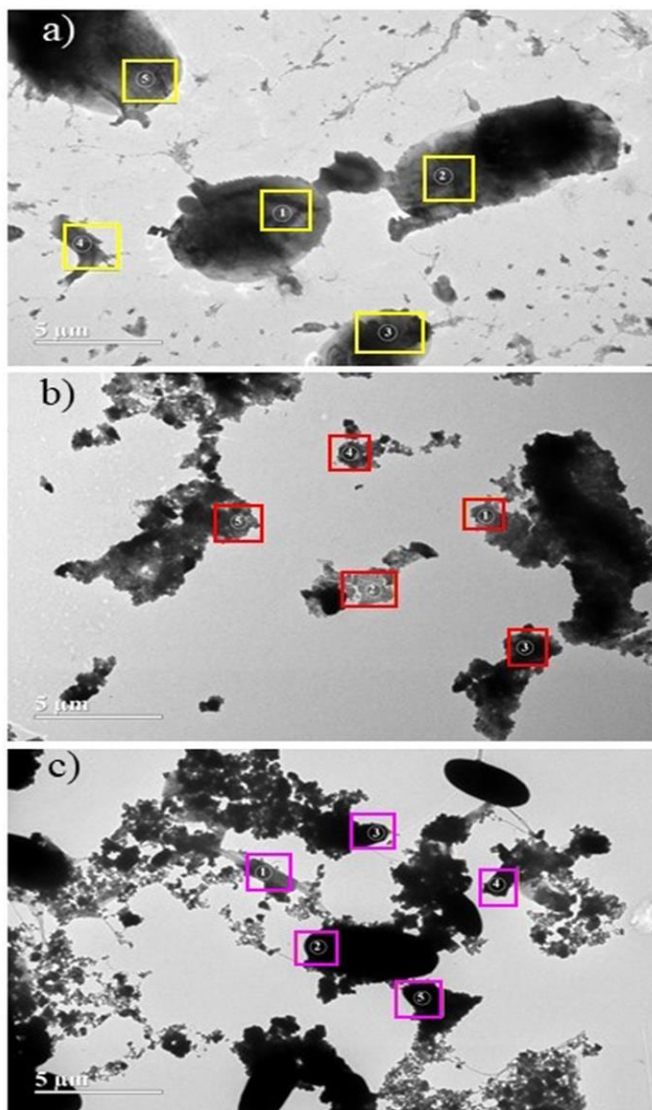
5.1.3. Análisis cualitativo de la remoción de metales pesados en las muestras

Se realizó el análisis cualitativo de los metales pesados presentes en los drenajes ácidos de mina antes y después del tratamiento, 4 técnicas de estudio:

A. Espectroscopia de Energía Dispersiva (EDS)

Los resultados cualitativos de los análisis obtenidos después de los tratamientos, para a limpieza de los drenajes ácidos de mina, con el test de prueba de jarras. Dentro de las diferentes técnicas, comenzamos con la de Espectroscopia de Energía Dispersiva (EDS). Esta técnica, a través de un microscopio electrónico de alta resolución y haz de energía consigue detectar cualitativamente los metales presentes en tal muestra. En la Figura 3, se observa imágenes de la localización donde el haz de energía interactúa con las muestras de sin difosfato (DPHP), 100 mg/L de DPHP e 500 mg/L de DPHP.

Figura 3

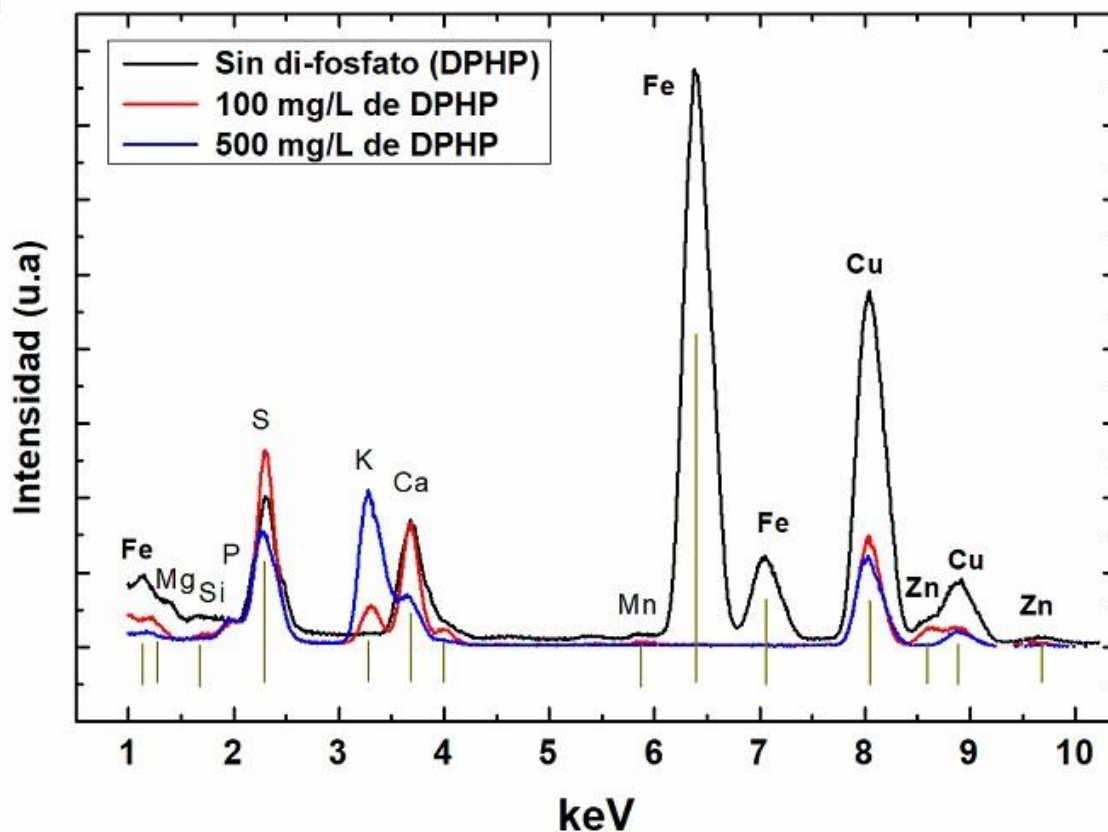


Nota: Imágenes obtenidas a través de un microscopio electrónico de transmisión de alta resolución, necesaria para la obtención del tipo de metales. a) *Espectroscopia de Energía Dispersiva (EDS) muestras de sin difosfato (DPHP)*, b) *Espectroscopia de Energía Dispersiva (EDS) muestras con dosis de 100 mg/L(DPHP)* y c) *Espectroscopia de Energía Dispersiva (EDS) muestras con dosis de 500 mg/L(DPHP)*

En los resultados obtenemos 3 espectros (picos) por cada muestra, tal como es mostrado Figura 4, donde en todos ellos presentan metales según su ubicación con relación a la energía (keV), luego estos 3 espectros de cada muestra fueron juntados para una mejor observación de metales en general. Estos son mostrados en la Figura 4.

Figura 4

Espectro en metales según su ubicación con relación a la energía (keV)

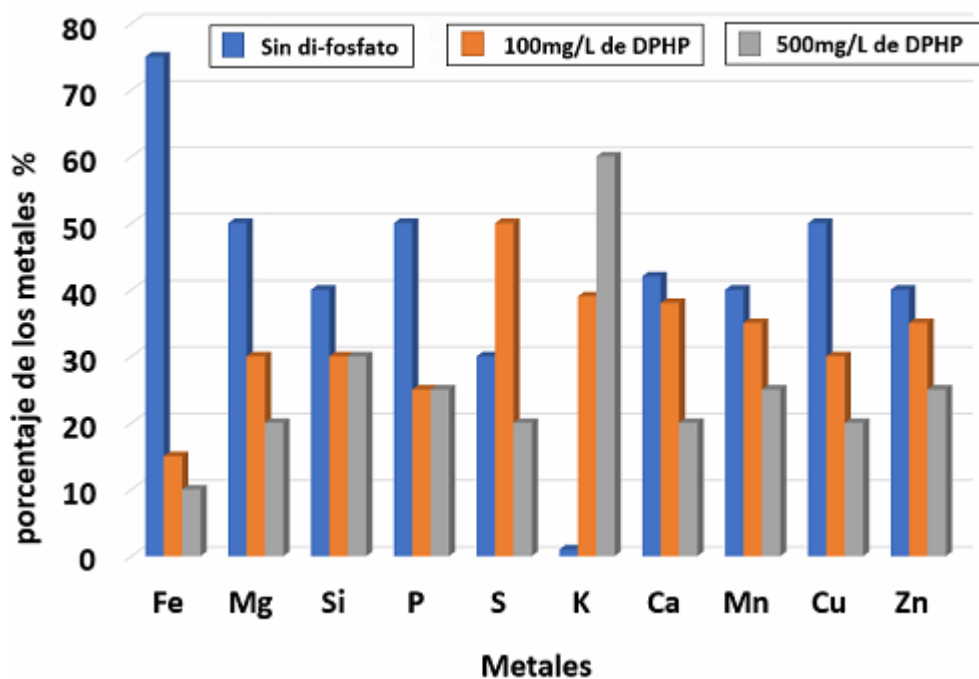


Nota: Resultados dos análisis de EDS de las tres muestras.

En la Figura 5, estadísticamente podemos considerar el 100% la suma de las intensidades de los 3 picos de cada elemento químico, luego por regla de tres simples es calculado el porcentaje de cada elemento. En esta aproximación se observa que la presencia del fosfato dipotásico (DHP) actúa positivamente en la reducción de algunos metales, en especial el Hierro (Fe), seguido del cobre (Cu) y Zinc (Zn). Por otro lado, a mayor concentración del fosfato dipotásico (DHP) se eleva el pico de intensidad de potasio (K).

Figura 5

suma de las intensidades de los 3 picos de cada elemento.



Nota: Estadísticas cualitativas de las muestras de diferente dosificación.

B. Estudio de análisis por espectroscopia de fluorescencia de rayos-X (XRF)

Otro tipo de análisis cualitativo sobre el tipo de metales presentes en la muestra es el análisis XRF, es una técnica sólida que combina alta precisión y

exactitud con preparación fácil y rápida de muestras. Se puede automatizar fácilmente para su uso en entornos industriales de alto rendimiento; además, la XRF proporciona información cualitativa y cuantitativa de una muestra. La combinación sencilla de esta información cualitativa también permite un análisis de detección rápido (semicuantitativo).

Los resultados de este análisis son mostrados en la Tabla 12 muestra los resultados cualitativos de metales presentes en la muestra de 1000 mg/L de DPHP. Aquí observamos claramente una disminución muy considerada de metales tal como el Hierro (Fe). Esta técnica es muy limitada en la detención de algunos elementos químicos, por otro lado, si presenta datos numéricos del porcentaje de los elementos presentes. Una observación importante es que la suma de porcentajes de cada columna no llega al 100%, debido que esta técnica no consigue detectar elementos químicos no pesados como oxígeno, hidrógeno y otros, pero que su vez, el equipamiento los considera (en el cálculo de los porcentajes).

Tabla 12

Resultados da análisis químico por fluorescencia de rayos X.

<i>Elementos Analizados (%)</i>	<i>Muestra sin (DPHP)</i>	<i>Muestra 1000mg/L de DPHP</i>
Na	0,27	0,0
Mg	0,70	0,79
Al	0,19	0,08
Si	0,53	0,29
P	0,18	4,53
S	20,17	21,00
K	0,15	5,32
Ca	13,30	18,51
Mn	0,06	0,04
Fe	18,92	1,81

Zn	0,16	0,13
As	0,03	0,0
Sr	0,01	0,02

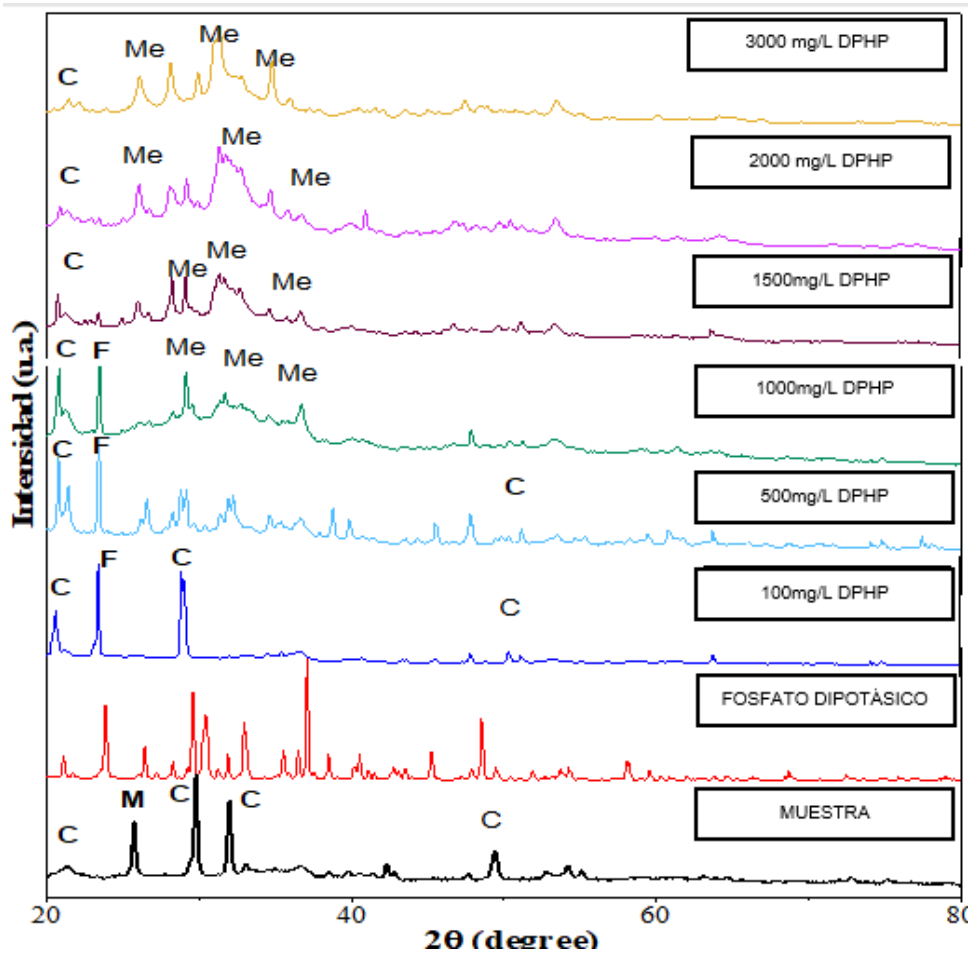
Nota: resultados cualitativos de metales en la muestra de 1000 mg/L de DPHP.

C. Caracterización estructural por medio de Difracción de rayos X

En la Figura 6 se muestra los resultados del precipitado de la combinación del agua acida de relavas mineros cuando interactúa con el Fosfato di potásico (DPHP), se puede observar que no presenta un efecto de reacción entre los compuestos del agua acida presentes, ya que los picos de difracción no sufren cambios o variación en la intensidad o desplazamiento de los picos.

Figura 6

Difractogramas obtenidos del precipitado de la mezcla del drenaje acido de mina + Fosfato dipotásico.



C: Chalcopirite (CuFeS_2)

F: Ferric acid phosphate ($\text{Fe}_3\text{H}_{21}\text{NO}_{30}\text{P}_6$)

M: Marcasite (FeS_2)

Me: Merrillite ($\text{Ca}_{9.45}\text{Fe}_{0.22}\text{Mg}_{0.78}\text{O}_{28}\text{P}_7$)

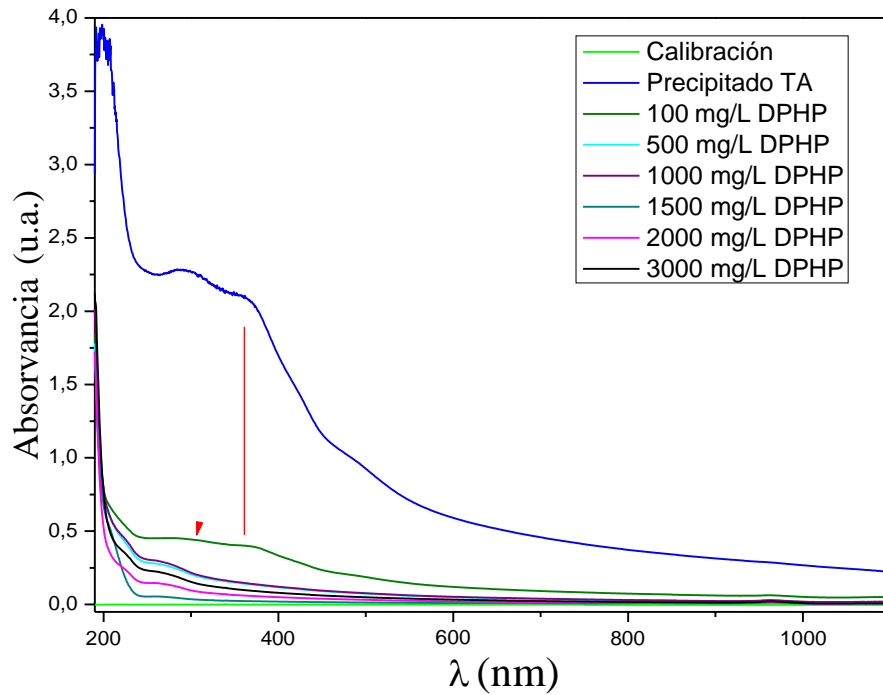
En la Figura 6 se puede observar cambios en los difractogramas cuando el drenaje ácido de mina es mezclado con el fosfato dipotásico (DPHP), observando así un aumento de intensidad y dislocamientos, esto indica la eficiencia del fosfato dipotásico hasta en una concentración de 3000mg/L de fosfato dipotásico (DPHP). mostrando una mejor reacción al precipitar metales pesados de estos drenajes ácidos de mina. Por tanto, elementos químicos de los drenajes ácidos de mina y el fosfato dipotásico (DPHP) cuando se mezclan forman un precipitado por el efecto de floculación/coagulación. Para tener una conclusión más clara veremos otras técnicas para corroborar lo mencionado.

D. Caracterización por Espectroscopia Ultravioleta-Visible (UV-Vis)

En la Figura 7 se observa todos los espectros de las aguas ácidas de minería con diferente concentración de fosfato dipotásico (DPHP). La desaparición de las bandas (oscilaciones) en 280 y 380 nm correspondiente al drenaje ácido de mina de la muestra inicial. Luego aumentar las dosis para cada tratamiento con fosfato dipotásico (DPHP) estas bandas tienden a disminuir hasta que desaparecen. Cabe mencionar que el valor mínimo de absorbancia es con una masa de 1000mg/L de fosfato dipotásico (DPHP) y arriba de esa concentración el espectro tiende a aumentar. Esto corrobora lo ya fue mencionado por difracción de rayos-X.

Figura 7

Resultados del precipitado de la combinación de drenaje ácido de mina cuando interactúa con el Fosfato dipotásico (DPHP).



Nota: Espectroscopia UV-Vis de las muestras de drenaje ácido de mina con fosfatos de DPHP.

5.1.4. Resultados descriptivos de los experimentos

Los resultados descriptivos permiten tener un primer acercamiento al comportamiento de los datos obtenidos del diseño experimental. La tabla 13 muestra los resultados de (pH, % de remoción de la turbidez, Conductividad eléctrica y Oxígeno Disuelto), como la mediana, desviación estándar, mínimo, mediana, máximo, los cuales se obtuvieron de las tablas 8.9,10 y 11 respectivamente.

Tabla 13

Resultados descriptivos experimentales de los diferentes tratamientos factoriales

Variable	N	Media	Desv.Est.	Mínimo	Mediana	Máximo
pH	18	5.839	1.230	3.200	6.388	6.920
Remoción %de turbidez	18	89.54	13.39	54.48	96.08	98.87
C.E	18	4.592	1.099	3.320	4.485	6.820
O. D	18	5.9833	0.3111	5.3500	5.9850	6.4700

5.2. Resultados Inferenciales

5.2.1. Prueba estadística de normalidad de residuales.

Para una prueba estadística paramétrica se deben de analizar los residuos (e_{ij}) que son generados por la diferencia entre la respuesta observada (Y_{ij}) y la respuesta predicha (\hat{Y}_{ij}) por el modelo en cada tratamiento:

$$e_{ij} = Y_{ij} - \hat{Y}_{ij}$$

Los residuales deben cumplir si son normales, evaluando las hipótesis estadísticas de los residuales en base a la prueba de normalidad de Anderson Darling.

Siendo las hipótesis de prueba para el análisis de la normalidad:

H_0 : Los residuos siguen una distribución normal.

H_1 : Los residuos no siguen una distribución normal.

Nivel de significancia (α) = 0,05

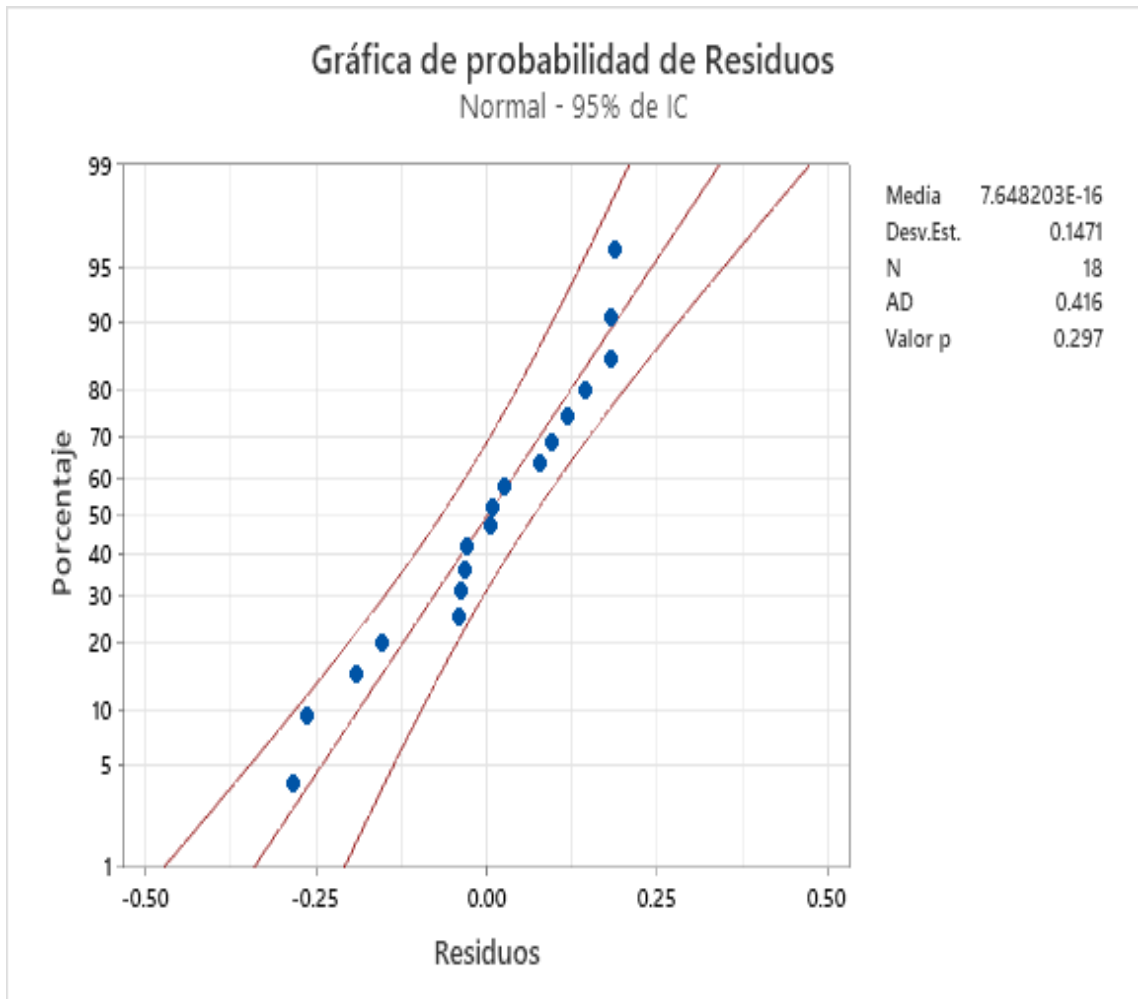
Si el valor $p < \alpha$, se rechaza H_0

Si el valor $p > \alpha$, no se rechaza H_0 .

En la Figura 8, para la condición de normalidad, se puede observar que a un intervalo de confianza del 95% los datos están relativamente cerca de la línea de distribución normal ajustada con un coeficiente de correlación (AD) = 0.416 y el valor $p = 0,297$ es mayor que el nivel de significancia de 0,05; por lo tanto, no hay suficiente evidencia estadística para rechazar la hipótesis nula (H_0), por lo se concluye que los datos siguen una distribución normal.

Figura 8

Gráfica de probabilidad normal de residuos de pH.

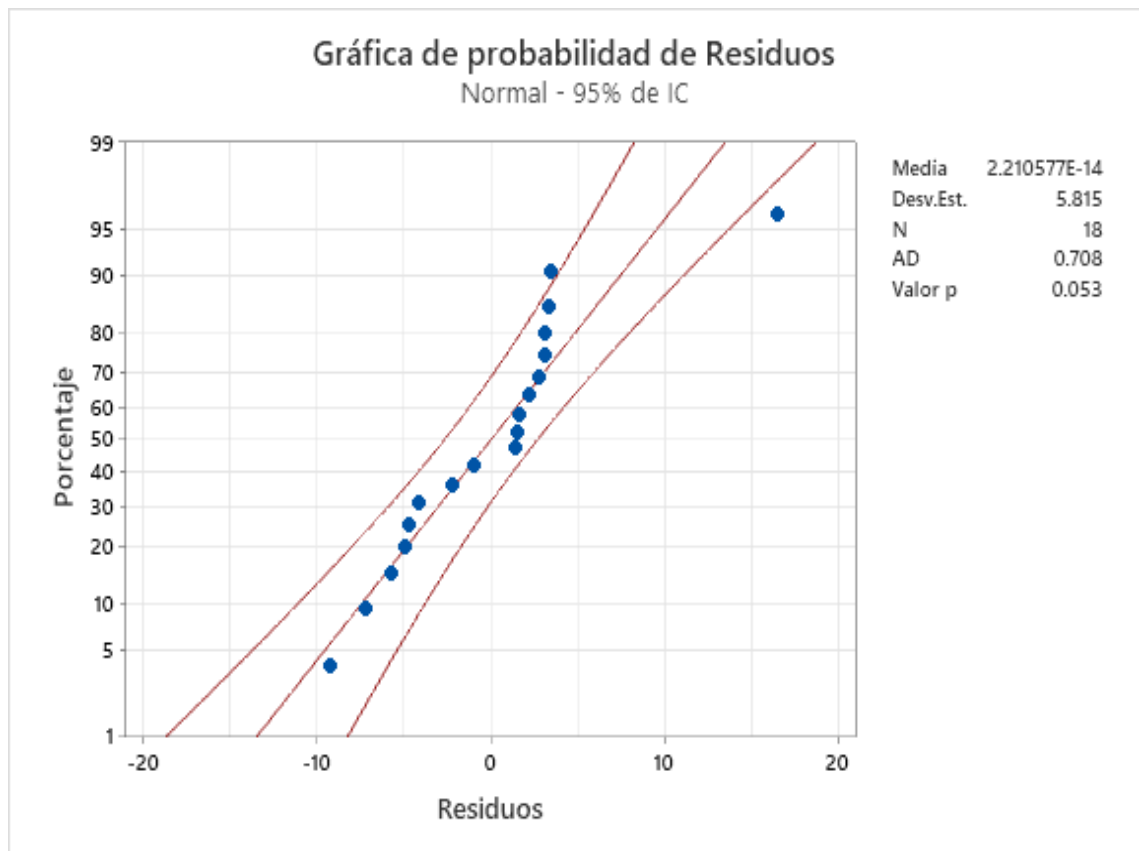


Nota: Resultados obtenidos en el software estadístico Minitab 20.

En la Figura 9, para la condición de normalidad, se puede observar que a un intervalo de confianza del 95% los datos están relativamente cerca de la línea de distribución normal ajustada con un coeficiente de correlación (AD) = 0.708 y el valor $p = 0,053$ es mayor que el nivel de significancia de 0,05; por lo tanto, no hay suficiente evidencia estadística para rechazar la hipótesis nula (H_0), por lo se concluye que los datos siguen una distribución normal.

Figura 9

Gráfica de probabilidad normal de residuos remoción % de turbidez.

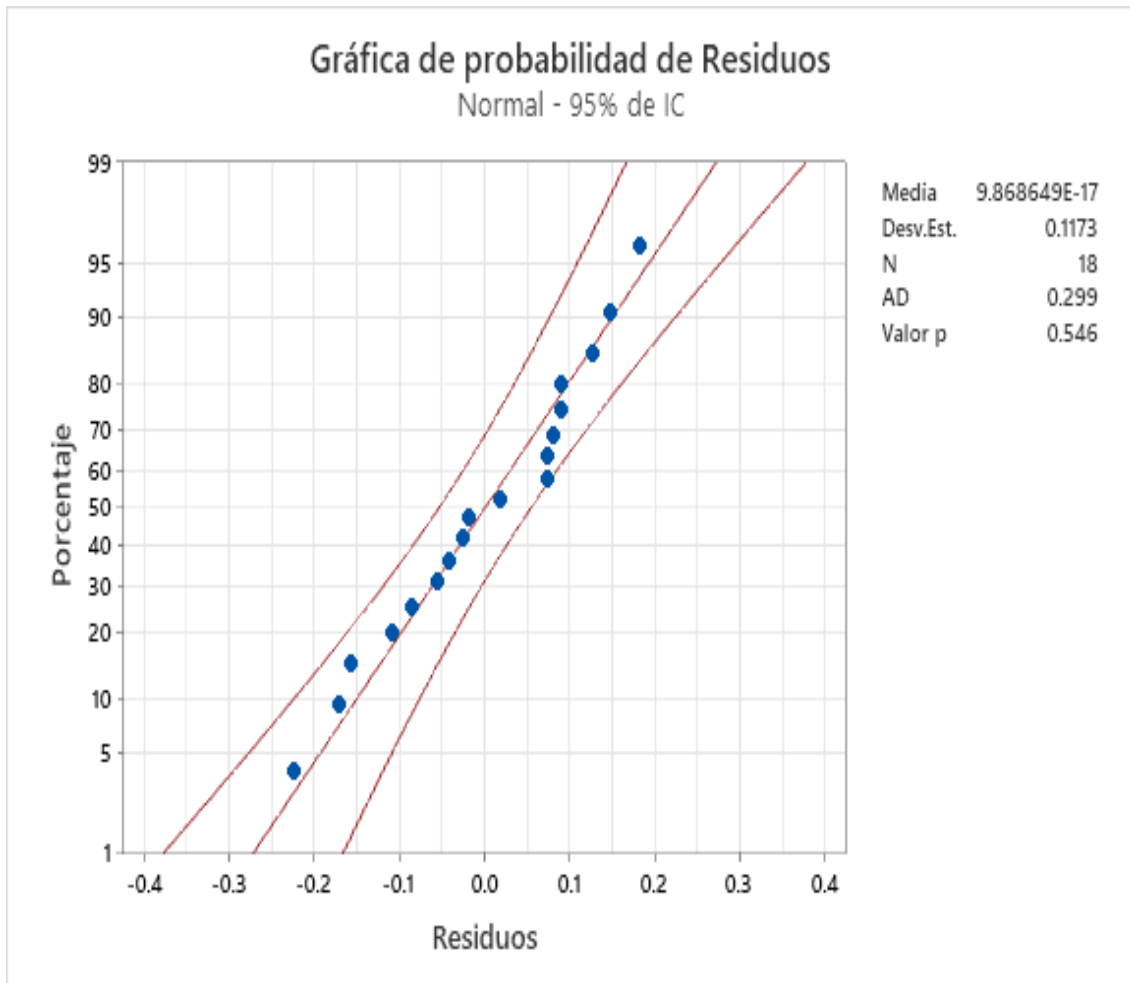


Nota: Resultados obtenidos en el software estadístico Minitab 20.

En la Figura 10, para la condición de normalidad, se puede observar que a un intervalo de confianza del 95% los datos están relativamente cerca de la línea de distribución normal ajustada con un coeficiente de correlación (AD) = 0.299 y el valor $p = 0,546$ es mayor que el nivel de significancia de 0,05; por lo tanto, no hay suficiente evidencia estadística para rechazar la hipótesis nula (H_0), por lo se concluye que los datos siguen una distribución normal.

Figura 10

Gráfica de probabilidad normal de residuos C.E.

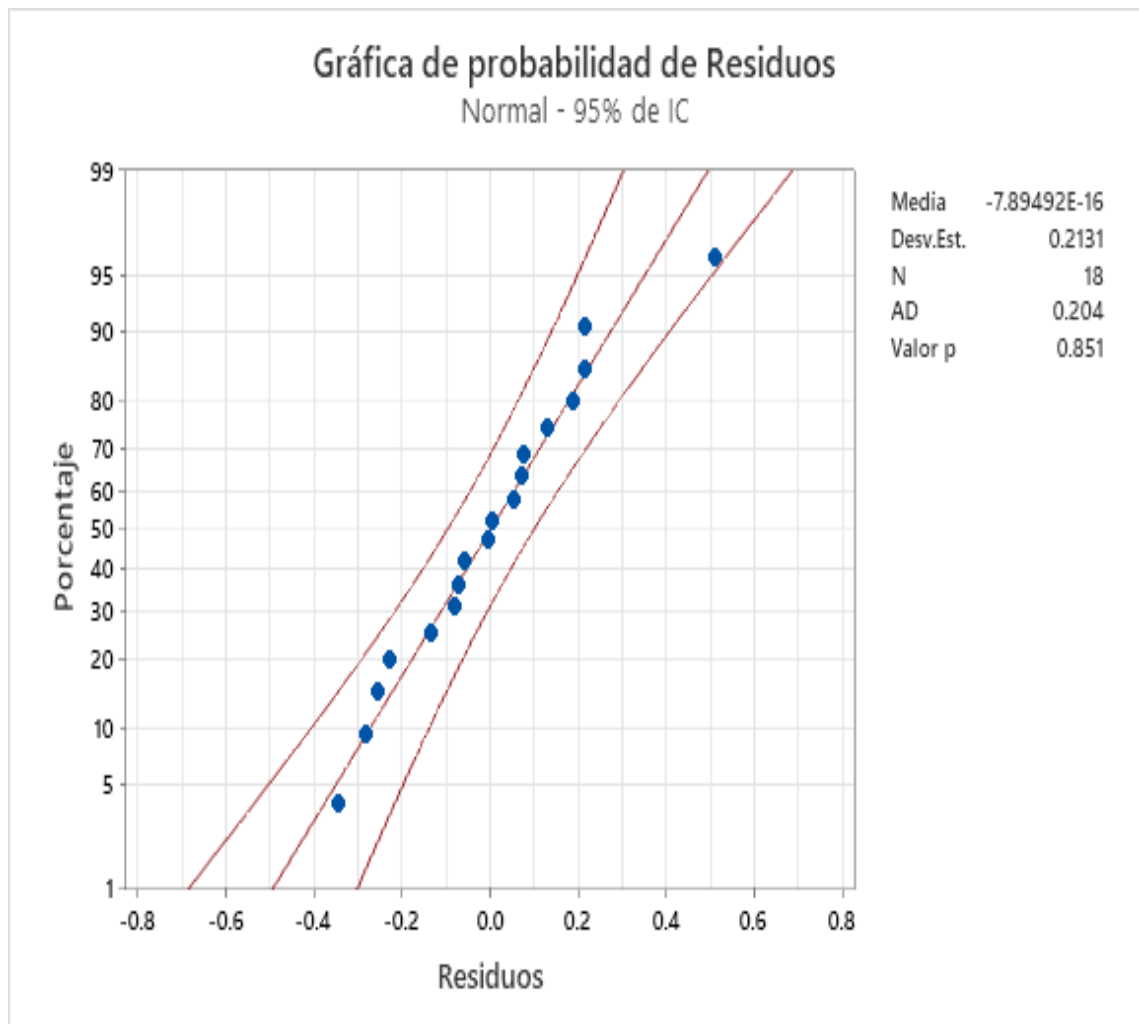


Nota: Resultados obtenidos en el software estadístico Minitab 20.

En la Figura 11, para la condición de normalidad, se puede observar que a un intervalo de confianza del 95% los datos están relativamente cerca de la línea de distribución normal ajustada con un coeficiente de correlación (AD) = 0.204 y el valor $p = 0,851$ es mayor que el nivel de significancia de 0,05; por lo tanto, no hay suficiente evidencia estadística para rechazar la hipótesis nula (H_0), por lo se concluye que los datos siguen una distribución normal.

Figura 11

Gráfica de probabilidad normal de residuos O.D.

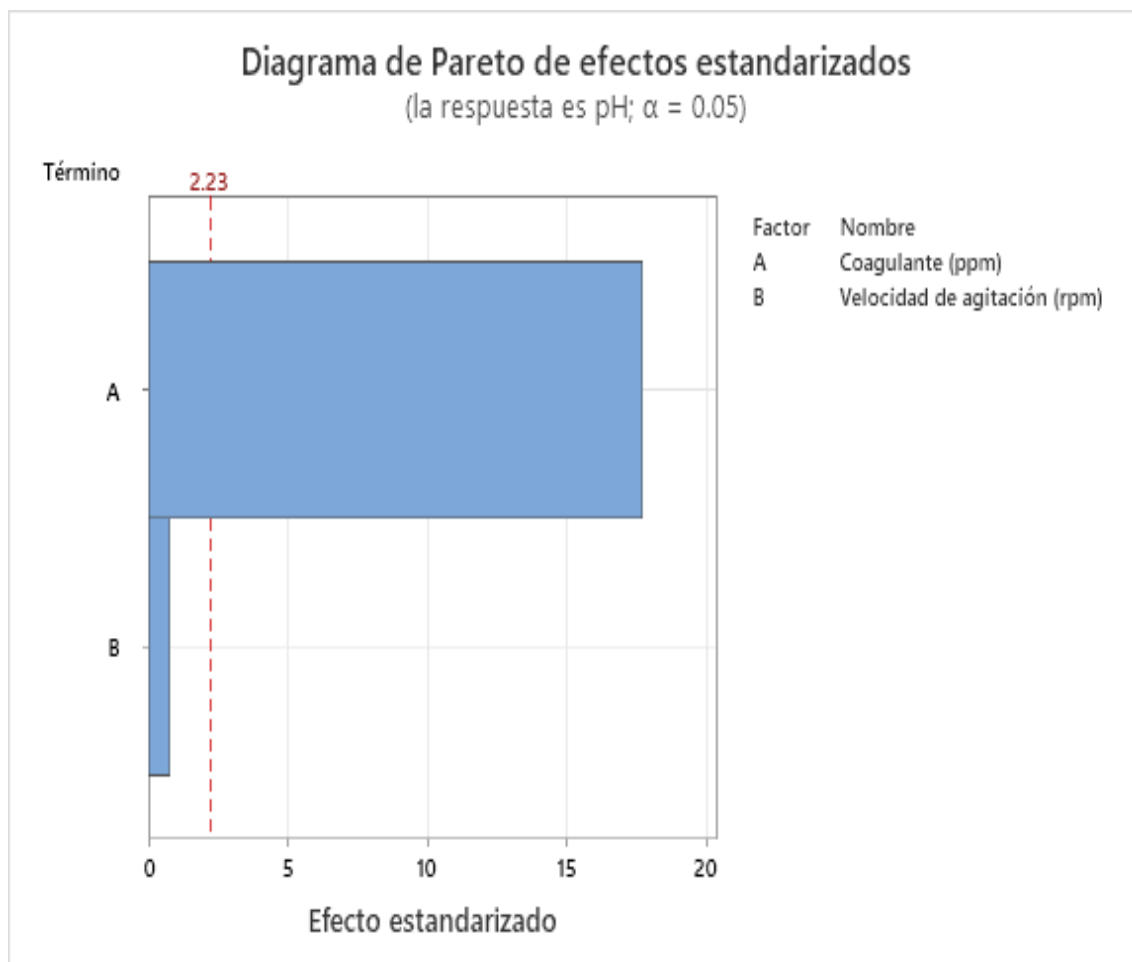


Nota: Resultados obtenidos en el software estadístico Minitab 20.

En la Figura 12, se muestra el tipo de Coagulante (ppm) influyen en la eficiencia del pH de manera positiva ya que sobrepasan el nivel de referencia de 2,23 generado por el mismo programa estadístico de acuerdo al nivel de significancia de 0,05 utilizado.

Figura 12

Diagrama de Pareto de pH.

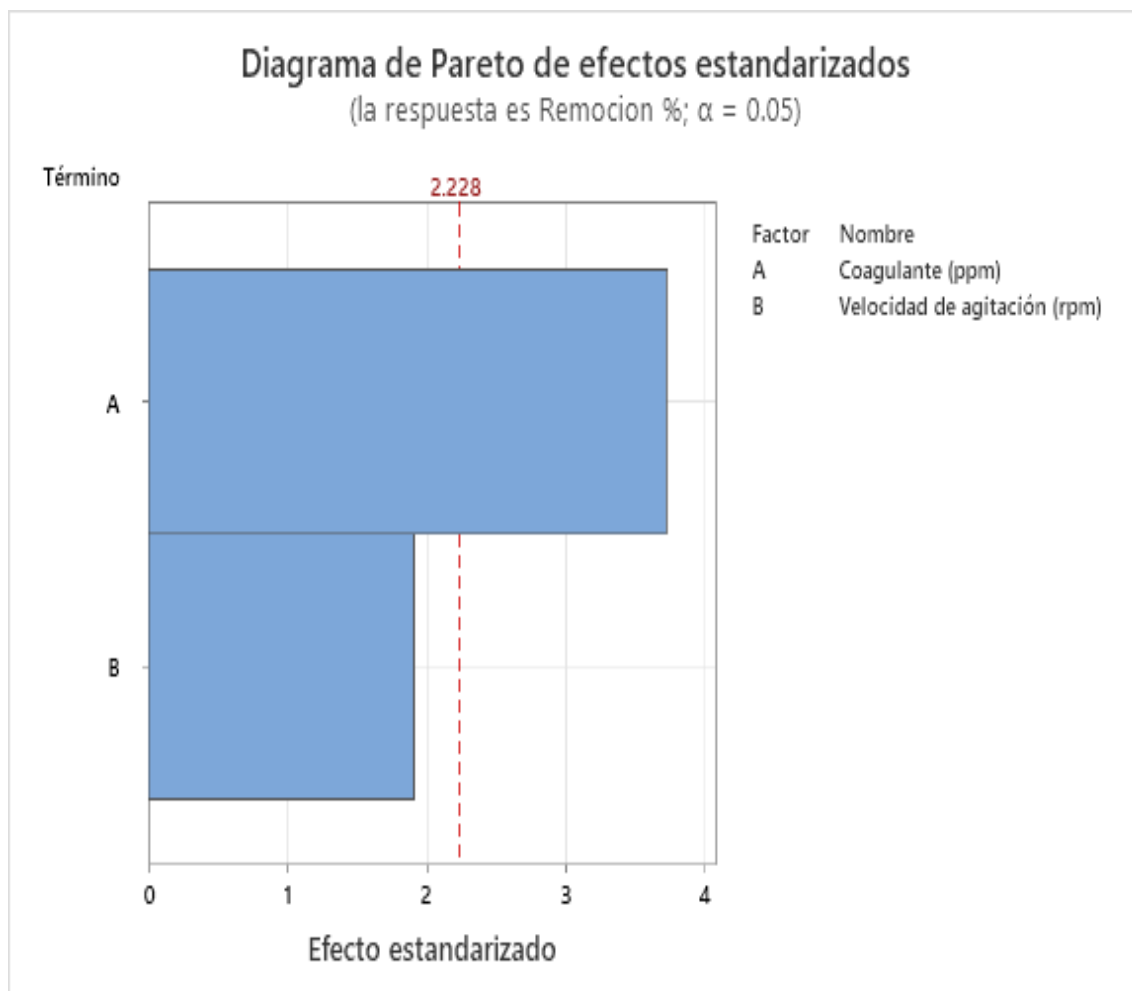


Nota: Resultados obtenidos en el software estadístico Minitab 20.

En la Figura 13, se muestra el tipo de Coagulante (ppm) influyen en la eficiencia de la remoción % de turbidez de manera positiva ya que sobrepasan el nivel de referencia de 2,228 generado por el mismo programa estadístico de acuerdo al nivel de significancia de 0,05 utilizado.

Figura 13

Diagrama de Pareto de la remoción % de turbidez.

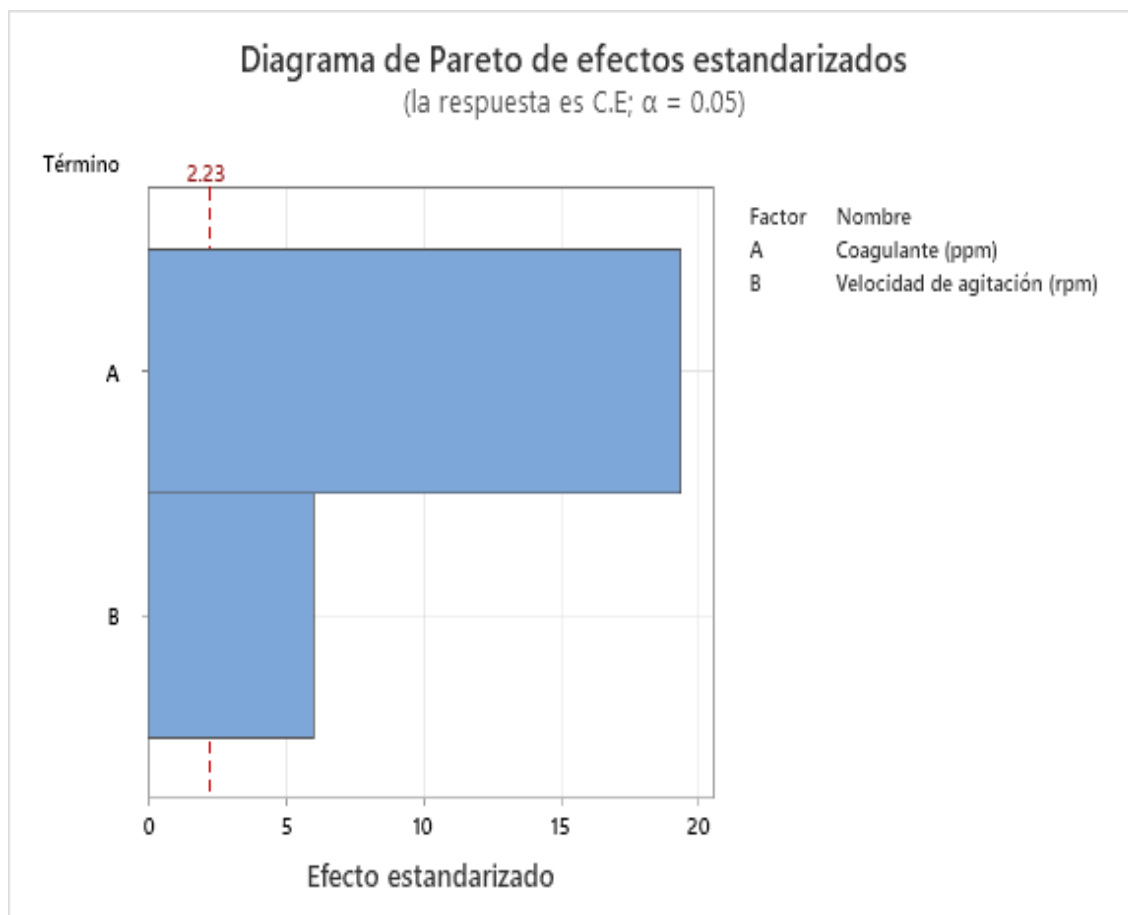


Nota: Resultados obtenidos en el software estadístico Minitab 20.

En la Figura 14, se muestra el tipo de Coagulante (ppm) y Velocidad de agitación (rpm) influyen en la eficiencia de la C.E de manera positiva ya que sobrepasan el nivel de referencia de 2,23 generado por el mismo programa estadístico de acuerdo al nivel de significancia de 0,05 utilizado.

Figura 14

Diagrama de Pareto de C.E.

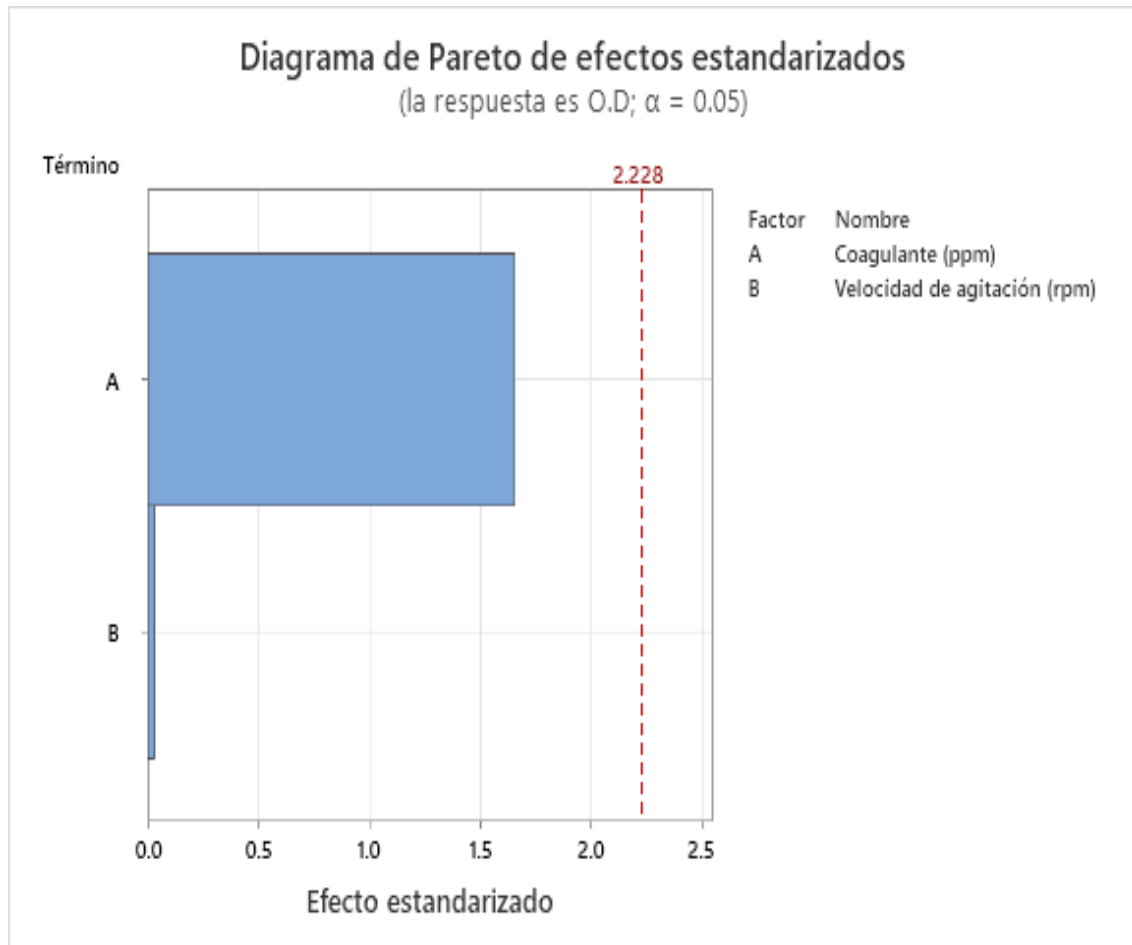


Nota: Resultados obtenidos en el software estadístico Minitab 20.

En la Figura 15, se muestra el tipo de Coagulante (ppm) Velocidad de agitación (rpm) no influyen en la eficiencia del O.D de manera positiva ya que no sobrepasan el nivel de referencia de 2,228 generado por el mismo programa estadístico de acuerdo al nivel de significancia de 0,05 utilizado.

Figura 15

Gráfica de probabilidad normal de residuos O.D.



Nota: Resultados obtenidos en el software estadístico Minitab 20.

5.2.2. Prueba de hipótesis estadística en el proceso de coagulación-floculación ANOVA.

Para Las hipótesis estadísticas son:

H_0 : $r_1=r_2=r_3=r_4=r_5=r_6=r_7=r_8$, todas las medias (promedios) de tratamiento de drenajes ácidos de mina son iguales.

H_1 : $r \neq 0$, por lo menos una media es diferente.

Nivel de significancia (α) = 0,05

Si el valor $p < \alpha$, se rechaza H_0

Si el valor $p > \alpha$, no se rechaza H_0 .

En la Tabla 14, en el análisis de varianza del pH, el valor p de los factores: el tipo de Coagulante (ppm) (0.000) es menor a ($0.05 < p$) nivel de significancia utilizado de 0,05 a un nivel de confianza del 95%, donde existe suficiente evidencia estadística para rechazar la hipótesis nula. Por lo tanto, se concluye que las medias de los tratamientos difieren; es decir, que los factores influyen de manera significativa en el porcentaje de los drenajes ácidos de mina.

Tabla 14

Análisis de varianza (ANOVA) del pH.

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Modelo	7	25.3536	3.62194	98.52	0.000
Lineal	7	25.3536	3.62194	98.52	0.000
Coagulante (ppm)	5	25.2913	5.05826	137.59	0.000
Velocidad de agitación (rpm)	2	0.0623	0.03113	0.85	0.457
Error	10	0.3676	0.03676		
Total	17	25.7212			

Nota: Resultados obtenidos del software estadístico Minitab 20.

En la Tabla 15, en el análisis de varianza de la remoción % de turbidez, el valor p de los factores: el tipo de Coagulante (ppm) (0.004) es menor a ($0.05 < p$) nivel de significancia utilizado de 0,05 a un nivel de confianza del 95%, donde existe suficiente evidencia estadística para rechazar la hipótesis nula. Por lo tanto, se concluye que las medias de los tratamientos difieren; es decir, que los factores influyen de manera significativa en la remoción de los drenajes ácidos de mina.

Tabla 15*Análisis de varianza (ANOVA) de la remoción % de turbidez.*

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Modelo	7	2471.8	353.12	6.14	0.005
Lineal	7	2471.8	353.12	6.14	0.005
Coagulante (ppm)	5	2106.3	421.26	7.33	0.004
Velocidad de agitación (rpm)	2	365.5	182.76	3.18	0.085
Error	10	574.8	57.48		
Total	17	3046.6			

Nota: Resultados obtenidos del software estadístico Minitab 20.

En la Tabla 16, en el análisis de varianza de C.E, el valor p de los factores: el tipo de Coagulante (ppm) Velocidad de agitación (rpm) es (0.000) es menor a (0.05<p) nivel de significancia utilizado de 0,05 a un nivel de confianza del 95%, donde existe suficiente evidencia estadística para rechazar la hipótesis nula. Por lo tanto, se concluye que las medias de los tratamientos difieren; es decir, que los factores influyen de manera significativa porcentaje de los drenajes ácidos de mina.

Tabla 16*Análisis de varianza (ANOVA) de C.E.*

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Modelo	7	20.3166	2.90237	124.12	0.000
Lineal	7	20.3166	2.90237	124.12	0.000
Coagulante (ppm)	5	19.1492	3.82984	163.78	0.000
Velocidad de agitación (rpm)	2	1.1674	0.58372	24.96	0.000
Error	10	0.2338	0.02338		
Total	17	20.5505			

Nota: Resultados obtenidos del software estadístico Minitab 20.

En la Tabla 17, en el análisis de varianza del O.D, el valor p de los factores: el tipo de Coagulante (ppm) es (0.129), Velocidad de agitación (rpm) (0.974), es mayor que el nivel de significancia utilizado de 0,05 a un nivel de confianza del 95%, donde existe suficiente evidencia estadística para aceptar la hipótesis nula. Por lo tanto, se concluye que las medias de los tratamientos difieren; es decir, que los factores no influyen de manera significativa en el porcentaje de los drenajes ácidos de mina.

Tabla 17

Análisis de varianza (ANOVA) del O.D.

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Modelo	7	0.87367	0.124810	1.62	0.237
Lineal	7	0.87367	0.124810	1.62	0.237
Coagulante (ppm)	5	0.86953	0.173907	2.25	0.129
Velocidad de agitación (rpm)	2	0.00413	0.002067	0.03	0.974
Error	10	0.77193	0.077193		
Total	17	1.64560			

Nota: Resultados obtenidos del software estadístico Minitab 20.

5.2.3. Estadísticos de bondad en el proceso proceso de coagulación-floculación

Se observa en la Tabla 18, que el coeficiente de determinación (R^2 ajustado) es de 96,94% el cual es un valor adecuado de ajuste del modelo, donde nos indica que los factores el tipo de Coagulante (ppm) influyen en gran magnitud en porcentaje de los drenajes ácidos de mina.

Tabla 18

Resumen de los estadísticos de bondad del pH.

S	R^2	R^2 (ajustado)

0.191740	98.57	97.57%
----------	-------	--------

Nota: Resultados obtenidos del software estadístico Minitab 20.

Donde:

- S: Representa la desviación estándar se utiliza para evaluar qué tan bien el modelo describe la respuesta.
- R²: Es el porcentaje de variación en la respuesta que es explicada por el modelo, Mientras mayor sea el valor de R², mejor se ajustará el modelo a los datos. R² siempre está entre 0% y 100%.
- R² (ajustado): Se utiliza R² ajustado cuando se desee comparar modelos que tengan diferentes números de predictores.

De acuerdo a los factores y niveles se genera una ecuación de regresión del modelo, donde se tiene la ecuación general. Se toma el valor de la constante (5.8392) y se le suma los valores de cada factor para determinar la eficiencia magnitud en porcentaje de los drenajes ácidos de mina de cada tratamiento:

$$\begin{aligned} \text{pH} = & 5.8392 - 2.402 \text{ Coagulante (ppm)}_{100} - 0.524 \text{ Coagulante (ppm)}_{500} \\ & + 0.356 \text{ Coagulante (ppm)}_{1000} + 0.752 \text{ Coagulante (ppm)}_{1500} \\ & + 0.768 \text{ Coagulante (ppm)}_{2000} + 1.050 \text{ Coagulante (ppm)}_{3000} \\ & - 0.0814 \text{ Velocidad de agitación (rpm)}_{50} \\ & + 0.0556 \text{ Velocidad de agitación (rpm)}_{150} \\ & + 0.0258 \text{ Velocidad de agitación (rpm)}_{250} \end{aligned}$$

Se observa en la Tabla 19, que el coeficiente de determinación (R² ajustado) es de 96,94% el cual es un valor adecuado de ajuste del modelo, donde nos indica que los factores el tipo de Coagulante (ppm) influyen en de la remoción % de turbidez de los drenajes ácidos de mina.

Tabla 19

Resumen de los estadísticos de bondad de la remoción % de turbidez.

S	R ²	R ² (ajustado)
---	----------------	------------------------------

7.58141	81.13%	67.93%
---------	--------	--------

Nota: Resultados obtenidos del software estadístico Minitab 20.

Donde:

- S: Representa la desviación estándar se utiliza para evaluar qué tan bien el modelo describe la respuesta.
- R²: Es el porcentaje de variación en la respuesta que es explicada por el modelo, Mientras mayor sea el valor de R², mejor se ajustará el modelo a los datos. R² siempre está entre 0% y 100%.
- R² (ajustado): Se utiliza R² ajustado cuando se desee comparar modelos que tengan diferentes números de predictores.

De acuerdo a los factores y niveles se genera una ecuación de regresión del modelo, donde se tiene la ecuación general. Se toma el valor de la constante (89.54) y se le suma los valores de cada factor para determinar la eficiencia de la remoción % de turbidez de los drenajes ácidos de mina de cada tratamiento:

$$\begin{aligned}
 \text{Remocion} &= 89.54 - 21.55 \text{ Coagulante (ppm)}_{100} \\
 \% \text{ de} &- 6.39 \text{ Coagulante (ppm)}_{500} \\
 \text{turbidez} &+ 7.85 \text{ Coagulante (ppm)}_{1000} + 7.41 \text{ Coagulante (ppm)}_{1500} \\
 &+ 6.34 \text{ Coagulante (ppm)}_{2000} + 6.35 \text{ Coagulante (ppm)}_{3000} \\
 &+ 6.23 \text{ Velocidad de agitación (rpm)}_{50} \\
 &- 1.96 \text{ Velocidad de agitación (rpm)}_{150} \\
 &- 4.27 \text{ Velocidad de agitación (rpm)}_{250}
 \end{aligned}$$

Se observa en la Tabla 20, que el coeficiente de determinación (R² ajustado) es de 98.86% el cual es un valor adecuado de ajuste del modelo, donde nos indica que los factores el tipo de Coagulante (ppm) Velocidad de agitación (rpm) influyen en gran magnitud en porcentaje de los drenajes ácidos de mina.

Tabla 20

Resumen de los estadísticos de bondad del C.E.

S	R ²	R ² (ajustado)
0.152916	98.86%	98.07%

Nota: Resultados obtenidos del software estadístico Minitab 20.

Donde:

- S: Representa la desviación estándar se utiliza para evaluar qué tan bien el modelo describe la respuesta.
- R²: Es el porcentaje de variación en la respuesta que es explicada por el modelo, Mientras mayor sea el valor de R², mejor se ajustará el modelo a los datos. R² siempre está entre 0% y 100%.
- R² (ajustado): Se utiliza R² ajustado cuando se desee comparar modelos que tengan diferentes números de predictores.

De acuerdo a los factores y niveles se genera una ecuación de regresión del modelo, donde se tiene la ecuación general. Se toma el valor de la constante (4.5917) y se le suma los valores de cada factor para determinar la eficiencia magnitud en porcentaje de los drenajes ácidos de mina de cada tratamiento:

$$\begin{aligned}
 C.E = & 4.5917 - 1.1117 \text{ Coagulante (ppm)}_{100} \\
 & - 1.0950 \text{ Coagulante (ppm)}_{500} \\
 & - 0.4383 \text{ Coagulante (ppm)}_{1000} + 0.1083 \text{ Coagulante (ppm)}_{1500} \\
 & + 0.7550 \text{ Coagulante (ppm)}_{2000} + 1.7817 \text{ Coagulante (ppm)}_{3000} \\
 & - 0.2217 \text{ Velocidad de agitación (rpm)}_{50} \\
 & + 0.3567 \text{ Velocidad de agitación (rpm)}_{150} \\
 & - 0.1350 \text{ Velocidad de agitación (rpm)}_{250}
 \end{aligned}$$

Se observa en la Tabla 21, que el coeficiente de determinación (R² ajustado) es de 53.09 % el cual es un valor adecuado de ajuste del modelo, donde nos indica que los factores el tipo de Coagulante (ppm) Velocidad de agitación (rpm) no influyen en gran magnitud en porcentaje de los drenajes ácidos de mina.

Tabla 21

Resumen de los estadísticos de bondad del O.D.

S	R²	R² (ajustado)
0.277837	53.09%	20.25%

Nota: Resultados obtenidos del software estadístico Minitab 20.

Donde:

- S: Representa la desviación estándar se utiliza para evaluar qué tan bien el modelo describe la respuesta.
- R²: Es el porcentaje de variación en la respuesta que es explicada por el modelo, Mientras mayor sea el valor de R², mejor se ajustará el modelo a los datos. R² siempre está entre 0% y 100%.
- R² (ajustado): Se utiliza R² ajustado cuando se desee comparar modelos que tengan diferentes números de predictores.

De acuerdo a los factores y niveles se genera una ecuación de regresión del modelo, donde se tiene la ecuación general. Se toma el valor de la constante (5.9833) y se le suma los valores de cada factor para determinar la eficiencia magnitud en porcentaje de los drenajes ácidos de mina de cada tratamiento:

$$\begin{aligned} \text{O. D} = & 5.9833 - 0.127 \text{ Coagulante (ppm)}_{100} - 0.353 \text{ Coagulante (ppm)}_{500} \\ & - 0.110 \text{ Coagulante (ppm)}_{1000} + 0.090 \text{ Coagulante (ppm)}_{1500} \\ & + 0.293 \text{ Coagulante (ppm)}_{2000} + 0.207 \text{ Coagulante (ppm)}_{3000} \\ & - 0.0200 \text{ Velocidad de agitación (rpm)}_{50} \\ & + 0.0167 \text{ Velocidad de agitación (rpm)}_{150} \\ & + 0.0033 \text{ Velocidad de agitación (rpm)}_{250} \end{aligned}$$

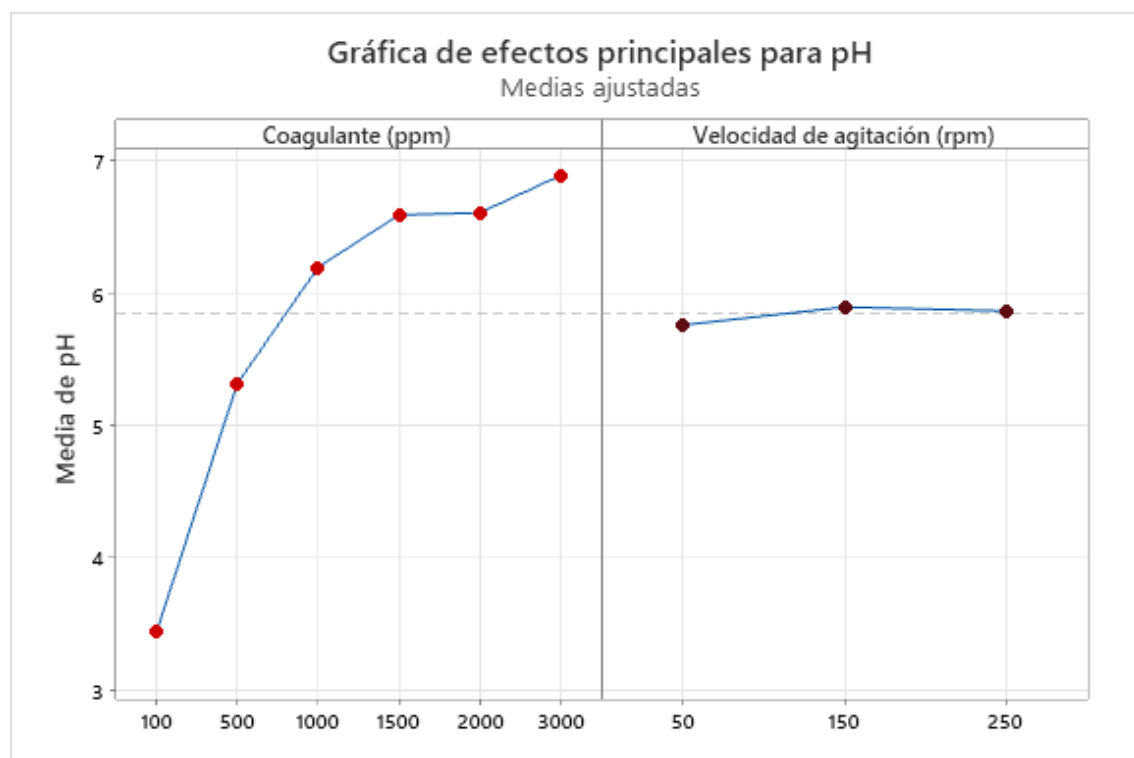
5.2.4. Gráficas de efectos principales del proceso de coagulación-floculación

En la Figura 16, el Coagulante en (3000ppm) tiene un mayor efecto en incrementar el pH en los drenajes ácidos de mina.

En Velocidad de agitación (150rpm) se logra incrementar el pH en los drenajes ácidos de mina.

Figura 16

Gráfica de efectos principales del pH.



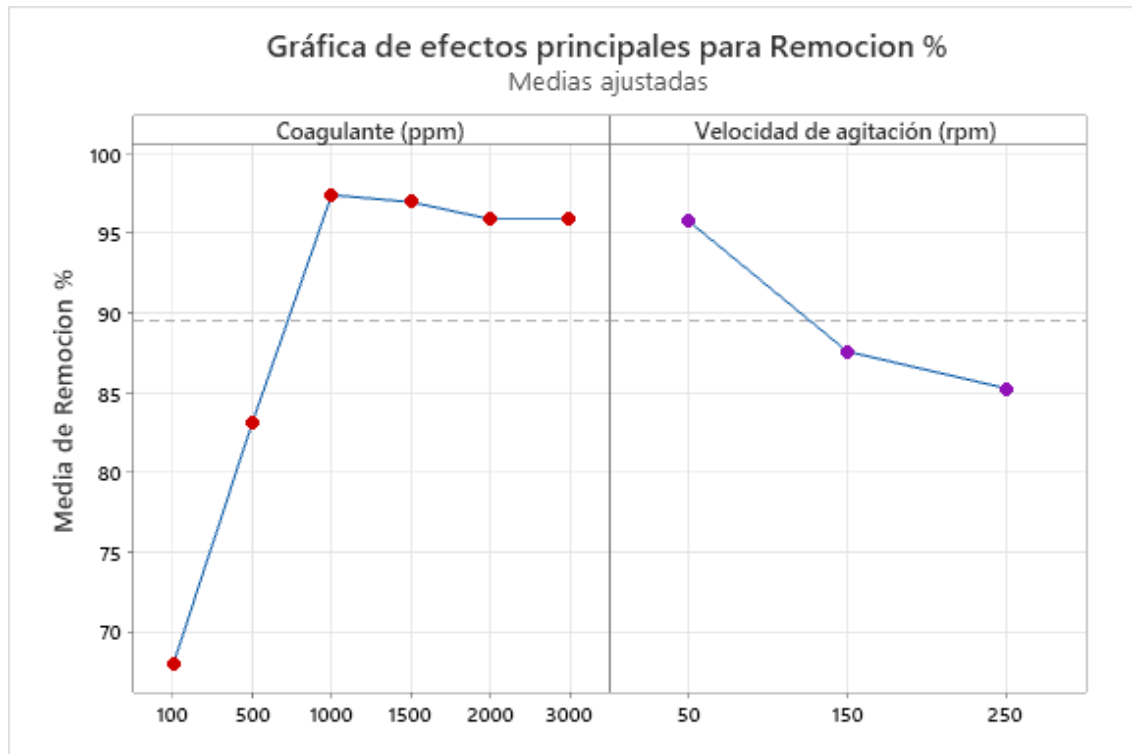
Nota: Resultados obtenidos en el software estadístico Minitab 20.

En la Figura 17, el Coagulante en (1000ppm) tiene un mayor efecto en la remoción % de turbidez de los drenajes ácidos de mina.

En Velocidad de agitación (50rpm) se logra incrementar en la remoción % de turbidez de los drenajes ácidos de mina.

Figura 17

Gráfica de efectos principales de la remoción % de turbidez.



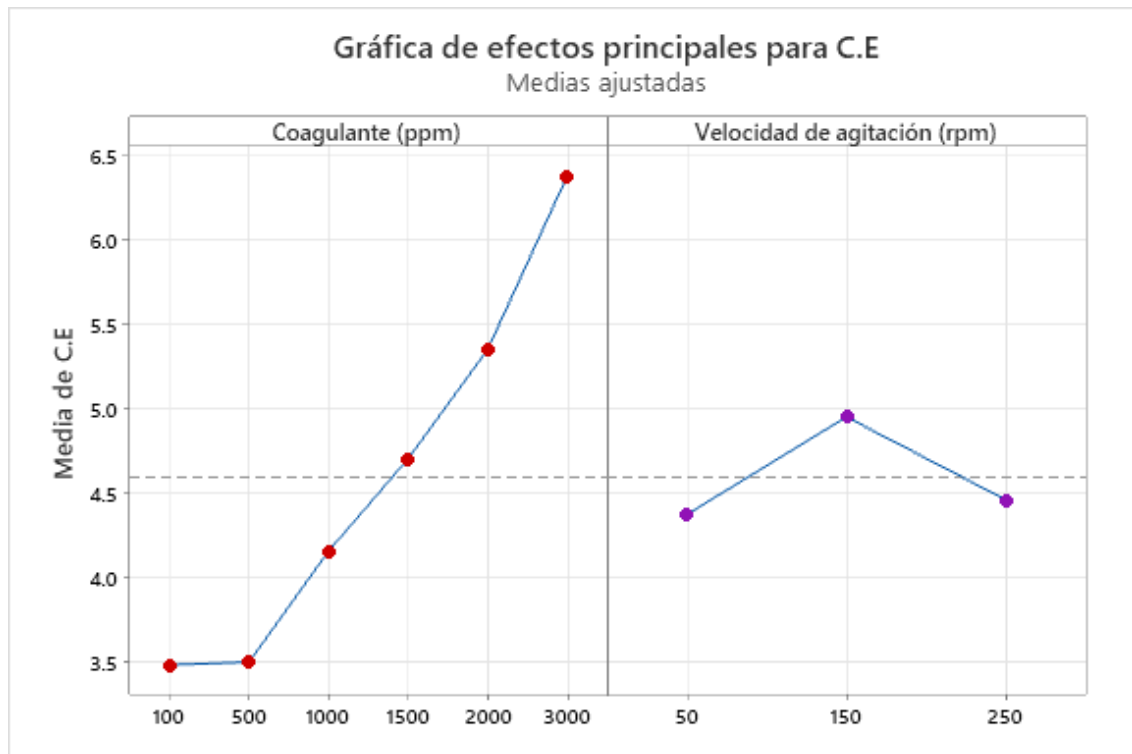
Nota: Resultados obtenidos en el software estadístico Minitab 20.

En la Figura 18, el Coagulante en (500ppm) tiene un menor efecto en descender la C.E de los drenajes ácidos de mina.

En Velocidad de agitación (50rpm) se logra descender la C.E en los drenajes ácidos de mina.

Figura 18

Gráfica de efectos principales de la C.E.



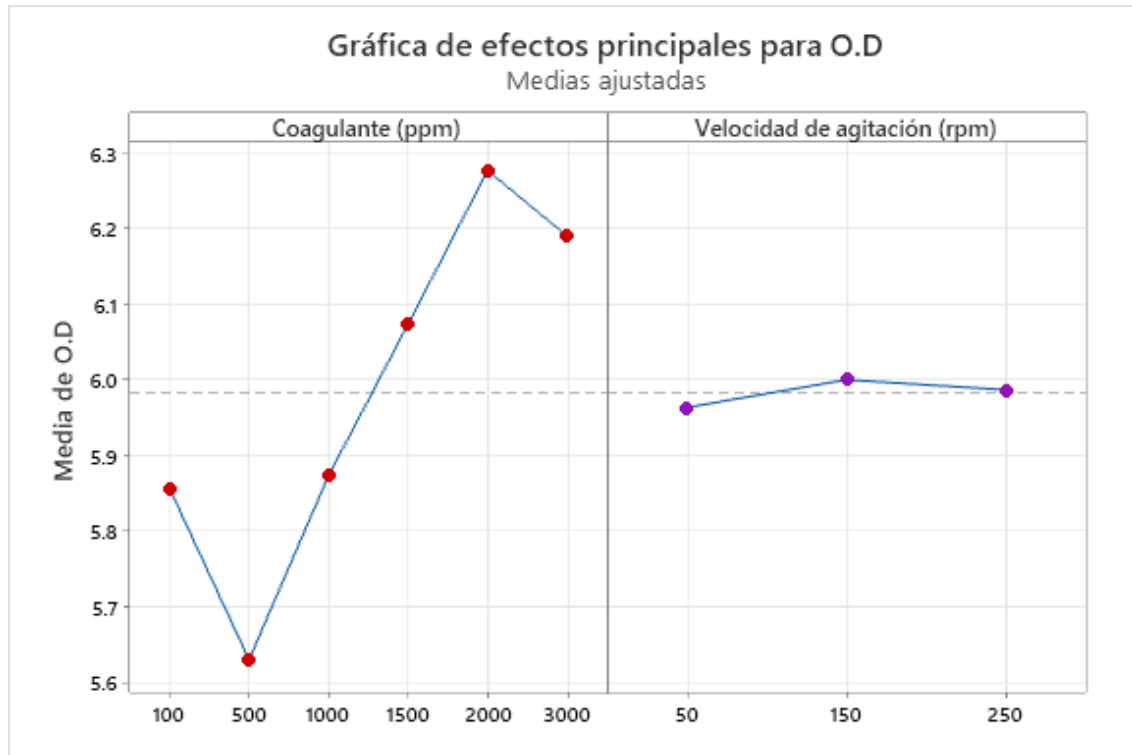
Nota: Resultados obtenidos en el software estadístico Minitab 20.

En la Figura 19, el Coagulante en (2000ppm) tiene un mayor efecto de incremento de O.D en los drenajes ácidos de mina.

En Velocidad de agitación (150rpm) se logra incrementar el O.D de los drenajes ácidos de mina.

Figura 19

Gráfica de efectos principales del O.D.



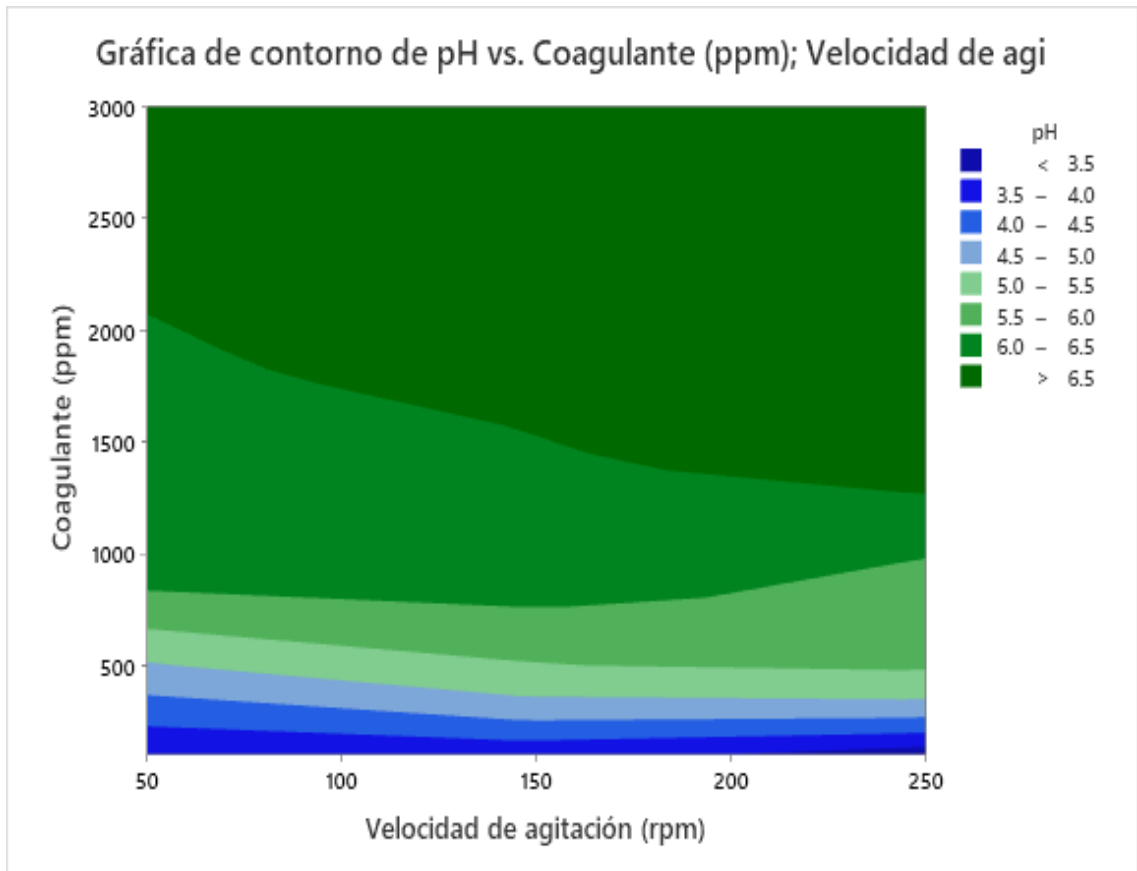
Nota: Resultados obtenidos en el software estadístico Minitab 20.

5.2.5. Gráficas de contorno del proceso de coagulación-floculación

En la Figura 20, Para obtener las mejores condiciones de tratamiento como se muestra en las siguientes figuras, se requiere trabajar el Coagulante en (3000ppm), a una velocidad de agitación de (150rpm) para lograr incrementar el Ph > 6.5 en los drenajes ácidos de mina.

Figura 20

Gráfica de contorno del pH vs tipo de Coagulante y Velocidad de agitación.

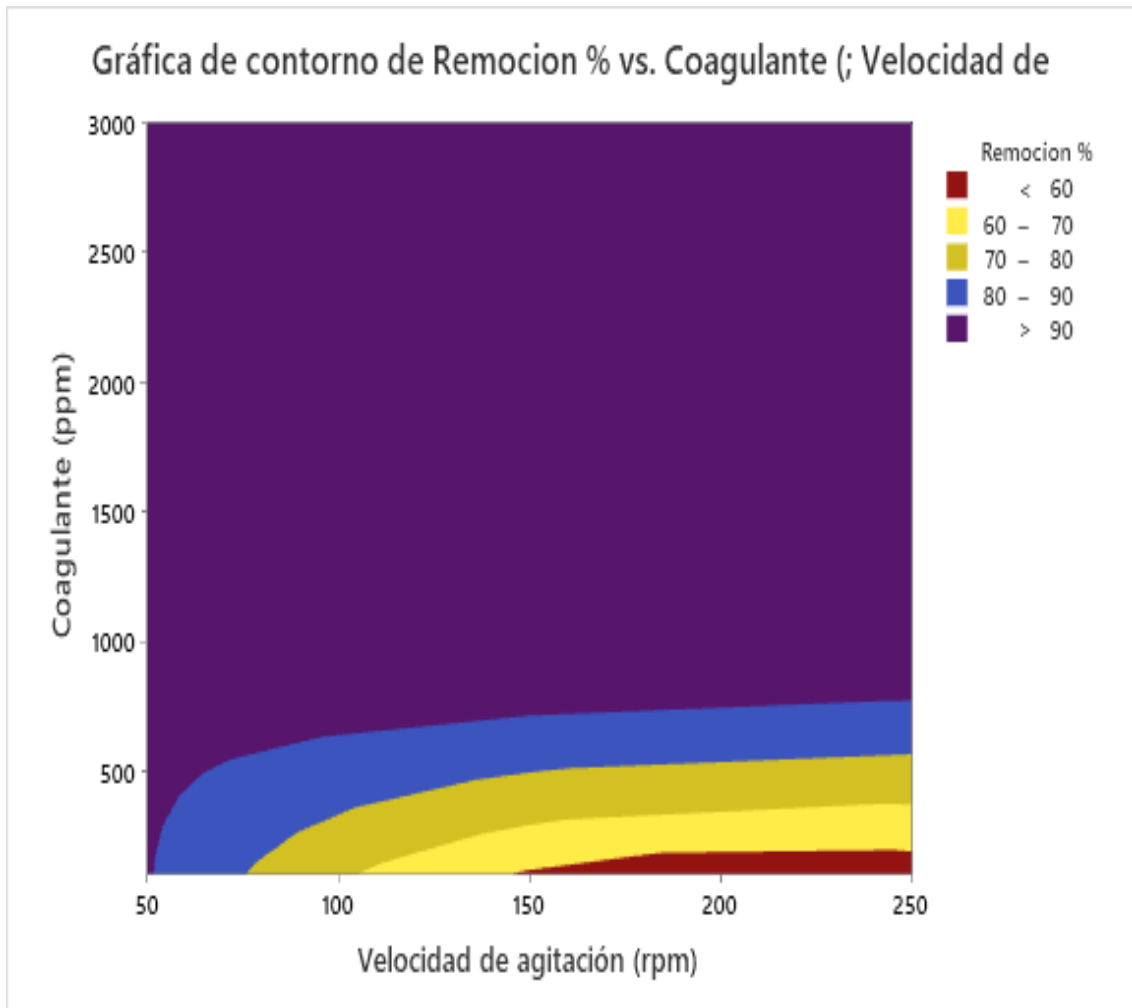


Nota: Resultados obtenidos en el software estadístico Minitab 20.

En la Figura 21, Para obtener las mejores condiciones de tratamiento como se muestra en las siguientes figuras, se requiere trabajar el Coagulante en (1000ppm), a una velocidad de agitación de (50rpm) un mayor efecto en la remoción % de turbidez > 90% en los drenajes ácidos de mina.

Figura 21

Gráfica de contorno de la remoción % de turbidez vs tipo de Coagulante y Velocidad de agitación.

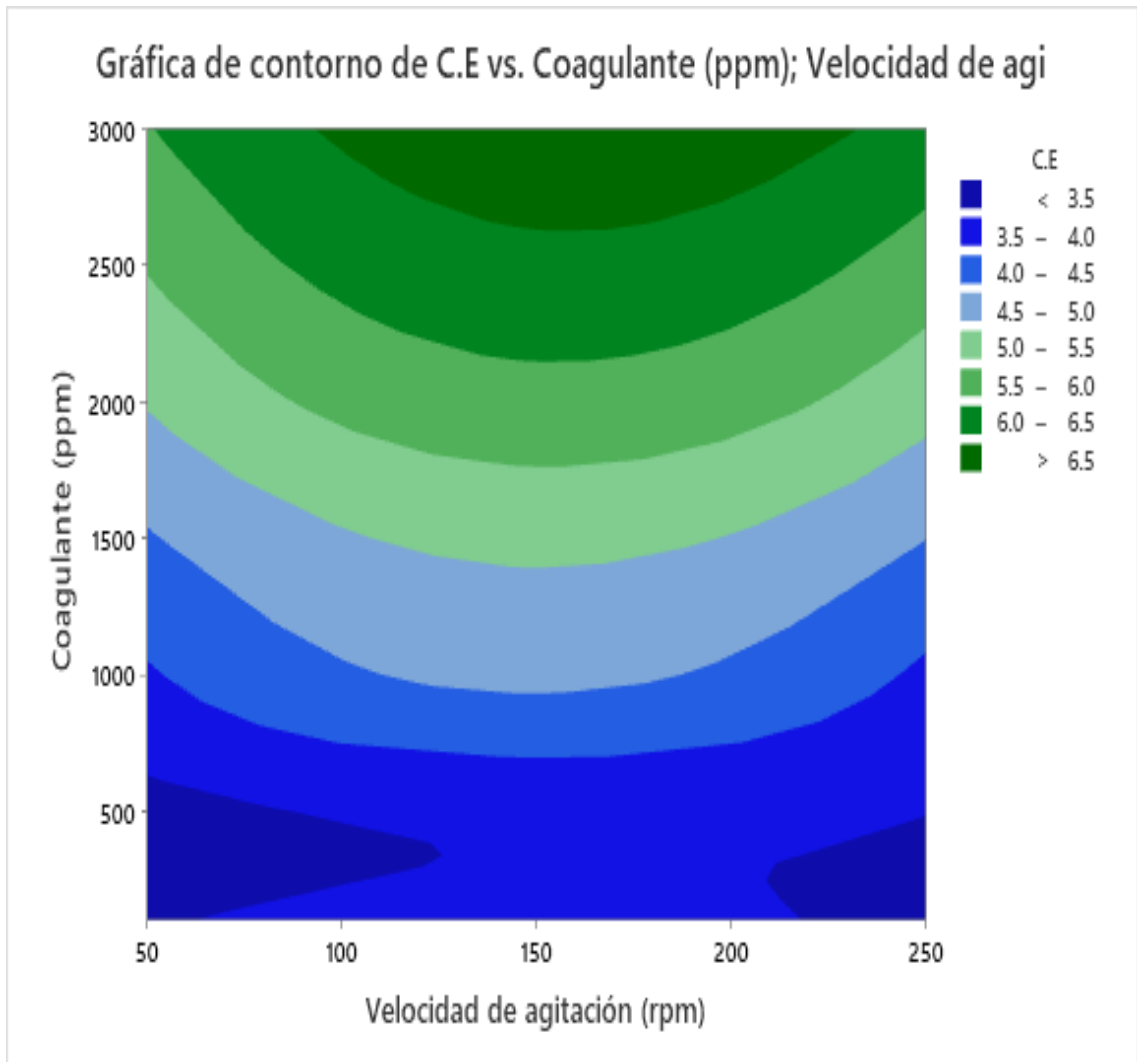


Nota: Resultados obtenidos en el software estadístico Minitab 20.

En la Figura 22, Para obtener las mejores condiciones de tratamiento como se muestra en las siguientes figuras, se requiere trabajar el Coagulante en (3000ppm), a una velocidad de agitación de (150rpm) para lograr incrementar el efecto en la C.E > 6.5 en los drenajes ácidos de mina.

Figura 22

Gráfica de contorno de la C.E vs tipo de Coagulante y Velocidad de agitación.

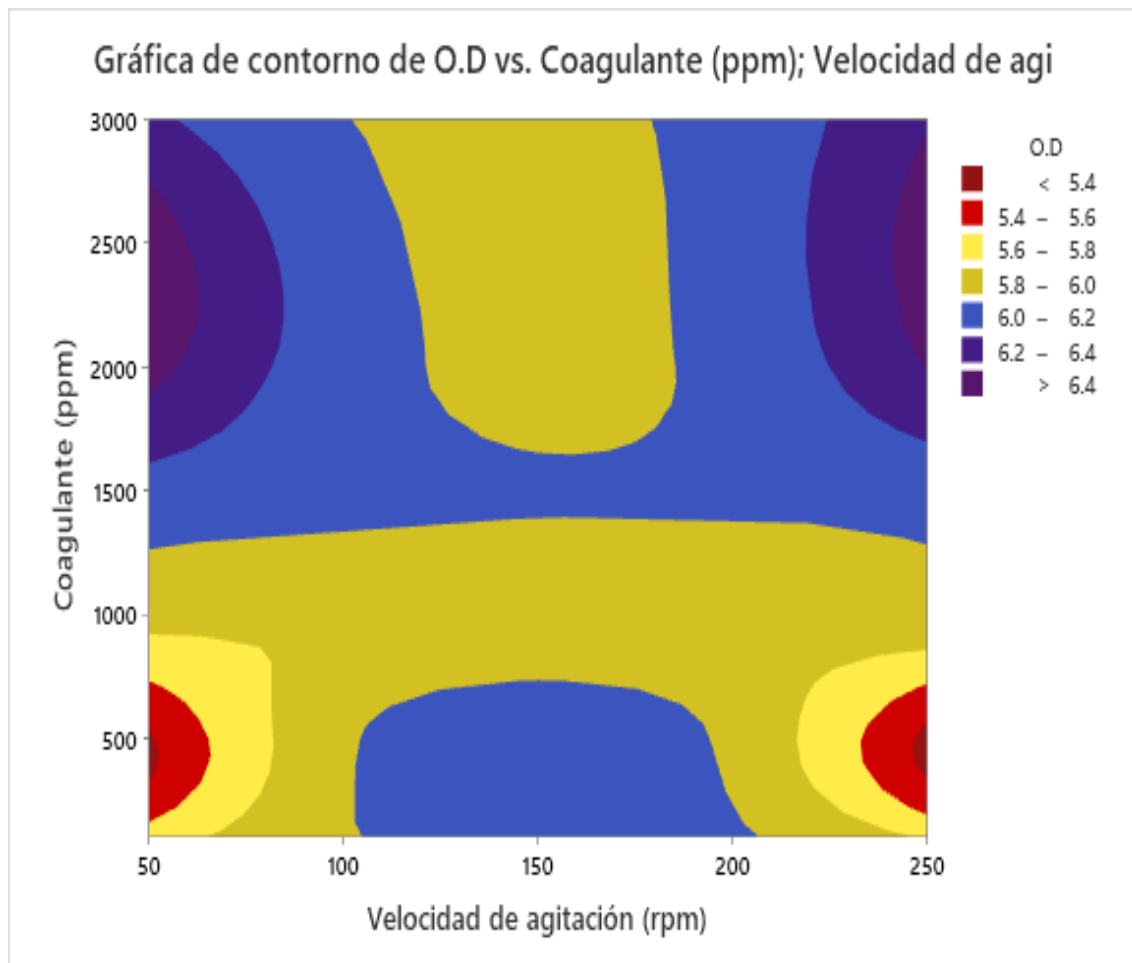


Nota: Resultados obtenidos en el software estadístico Minitab 20.

En la Figura 23, Para obtener las mejores condiciones de tratamiento como se muestra en las siguientes figuras, se requiere trabajar el Coagulante en (2000ppm), a una velocidad de agitación de (150rpm) para lograr incrementar el O.D > 6.4 en los drenajes ácidos de mina.

Figura 23

Gráfica de contorno del O.D vs tipo de Coagulante y Velocidad de agitación.



Nota: Resultados obtenidos en el software estadístico Minitab 20.

VI. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

6.1. Contrastación y demostración de la hipótesis con los resultados

6.1.1. *Contrastación con la hipótesis general*

H₀: La aplicación del proceso de coagulación-floculación con fosfato dipotásico no trata significativamente los drenajes ácidos de mina en la quebrada Viso - distrito de San Mateo, 2022.

H₁: La aplicación del proceso de coagulación-floculación con fosfato dipotásico trata significativamente los drenajes ácidos de mina en la quebrada Viso - distrito de San Mateo, 2022.

Según la Tabla 21, la aplicación del proceso de coagulación-floculación con fosfatos influye en pH (< 0.005) es menor a ($0.05 < p$); entonces se rechaza la Hipótesis Nula (H_0) y acepta la alternativa (H_1). Sin embargo, en la Figura 10, se muestra que el pH tiene un mayor efecto en el tratamiento de drenajes ácidos de mina en la quebrada Viso - distrito de San Mateo.

6.1.2. *Contrastación con la hipótesis específica 1*

H₀: La dosificación del fosfato dipotásico en el proceso de coagulación-floculación no influye significativamente en el tratamiento de drenajes ácidos de mina en la quebrada Viso - distrito de San Mateo

H₁: La dosificación del fosfato dipotásico en el proceso de coagulación-floculación influye significativamente en el tratamiento de drenajes ácidos de mina en la quebrada Viso - distrito de San Mateo.

Según la Tabla 21 se observa La dosis óptima de coagulante en el proceso de coagulación-floculación influye en pH (< 0.005) es menor a ($0.05 < p$); entonces se rechaza la Hipótesis Nula (H_0) y acepta la alternativa (H_1). Sin embargo, en la Figura 10, se muestra que el pH tiene un mayor efecto en el tratamiento de drenajes ácidos de mina en la quebrada Viso - distrito de San Mateo.

6.1.3. Contrastación con la hipótesis específica 2

H₀: La velocidad de agitación en el proceso de coagulación- floculación no influye positivamente en el tratamiento de drenajes ácidos de mina en la quebrada Viso - distrito de San Mateo.

H₁: La velocidad de agitación en el proceso de coagulación- floculación influye positivamente en el tratamiento de drenajes ácidos de mina en la quebrada Viso - distrito de San Mateo.

Según la Tabla 21 se observa La velocidad de agitación en el proceso de coagulación- floculación influye positivamente en C.E (< 0.001) es menor a ($0.05 < p$); entonces se rechaza la Hipótesis Nula (H₀) y acepta la alternativa (H₁). Sin embargo, en la Figura 11, se muestra que la C.E es un mayor efecto en el tratamiento de drenajes ácidos de mina en la quebrada Viso - distrito de San Mateo.

6.2. Contrastación de los resultados con otros estudios similares

6.2.1. Para el tratamiento de drenajes ácidos de mina en la quebrada viso - distrito de San Mateo mediante aplicación del proceso de coagulación-floculación con fosfatos.

En el estudio realizado por Azabache Liza (2017) En su tesis titulada “efecto del proceso de coagulación floculación, en la remoción del hierro (ii), presente en las aguas de la quebrada juninguillo, moyobamba”, la velocidad de agitación y dosis de sulfato de aluminio y cloruro férricofloculante influyen en los procesos de coagulación-floculación evidenciándose en los niveles de Hierro (II) se lograron reducciones de Fe(II) del orden del 96.35% y 95.59 % respectivamente, con lo cual las concentraciones finales obtenidas cumplen con los estándares de calidad ambiental para agua de tipo III, según la Legislación Peruana Vigente, mientras que en el presente trabajo se obtuvo una remoción de concentración Cu y Zn inicial de manera cualitativa.

En el estudio realizado por Palao Fernandez (2021); en su tesis titulada en su tesis titulada “evaluación del tratamiento activo de drenajes ácidos de mina provenientes del distrito de yarabamba, arequipa”, Se determinó que el floculante MT4285 es el óptimo, el cual tuvo un porcentaje de remoción de 99.99%

(0.000481 mg/L) para el Fe disuelto y de 98.32 % (1.43 ± 0.021 NTU) para la turbidez, mientras que en el presente trabajo se obtuvo una remoción de concentración Cu y Zn inicial de manera cualitativa.

6.2.3. Para el tratamiento de drenajes ácidos de mina en la quebrada viso - distrito de San Mateo mediante la dosis óptima de coagulante en el proceso de coagulación-floculación.

En el estudio realizado por Azabache Liza (2017) En su tesis titulada “efecto del proceso de coagulación floculación, en la remoción del hierro (ii), presente en las aguas de la quebrada juninguillo, moyobamba”, Las mejores condiciones experimentales del uso del sulfato de aluminio para la reducción de Hierro (II), fueron de 120 mg $Al_2(SO_4)_3/L$ y uso del coagulante cloruro férrico floculante para la reducción de Hierro (II), fueron de 80 mg $FeCl_3/L$ se lograron reducciones de Fe(II) del orden del 96.35% y 95.59 mientras que en el presente trabajo se obtuvo una remoción de concentración Cu y Zn inicial de manera cualitativa.

En el estudio realizado por Bendezu y Capcha (2021), en su tesis titulada En su tesis titulada “remoción de hierro y plomo en aguas ácidas de la minera julcani con coagulante opuntia floccosa”, Las mejores condiciones experimentales siendo este el tiempo de coagulación de 2 min y la concentración de 50 ppm de coagulante Opuntia floccosa con una maximiza la remoción de Hierro y Plomo a un 92.3 % y 87.4 %. mientras que en el presente trabajo se obtuvo una remoción de concentración Cu y Zn inicial de manera cualitativa.

6.2.4. Para el tratamiento de drenajes ácidos de mina en la quebrada viso - distrito de San Mateo mediante la velocidad de agitación en el proceso de coagulación- floculación.

En el estudio realizado por Azabache Liza (2017) En su tesis titulada “efecto del proceso de coagulación floculación, en la remoción del hierro (ii), presente en las aguas de la quebrada juninguillo, moyobamba”, Las mejores condiciones experimentales del uso del sulfato de aluminio con velocidad de agitación rápida (Coagulación), de 150 r.p.m., seguido de una velocidad de mezcla lenta (Floculación) de 37.5 r.p.m, se lograron reducciones de Fe(II) del

96.35% y 95.59%, mientras que en el presente trabajo se obtuvo una remoción de concentración Cu y Zn inicial de manera cualitativa.

En el estudio realizado por Azabache Liza (2017) En su tesis titulada “efecto del proceso de coagulación floculación, en la remoción del hierro (ii), presente en las aguas de la quebrada juninguillo, moyobamba”, Las mejores condiciones experimentales del uso del coagulante cloruro férrico velocidad de agitación rápida (Coagulación), de 200 r.p.m., seguido de una velocidad de mezcla lenta (Floculación) de 50 r.p.m, se lograron reducciones de Fe(II) del 96.35% y 95.59%, mientras que en el presente trabajo se obtuvo una remoción de concentración Cu y Zn inicial de manera cualitativa.

6.3. Responsabilidad ética

La presente tesis titulada “APLICACIÓN DEL PROCESO DE COAGULACIÓN-FLOCULACIÓN CON FOSFATOS PARA EL TRATAMIENTO DE DRENAJES ÁCIDOS DE MINA EN LA QUEBRADA VISO - DISTRITO DE SAN MATEO, 2022”, el tesista señala que se cumple fielmente con el código de ética de investigación de la Universidad Nacional del Callao, aprobado por RDU N° 210-2017-CU.

CONCLUSIONES

- Luego de realizar el tratamiento físico-químico de drenaje ácido de mina de la quebrada de Viso distrito de San Mateo aplicando el proceso de coagulación floculación con fosfato dipotásico se logró la remoción de turbidez, metales pesados (Cu, Zn) y la optimización de Oxígeno disuelto, PH, conductividad eléctrica.
- Al evaluar los efectos de la dosificación de fosfato dipotásico a partir de 1000 PPM fue significativo el tratamiento de drenaje ácido de mina ya que presentaron un valor p menor al 0,05 que fue expresado en los modelos estadísticos de los porcentajes de reducción de la turbidez en un 98.87% y un PH de 6.3 valor dentro del rango permitido del LMP para descarga de efluentes según el D.S 010- 2010 – MINAM y mediante el análisis cualitativo una reducción de Metales pesados (Cu,Zn).
- La velocidad de agitación de 50 RPM en 1000 PPM de fosfato dipotásico removió mayor porcentaje de turbidez en un 98.87% dentro del rango permitido del ECA sub categoría B, a diferencia de 150 RPM y 250 RPM debido a que a menor velocidad menor rompimiento de los floculos. Sin embargo estas velocidades de agitación 50 RPM, 150 RPM Y 250 RPM no fueron significativas para el tratamiento de los drenajes ácidos de mina de la quebrada de Viso distrito de San Mateo ya que solo influyo en el tiempo de decantación de los sólidos suspendidos.

Aporte:

El trabajo de investigación tiene como aporte la identificación del fosfato dipotásico como coagulante y floculante en el tratamiento de drenajes ácidos de mina.

RECOMENDACIONES

- Se debe tener en cuenta la dosis óptima del fosfato dipotásico para futuras investigaciones, a fin de determinar la máxima remoción de turbidez y metales pesados en tales condiciones.
- Para evaluar mejor los efectos de la velocidad de agitación se recomienda experimentar con velocidades menores a 50 RPM debido que a menor velocidad menor rompimiento de floculos , generando una sedimentación más rápida.
- Se recomienda para futuras investigaciones realizar la medición de los parámetros físico-químicos como turbidez, pH, conductividad, oxígeno disuelto en diferentes tiempos de decantación.
- Se deben investigar los efectos en la salud y el ambiente al usar fosfato dipotásico en el tratamiento de drenaje ácido de mina , a fin de optar, de ser el caso, por otras alternativas de coagulantes que sean inocuos, y que otorguen beneficios económicos y ambientales.
- Es importante y significativo evaluar el volumen del residuo sedimentado después del proceso de coagulación-floculación, de manera que se pueda considerar un método ambientalmente responsable para desecharlo.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aguinaga, O. E., White, K. N., Dean, A. P., & Pittman, J. K. (2021). Addition of organic acids to acid mine drainage polluted wetland sediment leads to microbial community structure and functional changes and improved water quality. *Environmental Pollution*, 290, 118064. <https://doi.org/10.1016/J.ENVPOL.2021.118064>
- Aparicio Ilazaca, R., Mejía Marcacuzco, A., & Ingol-Blanco, E. (n.d.). *TRATAMIENTO DEL DRENAJE ACIDO DE MINA MEDIANTE BACTERIAS SULFATO REDUCTORAS: CASO UNIDAD MINERA ISCAYCRUZ*.
- Ashraf, S. N., Rajapakse, J., Dawes, L. A., & Millar, G. J. (2021). Impact of turbidity, hydraulic retention time, and polarity reversal upon iron electrode based electrocoagulation pre-treatment of coal seam gas associated water. *Environmental Technology & Innovation*, 23, 101622. <https://doi.org/10.1016/J.ETI.2021.101622>
- Azabache Liza, Y. (2017). *Efecto del proceso de coagulación floculación, en la remoción del hierro (II), presente en las aguas de la quebrada Juningullo, Moyobamba*. <https://repositorio.unsm.edu.pe/handle/11458/2821>
- Bahmani-Ghaedi, A., Hassanzadeh, A., Sam, A., & Entezari-Zarandi, A. (2022). The effect of residual flocculants in the circulating water on dewatering of Gol-e-Gohar iron ore. *Minerals Engineering*, 179, 107440. <https://doi.org/10.1016/J.MINENG.2022.107440>
- Bendezu, S., & Capcha, A. (2021). *Remoción de hierro y plomo en aguas ácidas de la minera julcani con coagulante opuntia floccosa*.
- Bora, A. J., & Dutta, R. K. (2019). Removal of metals (Pb, Cd, Cu, Cr, Ni, and Co) from drinking water by oxidation-coagulation-absorption at optimized pH. *Journal of Water Process Engineering*, 31, 100839. <https://doi.org/10.1016/J.JWPE.2019.100839>
- Camacho, A., & Ariosa, L. (2000). *Diccionario de términos ambientales*.
- Delgado Rodríguez, J., Ayala, D., & Simón Páez, H. (2018). 1. *GEOGACETA*, 64, 63–66. www.geogaceta.com
- Directrices del CDB. (n.d.). *Enfoque por Ecosistemas Secretaría del Convenio sobre la Diversidad Biológica La Secretaría agradece el apoyo financiero del Gobierno de Holanda*. Retrieved May 13, 2022, from www.biodiv.org
- Ebeling, J. M., Sibrell, P. L., Ogden, S. R., & Summerfelt, S. T. (2003). Evaluation of chemical coagulation–flocculation aids for the removal of suspended solids and phosphorus from intensive recirculating aquaculture effluent discharge. *Aquacultural Engineering*, 29(1–2), 23–42. [https://doi.org/10.1016/S0144-8609\(03\)00029-3](https://doi.org/10.1016/S0144-8609(03)00029-3)

- Fernandez, P. (2021). “ *EVALUACION DEL TRATAMIENTO ACTIVO DE DRENAJES ACIDOS DE MINA PROVENIENTES DEL DISTRITO DE YARABAMBA , AREQUIPA* ” “ *OPTIMIZACION DE LA HIDROLISIS ENZIMATICA EN CASCARILLA* .
- Hanif, M. A., Nadeem, F., Zahid, M., Khan, F. G., Hanif, A., & Akhtar, M. N. (2021). Applications of coagulation-flocculation and nanotechnology in water treatment. *Aquananotechnology*, 533–558. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-821141-0.00012-4>
- Hao, W., Gao, T., Shi, W., Zhao, M., Huang, Z., Ren, H., & Ruan, W. (2022). Coagulation removal of dissolved organic matter (DOM) in nanofiltration concentrate of biologically treated landfill leachate by ZrCl₄: Performance, mechanism and coagulant recycling. *Chemosphere*, 301, 134768. <https://doi.org/10.1016/J.CHEMOSPHERE.2022.134768>
- Hernández, R., & Mendoza, C. P. (2018). Metodología de la investigación: las tres rutas cuantitativa, cualitativa y mixta. In *Mc Graw Hill* (Vol. 1, Issue Mexico).
- Hu, X., Yang, H., Tan, K., Hou, S., Cai, J., Yuan, X., Lan, Q., Cao, J., & Yan, S. (2022). Treatment and recovery of iron from acid mine drainage: a pilot-scale study. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 10(1), 106974. <https://doi.org/10.1016/J.JECE.2021.106974>
- Ighalo, J. O., Kurniawan, S. B., Iwuozor, K. O., Aniagor, C. O., Ajala, O. J., Oba, S. N., Iwuchukwu, F. U., Ahmadi, S., & Igwegbe, C. A. (2022). A review of treatment technologies for the mitigation of the toxic environmental effects of acid mine drainage (AMD). *Process Safety and Environmental Protection*, 157, 37–58. <https://doi.org/10.1016/J.PSEP.2021.11.008>
- Igwegbe, C. A., Onukwuli, O. D., Ighalo, J. O., & Umembamalu, C. J. (2021). Electrocoagulation-flocculation of aquaculture effluent using hybrid iron and aluminium electrodes: A comparative study. *Chemical Engineering Journal Advances*, 6, 100107. <https://doi.org/10.1016/J.CEJA.2021.100107>
- Jordán Santamaría, L. (2018). *Sistema de coagulación-floculación a escala laboratorio y su eficiencia en el tratamiento de Aguas Residuales provenientes del proceso de preparación de pega para la elaboración de zapatos de cuero*. <http://repositorio.uta.edu.ec/jspui/handle/123456789/29346>
- Levio-Raiman, M., Briceño, G., Schalchli, H., Bornhardt, C., & Diez, M. C. (2021). Alternative treatment for metal ions removal from acid mine drainage using an organic biomixture as a low cost adsorbent. *Environmental Technology & Innovation*, 24, 101853. <https://doi.org/10.1016/J.ETI.2021.101853>
- López-Hernández, I., Ortega-Morales, N. B., Ortiz-Díaz, S. A., Flores-Hernandez, E. A., Pérez-García, L. A., Medrano-Santillana, M., López-Hernández, I., Ortega-Morales, N. B., Ortiz-Díaz, S. A., Flores-Hernandez, E. A., Pérez-García, L. A., & Medrano-Santillana, M. (2022). Reducción de ácido sulfhídrico mediante recirculación de efluentes en lagunas de estabilización con microalgas. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 13(1), 29–40. <https://doi.org/10.29312/REMEXCA.V13I1.3096>
- Martín, M. A., González, I., Berrios, M., Siles, J. A., & Martín, A. (2011).

- Optimization of coagulation–flocculation process for wastewater derived from sauce manufacturing using factorial design of experiments. *Chemical Engineering Journal*, 172(2–3), 771–782. <https://doi.org/10.1016/J.CEJ.2011.06.060>
- Martinez Barbeito, J., & Garcia Villalon, J. (2011). Diccionario. In *Diccionario tecnico economico-financiero-actuarial. Ingles-español*. <https://doi.org/10.4272/84-9745-025-6.ch1>
- Masindi, V., Foteinis, S., & Chatzisyneon, E. (2022). Co-treatment of acid mine drainage and municipal wastewater effluents: Emphasis on the fate and partitioning of chemical contaminants. *Journal of Hazardous Materials*, 421, 126677. <https://doi.org/10.1016/J.JHAZMAT.2021.126677>
- MINAN. (2016). GLOSARIO DE TÉRMINOS Sitios Contaminados. *Ministerio Del Ambiente*, 17.
- Ministerio del Ambiente. (2012). Glosario de términos para la gestión ambiental peruana. *Dirección General de Políticas, Normas e Instrumentos de Gestión Ambiental*, 0–396.
- Montoya Cano, J. A. de drenajes ácidos de mina con sensores remotos. (2015). *Identificación de drenajes ácidos de mina con sensores remotos*. <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/56679>
- Moodley, I., Sheridan, C. M., Kappelmeyer, U., & Akcil, A. (2018). Environmentally sustainable acid mine drainage remediation: Research developments with a focus on waste/by-products. *Minerals Engineering*, 126, 207–220. <https://doi.org/10.1016/J.MINENG.2017.08.008>
- Murray, J., Nordstrom, D. K., Dold, B., & Kirschbaum, A. (2021). Seasonal fluctuations and geochemical modeling of acid mine drainage in the semi-arid Puna region: The Pan de Azúcar Pb–Ag–Zn mine, Argentina. *Journal of South American Earth Sciences*, 109, 103197. <https://doi.org/10.1016/J.JSAMES.2021.103197>
- Mwewa, B., Tadie, M., Ndlovu, S., Simate, G. S., & Matinde, E. (2022). Recovery of rare earth elements from acid mine drainage: A review of the extraction methods. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 10(3), 107704. <https://doi.org/10.1016/J.JECE.2022.107704>
- Ñaupas. (2018). Metodología de la investigación Cuantitativa - Cualitativa y Redacción de la Tesis. In *Angewandte Chemie International Edition*, 6(11), 951–952.
- Ñaupas, H., Mehía, E., Novoa, E., & Villagómez, A. (2014). *Metodología de la investigación Cuantitativa-cualitativa y redacción de la Tesis* (Ediciones de la U (Ed.); 4 Edición).
- Nyström, F., Nordqvist, K., Herrmann, I., Hedström, A., & Viklander, M. (2020). Removal of metals and hydrocarbons from stormwater using coagulation and flocculation. *Water Research*, 182, 115919. <https://doi.org/10.1016/J.WATRES.2020.115919>
- Oliveira, S., Clemente, A., Menezes, I., Gois, A., Carloto, I., Lawton, L., & Capelo-Neto, J. (2021). Hazardous cyanobacteria integrity response to velocity gradient and powdered activated carbon in water treatment plants. *Science*

- of *The Total Environment*, 773, 145110.
<https://doi.org/10.1016/J.SCITOTENV.2021.145110>
- Opitz, J., Alte, M., Bauer, M., & Peiffer, S. (2020). Quantifying iron removal efficiency of a passive mine water treatment system using turbidity as a proxy for (particulate) iron. *Applied Geochemistry*, 122, 104731.
<https://doi.org/10.1016/J.APGEOCHEM.2020.104731>
- Pérez Falcón, J., Alejandro Ruiz Castro, A., & Sixto Aramburú Rojas, V. (2020). *Modelo de publicación sin fines de lucro para conservar la naturaleza académica y abierta de la comunicación científica PDF generado a partir de XML-JATS4R*. <http://portal.amelica.org/ameli/>
- Ramadhani, A. N., Sarosa, A. N. aini K. W., & Al Rosyad, L. H. (2022). The potency of microbial flocculant produced by *B. licheniformis* using molasses as the carbon source and its application in food industry wastewater treatment. *Materials Today: Proceedings*.
<https://doi.org/10.1016/J.MATPR.2022.02.433>
- Salas Urviola, F. B., Guadarrama Guzmán, P., Fernández Villagómez, G., González Sánchez, J. F., Barraza Torres, L. A., Salas Urviola, F. B., Guadarrama Guzmán, P., Fernández Villagómez, G., González Sánchez, J. F., & Barraza Torres, L. A. (2020). PREDICCIÓN DE DRENAJE ÁCIDO DE MINA, JALES DE LA MINA LA PRIETA, CHIHUAHUA, MÉXICO. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 36(4), 825–834.
<https://doi.org/10.20937/RICA.53523>
- Sinche Arias, D. F., Ramírez Peñaherrera, V. E., Velalcázar Rhea, C. M., Sinche Arias, D. F., Ramírez Peñaherrera, V. E., & Velalcázar Rhea, C. M. (2022). Simultaneous saccharification and fermentation of hydrothermally pretreated *Jatropha curcas* shell for bioethanol production. *Ingeniería*, 32(1), 19–32.
<https://doi.org/10.15517/RI.V32I1.46884>
- Smith, J., Sheridan, C., van Dyk, L., & Harding, K. G. (2022). Critical evaluation of the chemical composition of acid mine drainage for the development of statistical correlations linking electrical conductivity with acid mine drainage concentrations. *Environmental Advances*, 100241.
<https://doi.org/10.1016/J.ENVADV.2022.100241>
- Sorangel Rivas-Romero, I., Gerardo Menés-Vuelta, I., & Aimet Rómulo-Rodríguez, I. (n.d.). *Tratamiento por coagulación-floculación a efluente de la Empresa del Níquel Comandante Ernesto Che Guevara Treatment for coagulation-flocculation to effluent from Ernesto Che Guevara Company of Nickel*.
- Spellman, C. D., Tasker, T. L., Strosnider, W. H. J., & Goodwill, J. E. (2020). Abatement of circumneutral mine drainage by Co-treatment with secondary municipal wastewater. *Journal of Environmental Management*, 271, 110982.
<https://doi.org/10.1016/J.JENVMAN.2020.110982>
- Tu, Z., Wu, Q., He, H., Zhou, S., Liu, J., He, H., Liu, C., Dang, Z., & Reinfelder, J. R. (2022). Reduction of acid mine drainage by passivation of pyrite surfaces: A review. *Science of The Total Environment*, 832, 155116.
<https://doi.org/10.1016/J.SCITOTENV.2022.155116>
- Üstün, G. E., Solmaz, S. K. A., Çiner, F., & Bažkaya, H. S. (2011). Tertiary

treatment of a secondary effluent by the coupling of coagulation–flocculation–disinfection for irrigation reuse. *Desalination*, 277(1–3), 207–212. <https://doi.org/10.1016/J.DESAL.2011.04.032>

Vargas, C., & Guadalupe, M. (2019). *USO DEL AGUA RESIDUAL DOMÉSTICA PARA LA REDUCCIÓN DE ARSÉNICO Y CADMIO EN LOS EFLUENTES GENERADOS POR PASIVOS AMBIENTALES MINEROS DE LA QUEBRADA VISO - DISTRITO DE SAN MATEO*".

Wang, Y., Noble, A., Vass, C., & Ziemkiewicz, P. (2021). Speciation of rare earth elements in acid mine drainage precipitates by sequential extraction. *Minerals Engineering*, 168, 106827. <https://doi.org/10.1016/J.MINENG.2021.106827>

Yamamura, H., Putri, E. U., Kawakami, T., Suzuki, A., Ariesyady, H. D., & Ishii, T. (2020). Dosage optimization of polyaluminum chloride by the application of convolutional neural network to the floc images captured in jar tests. *Separation and Purification Technology*, 237, 116467. <https://doi.org/10.1016/J.SEPPUR.2019.116467>

Zeng, H., Tang, H., Sun, W., & Wang, L. (2022). Strengthening Solid–liquid Separation of Bauxite Residue through the Synergy of Charge Neutralization and Flocculation. *Separation and Purification Technology*, 285, 120296. <https://doi.org/10.1016/J.SEPUR.2022.120296>

ANEXOS

ANEXO 1. MATRIZ DE CONSISTENCIA

PROBLEMA GENERAL	OBJETIVO GENERAL	HIPOTESIS GENERAL	VARIABLE INDEPENDIENTE	DEFINICIÓN OPERACIONAL	DIMENSIÓN	INDICADORES	UNIDAD DE MEDICIÓN	TÉCNICA	NSTRUMENTO
¿En qué medida la aplicación del proceso de coagulación/floculación con fosfato influye en el tratamiento de drenajes ácidos de mina en la quebrada Viso - distrito de San Mateo, 2022?	Aplicar el proceso coagulación-floculación con fosfato dipotásico para el tratamiento de drenajes ácidos de mina en la en la quebrada Viso - distrito de San Mateo, 2022	La aplicación del proceso de coagulación-floculación con fosfatos trata significativamente los drenajes ácidos de mina en la en la quebrada Viso - distrito de San Mateo, 2022	Proceso de coagulación/floculación con fosfato dipotásico	Se mide a través de un conjunto de factores (dosis de coagulante, velocidad de agitación rápida y lenta) que intervienen en el proceso de coagulación-floculación mediante prueba de jarras	Dosificación de fosfato dipotásico	Cantidad de fosfato dipotásico	mg/L	Observacional experimental	Fichas de datos de prueba de jarras
					Parámetro de operación	Velocidad de agitación	RPM		Balanza
PROBLEMAS ESPECIFICOS	OBJETIVOS ESPECIFICOS	HIPOTESIS ESPECIFICOS	VARIABLE DEPENDIENTE	DEFINICIÓN OPERACIONAL	DIMENSIÓN	INDICADORES	UNIDAD DE MEDICIÓN	TÉCNICA	INSTRUMENTO
¿Cuál será el efecto de la dosificación de fosfato dipotásico en el tratamiento de drenajes ácidos de mina?	Determinar el efecto de la dosificación de fosfato dipotásico en el tratamiento de drenajes ácidos de mina.	H1: La dosificación de fosfato dipotásico en el proceso de coagulación-floculación influye significativamente en el tratamiento de drenajes ácidos de mina.	Tratamiento de drenaje acido de Mina	El tratamiento de drenaje acido de mina es evaluada mediante la optimización de parámetros fisicoquímicos.	Reducción de turbidez Y metales pesados Cu y Zn	Turbiedad	NTU	MEWW-APHAWWA-WEF Parte 2130 B; 23rd Ed:2017	Turbidímetro
						Oxígeno disuelto	mg/L		Oxímetro
¿Cuál será el efecto de la velocidad de agitación en el tratamiento de drenajes ácidos de mina?	Determinar el efecto de la velocidad de agitación en el tratamiento de drenajes ácidos de mina.	H2: La velocidad de agitación en el proceso de coagulación- floculación influye positivamente en el tratamiento de drenajes ácidos de mina.				pH	Unidad de Ph	EPA 300.0 Rev. 2.1:1993	Potenciómetro
						Conductividad eléctrica	mS/cm		Conductímetro
						Remoción de Cu	Remoción del Cu	-Espectroscopia de Energía Dispersiva (EDS).	Fichas de datos
						Remoción de Zn	Remoción del Zn	-Estudio de análisis por espectroscopia de fluorescencia de rayos-X (XRF).	
								-Caracterización estructural por medio de Difracción de rayos X	
								-Caracterización por Espectroscopia Ultravioleta-Visible (UV-Vis)	

ANEXO 2. Fotografías del proceso

Fotos1. Recolección de muestra



Fotos 2. Pesado de la muestra del coagulante Fosfato di potásico

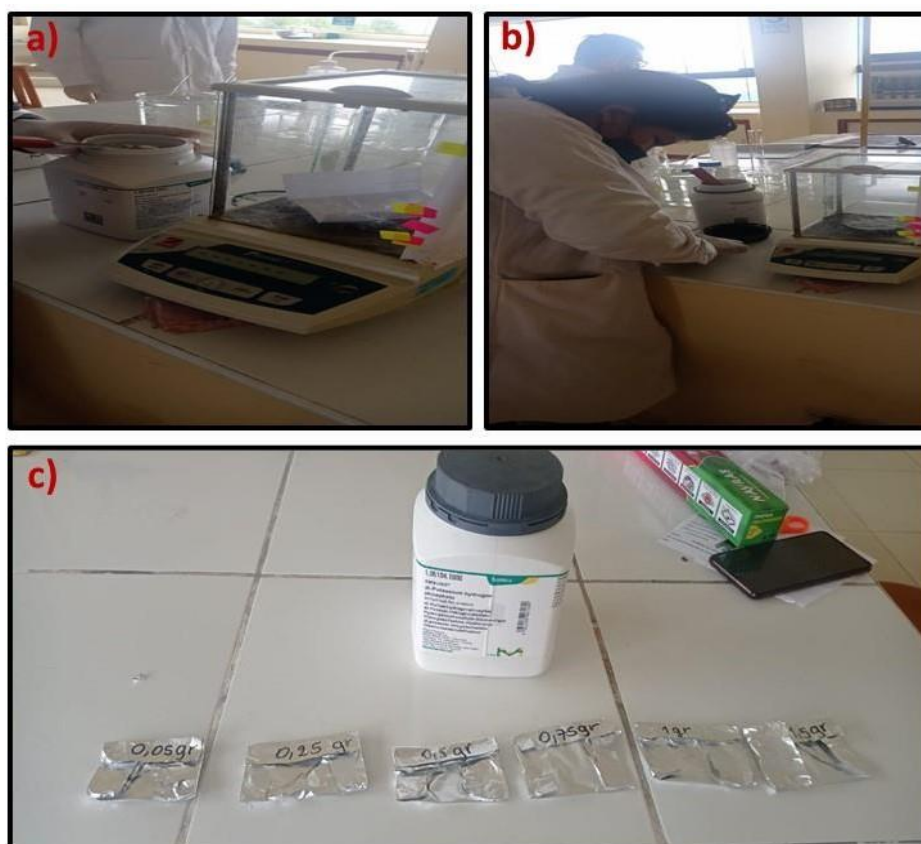


Foto 2: Preparado de la muestra del agua residual en las jarras



Figura 3. Agitación en equipo de prueba de jarras



Figura 5. Decantación de las muestras tratadas.



Foto 6. Medición de conductividad



Foto 7. Medición de turbidez



Foto 8. Medición de oxígeno disuelto.



Foto 9. Medición de pH.




ANEXO 3. Constancias de prestação de serviço de análise para metais pesados

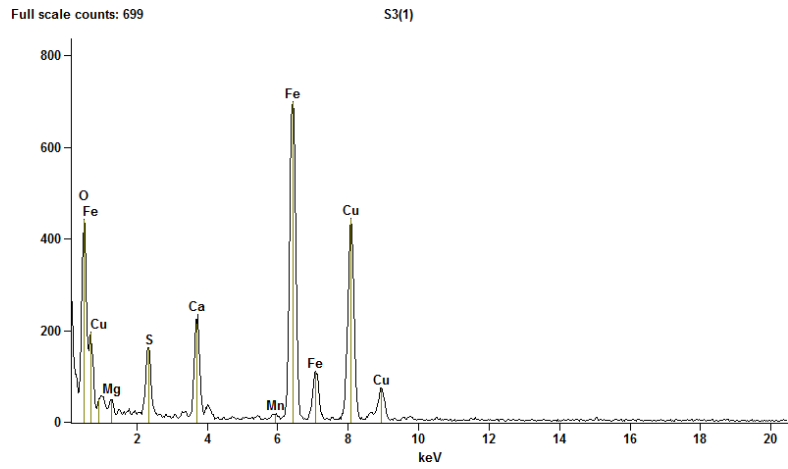
-Análisis de microscopia de alta resolución.

Prefeitura de Goiânia - Nota Fiscal de Serviços (NFS-e)

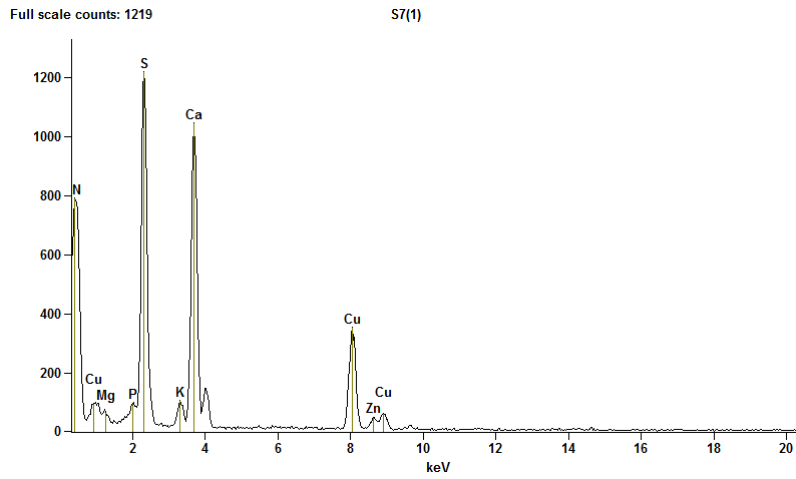
<http://www6.goiania.go.gov.br/sistemas/snfse/asp/snfse00200w0.asp?n...>

	Prefeitura de Goiânia Secretaria Municipal de Finanças Nota Fiscal de Serviços Eletrônica - NFS-e <small>AIDF 78450/2012</small>	Número da Nota 75594 Data Emissão 09/02/2022 Código Verificação RQM2-3TED	
PRESTADOR DOS SERVIÇOS			
CPF/CNPJ	00.799.205/0001-89	Inscrição Municipal 442240	
Nome/Razão Social	FUNDAÇÃO DE APOIO A PESQUISA		
Endereço	AV ESPERANÇAN.1533 QD.AREA LT.AREA		
Bairro	AREA CAMPUS SAMAMBAIA - UFG		
Município	GOIÂNIA - GO CEP 74690900 Telefone (62) 32167300		
TOMADOR DOS SERVIÇOS			
Nome/Razão Social	VICTOR RAUL ROMERO AQUINO / ROSA YOLANDA ROMERO AQUINO		
CPF/CNPJ	701.344.741-20		
Endereço	EL PORVENIR MZ18 LT18		
Bairro	SJL		
Município	PERÚ - LIMA		
DISCRIMINAÇÃO DOS SERVIÇOS			
SERVICOS EXECUTADOS ANALISE DE MICROSCOPIA DE ALTA RESOLUCAO			
DADOS BANCARIOS BANCO DO BRASIL AG:0086-8 C/CORRENTE: 19196-5 C/CUSTO: 03.046			
INFORMAÇÕES ADICIONAIS			
Atividade: 855030200 Atividades de apoio a educacao, exceto caixas escolares			
Retenções Federais	PIS R\$ 0,00	COFINS R\$ 0,00	
	INSS R\$ 0,00	IR R\$ 0,00	
		CSLL R\$ 0,00	
Demonstrativo		Cálculo do Imposto	
Valor dos Serviços	R\$ 150,00	Valor dos Serviços	R\$ 400,00
(-) Desconto Incondicionado	R\$ 0,00	(-) Desconto Incondicionado	R\$ 0,00
(-) Retenções Federais	R\$ 0,00	(=) Valor da Nota	R\$ 400,00
(-) ISSQN Retido pelo Tomador	R\$ 0,00	(-) Deduções	R\$ 400,00
(=) Valor Líquido	R\$ 150,00	(=) Base de Cálculo	R\$ 0,00
Serviço prestado em GOIÂNIA-GO	Imposto devido em GOIÂNIA-GO	(%) Alíquota	% 5,00
		(=) Valor do Imposto (ISSQN)	R\$ 0,00
Valor dos Serviços R\$ 150,00	Desconto R\$ 0,00	Valor da Nota	R\$ 400,00
Informações Importantes:			Usuário: W
- Nota Fiscal referente ao RPS nº 75594. - Prestador Imune. - A autenticidade desta Nota Fiscal pode ser verificada na página da Prefeitura em www.goiania.go.gov.br .			

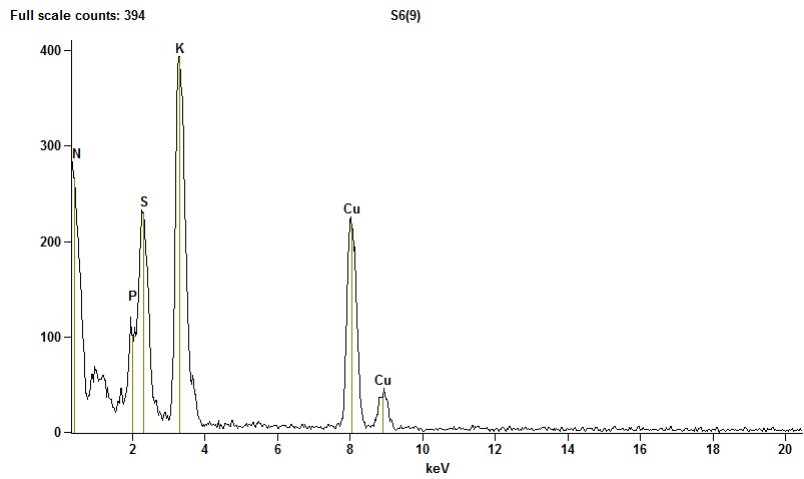
Muestra- sin difosfato (DPHP)



Muestra- 100 ppm (DPHP)




Muestra- 500ppm (DPHP)



-Estudio de análisis por espectroscopia de fluorescencia de rayos-X (XRF)

Prefeitura de Goiânia - Nota Fiscal de Serviços (NFS-e)

<https://www11.goiania.go.gov.br/sistemas/snfse/asp/snfse00200w0.as...>

		Prefeitura de Goiânia Secretaria Municipal de Finanças Nota Fiscal de Serviços Eletrônica - NFS-e AIDF 78450/2012		Número da Nota 91730 Data Emissão 04/04/2022 Código Verificação ZKT4-IARC	
PRESTADOR DOS SERVIÇOS					
CPF/CNPJ	00.799.205/0001-89		Inscrição Municipal 442240		
Nome/Razão Social	FUNDAÇÃO DE APOIO A PESQUISA				
Endereço	AV ESPERANCA N.1533 QD.AREA LT.AREA ED FUNAPE				
Bairro	AREA CAMPUS SAMAMBAIA - UFG				
Município	GOIÂNIA - GO CEP 74690900		Telefone (62) 32167300		
TOMADOR DOS SERVIÇOS					
Nome/Razão Social	VICTOR RAUL ROMERO AQUINO/ ROSA YOLANDA ROMERO AQUINO				
CPF/CNPJ	701.344.741-20				
Endereço	AV. ESPERANCA INSTITUTO DE FIS N. S/N				
Bairro	ASA NORTE				
Município	BRASILIA - DF CEP 74690900				
DISCRIMINAÇÃO DOS SERVIÇOS					
SERVICOS EXECUTADOS					
FLUORESCENCIA DE RAIOS -X ELEMENTOS MAIORES EM 04 AMOSTRAS (S1, S3 E S8) R\$ 200,00					
FLUORESCENCIA DE RAIOS -X ELEMENTOS TRACOS EM 04 AMOSTRAS (S1, S2, S3 E S8) R\$ 200,00					
C/CUSTO: 37.007					
INFORMAÇÕES ADICIONAIS					
Atividade 721000000					
Pesquisa e desenvolvimento experimental em ciencias fisicas e naturais					
Retenções Federais	PIS R\$ 0,00	COFINS R\$ 0,00	INSS R\$ 0,00	IR R\$ 0,00	CSLL R\$ 0,00
Demonstrativo			Cálculo do Imposto		
Valor dos Serviços	R\$ 400,00	Valor dos Serviços	R\$ 400,00		
(-) Desconto Incondicionado	R\$ 0,00	(-) Desconto Incondicionado	R\$ 0,00		
(-) Retenções Federais	R\$ 0,00	(=) Valor da Nota	R\$ 400,00		
(-) ISSQN Retido pelo Tomador	R\$ 0,00	(-) Deduções	R\$ 400,00		
(=) Valor Líquido	R\$ 400,00	(=) Base de Cálculo	R\$ 0,00		
Serviço prestado em GOIÂNIA-GO	Imposto devido em GOIÂNIA-GO	(x) Alíquota	% 5,00		
		(=) Valor do Imposto (ISSQN)	R\$ 0,00		
Valor dos Serviços R\$ 400,00	Desconto R\$ 0,00	Valor da Nota	R\$ 400,00		
Informações Importantes:					
- Nota Fiscal referente ao RPS nº 91730.					
- Prestador Imune.					
- A autenticidade desta Nota Fiscal pode ser verificada na página da Prefeitura em www.goiania.go.gov.br .					
					Usuário: W

- S3 resultados de muestra de con 500 ppm de (DPHP).

4. Química obtida por fluorescência de raios X

Tabela 1. Resultados da análise química por fluorescência de raios X.

<i>Elementos Analisados (%)</i>	<i>S1</i>	<i>S2</i>	<i>S3</i>	<i>S8</i>
Na	-	0,36	0,27	1,27
Mg	0,79	1,28	0,70	1,51
Al	0,08	0,14	0,19	0,26
Si	0,29	0,35	0,53	0,57
P	4,53	23,17	0,18	2,80
S	21,00	0,53	20,17	22,40
K	5,32	19,89	0,15	2,50
Ca	18,51	10,78	13,30	16,32
Mn	0,04	0,09	0,06	0,06
Fe	1,81	1,43	18,92	3,90
Zn	0,13	0,59	0,16	0,19
As	-	-	0,03	0,01
Sr	0,02	0,04	0,01	0,01

4.1 Espectros de WDXRF obtidos por fluorescência de raios X das amostras

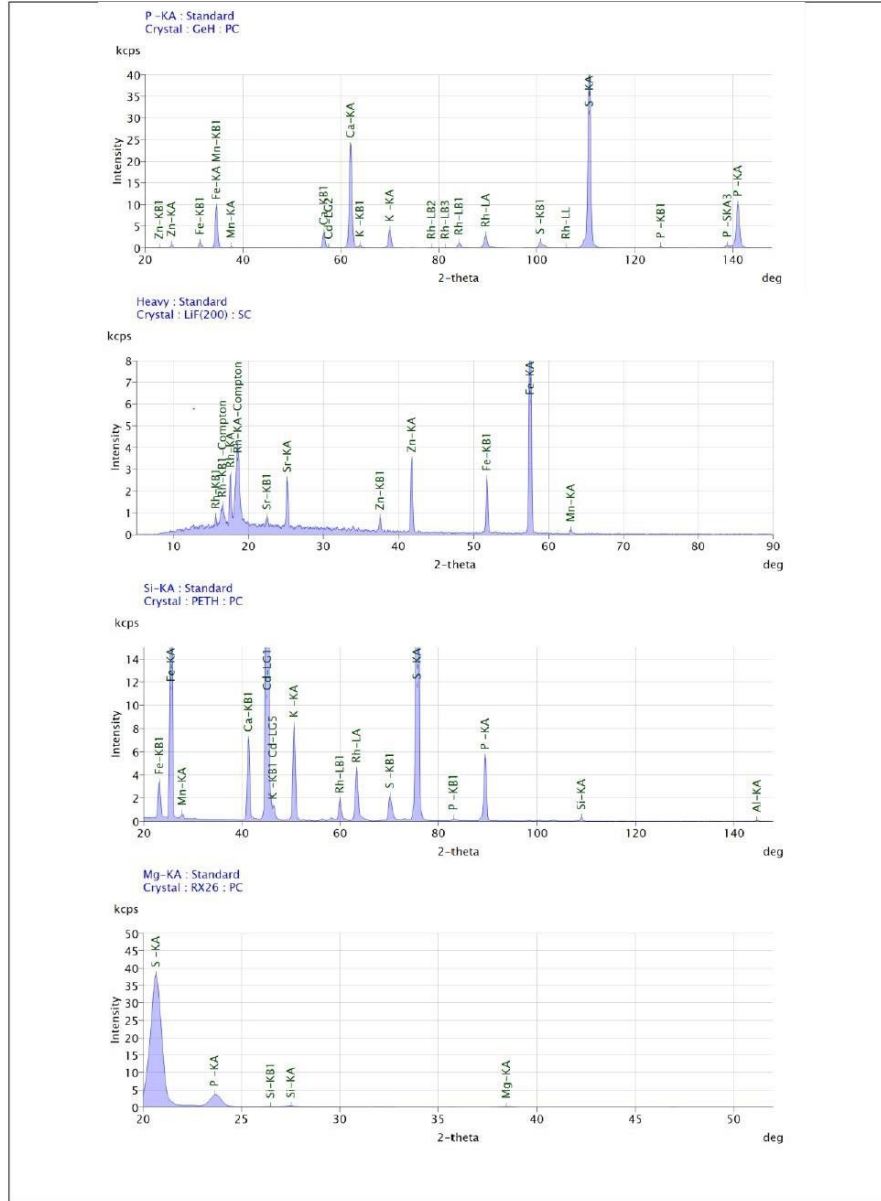


Figura 1. Espectros de WDXRF obtidos por fluorescência de raios X da amostra 1 - S1.

ANEXO 4. Registro de validación de instrumentos por juicio de expertos

REGISTRO DE VALIDACIÓN DE INSTRUMENTOS POR JUICIO DE EXPERTO

Docente: Dan Skipper Anarcaya Torres

Validador:

Dan Skipper Anarcaya Torres

Parámetros	Instrumento	Técnica analítica	Opinión
Turbidez	Turbidímetro	(APHA, 2017)	APLICABLE
pH	Potenciómetro	(APHA, 2017)	APLICABLE
Conductividad	Conductímetro	(APHA, 2017)	APLICABLE
Cantidad de fosfato dipotásico	Equipo de prueba de jarras	(APHA, 2017) Método Hipotético-deductivo	APLICABLE
Velocidad de agitación	Equipo de prueba de jarras	(APHA, 2017) Método Hipotético-deductivo	APLICABLE
Oxímetro Oxígeno disuelto	Espectroscopia de Energía Dispersiva (EDS)	(APHA, 2017) Método Hipotético-deductivo	APLICABLE
Remoción de Cu	análisis por espectroscopia de fluorescencia de rayos-X (XRF)	(APHA, 2017) Hipotético-deductivo	APLICABLE
Remoción de Zn	Caracterización estructural por medio de Difracción de rayos X Caracterización por Espectroscopia Ultravioleta-Visible (UV- Vis)	(APHA, 2017) Hipotético-deductivo	APLICABLE

Firma del validador:



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CALLAO
FACULTAD DE INGENIERÍA AMBIENTAL Y DE RECURSOS NATURALES

Mtro. DAN ANARCAYA TORRES
JEFE DE LABORATORIOS DE LA FIARN