



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO

ESCUELA DE POSGRADO

MAESTRÍA EN CIENCIAS INGENIERÍA QUÍMICA



TESIS

**INFLUENCIA DEL PH EN LA REDUCCIÓN DE TURBIDEZ CON
SUPERFLOAC A-110 EN AGUAS RESIDUALES DE MINERAL AURÍFERO,
EN MINERA MOSOQMINAS, ANANEA – REGIÓN PUNO**

PRESENTADO POR:

SAUL LUCIO LLAMPI PINEDA

PARA OPTAR EL GRADO ACADÉMICO DE:

MAESTRO EN CIENCIAS

CON MENCIÓN EN SEGURIDAD INDUSTRIAL Y AMBIENTAL

PUNO, PERÚ

2022



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO
ESCUELA DE POSGRADO

MAESTRÍA EN CIENCIAS INGENIERÍA QUÍMICA

TESIS

**INFLUENCIA DEL PH EN LA REDUCCIÓN DE TURBIDEZ CON
SUPERFLOAC A-110 EN AGUAS RESIDUALES DE MINERAL AURÍFERO,
EN MINERA MOSOQMINAS, ANANEA – REGIÓN PUNO**

PRESENTADO POR:

SAUL LUCIO LLAMPI PINEDA

PARA OPTAR EL GRADO ACADÉMICO DE:

MAESTRO EN CIENCIAS

MENCIÓN EN SEGURIDAD INDUSTRIAL Y AMBIENTAL

APROBADA POR EL JURADO SIGUIENTE:

PRESIDENTE

.....
Dr. PEDRO ÁLVARO EDWIN GALLEGOS PASCO

PRIMER MIEMBRO

.....
Dr. GERMAN QUILLE CALIZAYA

SEGUNDO MIEMBRO

.....
Dr. FERNANDO BENIGNO SALAS URVIOLA

ASESOR DE TESIS

.....
M.Sc. FAVIOLA CCOA HUANCA

Puno, 12 de diciembre del 2022

ÁREA: Investigación

TEMA: Seguridad y Medio Ambiente

LÍNEA: Seguridad Industrial y Ambiental



DEDICATORIA

*A mis más grandes influencers de la vida,
mis padres Don Máximo Eleuterio Llambi
Peralta y mi señora madre Dionicia Pineda
Choque, a ambos por escribir mi vida
mientras yo no podía, a mis hermanas
Shelly, Analuz y Esther Nohemí, por estar
ahí siempre cuando las necesite.*

*A Katy Pilco, las palabras no existen
para agradecerte por tu apoyo
incondicional, por tu motivación, por
tu desprendimiento de amistad y
tiempo, que ayudaron a culminar el
presenta trabajo de investigación.*

Saul Lucio



AGRADECIMIENTOS

- A mi Alma Mater Universidad Nacional del Altiplano, en especial a la Escuela de Posgrado, Maestría en Ciencias - Facultad de Ingeniería Química.
- A mis Docentes de la Maestría en Ciencias: Mención en Seguridad Industrial y Ambiental por su contribución académica en mi formación profesional.
- Mis agradecimientos a los estimados representantes e ingenieros de la Unidad Minera Mosoqminas, por darme espacio en las unidades operativas y brindarme su apoyo para la ejecución de la presente investigación.
- Mi agradecimiento especial a mi Asesor M.Sc. Faviola Ccoa Huanca y de igual manera a los docentes de la Facultad de Ingeniería Química y la Universidad Nacional del Altiplano por permitirme realizar mis más caros anhelos.

Saul Lucio.



ÍNDICE GENERAL

	Pág.
DEDICATORIA	i
AGRADECIMIENTOS	ii
ÍNDICE GENERAL	iii
ÍNDICE DE TABLAS	vii
ÍNDICE DE FIGURAS	ix
ÍNDICE DE ANEXOS	x
ÍNDICE DE ACRÓNIMOS	xi
RESUMEN	xii
ABSTRACT	xiii
INTRODUCCIÓN	1

CAPÍTULO I

REVISIÓN DE LITERATURA

1.1. Marco teórico	3
1.1.1. Problemática de las aguas residuales en el País	3
1.1.2. Efecto de la pequeña minería en el medio ambiente	4
1.1.3. Pequeña minería en placeres auríferos	5
1.1.4. Agua	6
1.1.5. Aguas residuales	7
1.1.6. Tratamientos físico – químicos de aguas residuales	8
1.1.7. Factores que influyen en el procesamiento de aguas residuales	12
1.2. Antecedentes	15

iii



1.2.1. Internacionales	15
1.2.1. Nacionales	20
1.2.3. Local	23

CAPÍTULO II

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

2.1. Identificación del problema	25
2.2. Enunciado del problema	27
2.2.1. Enunciado general	27
2.2.2. Problemas específicos	27
2.3. Justificación	27
2.4. Objetivos	28
2.4.1. Objetivo general	28
2.4.2. Objetivos específicos	28
2.5. Hipótesis	29
2.5.1. Hipótesis general	29
2.5.2. Hipótesis específicas	29

CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Lugar de estudio	30
3.1.1. Ubicación geográfica	30
3.1.2. Accesibilidad	30
3.2. Población	31
3.3. Muestra	31



3.4. Método de investigación	32
3.4.1. Diseño experimental	32
3.5. Descripción detallada de métodos por objetivos específicos	32
3.5.1. Determinar el efecto del pH 5, 7 y 9 en la reducción de la turbidez de las aguas residuales del lavado de mineral aurífero.	32
3.5.2. Determinar el efecto del floculante Superfloc A-110 110 a una dosificación de 30mg/L en pH 5, 7 y 9 en la reducción de la turbidez en las aguas residuales.	38

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Determinar el efecto del pH 5, 7 y 9 en la reducción de la turbidez de las aguas residuales del lavado de mineral aurífero	45
4.1.1. Caracterización del agua residual	45
4.1.2. Pruebas para determinar el efecto del pH 5, 7 y 9 en la reducción de la turbidez de las aguas residuales del lavado de mineral aurífero	48
4.1.3. Efecto del pH a diferentes tiempos de sedimentación	50
4.1.4. Prueba estadística para el factor pH	52
4.1.4.1 Efecto del pH en la reducción de la turbiedad	52
4.2. Determinar el efecto del floculante Superfloc A-110 110 a una dosificación de 30mg/L en pH 5, 7 y 9 en la reducción de la turbidez en las aguas residuales.	55
4.2.1. Determinación de la dosis optima de floculante	55
4.2.2. Determinar el efecto del floculante Superfloc A-110 110 a una dosificación de 30mg/L en pH 5, 7 y 9 en la reducción de la turbidez en las aguas residuales.	60
4.2.3. Efecto del pH a diferentes tiempos de sedimentación	62



4.2.4. Pruebas estadísticas para el factor floculante	65
CONCLUSIONES	70
RECOMENDACIONES	71
<i>BIBLIOGRAFÍA</i>	72
<i>ANEXOS</i>	78



ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
1. Parámetros de calidad organoléptica del agua para consumo humano	7
2. Accesibilidad a la Unidad Minera Mosoqminas	31
3. Datos de muestreo de agua residual en campo	34
4. Unidades experimentales para el factor pH	36
5. Significancia de valor-p para el factor pH	37
6. Unidades experimentales para el factor floculante	41
7. Nivel de significancia para el factor floculante	41
8. Parámetros físico-químicos del agua residual	45
9. Sólidos sedimentables en el agua residual	46
10. Análisis en el cono Imhoff	47
11. Reporte de unidades experimentales objetivo 1	48
13. Efecto del pH a 10 minutos de sedimentación	50
14. Efecto del pH a 15 minutos de sedimentación	51
15. Efecto del pH a 20 minutos de sedimentación	51
16. Análisis de turbiedad NTU del efecto del pH en el agua residual	52
17. ANOVA respecto al factor pH	54
18. Optimización de dosificación de floculante 15mg/L	56
19. Optimización de dosificación de floculante 40 mg/L	57
20. Optimización de dosificación de floculante 20mg/L y 30 mg/L	59
21. Análisis de efecto del pH y Floculante en la reducción de la turbiedad	60
22. Floculación a 10 minutos de sedimentación	62
	vii



23. Floculación a 15 minutos de sedimentación	63
24. Floculación a 20 minutos de sedimentación	63
25. Porcentaje de recuperación de agua residual factor floculante	64
26. Análisis de turbiedad NTU del efecto del floculante en el agua residual	65
27. ANOVA respecto al factor floculante	66



ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
1. Minería aluvial en la región de Puno	5
2. Equipo de prueba de jarras serie Phipps & Bird PB-900	11
3. Velocidad de sedimentación del agua residual	47
4. Efecto de la variación del pH en la reducción de la turbiedad	52
5. Efecto del factor pH 5, 7 y 9 en la reducción de la turbiedad	53
6. Comportamiento del error estadístico del factor pH	55
7. Reducción de la turbiedad con dosificación de 20 mg/L	58
8. Reducción de la turbiedad con dosificación de 30 mg/L	60
9. Reducción de la turbiedad a 10, 15 y 20 minutos	64
10. Efecto de la reducción de la turbiedad en NTU con floculante	66
11. Comportamiento del error estadístico del factor floculante	67
12. Gráfico de superficie de respuesta	68
13. Gráfico de contornos de superficie de respuesta	68



ÍNDICE DE ANEXOS

	Pág.
1. Informe de ensayo N° 057-2022	78
2. Ubicación geográfica de la Unidad Minera	86
3. Plano de pozas de sedimentación	87
4. Diagrama de flujo de procesos	88
5. Ficha técnica de cal	89
6. Ficha técnica de Superfloc A-110	90
7. Cadena de custodia de muestreo de agua	91
8. Flujo del diseño experimental	92
9. Registros fotográficos	93



ÍNDICE DE ACRÓNIMOS

- **ANA:** Autoridad Nacional del Agua
- **ECA:** Estándares de calidad ambiental.
- **g:** Gramo
- **h:** Hora
- **L:** Litro
- **LMP:** Límites Máximo Permisible
- **Mg.:** Miligramo
- **Mg/L.:** Miligramo por Litro
- **MINAN:** Ministerio del Ambiente
- **ml:** Mililitros
- **NTU:** Nephelometric Turbidity Unit
- **OMS:** Organización Mundial de la salud
- **pH:** Potencial de Hidrogeno
- **RPM:** Revoluciones por Minuto
- **SST:** Sólidos Totales en Suspensión
- **STD:** Sólidos Totales Disueltos
- **UE:** Unidades Experimentales
- **UTM:** Universal Terminator Marcator

RESUMEN

La minería aluvial requiere de grandes volúmenes de agua para la concentración de oro y generan aguas residuales, para el tratamiento dosifican floculantes y cal en forma convencional. El objetivo de la investigación fue determinar la influencia del pH en la reducción de la turbidez con Superfloc A-110 en Minera Mosoqminas, Ananea de la región de Puno. El diseño es experimental de enfoque cuantitativo de nivel explicativo descriptivo, se tomó muestras de agua en campo, luego transportadas al laboratorio, se realizaron pruebas de optimización de dosificación de floculante, cal y pH para luego realizar pruebas de jarras, realizó un diseño experimental factorial completamente al azar, con dos niveles, 3 variables independientes de 6 tratamientos y 9 réplicas, con dos variables, floculante (con y sin) y niveles de pH 5, 7 y 9, la variable dependiente fue la reducción de la turbidez, la población fue conformada por las 4 pozas de tratamiento de agua, muestreándose 160 L, con turbiedad inicial de 9890 NTU, todas las pruebas con agitación 200 RPM por 2 min, luego 80 RPM por 5 min y 10 minutos de sedimentación, para el factor floculante se dosificó 30 mg/L de Superfloc A-110. Llegando a concluir que la influencia del pH en la reducción de la turbidez es significativa de acuerdo con el Software RStudio, las combinaciones para el factor floculante es 33.95 mg/L, para el factor pH de 9.8 y tiempo de sedimentación es de 6.74 minutos de acuerdo con la predicción del modelo matemático de superficie respuesta.

Palabras clave:

Agua residual, floculación, influencia pH, minería aluvial y turbidez



ABSTRACT

Alluvial mining requires large volumes of water for gold concentration and generates residuals water, for the treatment of which flocculants and lime are dosed in a conventional way. The purpose of the research was to determine the influence of pH in the reduction of turbidity with Superfloac A-110 in Mosoqminas mine, Ananea in the Puno region. The experimental design is quantitative approach of descriptive explanatory level, water samples were taken in the field, then transported to the laboratory, optimization tests of flocculant dosage, lime and pH were performed to then perform jar tests, performed a completely randomized factorial experimental design, with two levels, 3 independent variables of 6 treatments and 9 replicates, with two variables, flocculant (with and without) and pH levels 5, 7 and 9, the dependent variable was the reduction of turbidity, the population was formed by the 4 water treatment wells, sampling 160 L, with initial turbidity of 9890 NTU, all tests with agitation 200 RPM for 2 min, then 80 RPM for 5 min and 10 minutes of sedimentation, for the flocculant factor 30 mg/L of Superfloc A-110 was dosed. Into conclusion that the influence of pH on turbidity reduction is significant according to RStudio Software, the combinations for flocculant factor is 33.95 mg/L, for pH factor of 9.8 and sedimentation time is 6.74 min according to the prediction of the response surface mathematical model.

Keywords: Alluvial mining, flocculation, pH influence, residual water and turbidity.

INTRODUCCIÓN

A nivel mundial el crecimiento rápido y descontrolado de las poblaciones en todos los países del mundo conlleva el incremento de la demanda de recurso hídrico considerando también el incremento de actividades económicas que consumen agua y generan aguas residuales, las organizaciones modernas y organizaciones empresariales centran sus esfuerzos en mejorar el uso y reúso del agua, implementan sistemas de gestión de aguas residuales de manera que desarrollan una actividad económica sostenible como en Argentina, Republica Dominicana, Chile, el Perú también está obligado a realizar actividades económicas circular en el contexto de que las aguas residuales no son un problema si no que debe ser considerado como un recurso valioso, a partir del cual no solo deben ser reusados si no considerados como fuente de energía, todas estas aguas deben ser captadas y tratadas (Serrano et al, 2020)

Al pasar los años la población ha ido creciendo y con ello nuevas actividades económicas con el afán de generar empleo, uno de ellos es la actividad de pequeña minería, en el Perú ha sido una de las actividades de mayor expansión (De Echave, 2016); En el Perú los ríos normalmente eran sumideros de las aguas residuales urbanos e industriales, sin embargo, en épocas de lluvia los ríos eran capaces de regenerarse mas no la capacidad de re oxigenarse, es por ello la desaparición paulatina de los peces, el país se a visto involucrado en conflictos sociales, ambientales y economicos por el tema del agua, entre poblaciones vulnerables y actividad minera, quienes comparten el uso del agua provenientes de la cuencas de la parte alta. (Moscoso & Young, 2004).

En la región de Puno se tiene actividad minera en placeres auríferos en la zona de Ananea recuperando oro por métodos gravimétricos, para cual se utiliza grandes cantidades de agua, a la vez, generando aguas residuales, en esta zona también se ubica la cabecera de la cuenca del rio Ramis, siendo esta afectada por las aguas residuales producto de la actividad minera, el presente estudio tiene el afán de aportar nuevos conocimientos respecto al tratamiento de las aguas residuales producto del lavado de mineral aurífero específicamente en la unidad minera Mosoqminas ubicada en Ananea de la región de Puno, determinando la influencia del pH en la reducción de la turbiedad, permitiendo justificar el uso de cal, optimizando el tratamiento de las aguas residuales, reduciendo así la captación de agua fresca, reduciendo el tiempo de sedimentación, así los operadores



mineros tendrán mayor disponibilidad de agua reusable en menor tiempo y usando eficientemente los insumos químicos.

Finalmente en la presente investigación se presenta los siguientes capítulos descritos a continuación: El capítulo I, se desarrolla la búsqueda de información de literatura, dentro del cual también se desarrolla el tema del marco teórico, conceptos básicos que fueron útiles para el desarrollo de la investigación; también se consignan datos de investigaciones antes realizadas de diferentes países, nacionales y locales, resultados similares o relacionados con el tema principal de la investigación.

El capítulo II, se indica la identificación del problema de investigación, a la vez el enunciado del problema, definición del problema, intención de la investigación, justificación de la investigación, los objetivos y la hipótesis de la investigación. El capítulo III, en este capítulo se muestra los materiales y métodos, que se encuentra comprendida por el acceso al campo de investigación, selección de informantes y situaciones observadas, estrategias y registro de datos, análisis de datos y categorías. El capítulo IV, se consignan resultados y discusión respecto a la problemática de la investigación. Finalmente se presentan las conclusiones a las que se han arribado en la investigación, recomendaciones y las referencias bibliográficas consultadas, los cuales se adjuntan como anexos.

CAPÍTULO I

REVISIÓN DE LITERATURA

1.1. Marco teórico

1.1.1. Problemática de las aguas residuales en el País

Quispe *et al.*, (2020) en su publicación dice que el agua es utilizada en diferentes aspectos, ya sea de consumo doméstico o de consumo industrial, se sabe cómo se usa y reusa y de sus tipos de tratamientos, sin embargo, pocos se preguntan o saben a dónde va o donde se dirige toda esa agua utilizada. Muchas de las soluciones actuales es la construcción de plantas de tratamientos de aguas residuales como destino final, esto ha solucionado el problema de las grandes ciudades del país, es decir estas infraestructuras son indispensables para un funcionamiento correcto de cualquier gran ciudad. También afirma que en el Perú los ríos normalmente eran sumideros de los desechos urbanos, sin embargo, estos gracias al incremento de sus volúmenes en épocas de lluvia los ríos eran capaces de regenerarse mas no la capacidad de reoxigenarse, es por ello la desaparición paulatina de los peces en los ríos (Moscoso & Young, 2004)

En las ultimas decadas el pais se a viste involucrado en conflictos sociales, ambientales y economicos por el tema del agua protagonizados mayormente por las poblaciones vulnerables y la industria minera, quienes comparten el uso del agua provenientes de la cuencas de la parte alta. Moscoso en su publicacion afirma que una adecuada gestion ambiental asumida por las autoridades competentes pueden transformar este problema en una oportunidad, esto por le tratamiento de aguas residuales (Moscoso, 2004)

1.1.2. Efecto de la pequeña minería en el medio ambiente

Enríquez en su investigación afirma que el impacto ambiental es más visible y significativo donde se presenta yacimientos del tipo placeres aluviales, un ejemplo por citar es el departamento de Madre de Dios, por ejemplo, el lavado de mineral para la concentración de oro genera agitación en los lechos de los arroyos produciendo una turbidez en el agua por los sólidos en suspensión, estos antes de precipitar o asentar viajan con el lecho del río por largas distancias, esta turbiedad impide el ingreso de luz al fondo de los ríos producción impidiendo el desarrollo de los peces y plantas esto porque los átomos de oxígeno no se difunden, algo parecido ocurre en la zona de Ananea (Enríquez, 2021)

Normalmente las técnicas aluviales de concentración de oro se deben mayormente a los métodos por concentración gravimétrica, sin embargo el oro se encuentra envuelto en material fino, al momento de separar el oro de las grabas aluviales se utiliza agua para su dispersión lo que ocasiona que estos materiales finos queden en suspensión, además se debe considerar que la actividad utiliza lubricantes y combustibles los cuales en casos de emergencia son derramados directamente al suelo o arroyos, muchas de estas actividades se encuentran mayormente cerca de los cursos de agua como es el caso de Chala y Atico (De Echave, 2016)

La minería artesanal, impacta severamente al medio ambiente es el caso de Madre de Dios, donde se puede apreciar más claramente los impactos ambientales como la reducción de masa boscosa, cursos de agua, pérdida de claridad de las aguas de los cursos naturales de agua, la desintegración del medio ambiente por la actividad minera impide la auto recuperación de estos, la alteración en el color del agua, altos niveles de turbiedad hacen que la vida acuática migre a aguas más claras (Dourojeanni *et al.*, 2021)

De la misma forma en la región de Puno se puede observar la disminución de la masa boscosa en las riveras y arroyos de los ríos, cambio en las características físicas de las aguas río abajo, como cambios en el color, acidez, así mismo se ve la presencia de sustancias sólidas suspendidas en el agua, suelo de donde las criaturas, se alimentan como es el caso de algunos camélidos sudamericanos ubicados en la parte alta de la

región de Puno, se alimentan de estos pastizales y consumen estas aguas provenientes de ríos arriba y pueden enviar esta contaminación al hombre. Lo mismo ocurre con los peces de los cursos inferiores de los cursos de agua (De Echave, 2016)

1.1.3. Pequeña minería en placeres auríferos

En el país existen 4 estratos mineros los cuales están divididas de acuerdo con la capacidad de procesamiento de mineral, método de extracción y área de trabajo destinado a las operaciones mineras es decir en hectáreas concesionados, respecto al tipo de minería desarrollado existen minería a cielo abierto o de superficie, minería subterránea y minería de placeres auríferos.

La minería de placeres auríferos es la concentración del material valioso (oro - Au) presente en el yacimiento en forma libre o nativo, ya que estos depósitos fueron formados por la erosión de la fuente primario del mineral formando acumulaciones en las partes bajas, estos gracias a la fuerza de arrastre ejercidos por las corrientes de agua concentrado los minerales más pesados en depósitos como playas, depósitos glaciares entre otros.



Figura 1. Minería aluvial en la región de Puno

La concentración del material valioso se realiza aprovechando el peso específico del oro, estos tipo de yacimiento presenta normalmente concentraciones muy bajas de

oro, por lo que se hace necesario el procesamiento de grandes cantidades de volumen de mineral para que la actividad desarrollada sea económicamente factible, por lo que su ciclo de minado está conformado por arranque de mineral con equipo pesado como excavadoras hidráulicas, extrayendo el mineral desde los frentes de minado, luego son cargados a volquetes de 15 cubos, los cuales transportan este mineral a los chutes, los cuales están impermeabilizados con lonas de jebe, el mineral puesto en la chute es disgregado con la ayuda de agua inyectado a presión, separando así las grabas de la arcilla limo y el oro, la acción de arrastre que posee el agua transporta al oro hasta los canales de alfombras, las alfombras presentan cerdas los cuales atrapan al oro, finalmente estas alfombras son sacudidas periódicamente para recuperar el oro concentrado en sus cerdas.

1.1.4. Agua

Es el líquido elemento vital indispensable para el desarrollo de la vida, los cuales poseen una infinidad de características, es el único que se puede encontrar en el ambiente en sus tres estados, el agua pura no conduce la electricidad, el agua cuando se solidifica disminuye su densidad, entre otros. Según Raffo (2013) indica por que el agua es tan importante para la vida, el uso en la vida daría.

- Uso diario: Limpieza, aseo personal, preparación de alimentos entre otros.
- En la industria: En las Plantas hidroeléctricas, plantas mineras, industria alimentaria, fabricación de insumos, bebidas, entre otros.
- En la agricultura: Canales de regadío, bebederos, entre otros.
- En la ganadería: Bebederos.
- En la piscicultura: Granjas de peces.

Tabla 1.

Parámetros de calidad organoléptica del agua para consumo humano

Parámetros	Unidad de medida	LMP
Olor	—	Aceptable
Sabor	—	Aceptable
Color	UCV escala Pt/Co	15
Turbiedad	UNT	5
pH	Valor de pH	6,5 a 8,5
Conductividad (25°C)	$\mu\text{mho/cm}$	1500
Solidos totales disueltos	mgL^{-1}	1 000
Cloruros	$\text{mg Cl}^{-1} \text{ L}^{-1}$	250
Sulfatos	$\text{mg SO}_4 = \text{L}^{-1}$	250
Dureza total	$\text{mg CaCO}_3 \text{ L}^{-1}$	500

UCV = Unidad de color verdadero

UNT = Unidad nefelométrica de turbiedad

Fuente: (MINSA, 2011)

1.1.5. Aguas residuales

Son productos del consumo humano o aguas residuales de uso industrial dentro o fuera de las ciudades, los cuales después de un proceso estos normalmente presentan alteraciones en sus características normales como nivel de pH, turbiedad, color, olor, conductividad eléctrica, solidos suspendidos otros contienen materia orgánica, elementos químicos entre otros (Moscoso & Young, 2004)

Las aguas residuales también son consideradas como aguas dispersoras por contener cantidad de impurezas de diferentes tamaños y composición química, gran parte puede ser eliminado por sedimentación, pero muchas quedan suspendidas debido a su tamaño.

1.1.6. Tratamientos físico – químicos de aguas residuales

La generación de aguas residuales es parte de los procesos industriales, además de su eliminación y/o reencauzamiento previo tratamiento por métodos fisicoquímicos su reutilización es el proceso más común en procesos industriales, por lo que los métodos más comunes utilizados con los de coagulación y floculación con posterior tiempo de sedimentación.

1.1.6.1. Floculación y coagulación

Conceptos que en la actualidad poseen una infinidad de definiciones dependiendo del tipo de investigación, países y/o autores, sin embargo, se hace necesario estandarizar estas definiciones. La floculación tiene una gran influencia en el ciclo biogeoquímico al alterar el tamaño, la densidad y la sedimentación de las partículas (Wang et al., 2020)

Por ende, la floculación elimina los sólidos suspendidos en los líquidos, la eficiencia de la floculación depende del tipo de floculante dosificado. La coagulación es un proceso de desestabilización en soluciones donde los sólidos suspendidos se mantienen estables, para luego estas partículas desestabilizadas se unan mediante la floculación, se unen hasta tal punto de formar grandes partículas estables o aglomeradas.

Para proceso de eliminación de partículas suspendidas se recurre a las reacciones de coagulación y floculación los cuales desestabiliza las partículas que se encuentran en estado suspendido es decir facilita la aglomeración coadyubando al contacto lento de las partículas desestabilizadas, los cuales forman un floc el cual es de fácil eliminación por únicamente sedimentación, decantación o filtración.

1.1.6.2. Coadyuvantes

Los procesos de coagulación y floculación no siempre son óptimos ya sea por la temperatura, el nivel de acides o alcalinidad entre otros factores, por lo que es necesario el uso de coadyuvantes que son como insumos auxiliares de los procesos de coagulación y floculación, los hay inorgánicos como la cal viva o cal apagada, carbonatos de sodio e hidróxido sódico entre otros como orgánicos como almidón, chitosán entre otros.

1.1.6.3. Los Coloides

Estos se presentan de manera de partículas en suspensiones estables, lo cual hace que estos sean difíciles de sedimentar, además de que el color del agua se debe a estas partículas coloidales los que presentan una superficie de contacto inmensa entre la fase sólida y la fase líquida, por ejemplo 1 cubo de 1 cm³, tiene una superficie total de 6 cm²; si está dividido en pequeños cubos elementales, la superficie total de todos aquellos es mucho más grandes.

1.1.6.4. Superfloc A-110

Es un floculante aniónico altamente efectivo contiene un alto peso molecular lo cual lo hace efectivo en operaciones de clarificaciones aguas residuales en un amplio rango de condiciones, es de fácil acceso en el mercado nacional y precio bajo en comparación a otros productos similares, eficiente a bajos niveles de dosificación además de reaccionar rápidamente, es fácilmente transportable y su almacenamiento únicamente requiere el no contacto con ambientes húmedos, opera en amplios rangos de pH, no modifica el nivel de acides en las aguas residuales, no es más corrosivo que el agua, tiene una vida útil de almacenamiento de 24 meses cuando se almacena en ambientes totalmente secos.

1.1.6.5. Sedimentación

Es la remoción de partículas sólidas que se encuentra en estado suspendido más la fuerza de la gravedad, en muchas diferentes operaciones son denominados clarificación o procesos de espesamiento, normalmente la sedimentación es un proceso primario utilizado en la purificación del agua,

denominado sedimentación simple sin añadir ningún insumo químico, también se realiza sedimentación posterior a procesos de floculación o coagulación (Romero Rojas, 1999)

1.1.6.6. Filtración

El agua potable es imprescindible para el ser humano es por eso que el agua debe ser clara y cristalina es por lo que para conseguir estos parámetros debe ser previamente filtrado, normalmente más del 90% de la remoción de la turbiedad en el agua es logrado por procesos de floculación y sedimentación. La filtración se realiza a través de medios porosos (Romero Rojas, 1999)

1.1.6.7. Cinética de sedimentación

Se refiere a la velocidad a la que una partícula se deposita en el fondo de una mezcla en medio acuoso donde las fuerzas de peso, flotabilidad interactúan, con el fin de clarificar el agua, denominado proceso primario, este cálculo sirve para el diseño de tanques y/o pozas para el almacenamiento de agua residual (Pérez, 2005)

1.1.6.8. Sólidos totales

Toda muestra de agua está compuesto por sólidos totales (STT) los cuales se dividen en sólidos disueltos (SDT) y los sólidos en suspensión (SST), los sólidos totales se puede definir como el material que queda después de evaporar la muestra de agua entre 103 °C a 105°C esta masa se mantiene en estado suspendido son fácilmente transportables por las acciones de arrastre del agua, los sólidos disueltos totales son aquellos que conforman el material soluble es decir pasa un proceso de filtración están conformados normalmente por minerales sales entre otros y los sólidos suspendidos totales conforman todo el material suspendido en una muestra de agua se obtiene filtrando la muestra de agua, todo lo retenido son los sólidos suspendidos totales (SEDAPAL, 2000)

1.1.6.9. Pruebas de jarras.

Es una forma práctica de realizar simulaciones para procesos de tratamientos de aguas con proceso normalmente de floculación y coagulación, pruebas realizadas a nivel de laboratorio, permite optimizar la dosificación de reactivos químicos con el fin de decantar solidos existentes en el medio acuoso bajo el control de dosificación o dosis de coagulante y floculante obteniendo niveles de turbiedad diferentes con el afán de mejorar los tratamientos de las aguas residuales.



Figura 2. Equipo de prueba de jarras serie Phipps & Bird PB-900

Las aguas captadas de diferentes fuentes para uso doméstico o uso industrial presentan diferentes parámetros los cuales son analizados en el laboratorio, para luego ser tratado con diferentes dosificaciones en el equipo de prueba de jarras, siendo está a pequeña escala, donde se puede obtener las condiciones óptimas para el tratamiento del agua que luego son llevados a escala industrial, para ello se puede variar parámetros como velocidad de agitación en (rpm) ya sea en escala de velocidad rápida o lenta, tiempo de agitación, volumen de muestra, normalmente estos equipos esta provistos de seis sistemas de agitación donde puede ser ubicado seis jarras donde son puestas las muestras liquidas, estas son agitadas bajo ciertos controles para

finalmente dejar sedimentar, seguidamente se toman muestras para realizar análisis de turbiedad, finalmente realizar los análisis necesarios como turbiedad y realizar comparaciones. (Aguilar y otros, 2002)

- **Agitación rápida**

Para un mejor tratamiento de las aguas residuales, requieres también de optimización de los tiempos de tratamiento y tiempos de retención de las aguas en las plantas de tratamiento, para lo cual se implementa una agitación rápida con el afán de reducir los tiempo de retención del agua, a más tiempo en el proceso del agua se traduce más volúmenes de almacenamiento del agua, por lo que una buena optimización de la agitación conlleva una buena reducción del tiempo de retención y/o tiempo de tratamiento del agua residual.

- **Agitación lenta**

En muchos casos es necesario caracterizar las aguas residuales inicialmente, esto con fin de determinar si la reacción o influencia del floculante requiere de mayor tiempo para interactuar con las partículas, para formar el floc y poder precipitar los sólidos que están en suspensión. Si fuera el caso es necesario aplicar en el proceso una agitación lenta, el cual favorece a la unión de partículas, sin embargo, esto también se traduce en más tiempo de procesamiento del agua y mayores volúmenes de almacenamiento.

1.1.7. Factores que influyen en el procesamiento de aguas residuales

1.1.7.1. Turbiedad

La turbiedad y el color del agua se debe a la presencia de partículas muy pequeñas que se encuentran en estado suspendido como por ejemplo arcilla, limo, materia orgánica o minerales, además son fácilmente filtrados. Para su medición se utiliza el método nefelométrico y se expresa en Unidades Nefelométricas de Turbidez (NTU) se hace atravesar luz a una sección de agua resultando la luz de manera dispersa por las partículas del agua en ángulos de 90° respecto a la fuente inicial de luz, normalmente se realiza utilizando equipos turbidímetros utilizados tanto en campo como en laboratorio (Tenelanda y Pinguil, 2013)

Otros equipos que miden la turbiedad son los equipos de colorímetro como también los equipos de espectrofotómetro, que también miden la reducción de la luz al ser atravesados cierto flujo de agua esto debido a las partículas en suspensión presentes en el medio acuoso.

Por lo general a turbiedad alta requiere mayor dosificación de coagulante, lo cual se transforma en mayor costo en el tratamiento de este tipo de aguas residuales, muchas veces la turbiedad se debe a elementos que reacciona químicamente con el coagulante neutralizándolo (Beltrán, 1980)

1.1.7.2. Temperatura del agua

Normalmente en campo la temperatura no es tan variante sin embargo si hablamos de diferentes zonas de operación, la temperatura es muy variante, por lo que se según Tardat Henry indica que la temperatura es un factor importante en los procesos de tratamiento de aguas, ya que a ciertos grados de temperatura los rendimientos de clarificación del agua son ineficientes, ya que la temperatura modifica la viscosidad, la densidad, la solubilidad, el pH del agua, retrasando los procesos de reacción, también afecta a la energía cinética de las partículas lo que ocasiona que las reacciones químicas sean más lentas (Tardat, 1989)

1.1.7.3. Salinidad

Es una forma de medir las calidades de sales disueltas en una muestra de agua, normalmente la cantidad de sales sueltas en el agua determinan la conductividad acuosa, también afecta a la temperatura haciendo del medio acuoso más fácil de congelar, la salinidad en el suelo afectado se debe mayormente por la acción del hombre, en el tratamiento de aguas residuales el contenido de sales afecta considerablemente los efectos de coagulación, ya que las sales pueden modificar el pH del agua, aumenta el tiempo de floculación también aumenta la dosis de floculante (weber, 1979)

1.1.7.4. Tiempo de retención

Es el tiempo necesario u óptimo que requiere cierto coagulante para formar coágulos, es un factor que se debe controlar al límite ya que menos

tiempo no permitirá una sedimentación y clarificación del agua óptimo, tiempo prolongado de retención recaerá en costos elevados en los procesos de tratamiento de aguas residuales.

1.1.7.5. Influencia del pH

El potencial hidrogeno es una medida de la actividad del ion hidrogeno en soluciones acuosas. El pH es una variable para considerar durante los procesos de coagulación, cada efluente acuoso posee un pH determinado, por lo que para procesos de floculación cada tipo de agua existe un nivel de pH óptimo para que la coagulación se realice de manera rápida y eficiente. Normalmente si se realiza floculación y coagulación fuera del pH óptimo se requerirá más dosificación de floculante, por lo tanto, las dosis serán más alta (SEDAPAL, 2000)

1.1.7.6. Alcalinidad

En este estado los iones de H^+ reaccionan para favorecer la reacción de desestabilización, por lo que de esta forma influye en la velocidad de reacción del floculante coagulante en el agua, ya que normalmente la coagulación en estado alcalino reacciona de manera lenta, por lo que las aguas con alcalinidad muy alta pueden necesitar de mayores dosis de coagulantes de esta forma bajar el nivel del pH para poder dar su efecto (Pérez, 2010)

1.1.7.7. Conductividad

Es una propiedad de los fluidos de transportar una corriente eléctrica, esto por la concentraciones de sustancias ionizadas en estado suspendido, la conductividad del agua a analizar dependerá de la cantidad de sustancias suspendidas implicará un cambio en la propiedad de conductividad del fluido, la determinación de la conductividad del agua indica la cantidad de sólidos disueltos que contiene la muestra analizada, los cuales son lecturados por equipos en $\mu\text{mho/cm}$ a normalmente 25°C (Romero Rojas, 1999)

1.1.7.8. Dosis de insumos químicos

La dosificación del coagulante, floculante, cal entre otros, tiene una influencia importante en la eficiencia del tratamiento de las aguas residuales, la poca dosificación de floculante o coagulante no produce una eficiente formación de floc, por lo tanto, los niveles de turbiedad seguirán siendo elevados, la sobre dosificación de los insumos químicos como el floculante produce la formación de grupos de coágulos como grumos los cuales dificultan el contacto de partículas y su posterior sedimentación ocasionando que la turbiedad del agua siga elevado.

1.1.7.9. Velocidad de sedimentación

La velocidad de sedimentación el tiempo por lo que la acción de la gravedad separa un sólido finamente dividido del medio acuoso donde se encuentra suspendido, resultando finalmente un líquido claro obviamente aún con contenido de sólidos y en la parte una masa espesa y/o pastosa con alto contenido de sólidos, es un proceso natural concretamente físico, uno de los procedimientos más utilizados en el tratamiento de aguas, la velocidad de sedimentación depende de varios factores como la cantidad de sólidos en suspensión o concentración de sólidos, el peso específico del sólidos en suspensión es decir a más peso específico del sólidos suspendidos la cinética de sedimentación será mayor por las propiedades de caída de las partículas en la solución contenida, lo que coadyuba a un rápido procesamiento de un recurso hídrico residual acortando en gran medida el tiempo de tratamiento.

1.2. Antecedentes

1.2.1. Internacionales

Watanabe *et al.* (2021) en el trabajo de investigación describen el efecto de la adición de enzimas de (protease M) para la reducción de la turbidez y la auto floculación de partículas sólidas de las aguas residuales en la elaboración de fideos de harina de trigo, determinó que la sedimentación de las partículas sólidas depende en gran medida de la adición y concentración de enzimas y del nivel del pH. Para lo cual realizaron diferentes experimentos agregando Proteasa, disminuyendo la turbidez más

del 90%, esto sugiere que el fuerte potencial zeta (-) de las partículas sólidas formadas por la proteasa reducen la turbidez y la floculación/sedimentación de las partículas sólidas y dependen de las propiedades electrostáticas.

Chen *et al.* (2020) en la investigación se estudió la influencia del valor del pH en la eficiencia de floculación con Poliacrilamida Catiónica (L-CPA) agregando también Lignina de alta eficiencia, la transmitancia se mantuvo en un nivel relativamente alto en el rango de pH de 5 a 9, pero se reduce bruscamente en condiciones de ácido fuerte (pH=3) o base (pH=11), esto fue porque la Lignina fue soluble en el medio alcalino mientras que en la condición de ácido fuerte la Lignina se precipita, por lo que impedía la floculación.

Ma *et al.* (2019) en su trabajo de investigación, se utilizaron gradualmente polisilicato de aluminio y magnesio (PSAM) y poliacrilamida catiónica (cPAM) para el tratamiento de agua potable. El floculante se caracterizó por espectroscopía infrarroja transformada de Fourier, microscopía electrónica de barrido y espectroscopía de dispersión de energía. Luego se aplicó PSAM-cPAM para flocular la muestra de agua simulada. La muestra de agua simulada se preparó con caolín y humato de sodio. La eficiencia del tratamiento de floculación dependía en gran medida de las condiciones de floculación. Se optimizaron parámetros importantes, como el valor de pH de la muestra de agua simulada, la temperatura, el tiempo de sedimentación, la dosis total de floculante y los tipos de floculante, para garantizar un rendimiento de floculación eficaz. Bajo condiciones optimizadas, la eficiencia de remoción (más del 98%) fue sobresaliente en términos de turbidez y remoción de color. Además, la neutralización de carga, el efecto puente y la interacción de coprecipitación podrían desempeñar un papel crucial en el proceso de floculación. Se encontró que los floculantes compuestos que consisten en PSAM y cPAM son amigables con el medio ambiente, altamente eficientes y de sedimentación rápida en el tratamiento de agua potable.

Maraschin *et al.* (2020) La acidificación de lodos es un método de pretratamiento eficiente para lograr una deshidratación efectiva. En el caso concreto del material sedimentado en los tanques de la planta de aguas residuales (WTP), que utilizan algún tipo de coagulante a base de iones (por ejemplo, aluminio y hierro), estos iones pueden recuperarse y destinarse a una etapa de purificación, que permitirá su reutilización en

tratamientos específicos, disminuyendo significativamente la eliminación de desechos y insumos químicos utilizados durante el procesamiento del recurso hídrico residual. Este estudio desarrolló un sistema en escala piloto para el manejo del material precipitado lama en una EDAR con la aplicación combinada de dos polímeros (floculación dual) y un acidificante, con el objetivo de espesar y recuperar los iones metálicos de la coagulante. Los lodos utilizados en este estudio fueron muestreados en balsas de decantación de una EDAR convencional y presentaron la concentración de sólidos (TS) de 5 g-L-1, debido a la dilución con agua corriente. La primera parte del estudio comparó la adición de polímeros (uno catiónico y otro aniónico) en condiciones naturales y acidificadas por ácido sulfúrico (H_2SO_4) mediante tratamiento continuo. El paso de floculación se llevó a cabo en el floculador tubular helicoidal (HTF), también responsable de la mezcla de ácido sulfúrico. Produjo la disminución del pH e hizo que la agregación sea más fácil, contribuyendo al menor volumen de polímeros agregados en las condiciones de mezcla previstas en el (HTF). El enfoque sugerido para la solubilización ácida de los iones de aluminio proporcionó resultados de eliminación del 87 % en muestras de lodo. con una concentración inicial de 510 mgL, a partir de un SST total de 5 g/L y pH 2. Esta tasa de recuperación se obtuvo con caudal de 3 L-min-1 ($G: 507 \text{ s}^{-1}$) y tiempo de detención hidráulica (t) de 24 s. Luego, en estudios de filtración espesamiento, en un espesador estático construido, y mediante sedimentación, se observó el aporte del pH reducción de la liberación de agua en la masa de escamas formada. Además, se observó una caída importante respecto a la resistencia de la filtración (SFR) debido a la liberación de iones de aluminio presentes en el lodo, lo que hace que el material sea más fácilmente deshidratable. El estudio mostró que la disminución de pH 6,5 a pH 2 generó una disminución del 50% en SFR. La reducción del pH proporcionó además un lodo espesado con un 20% de sólidos (a partir de un contenido inicial de 0,5%) obtenido mediante filtración de la masa de las escamas a través de un espesador estático.

Xia *et al.* (2020) el agua cargada de algas con baja turbidez es un problema crítico en los lagos eutróficos de las regiones áridas. Por lo tanto, cómo separar efectivamente las algas y la turbidez es un problema urgente para el procesamiento y producción de agua de consumo humano. Se investigó el rendimiento de la floculación magnética de la purificación de agua cruda cargada de algas mediante el uso de floculante compuesto magnético Fe_3O_4 /poliacrilamida catiónica (CPAM). La

eficiencia de eliminación de *Chlamydomonas* sp., turbidez y UV254 se evaluó en diferentes relaciones de masa de Fe₃O₄: CPAM, dosis y valores de pH. Se probó la recuperación y reutilización de Fe₃O₄/CPAM en floculación. Además, se examinó la magnetización de saturación de floculantes y flóculos y la potencial zeta del sobrenadante en la separación magnética, y el mecanismo de floculación de *Chlamydomonas* sp. fue explorado en consecuencia. Además, se comparó la eficiencia de eliminación de materia orgánica extracelular unida (BEOM) y materia orgánica extracelular disuelta (DEOM) utilizando Fe₃O₄/CPAM. El mecanismo de floculación y las interacciones entre Fe₃O₄/CPAM y las materias orgánicas extracelulares se analizaron de acuerdo con espectros ultravioleta (UV), espectros de matriz de emisión de excitación (EEM) tridimensional de fluorescencia, cromatografía de permeación en gel (GPC) y espectroscopia foto electrónica de rayos X (XPS). Obteniéndose resultados más del 97 % de la clorofila a (Chla), el 87 % de la turbidez y el 65 % de UV254 se eliminaron con una dosis de Fe₃O₄/CPAM de 1,2 mg/l, una relación de masa de Fe₃O₄: CPAM de 1,5:1,0 y un pH de 4.0–9.0. La neutralización de carga fue dominante a pH<9,0, mientras que la adsorción a través de enlaces de hidrógeno jugó un papel importante a pH>9,0. Las sustancias similares al ácido húmico y las proteínas similares al triptófano fueron los componentes principales de DEOM, mientras que las sustancias similares al ácido fúlvico, las proteínas similares al triptófano y algunos polisacáridos existían en BEOM. Fe₃O₄/CPAM mostró un excelente rendimiento en la unión con los grupos funcionales en proteínas similares al triptófano, como los grupos amino, carboxilo e hidroxilo.

Zahrim *et al.* (2015) Las partículas de lignina contribuyen a la contaminación por color en el agua de los ríos y el tratamiento biológico de este tipo de contaminación es difícil. Estudio el procesamiento de una solución modelo que contenía lignina utilizando un enfoque de sistema de tanque de mezcla único con cloruro de polidialildimetilamonio (polidadmac) como desestabilizador. Se investigó el efecto de varios floculantes, es decir, lactato de calcio, hidróxido de magnesio y poliácridamida aniónica (APAM). El lactato de calcio funcionó mejor que el hidróxido de magnesio y la poliácridamida aniónica como floculantes. La coagulación/floculación con polidadmac-lactato de calcio eliminó la lignina a través de un mecanismo complejo: el mecanismo de puente de precipitación-neutralización de carga adsortiva. El estudio indicó que se produjo una fuerte interacción en la coagulación/floculación de la lignina

entre la dosis inicial de pH-polidadmac, la dosis inicial de pH-lactato de calcio y la dosis de polidadmac-lactato de calcio. La mayor remoción de lignina alcanzada estuvo entre 50 y 68%. El comportamiento de remoción dependió de la concentración inicial de lignina en la solución. Los resultados mostraron que la eliminación de lignina de la solución acuosa es posible en un tanque de mezcla de una sola etapa utilizando polidadmac-lactato de calcio como coagulante dual. El método mencionado aquí será potencialmente útil para el tratamiento de aguas residuales que contienen lignina de varios procesos industriales, como molinos de aceite de palma, pulpa y papel, molinos de aceitunas, etc.

Chen *et al.* (2019) el trabajo de investigación consistió en determinar el efecto de floculación del Quitosano, floculante de copolímero de injerto de quitosano, maleoil quitosano-injerto-poli (acrilamida - acriloxietilo tri - cloruro de metil amonio) [MHCS-g-P(AM-DAC)], fue preparado por iniciación UV para mejorar la solubilidad y eficiencia de floculación del quitosano. Se estudiaron sistemáticamente las propiedades floculantes para la eliminación de algas. Los efectos de parámetros como la concentración de monómero, contenido de MHCS, tiempo de iluminación, foto iniciador con concentración, grado catiónico, pH y eficiencia de injerto sobre el proceso de síntesis de MHCS-g-P (AM-DAC). La caracterización de los MHCS-g-P(AM-DAC) obtenidos se llevó a cabo mediante las diferentes técnicas de análisis, también se investigaron las influencias de la dosis, el pH y el valor G sobre las propiedades floculantes para respalda que MHCS-g-P (AM-DAC) fue más efectivo que el floculante orgánico (CPAM) y el coagulante inorgánico (PFS y PAC) sobre la eliminación de algas. Los mecanismos de floculación de MHCS-g-P(AM-DAC) fueron determinados por valores zeta obtenidos.

Liu *et al.* (2014) este trabajo presenta un proceso de síntesis y características de floculación de un floculante ecológico a base de celulosa de pulpa de bambú (BPC) de *Phyllostachys heterocycla*. Se injertó poliacrilamida (PAM) sobre el BPC mediante copolimerización por injerto de radicales libres en solución acuosa homogénea. Se investigaron las condiciones óptimas de síntesis del floculante de celulosa-injerto-poliacrilamida de pulpa de bambú (BPC-g-PAM) y su desempeño en los tratamientos de aguas residuales. Se utilizó un método basado en UV para determinar rápidamente el grado de sustitución (DS) de BPC. Los resultados mostraron que, bajo las

condiciones óptimas de síntesis, el BPC-g-PAM obtenido tenía una relación de injerto de 43,8% y DS de 1,31. La remoción de turbidez del producto alcanzó el 98,0% acompañando la importante floculación y sedimentación en las suspensiones. El mecanismo de floculación se exploró mediante el método del potencial zeta. Para los contaminantes cargados negativamente, como las partículas de arcilla de caolín, el BPC-g-PAM podría eliminar los contaminantes de manera eficiente a través de la neutralización de cargas y puentes en un ambiente ácido o neutral.

Ojeda, (2012) en su investigación estudio la optimización de un coagulante y floculante obtenido de manera natural como es el caso de Mahua, que es una especie de almidón, planta endémica en el país, contiene muchas propiedades naturales como la producción de tubérculos, para una muestra de calidad se tiene que extraer el almidón de la Mashua para lo cual se ejecutó pruebas de tratabilidad con agua de Puengasi, que es agua cruda, esto mediante el jard test, para la determinación de las dosis optimas y soluciones a ser aplicadas analizando pH, turbiedad, color, para lo cual se varió la acides, velocidad, temperatura y agitación lenta. De los experimentos se concluir que el almidón de mashua no presenta resultados favorables al reemplazar al sulfato de aluminio y ser utilizado como coagulante, pero al ser aplicado como ayudante de floculación presenta resultados similares a la del polímero praestol que es utilizado en la planta de Puengasi con este mismo fin. Al relacionar las dosis necesarias de mashua y praestol para obtener los mismos resultados de eficiencia con la misma agua cruda, se concluyó que, para tratar un metro cúbico de agua cruda, los costos para el caso del almidón de mashua son más altos, debido a que la extracción es realizada a nivel artesanal. Teniendo en cuenta los precios de almidones de yuca y maíz, se estima que el precio de almidón de mashua al extraerlo a nivel industrial seria aproximadamente tres veces menor al obtenido a nivel artesanal.

1.2.1. Nacionales

Claros (2015) el propósito de la investigación fue, realizar estudios de reacción del polihidroxiclورو de aluminio, considerando la turbulencia de movimiento y potencial hidrogeno (pH), con respecto a la color del agua NTU del recurso hídrico en el rio Shullcas de la región de Huancayo, donde dosificaron 10 mL y 50mL de polihidroxiclورو de aluminio con agitación de 50 y 100 RPM, variando el pH de 6 y 7, concluyendo que la influencia del pH sobre la turbidez tiene alta significancia, con

un valor de $p = 0.009$, con una confianza del 95% $\alpha > 0.05$, lográndose la eliminación de sólidos del 86.67% con un pH de 7, con una turbulencia de 100 RPM, variable que también es altamente significativo, con una dosificación de PAC de 50 mL, que es significativo en el efecto de reducir la turbiedad del agua, considerando que inicialmente se tenía una turbidez de 26.25 NTU, finalizando con una turbidez de media aritmética de 3.5 NTU, lo cual confirma que el nivel de potencia hidrogeno pH impacta directamente en la reducción de la turbidez NTU de río Shullcas.

Quevedo, (2016) en su investigación observó la reacción en la aplicación de procesos químicos de coagulación y floculación en efluentes de la Pesquera Pelayo SAC, para cumplir LMP de la Normativa Nacional Ambiental, concluyéndose que para lograr cumplir con los LMP, se tiene que operar en rangos de pH de 5 a 9, con un óptimo de 7.73, lográndose disminuir los sólidos totales en suspensión SST, de 91.7% hasta 97.0 % que representa 1291 ppm de tal manera que se encuentra dentro de los LMP, los aceites y grasas se logró disminuir en un rango menor a 1500 mg/L y mayores de 200 mg/L que representa 750 ppm.

Charapaqui, (2019) el propósito de la investigación de describir la variación en la dosificación de floculantes con el objetivo de remover SST de las aguas de embalse de Cuchoquesera en Ayacucho, inicialmente realizaron las mediciones de, masa de lodos, color NTU, nivel de acides, SDT, conductividad del efluente. Para determinar la optimización variaron 6 combinaciones de reactivos, formadas por goma de tara (*Caesalpinia spinoza*) mas 3 insumos como coagulantes (cloruro férrico, sulfato ferroso y sulfato de aluminio) más dos reactivos que hacen de floculantes y están compuestos por polvo de tuna (*Opuntia ficus-indica*) las pruebas se ejecutaron en jard test, con factores de floculantes y turbiedad inicial el cual se analizó inicialmente las dosis óptimas con 150 UTN y 137 U Pt-Co, el coagulante sulfato de aluminio (27,9 mg/L) en combinación con un floculante natural goma de tara (3 mg/L) se obtuvo valores residuales de 1,7 UTN y 3,2 U Pt-Co, con un diseño experimental central compuesto (DCC)

Inga, (2019) Determinó la concentración del opuntia ficus, para lograr la máxima eliminación de coliformes totales y aclarar el color del agua en el Río Cunas de Chupaca, para lo cual se muestreó agua del río, dando una turbidez de 16.4 NTU y 70 000 NMP/mL de coliformes totales, liofilizó la penca de tuna pesando 3, 080 kg

triturado pesando 0,127 kg. Se desarrollaron ensayos en jard test, únicamente en la tercera experiencia con la concentración de 5 mg/L se obtiene una disminución de coliformes totales en 89 %, mientras que la turbidez con una concentración de 60 mg/L se obtiene 1,69 NTU, obteniendo una disminución del 89, 69 %, dosificándose 2,5 mg/L, 5,0 mg/L y 7,5 mg/L se obtuvieron para coliformes totales 20 100 NMP/ml, 7 460 NMP/ml y 7 960 NMP/ml respectivamente, para turbidez 3,26 NTU, 4,14 NTU y 5,29 NTU respectivamente.

Álvarez y Ccahua, (2019) en su estudio redujo la turbiedad con biocuagulantes de aguas muestreadas en el río Tucuri, en el distrito de Santo Tomas, usando alcaloide y polímero natural como el ácido galacturónico, que poseen propiedad coagulantes, el *Echinopsis peruviana* y *Opuntia ficus-indica*, previamente fue tratado seco, pelado entre otros procesos para ganar propiedades coagulantes redujo la turbidez de las aguas el río Tucuri, con una dosificación óptima de 90 mg/L con un volumen de dosis de 1.6 mL de la solución madre (5% m/v), inicialmente el agua muestreada tenía una turbiedad de 500 UNT, luego de las pruebas se logró reducir la turbiedad en un 85.7 % diferencia del *Opuntia ficus indica* el cual logro una reducción de 83.8 % que representa de 71 UNT a 81 UNT de turbidez final, estas pruebas se realizaron a un pH de 7.5 con un tiempo de sedimentación de 30 minutos, se determinó que la dosificación de floculante natural tiene una influencia significativa en la reducción de la turbiedad, así mismo también el nivel de pH y tiempo de sedimentación influyen significativamente en la reducción de la turbidez, ya que el menor porcentaje de reducción de turbidez se dio con un pH de 7.5 y una tiempo de sedimentación de 30 minutos.

Santa Cruz, (2016) estudio la influencia del nivel de acides en las aguas residuales respecto a la remoción de la turbidez en la planta de tratamiento de agua de la ciudad de Moyobamba, donde el pH fluctúa entre 6.8 a 8.16 la turbiedad presente en la planta es de 2.81 NTU a 564.88 NTU, esta variación se da por las temporadas de lluvias, de acuerdo a las pruebas de jarras realizadas en el laboratorio el mayor porcentaje de remoción de turbiedad se da en el pH 7.5 con una eficiencia de 85.7 % reduciendo esta efectividad a mayor nivel de pH es decir en medio alcalino, finalmente Santa Cruz, concluye que el nivel de pH influye significativamente en los proceso de floculación y/o coagulación.

Otiniano, (2016) en su investigación analizo el efecto de diferente niveles de pH en la eliminación de los sólidos en suspensión de las aguas residuales del camal Municipal del el Provenir de la región de Trujillo, en pH 4, pH 6 y pH 8, con dosificación de coagulante sulfato de Aluminio de 40, 50 y 60 mgL más un floculante aniónico con dosificaciones de 1, 2 y 3 mgL, las pruebas se realizaron por el método del jard test, lográndose una eliminación optima de los sólidos en suspensión presentes en las agua residuales del Camal, con parámetros de pH 6 con una dosificación de floculante de 60mgL y 3 mgL para el floculante aniónico con una eliminación de los sólidos suspendidos del 83.66%.

1.2.3. Local

Pary y Mamani (2018), estudió la remoción de arsénico As de las aguas del rio Ayaviri, utilizando como floculante únicamente cal CaO, con una pureza de 52.52%, con una dosificación de 0.022 g/L, agregando como oxidante 14.64 mg/L de Fe₂Cl₃, con un tiempo determinado de sedimentación de 25 minutos luego se realizó una filtración en columna de grava IF tratado a un caudal de sedimentación de 10.5 L/Min. Logrando una eliminación de arsénico As de 93.75 % en las muestras de las aguas tomadas del rio Ayaviri

Tejada, (2017), en su investigación realizó pruebas de eliminación de SST y reducción de la turbidez de las agua residuales de la Unidad Operativas Minera Santiago B utilizando únicamente cal (CaO) dosificado en forma de efluente (lechada) con concentración de 5% y floculante de 6 ml, logrando recuperar agua en un 50.25% mediante la sedimentación aprovechando el peso de las partículas, en un tiempo de 60 minutos, iniciando con una turbidez de 81900 NTU, para luego finalizar con una turbidez de 19.39 NTU, los SST iniciales fueron de 67400 mg/L y finalmente los SST en un promedio de 60 minutos fueron 18.25 mg/L. la pruebas se realizaron por jard test.

Chambi, (2018) Estudio la remocion de los solidos en suspensión en las aguas residuales de la industria textil de la empresa Don Marcelo de la ciudad de Puno, los cuales contienen 2.84 mg/L, las pruebas se realizaron utilizano floculante del tipo Policloruro de Aluminio alcanzando una eficiencia de eliminacion de SST del 97.99% y Sulfato de Aluminio eliminando los SST en un 94.92%, las mismas dosificaciones

se utilizó para la democión de detergente lográndose una eliminación de los SST del 93.43% con un nivel de acidez de pH 6 con tiempo de 60 minutos de sedimentación, mientras en una tercera etapa se utilizó carbo activado de cascara de coco como floculante y removió los SST en un 95.31% a un pH de 10 y tiempo de sedimentación de 60 minutos.

Lopez, (2017) en su investigación muestreo aguas del río Inambari encontrando manganeso 0.989 mg/L por lo que hizo pruebas de eliminación de este elemento utilizando como coagulante $Al_2(SO_4)_3$ y al hidróxido de sodio como floculante, para lo cual en las pruebas se modificó en pH de 3.5 a 11, con una dosificación de coagulante de 20 a 120 mg/L, a la vez se varió la velocidad de agitación de 10 a 150 RPM, con un tiempo de mezcla de 10 a 30 minutos, con el objetivo de analizar la interacción de estos factores, se eliminó un 98.10% del manganeso presente en las aguas iniciales agregando $Ca(OH)_2$ y una eliminación de manganeso del 94,09 % agregando NaOH, con un pH óptimo de 9 con un tiempo de floculación de 8.5 segundos con una concentración de 100 ppm con dosificación de $Ca(OH)_2$ y con NaOH el pH óptimo fue de 8.3 con un tiempo de floculación de 7 segundos y concentración de 100 ppm.

CAPÍTULO II

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

2.1. Identificación del problema

En un mundo globalizado las actividades económicas son muy importantes para mantener un país, estas actividades económicas utilizan los recursos hídricos unas más que otras, lo que ocasiona la generación de efluentes de aguas residuales, muchas veces son canalizadas al medio ambiente, sin previo tratamiento, las nuevas organizaciones mundiales realizan industria circular procesando su residuos, entre ellos las aguas residuales, los cuales son captados y tratados para su reutilización, para lo cual sus autoridades emitieron normas, guías y leyes para un procesamiento estandarizados de sus residuos. (Diaz, 2019)

En el Perú una de las actividades de mayor crecimiento inclusive descontrolado en la actividad de pequeña minería y minería artesanal, dentro del cual se encuentra las actividades mineras en placeres auríferos, para la Organización Mundial de Salud Para la Organización “Muchas personas de escasos recurso económicas deben su subsistencia al desarrollo de la pequeña minería y minería artesanal, por otro lado esta actividad tiene un alto precio para el medio ambiente” (OMS, 2017) esta actividad genera considerables volúmenes de aguas residuales, los cuales en su mayoría no son tratados, porque esta actividad actualmente se encuentra en reordenamiento y/o formalización.

La región de Puno desarrolla varios tipos de actividades económicas entre ellas la pequeña minería y minería artesanal, en la zona de Ananea se desarrolla actividad minera aluvial por contener yacimientos mineros del tipo placer, estos yacimiento se caracterizan por contener oro en estado nativo (Au) es decir libre, sin embargo el contenido de oro por metro cubico de mineral son normalmente bajos, para que la actividad minera sea

económicamente factible los operadores mineros se ven obligados a procesar grandes volúmenes de mineral, para lo cual también se requiere grandes volúmenes de agua, el agua es utilizado para disgregar el material valioso de la graba, arcilla y/o limo, considerados procesos físico-mecánicos, no utilizando insumos químicos durante sus procesos, es ahí donde radica la facilidad del reúso del agua.

Actualmente el impacto ambiental por el uso de agua en las actividad aluviales es más visible y significativo un ejemplo por citar es el departamento de Madre de Dios, por ejemplo, el lavado de mineral para la concentración de oro genera agitación en los lechos de los arroyos produciendo una turbidez en el agua por los sólidos en suspensión, estos antes de precipitar o asentar viajan con el lecho del río por largas distancias, esta turbiedad impide el ingreso de luz al fondo de los ríos producción impidiendo el desarrollo de los peces y plantas esto porque los átomos de oxígeno no se difunden, algo parecido ocurre en la zona de Ananea (Enríquez, 2021)

Los operadores mineros son conscientes respecto al uso responsable del agua en sus actividades mineras, por ello han implementado procesos de tratamiento de aguas residuales para lo cual cuentan con circuitos de pozas de sedimentación de agua, donde es dosificado con floculantes y cal, sin embargo, a pesar de este tratamiento persiste la turbidez del agua recirculada lo que ocasiona que cada vez se vea más turbia con simple observación, lo que ocasiona que los operadores mineros aumenten la dosificación de floculantes y cal, construyan más pozas de sedimentación con contenido de grandes volúmenes de agua, con el fin de dar mayor tiempo al agua residual para que de esta forma pueda descartar los sólidos en suspensión, esto genera la ocupación de grandes áreas, a su vez, el agua turbia contiene solidos que se comportan como abrasivos desgastando las partes de los equipos de bombeo de agua, el agua turbia tiene mayor densidad, siendo menos eficiente para lavar el mineral.

En ese sentido se hace necesario determinar la influencia que ejerce el grado de pH en los procesos de reducción de la turbidez de las aguas residuales en la Unidad Minera Mosoqminas con el uso del floculante Superfloc A-110, el cual es el más usado en la zona por su bajo costo y fácil accesibilidad en el mercado y cal común, con el fin de plantear cual es la mejor combinación pH – floculante para lograr la mayor reducción posible de la turbidez, agua que podrá ser reusado con mayor eficiencia en las operaciones mineras reduciendo así también la captación de agua fresca.

2.2. Enunciado del problema

2.2.1. Enunciado general

¿Cuál es la influencia del pH en la reducción de turbidez con Superfloc A-110 en aguas residuales de mineral auríferos, en Minera Mosoqminas, Ananea – Región Puno?

2.2.2. Problemas específicos

- ¿Cuál es el efecto del pH 5, 7 y 9 en la reducción de la turbidez de las aguas residuales del lavado de mineral aurífero?
- ¿Cuál es el efecto del floculante Superfloc A-110 a una dosificación de 30mg/L en pH 5, 7 y 9 en la reducción de la turbidez en las aguas residuales?

2.3. Justificación

Teóricamente la investigación se justifica por adicionar conocimientos respecto a la optimización en el tratamiento de las aguas residuales producidos por las operaciones del lavado de mineral aurífero de la unidad minera Mosoqminas, los resultados permitirán justificar el uso de la cal común como modificador del pH, el cual actualmente es dosificado de manera convencional o de acuerdo a la experiencia, a la vez, los resultados de la influencia del pH en la reducción de la turbiedad de las aguas residuales producto del lavado de mineral aurífero, contribuirán en el diseño de guías, procedimientos o estándares internos de gestión integral de aguas residuales en la unidad minera, la investigación tiene una utilidad metodológica para futuras investigaciones incluyendo nuevos factores como la temperatura, la salinidad, conductividad del agua residual entre otros, buscando la mejor interacción, además, de contribuir a los estudios respecto a las mejoras tecnológicas y procedimentales en el tratamiento de aguas residuales que se realizaron a nivel nacional y local, en particular en la zona minera aluvial de Ananea.

Metodológicamente la investigación se justifica ya que se desarrolló utilizando métodos estandarizados y normados respecto al modo de muestreo de aguas residuales, siguiendo procedimientos de análisis químico en laboratorio de calidad ambiental, métodos usados también en otras investigaciones internacionales, nacionales y locales, por lo que la presente investigación es fácilmente contrastable con otras investigaciones, su desarrollo fue viable, porque se dispuso de los recursos económicos, humanos y de

fuentes de información necesarios para llevarlo a cabo, como también la disponibilidad de laboratorios y equipos necesarios de análisis químico, porque también las variables de enfoque cuantitativo (nivel de pH y floculante Superfloc A-110) fueron administradas y controladas a nivel laboratorio por lo que las técnicas, procedimientos aplicados en la investigación permitieron analizar las variables de modo particular además de que si es posibles administrar las variables por otros métodos.

La presente investigación se justifica en la práctica ya que los resultados determinaran una óptima combinación entre el nivel de pH y la dosificación de floculante Superfloc A-110, resultados que pueden ser implementados no solo en una unidad minera si no también en operaciones mineras aledañas para mejorar los procesos de reducción de la turbiedad de las aguas residuales, generando mayor disponibilidad de agua para reusar en un menor tiempo de sedimentación, menor contenido de solidos en suspensión en el agua recirculada, reduciendo el desgaste de componentes de equipos de bombeo de agua y lo más importante un óptimo tratamiento del agua residual, se traduce en una reducción considerable en la captación de agua fresca de las fuentes de aguas naturales.

2.4. Objetivos

2.4.1. Objetivo general

Determinar la influencia del pH en la reducción de turbidez con floculante Superfloc A-110 en aguas residuales de mineral aurífero, en Minera Mosoqminas, Ananea – región Puno.

2.4.2. Objetivos específicos

- Determinar el efecto del pH 5, 7 y 9 en la reducción de la turbidez de las aguas residuales del lavado de mineral aurífero.
- Determinar el efecto del floculante Superfloc A-110 110 a una dosificación de 30mg/L en pH 5, 7 y 9 en la reducción de la turbidez en las aguas residuales.



2.5. Hipótesis

2.5.1. Hipótesis general

Influye el pH en la reducción de turbidez con Superfloac A-110 en aguas residuales de mineral aurífero, en Minera Mosoqminas Ananea – región Puno.

2.5.2. Hipótesis específicas

- El efecto del pH 5, 7 y 9 es diferente, en la reducción de la turbidez de las aguas residuales del lavado de mineral.
- El efecto del floculante Superfloc A-110 a una dosificación de 30mg/L en pH 5, 7 y 9 es diferente, en la reducción de la turbidez en las aguas residuales.

CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Lugar de estudio

3.1.1. Ubicación geográfica

La muestra de agua residual fue tomada en la Unidad Mineras Minera Mosoqminas, se encuentra ubicado en el distrito de Ananea de la provincia de San Antonio de Putina de la región Puno, a 4710 msnm, con ubicación en coordenadas UTM WGS-84 N: 8377592 y E: 444135, geográficamente se encuentra ubicado en el cuadrángulo de Rinconada (30-X), el cual desarrolla actividad minera dentro del estrato de pequeño productor minero PPM de acuerdo al Decreto Supremo N° 014-92-EM Ley General de Minería, por métodos gravimétricos, por contener un yacimiento del tipo placeres auríferos. Los análisis de pruebas de jarras análisis de turbidez entre otros se realizaron en el Laboratorio de Calidad Ambiental de la Escuela de Profesional de Ingeniería Sanitaria y Ambiental de la Universidad Andina Néstor Cáceres Velásquez.

3.1.2. Accesibilidad

El acceso al proyecto minero desde la ciudad de Puno es aproximadamente es 04 Horas con 55 minutos por carretera asfaltada hasta distrito de Ananea y afirmada y tratada hasta el área del proyecto de explotación, tal como se detalla en el cuadro siguiente:

Tabla 2.

Accesibilidad a la Unidad Minera Mosoqminas

Tramos	Distancia (km)	Vía (terrestre)	Tiempo (horas)	Condición
Puno - Juliaca	45	Asfaltada	00h 45min.	Buena
Juliaca - Desvío Huancané	50	Asfaltada	00h 40min.	Buena
Desvío Huancané - Putina	40	Asfaltada	00h 50min.	Buena
Putina - Ananea	60	Asfaltada- Afirmado	02h 00min.	Buena
Ananea - Proyecto Minero	09	Afirmada - Tratada	00h 15min.	Regular
Total:	204		04h 55min.	

3.2. Población

La población del presente estudio de investigación está representada por el circuito de pozas de tratamiento de agua residual estas constan de 4 pozas de sedimentación para el tratamiento de aguas residuales los cuales suman un volumen aproximado de 23000.00 m³, y una poza de arenado, correspondientes a la Unidad Minera de Mosoqminas ubicado en el departamento de Puno, provincia de San Antonio de Putina, distrito de Ananea.

3.3. Muestra

Las muestras de agua residual fueron tomadas al ingreso del circuito de pozas de tratamiento de agua de la unidad minera. Estas muestras tuvieron un intervalo de 02 días,

recogiéndose 02 muestras en total, cada toma se hizo en baldes de 18 litros, lo cual, teniendo en cuenta las tres muestras tomadas, estas suman un total de 0,16 m³ que representa un 0,0009% de la población.

3.4. Método de investigación

3.4.1. Diseño experimental

El diseño experimental consistente en la verificación de manera cuantitativa el efecto de una variable sobre otra para lo cual se varía las variables independientes de una forma planificada y controlada de acuerdo con rangos y parámetros, este tipo de diseño experimental la variable independiente representa el tratamiento, factores, condiciones o intervención que el investigador manipula y/o controla para probar efectos sobre la variable dependiente (Arias y Gallardo, 2021)

El estudio de investigación es del tipo aplicativo, es decir busca convertir los conocimientos teóricos previos en un entendimiento práctico y útil, determinando el efecto del pH en los procesos de reducción de la turbiedad en aguas residuales producto del lavado de mineral.

El nivel de estudio es descriptivo, ya que a través de una representación metodológica se procura utilizar guías para definir las características más esenciales.

3.5. Descripción detallada de métodos por objetivos específicos

3.5.1. Determinar el efecto del pH 5, 7 y 9 en la reducción de la turbidez de las aguas residuales del lavado de mineral aurífero.

a) Descripción de variables analizadas en los objetivos específicos

Para el análisis de la reducción de la turbidez en pH 5, 7 y 9 en las aguas residuales del lavado de mineral de la Unidad Minera Mosoqminas en Ananea se tomó muestra de agua en las actividades mineras de la Unidad Minera, en el circuito de pozas de sedimentación.

• Variable independiente

Variación del potencial hidrogeno (pH) en el agua residual de pH: 5, pH: 7 y pH: 9.

Para la variación del nivel de pH se adicionó ácido sulfúrico (H_2SO_4) 0.2 ml/L para un pH de 5, para el caso del pH 7 no fue necesario adicionar ningún insumo químico ya que el pH a condiciones normales se encontraba cercano a 7, sin embargo, para el llegar a pH 9 fue necesario agregar cal apagado 0.5 g/L.

- **Variable dependiente**

Reducción de la turbidez (NTU)

Luego de realizado las pruebas de jarras y dado un tiempo de sedimentación en los vasos de precipitados se muestreó el agua superficial para analizar la turbiedad con el instrumento HACH 2100AN TURBIDIMETER, resultados dados en Unidades Nefelométricas de Turbidez.

- b) **Descripción detallada del uso de materiales, equipos, instrumentos, insumos entre otros**

Para el desarrollo de este objetivo se dividió en las siguientes etapas.

- Se tomó muestras de agua residual en las operaciones mineras de la unidad minera Mosoqminas, específicamente en el ingreso del circuito de pozas de sedimentación con coordenadas UTM WGS 84 N: 8377592; E: 444135 a 4710 msnm, tomadas con GPS map 62S, el cual cuenta con antena Quadrifilar Helix y receptor GPS con WAAS de alta sensibilidad y predicción por satélite HotFix.

- **Caracterización del agua residual sin tratar**

Las muestras de agua se tomaron considerando el tercer trimestre del año, uno de los periodos más secos del año, específicamente en el mes de setiembre, en este periodo en la zona de operaciones mineras el agua escasea por lo que en las operaciones mineras el agua es máspreciado por lo que es recirculado en su totalidad, por lo que la turbiedad del agua es más alta, para la caracterización del agua residual sin tratar en campo se muestreó 1L de agua residual en un frasco previamente enjuagado con agua destilada, el cual fue analizado respecto al nivel de potencial hidrogeno (pH) con un Medidor Multiparámetro (PH, TDS, EC, Salinidad, ORP, Densidad, TEMP) además se tomó la temperatura del agua residual en campo con equipo de marca EZ-9901, la temperatura promedio fue de 10.9 °C.

Tabla 3.

Datos de muestreo de agua residual en campo

Fecha de Muestreo	Hora	Agua Residual (L)	Turbidez (NTU)	Acides (pH)	Temperatura (°C)	Salinidad (ppt)
10/09/2022	9:11 a. m.	80	9890	6.96	11.4	920
11/09/2022	9:32 a. m.	80		6.95	11.2	915

- **Muestreo de agua en laboratorio**

Las muestras de agua residual fueron al laboratorio de Calidad Ambiental, donde inicialmente las muestras fueron homogenizadas en un contenedor mayor de 90 L, en este contenedor las aguas fueron agitadas para la toma de muestras de agua con ayuda de probetas graduadas de 1000 ml de vidrio Borosilicato de pie hexagonal de pico y forma alta ISO 4788, con precisión +/-10 ml, con graduación marrón 10 mm y diámetro de 67mm con altura de 465 mm, estas muestra de agua fueron puestas en 3 vasos de precipitado graduados de 2000 ml de vidrio Borosilicato 3.3 de graduación 400 ml a 2000 ml, con diámetro de 13.3 cm, con una altura de 20 cm de marca USALAB.

- **Modificación del pH en muestras de agua**

Las muestras de agua residual tomadas de 1000 ml cada una fueron puestas en 3 vasos de precipitado para luego modificar su pH en pH: 5, pH: 7 y pH: 9. El pH: 5 se obtuvo agregando ácido sulfúrico (H_2SO_4) diluido al 50% (V/V50%) se agregó 0.2 ml y la medición del pH se realizó con el medidor Multiparámetro (PH, TDS, EC, Salinidad, ORP, Densidad, Temperatura), para el caso del pH: 7, no se hizo ninguna modificación ya que el pH del agua residual en estado natural se encuentra como neutro, para el caso del pH: 9 se agregó cal (CaO) en una porción de 0.5 gr.

- **Prueba de jarras**

Los 3 vasos de precipitado fueron agitados en el equipo de prueba de jarras de la serie Phipps & Bird PB-900, cuenta con 6 agitadores de acero regulable en profundidad y altura, con velocidad programable, con base iluminado, de 42" de largo x 12" de ancho x 16" de alto, todas las pruebas se realizaron con dos formas de agitación una rápida de 200 RPM por 2 minutos y una agitación lenta a 80 RPM por 5 minutos y 10 minutos de tiempo de sedimentación.

- **Medición de turbiedad**

Luego de culminado la prueba de jarras tanto en la prueba inicial y las repeticiones y después del periodo de 10 minutos de sedimentación se procede a muestrear el agua superficial de los vasos de precipitado esto utilizando pipetas graduadas de 10 ml de la marca Pyrex conjuntamente con una pera de goma, estas muestras de agua son puestas en los frascos de vidrio para luego ser analizados por turbiedad con el instrumento Hach 2100AN Turbidimeter, que mide la turbiedad en Unidades Nefelométricas de Turbidez (NTU).

- **Determinación de los sólidos sedimentales**

Para la determinación de los sólidos sedimentales, SD, retiró los sólidos totales en suspensión SST juntamente con los sólidos disueltos totales SDT, el análisis se realizó mediante el método de calentamiento de las muestras a 105 °C con el objetivo de dejar los sólidos completamente deshidratados. Para obtener las muestras de los sólidos totales en suspensión la muestra fue pasada por un filtro de fibra de vidrio de porosidad de 2.7 μ m, el sólido retenido en el filtro es el total de sólidos suspendidos presentes en la muestra de agua residual, y la solución que pasa nuevamente es calentado a 105°C por una hora y luego enfriado en el desecador para deshidratarlo, el sólido obtenido son los sólidos disueltos, por lo tanto el sólidos restante de la muestra son los sólidos sedimentables SD.

a) Aplicación de prueba estadística inferencial

En el procesamiento de datos obtenidos en el desarrollo de la investigación respecto a la determinación de la influencia del pH en la reducción de turbiedad en aguas residuales de la unidad minera Mosoqminas, la estadística del presente estudio

de investigación tiene un carácter experimental comparativo, por lo que se aplicó un análisis descriptivo determinando la diferencia de reducción de turbiedad entre las variaciones de pH:5, pH 7 y pH: 9 utilizándose el Software R y RStudio programa utilizado para del análisis estadístico y graficas.

Prueba de normalidad de los datos de cada nivel de pH, aplicándose la prueba de Shapiro-Wilk

Número de tratamientos o combinaciones

$2 \times 3 = 6$ combinaciones o tratamientos

Número de Unidades Experimentales

N° repeticiones \times N° de tratamientos = N° de unidades experimentales

$10 \times 6 = 60$ Unidades Experimentales

Tabla 4.

Unidades experimentales para el factor pH

	pH: 5	pH: 7	pH: 9
Ensayo	NTU	NTU	NTU
Repetición 1	NTU	NTU	NTU
Repetición 2	NTU	NTU	NTU
Repetición 3	NTU	NTU	NTU
Repetición 4	NTU	NTU	NTU
Repetición 5	NTU	NTU	NTU
Repetición 6	NTU	NTU	NTU
Repetición 7	NTU	NTU	NTU
Repetición 8	NTU	NTU	NTU
Repetición 9	NTU	NTU	NTU

Prueba de homogeneidad

Tabla 5.

Significancia de valor-p para el factor pH

F. de V.	G.L.	S.C.	C.M.	Fc	Valor-p
Tratamientos	t-1	SC(trat.)	CM(trat.)	F(trat.)	p _{Trat}
Efecto del factor (A)	a-1	SC(A)	CM(A)=SC(A)/gl(A)	F(A)	p _A
Efecto del factor (B)	b-1	SC(B)	CM(B)=SC(B)/gl(B)	F(B)	p _B
AxB	(a-1)(b-1)	SC(AB)	CM(AB)=SC(AB)/gl(AB)	F(AB)	p _{AB}
Error Exptal	ab(r-1)	SCE	CME=SCE/gl(error)		
Total	abr-1	SCT	CMT=SCT/gl(total)		

Nivel de significación

Factor pH

Ho: No existe diferencia entre los niveles de pH 5, 7 y 9, respecto a la reducción de la turbiedad

Ha: Existe diferencia entre los niveles de pH 5, 7 y 9, respecto a la reducción de la turbiedad

Ho: Se rechaza, si $F_c > \text{valor-p}$; sin embargo, si,

Ha: Se acepta, si $F_c < \text{valor-p}$; Tiene una distribución homogénea y se acepta H1; existe diferencia entre los niveles de pH 5, 7 y 9 respecto a la reducción de la turbiedad, se acepta la Ha, por lo tanto, se concluye que se tiene una confianza del 95% y se distribuyen homogéneamente.

3.5.2. Determinar el efecto del floculante Superfloc A-110 110 a una dosificación de 30mg/L en pH 5, 7 y 9 en la reducción de la turbidez en las aguas residuales.

a) Descripción de variables analizadas en los objetivos específicos

Determinar el efecto del floculante Superfloc A-110 para distintos niveles de pH en la reducción de la turbidez en las aguas residuales producto del lavado de mineral de la Unidad Minera Mosoqminas en Ananea.

Variable independiente

Dosificación de floculante Superfloc A-110 30 mg/L

Variable dependiente

Reducción de la turbidez (NTU)

b) Descripción detallada del uso de materiales, equipos, instrumentos, insumos entre otros

Para el desarrollo de este objetivo se dividió en las siguientes etapas.

- **Muestreo de agua en laboratorio**

Las muestras de agua residual fueron agitadas permanentemente en el contenedor para tomar muestras de agua con ayuda de probetas graduadas de 1000 ml de vidrio Borosilicato de pie hexagonal de pico y forma alta ISO 4788, con precisión +/-10 ml, con graduación marrón 10 mm y diámetro de 67mm con altura de 465 mm, estas muestra de agua fueron puestas en 3 vasos de precipitado graduados de 2000 ml de vidrio Borosilicato 3.3 de graduación 400 ml a 2000 ml, con diámetro de 13.3 cm, con una altura de 20 cm de marca Usalab.

- **Modificación del pH en muestras de agua**

Las muestras de agua residual tomadas de 1000 ml cada una fueron puestas en 3 vasos de precipitado para luego modificar su pH en pH: 5, pH: 7 y pH: 9. El pH: 5 se obtuvo agregando ácido sulfúrico (H_2SO_4) diluido al 50% (V/V50%) se agregó 0.2 ml y la medición del pH se realizó con el medidor multiparámetro (PH, TDS, EC, Salinidad, ORP, Densidad, Temperatura), para el caso del pH: 7, no se

hizo ninguna modificación ya que el pH del agua residual en estado natural se encuentra como neutro, para el caso del pH: 9 se agregó cal (CaO) en una porción de 0.5 gr.

- **Dosificación de floculante Superfloc A-110**

Este es un floculante del tipo aniónico es altamente efectivo, económico y de fácil acceso en el mercado local, por lo que su uso es masificado en la zona minera de Ananea, para desarrollo del objetivo se dosificó 30 mg/L de floculante, el pesaje se realizó con ayuda de una balanza analítica de la serie 250/0.0001 G PW254. Adam, la dosificación de floculante se hizo en cada vaso de precipitado.

- **Prueba de jarras**

Los 3 vasos de precipitado fueron agitados en el equipo de prueba de jarras de la serie Phipps & Bird PB-900, previa dosificación del floculante Superfloc A-110, de 30 mg/L en casa vaso, todas las pruebas se realizaron con dos formas de agitación una rápida de 200 RPM por 2 minutos y una agitación lenta a 80 RPM por 5 minutos y 10 minutos de tiempo de sedimentación.

- **Medición de turbiedad**

Luego de culminado la prueba de jarras tanto en la prueba inicial y las repeticiones y después del periodo de 10 minutos de sedimentación se procede a muestrear el agua superficial de los vasos de precipitado esto utilizando pipetas graduadas de 10 ml de la marca Pyrex conjuntamente con una pera de goma, estas muestras de agua son puestas en los frascos de vidrio para luego ser analizados por turbiedad con el instrumento Hach 2100AN Turbidimeter, que mide la turbiedad en Unidades Nefelométricas de Turbidez (NTU).

c) **Aplicación de prueba estadística inferencial**

Nuevamente se utilizó el Software RStudio con factores que fueron dosificación de floculante y niveles de pH 5, 7 y 9 se utilizó un diseño experimental factorial de 2x3, diseño completamente al azar DCA ajustado al siguiente modelo lineal aditivo estadístico.

$$Y_{ijk} = u + \alpha_i + \beta_j + (\alpha\beta)_{ij} + \epsilon_{ijk}$$

Donde:

i = Niveles del factor Floculante (con floculante y sin floculante)

j = Niveles del factor B (Dosificación de floculantes)

k = Numero de repeticiones

Y_{ijk} = Variable de respuesta de la k -ésima observación Turbiedad (NTU)

u = Media de la población a la cual pertenecen las observaciones

α_i = Efecto del i -ésimo nivel del factor Floculante (con floculante y sin floculante)

β_j = Efecto del j -ésimo niveles del factor pH (5, 7 y 9)

$(\alpha\beta)_{ij}$ = Efecto de la interacción de i -ésimo nivel del factor floculante con el j -ésimo niveles del pH (5, 7 y 9)

ϵ_{ijk} = Efecto del error experimental

$$\epsilon_{ijk} \sim \text{DNI}(0, \sigma_c^2)$$

De acuerdo con la tabla siguiente donde se registraron los datos experimentales para cada variable respuesta.

Prueba de normalidad de los datos de cada nivel de pH, aplicándose la prueba de Shapiro-Wilk

Número de tratamientos o combinaciones

$2 \times 3 = 6$ combinaciones o tratamientos

Número de Unidades Experimentales

N° repeticiones \times N° de tratamientos = N° de unidades experimentales

$10 \times 6 = 60$ Unidades Experimentales

Tabla 6.

Unidades experimentales para el factor floculante

	CON FLOCULANTE		
	pH: 5	pH: 7	pH: 9
Ensayo	NTU	NTU	NTU
Repetición 1	NTU	NTU	NTU
Repetición 2	NTU	NTU	NTU
Repetición 3	NTU	NTU	NTU
Repetición 4	NTU	NTU	NTU
Repetición 5	NTU	NTU	NTU
Repetición 6	NTU	NTU	NTU
Repetición 7	NTU	NTU	NTU
Repetición 8	NTU	NTU	NTU
Repetición 9	NTU	NTU	NTU

Prueba de homogeneidad

Tabla 7.

Nivel de significancia para el factor floculante

F. de V.	G.L.	S.C.	C.M.	Fc	Valor-p
Tratamientos	t-1	SC(trat.)	CM(trat.)	F(trat.)	pTrat
Efecto del factor (A)	a-1	SC(A)	CM(A)=SC(A)/gl(A)	F(A)	pA
Efecto del factor (B)	b-1	SC(B)	CM(B)=SC(B)/gl(B)	F(B)	pB
AxB	(a-1)(b-1)	SC(AB)	CM(AB)=SC(AB)/gl(AB)	F(AB)	pAB
Error Exptal	ab(r-1)	SCE	CME=SCE/gl(error)		
Total	Abr-1	SCT	CMT=SCT/gl(total)		

Nivel de significación

Factor Floculante

Ho: No existe diferencia en el efecto del Floculante en pH 5, 7 y 9, respecto a la reducción de la turbiedad

Ha: Existe diferencia en el efecto del Floculante entre los niveles de pH 5, 7 y 9, respecto a la reducción de la turbiedad

Ho: Se rechaza, si $F_c > \text{valor-p}$; sin embargo, si,

Ha: Se acepta, si $F_c < \text{valor-p}$; Tiene una distribución homogénea.

y se acepta H2; en el efecto del Floculante entre los niveles de pH 5, 7 y 9 respecto a la reducción de la turbiedad, se acepta la Ha, por lo tanto, se concluye que se tiene una confianza del 95% y se distribuyen homogéneamente.

Se verificó la normalidad de los datos de cada nivel de pH y dosificación de floculante, aplicándose la prueba de Shapiro-Wilk.

Interacción de factor pH y factor floculante

Nivel de significación

Factor Floculante

Ho: No existe diferencia entre la interacción del efecto del Floculante y pH a 5, 7 y 9, respecto a la reducción de la turbiedad

Ha: Existe diferencia entre la interacción del efecto del Floculante y pH a 5, 7 y 9, respecto a la reducción de la turbiedad

Ho: Se rechaza, si $F_c > \text{valor-p}$; sin embargo, si,

Ha: Se acepta, si $F_c < \text{valor-p}$;

Modelo matemático de segundo grado para determinar superficie de respuesta respecto a los factores de dosificación de floculante, tiempo de sedimentación y nivel de pH

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \beta_3 X_3 + \beta_1 X_1^2 + \beta_2 X_2^2 + \beta_3 X_3^2 + \beta_{12} X_1 X_2 + \beta_{23} X_2 X_3 + \beta_{13} X_1 X_3$$

Esquema de diseño

$$N = 2k(k - 1) + C_5$$

N = Número de unidades experimentales

k = Número de factores 3

1. Dosificación de floculante (mg/L)
2. Tiempo de sedimentación (min)
3. Nivel de acides (pH:5; pH:7 y pH:9)

C_5 = Numero de centrales del diseño

Y = Variable respuesta porcentaje de emilnacion de turbidez

$$N = 2*3(3-1)+5$$

$$N = 17 \text{ UE}$$

3.6. Materiales

- Matraz aforado de 100 ml
- Matraz Enlermeyer 1000 ml
- Vasos de presipitados 2000 ml
- Vaso de precipitados de 500 ml
- Pipetas volumétricas 10 ml
- Pera de goma
- Probeta 1000 ml
- Placa de petri
- Embudo de buchner
- Piseta
- Agitador de vidrio

- Cono Imhoff
- Bandejas metálicas
- Pastilla magnética
- Baldes de plástico de 20 L.
- Cronómetro
- Guantes tipo látex

Equipos

- Equipo de Prueba de Jarras de la serie Phipps & Bird PB-900
- Mufla Thermolyne 850 °C
- Bomba de vacío Gast de 11 Bar max
- Desecador al seco Ovens Medic 300 °C
- Agitador magnético Agimatic – ED
- Destilador H. W. Kessel S.A.
- Congeladora Indurama

Instrumentos

- Turbidímetro HACH 2100AN
- Balanza Analítica 250/0.0001 g PW254 ADAM
- Medidor de conductividad eléctrica, pH y temperatura

Insumos

- Superfloc A-110
- Cal
- Ácido sulfúrico V/V 50
- Agua destilada. es aquella sustancia cuya composición se basa en la unidad de moléculas de H₂O y ha sido purificada o limpiada mediante destilación
- Filtro de fibra de vidrio de poro 2.7 µm.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Determinar el efecto del pH 5, 7 y 9 en la reducción de la turbidez de las aguas residuales del lavado de mineral aurífero

4.1.1. Caracterización del agua residual

La muestra de agua residual tomado en campo fue transportado al laboratorio para realizar los respectivos análisis, con el objetivo de determinar las características iniciales que presenta el agua residual, los cuales se describen a continuación.

4.1.1.1. Parámetros físico-químicos del agua residual

Antes de realizar las pruebas de laboratorio las aguas residuales muestreados en campo se procedió a levantar información de datos iniciales.

Tabla 8.

Parámetros físico-químicos del agua residual

Parámetro	Unidad	Resultado
Turbiedad	NTU	9890
pH	Unidades	6.96
Temperatura	°C	10.9
Volumen	L	160

En la tabla anterior podemos visualizar los datos fisicoquímicos iniciales que presenta las aguas residuales muestreados en campo, donde el nivel de turbidez del agua muestreada sobre pasa los 9890 NTU, mientras que el potencial hidrogeno pH es de 6.96.

4.1.1.2. Sólidos sedimentables en el agua residual

De acuerdo con los análisis realizados, se observa que la cantidad de sólidos sedimentables totales es de 101350.00 mg/L, de acuerdo con la tabla siguiente.

Tabla 9.

Sólidos sedimentables en el agua residual

Descripción	(mg/L)
STT	117462.07
SST	101350.00
SDT	16112.07

- Sólidos totales STT
- Sólidos suspendido totales SST
- Sólidos disueltos totales SDT

4.1.1.3. Volumen de sólidos sedimentables

De acuerdo con los análisis realizados por el método de cono Imhoff, se observa que el volumen de sólidos sedimentables que se podría recuperar aprovechando el peso de las partículas, dado en (ml/L) en una hora es de 650 ml/L-h, de acuerdo con la tabla.

Tabla 10.

Análisis en el cono Imhoff

Descripción	Medida
Muestra	1 L
Tiempo	1 hora
Volumen de solidos sedimentado	650 ml
Resultado	650ml/L-h

4.1.1.4. Velocidad De sedimentación del agua residual

De acuerdo con las pruebas de velocidad de sedimentación aprovechando el peso de las partículas, en un plazo de 3 a 4 horas los sólidos en suspensión sedimentan desde donde se mantienen constante representando un 22% del total del volumen sedimentado.

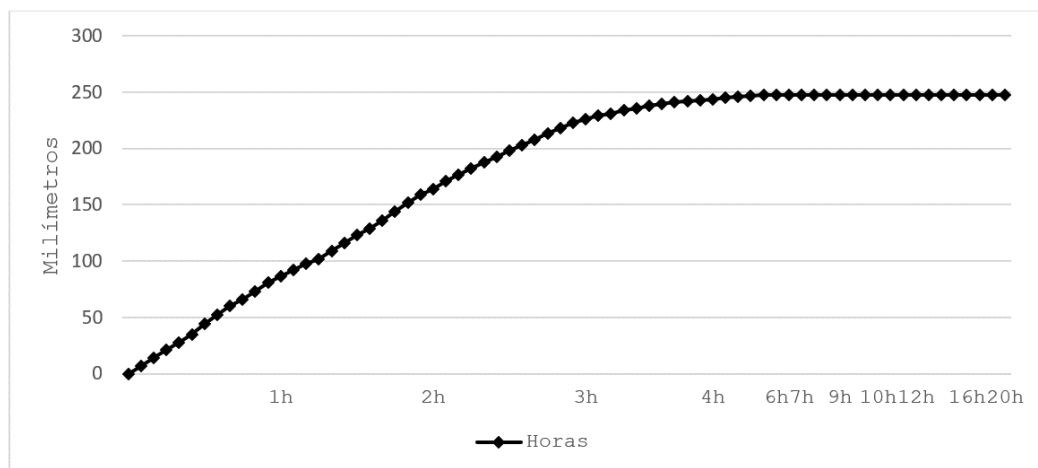


Figura 3. Velocidad de sedimentación del agua residual

4.1.2. Pruebas para determinar el efecto del pH 5, 7 y 9 en la reducción de la turbidez de las aguas residuales del lavado de mineral aurífero

El ensayo inicial respecto a la reducción de la turbidez variando el nivel de pH se realizó con una agitación rápida a 200 RPM, luego paso a una agitación lenta de 80 RPM finalmente se dio un tiempo de sedimentación de 10 minutos.

Tabla 11.

Reporte de unidades experimentales objetivo 1

Nº	Nivel de Acidez (pH)	Cal (g)	H ₂ SO ₄ V/V50% (ml)	NTU Final	Altura Sedimento (mm)	Agitación Rápida 200 RPM (min)	Agitación Lenta 80 RPM (min)	Tiempo Sedimentación (min)	Temperatura (°C)
ENSAYO INICIAL	5	0.00	0.20	1124.2	78	00:02:00	00:05:00	00:10:00	16.6
	7	0.00	0.00	985.6	75	00:02:00	00:05:00	00:10:00	16.5
	9	0.50	0.00	847.0	73	00:02:00	00:05:00	00:10:00	16.5
Repetición Nº 1	5	0.00	0.20	966.0	76	00:02:00	00:05:00	00:10:00	16.5
	7	0.00	0.00	811.4	74	00:02:00	00:05:00	00:10:00	16.6
	9	0.50	0.00	753.5	71	00:02:00	00:05:00	00:10:00	16.6
Repetición Nº 2	5	0.00	0.20	1173.5	78	00:02:00	00:05:00	00:10:00	16.5
	7	0.00	0.00	1039.4	75	00:02:00	00:05:00	00:10:00	16.6
	9	0.50	0.00	865.0	73	00:02:00	00:05:00	00:10:00	16.5
Repetición Nº 3	5	0.00	0.20	1049.9	78	00:02:00	00:05:00	00:10:00	16.5
	7	0.00	0.00	947.5	75	00:02:00	00:05:00	00:10:00	16.6
	9	0.50	0.00	832.3	72	00:02:00	00:05:00	00:10:00	16.6
Repetición Nº 4	5	0.00	0.20	1008.8	77	00:02:00	00:05:00	00:10:00	16.4
	7	0.00	0.00	880.0	74	00:02:00	00:05:00	00:10:00	16.6
	9	0.50	0.00	792.0	71	00:02:00	00:05:00	00:10:00	16.5
Repetición Nº 5	5	0.00	0.20	992.3	77	00:02:00	00:05:00	00:10:00	16.4
	7	0.00	0.00	868.2	74	00:02:00	00:05:00	00:10:00	16.6
	9	0.50	0.00	785.5	71	00:02:00	00:05:00	00:10:00	16.5

Repetición N° 6	5	0.00	0.20	1189.7	78	00:02:00	00:05:00	00:10:00	16.4
	7	0.00	0.00	1072.4	75	00:02:00	00:05:00	00:10:00	16.4
	9	0.50	0.00	904.8	73	00:02:00	00:05:00	00:10:00	16.6
Repetición N° 7	5	0.00	0.20	1111.8	78	00:02:00	00:05:00	00:10:00	16.6
	7	0.00	0.00	981.0	75	00:02:00	00:05:00	00:10:00	16.5
	9	0.50	0.00	837.1	72	00:02:00	00:05:00	00:10:00	16.4
Repetición N° 8	5	0.00	0.20	1142.6	77	00:02:00	00:05:00	00:10:00	16.5
	7	0.00	0.00	1019.0	74	00:02:00	00:05:00	00:10:00	16.4
	9	0.50	0.00	849.2	71	00:02:00	00:05:00	00:10:00	16.4
Repetición N° 9	5	0.00	0.20	1019.4	77	00:02:00	00:05:00	00:10:00	16.4
	7	0.00	0.00	892.0	74	00:02:00	00:05:00	00:10:00	16.4
	9	0.50	0.00	810.9	72	00:02:00	00:05:00	00:10:00	16.6

De acuerdo con los resultados del análisis de reducción de turbiedad, se observa que existe efecto del pH en la reducción de la turbidez, coincidentemente a los resultados de Watanabe *et al.*, (2021) donde determina que la influencia del pH de 3-5 logra una reducción de la turbidez en un 40%, sin embargo realizando pruebas a un pH de 4-6 logra una reducción de la turbiedad de hasta 90%.

o

	pH: 5	pH: 7	pH: 9
Ensayo inicial	6.00	10.00	12.00
Repetición 1	8.00	11.00	14.00
Repetición 2	6.00	10.00	12.00
Repetición 3	6.00	10.00	13.00
Repetición 4	7.00	11.00	14.00
Repetición 5	7.00	11.00	14.00

Repetición 6	6.00	10.00	12.00
Repetición 7	6.00	10.00	13.00
Repetición 8	7.00	11.00	14.00
Repetición 9	7.00	11.00	13.00
PROMEDIO	6.83%	10.24%	13.35%

En la tabla 12 podemos observar que únicamente variando el pH de 5 se logra recuperar agua para recircular del 7%, en el caso del pH 7 se logra contar con 10% de agua para recircular y finalmente para el caso del pH 9 un 13%.

4.1.3. Efecto del pH a diferentes tiempos de sedimentación

Se realizó pruebas de efectos de pH a diferente concentración, observándose que existe variación en la reducción de la turbiedad.

Tabla 12.

Efecto del pH a 10 minutos de sedimentación

Nivel de Acidez (pH)	CaO (g)	H ₂ SO ₄ V/V 50% (ml)	Agitación Rápida (RPM)	Agitación Rápida (min)	Agitación Lenta (RPM)	Agitación Lenta (min)	Tiempo Sedimentación (min)	NTU Final
1	0	0.4	200	00:02:00	80	00:05:00	00:10:00	1210
3	0	0.3	200	00:02:00	80	00:05:00	00:10:00	1100
5	0	0.2	200	00:02:00	80	00:05:00	00:10:00	1010
7	0	0	200	00:02:00	80	00:05:00	00:10:00	930.1
9	0.5	0	200	00:02:00	80	00:05:00	00:10:00	832.2
11	0.7	0	200	00:02:00	80	00:05:00	00:10:00	910.3
13	0.9	0	200	00:02:00	80	00:05:00	00:10:00	1080.7

Tabla 13.

Efecto del pH a 15 minutos de sedimentación

Nivel de Acidez (pH)	CaO (g)	H ₂ SO ₄ V/V 50% (ml)	Agitación Rápida (RPM)	Agitación Rápida (min)	Agitación Lenta (RPM)	Agitación Lenta (min)	Tiempo Sedimentación (min)	NTU Final
1	0.0	0.4	200	00:02:00	80	00:05:00	00:15:00	981.5
3	0.0	0.3	200	00:02:00	80	00:05:00	00:15:00	870.0
5	0.0	0.2	200	00:02:00	80	00:05:00	00:15:00	750.0
7	0.0	0.0	200	00:02:00	80	00:05:00	00:15:00	690.0
9	0.5	0.0	200	00:02:00	80	00:05:00	00:15:00	640.0
11	0.7	0.0	200	00:02:00	80	00:05:00	00:15:00	720.0
13	0.9	0.0	200	00:02:00	80	00:05:00	00:15:00	850.0

Tabla 14.

Efecto del pH a 20 minutos de sedimentación

Nivel de Acidez (pH)	CaO (g)	H ₂ SO ₄ V/V 50% (ml)	Agitación Rápida (RPM)	Agitación Rápida (min)	Agitación Lenta (RPM)	Agitación Lenta (min)	Tiempo Sedimentación (min)	NTU Final
1	0.0	0.4	200	00:02:00	80	00:05:00	00:20:00	890.3
3	0.0	0.3	200	00:02:00	80	00:05:00	00:20:00	780.3
5	0.0	0.2	200	00:02:00	80	00:05:00	00:20:00	700.8
7	0.0	0.0	200	00:02:00	80	00:05:00	00:20:00	620.6
9	0.5	0.0	200	00:02:00	80	00:05:00	00:20:00	580.7
11	0.7	0.0	200	00:02:00	80	00:05:00	00:20:00	660.5
13	0.9	0.0	200	00:02:00	80	00:05:00	00:20:00	799.9

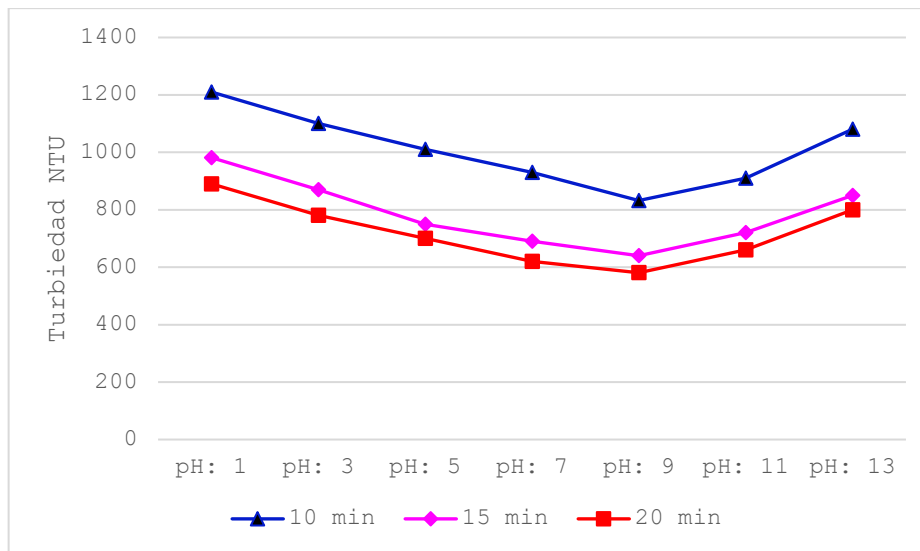


Figura 4. Efecto de la variación del pH en la reducción de la turbiedad

De acuerdo con la tabla 12, 13 y 14 se determina que el tiempo de sedimentación rápida de los sólidos suspendidos en el agua residual es de 10 minutos, retardándose a los 15 y 20 minutos.

4.1.4. Prueba estadística para el factor pH

4.1.4.1 Efecto del pH en la reducción de la turbiedad

Los resultados del análisis de turbiedad del ensayo y repeticiones se codifican para ser analizados por el Software grafico estadístico RStudio, el cual es mostrado en la tabla 16.

Tabla 15.

Análisis de turbiedad NTU del efecto del pH en el agua residual

	pH: 5	pH: 7	pH: 9
Ensayo	1124.2	985.6	847.0
Repetición 1	966.0	811.4	753.5
Repetición 2	1173.5	1039.4	865.0
Repetición 3	1049.9	947.5	832.3
Repetición 4	1008.8	880.0	792.0

Repetición 5	992.3	868.2	785.5
Repetición 6	1189.7	1072.4	904.8
Repetición 7	1111.8	981.0	837.1
Repetición 8	1142.6	1019.0	849.2
Repetición 9	1019.4	892.0	810.9

De acuerdo con el grafico de caja analizado por el Software RStudio

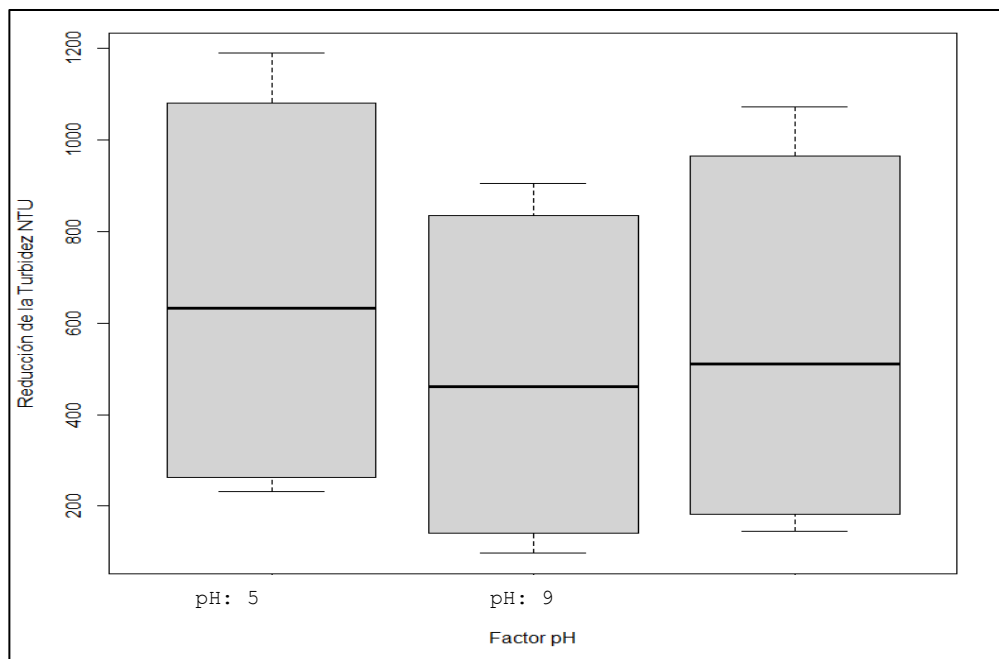


Figura 5. Efecto del factor pH 5, 7 y 9 en la reducción de la turbiedad

Como vemos en la figura 5, las cajas de cada factor de pH se traslapan, por lo que indicaría que no existiría diferencia entre cada factor de pH 5, 7 y 9

Estos factores se podrían considerar ligeramente estables ya que la línea central en los 3 casos se ubica en la parte céntrica respecto a la media.

Tabla 16.

ANOVA respecto al factor pH

F. de V.	G.L.	S.C.	C.M.	Fc	Signif.
Efecto del Floculante	1	8663125	8663125	3026.531	<2e-16
Efecto del pH	2	366711	183355	64.057	5.56E-15
(FLO x pH)	2	35397	17698	6.183	0.00382
Error	54	154569	2862		

De acuerdo con la tabla 16 datos obtenido operando el Software RStudio, se observa que el factor pH valor-p: $5.56E-15 < \alpha = 0.05$ por lo tanto se significativo

Por lo tanto, se acepta la hipótesis H_a : Existe diferencia entre los niveles de pH 5, 7 y 9, respecto a la reducción de la turbiedad.

Verificación de los supuestos de normalidad, de acuerdo con los datos obtenido operando el Software RStudio, Que los errores, se deben distribuir en forma e independiente con media cero y varianza constante, de acuerdo con la siguiente formula.

$$\epsilon_{ijk} \sim \text{DNI}(0, \sigma_c^2)$$

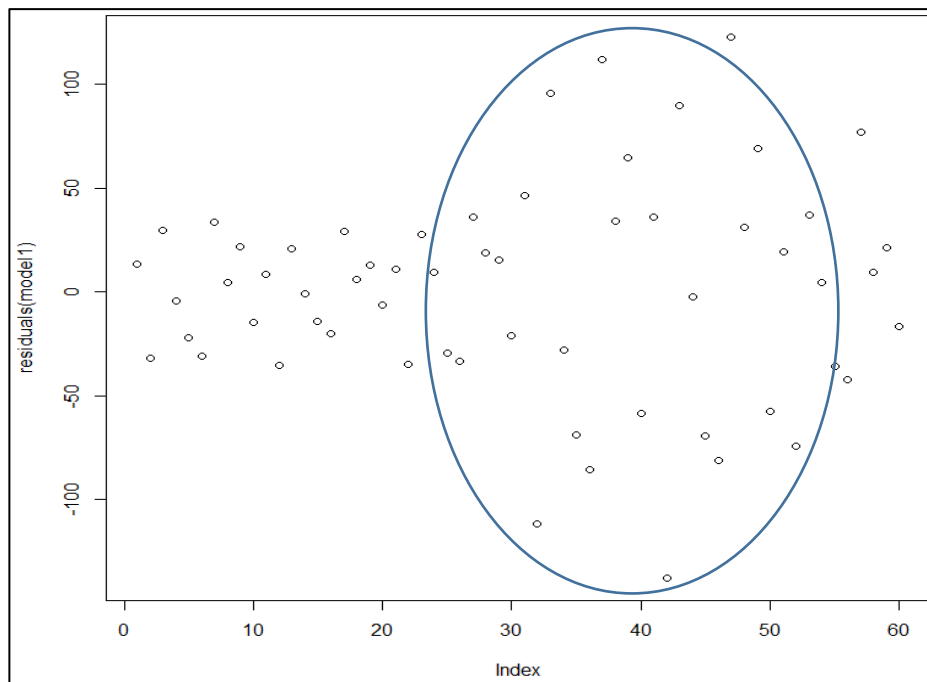


Figura 6. Comportamiento del error estadístico del factor pH

Los datos se comportan dentro del rango de -100 y +100 los datos no se comportan de manera normal, por otro lado, los datos se encuentran aleatoriamente, no guardando ningún patrón. Es decir, cumplen con los supuestos de normalidad.

4.2. Determinar el efecto del floculante Superfloc A-110 110 a una dosificación de 30mg/L en pH 5, 7 y 9 en la reducción de la turbidez en las aguas residuales.

4.2.1. Determinación de la dosis óptima de floculante

Para lo cual se utilizó las pruebas de jarra con el objetivo de determinar la dosificación óptima de floculante Superfloc A-110, realizando pruebas de floculación con una dosificación de floculante de 15.0 mg/L, 20.0 mg/L, 30 mg/L y finalmente 40 mg/L, cada una de estas dosificaciones de floculante fue sometida a una agitación rápida de 300 RPM y 200 RPM, con un tiempo de 1 minuto y 2 minutos respectivamente, luego a una agitación lenta de 100 RPM y 80 RPM con un tiempo de 5 minuto y 10 minutos respectivamente.

- En las pruebas con dosificación de floculante Superfloc A-110 de 15 mg/L no fue posible analizar la turbiedad porque no hubo efecto del floculante, tanto también en las variaciones de pH: 5, pH: 7 y pH: 9.

Tabla 17.

Optimización de dosificación de floculante 15mg/L

Dosis de Floculante	Nivel de Acidez	Cal	H ₂ SO ₄	Agitación Rápida	Tiempo	Agitación Lenta	Tiempo	Tiempo Sedimentación	NTU Final
A-110	(pH)	CaO	V/V 50%	(RPM)	Agitación Rápida	(RPM)	Agitación Lenta	(min)	
		(g)	(ml)		(min)		(min)		
ENSAYO									
15.00 mg/L	5	0	0.2	300	00:01:00	100	00:05:00	00:10:00	No presenta efecto
	7	0	0	300	00:01:00	100	00:05:00	00:10:00	No presenta efecto
	9	1	0	300	00:01:00	100	00:05:00	00:10:00	No presenta efecto
REPLICA									
15.00 mg/L	5	0	0.2	300	00:01:00	100	00:05:00	00:10:00	No presenta efecto
	7	0	0	300	00:01:00	100	00:05:00	00:10:00	No presenta efecto
	9	1	0	300	00:01:00	100	00:05:00	00:10:00	No presenta efecto
ENSAYO									
15.00 mg/L	5	0	0.2	200	00:02:00	80	00:10:00	00:05:00	No presenta efecto
	7	0	0	200	00:02:00	80	00:10:00	00:05:00	No presenta efecto
	9	1	0	200	00:02:00	80	00:10:00	00:05:00	No presenta efecto
REPLICA									
15.00 mg/L	5	0	0.2	200	00:02:00	80	00:10:00	00:05:00	No presenta efecto
	7	0	0	200	00:02:00	80	00:10:00	00:05:00	No presenta efecto
	9	1	0	200	00:02:00	80	00:10:00	00:05:00	No presenta efecto

- De la misma manera en las pruebas con dosificación de floculante Superfloc A-110 de 40 mg/L no fue posible analizar la turbiedad porque en todas las pruebas presentó formación de coágulos (grumos), tanto también en las variaciones de pH: 5, pH: 7 y pH: 9.

Tabla 18.

Optimización de dosificación de floculante 40 mg/L

Dosis de Floculante	Nivel de Acidez (pH)	CaO (g)	H2SO4 V/V 50% (ml)	Agitación Rápida (RPM)	Agitación Rápida (min)	Agitación Lenta (RPM)	Agitación Lenta (min)	Tiempo Sedimentación (min)	NTU Final
ENSAYO									
40.00 mg/L	5	0	0.2	300	00:01:00	100	00:10:00	00:05:00	Presenta formación de coágulos
	7	0	0	300	00:01:00	100	00:10:00	00:05:00	Presenta formación de coágulos
	9	0.5	0	300	00:01:00	100	00:10:00	00:05:00	Presenta formación de coágulos
REPLICA									
40.00 mg/L	5	0	0.2	200	00:02:00	80	00:05:00	00:10:00	Presenta formación de coágulos
	7	0	0	200	00:02:00	80	00:05:00	00:10:00	Presenta formación de coágulos
	9	0.5	0	200	00:02:00	80	00:05:00	00:10:00	Presenta formación de coágulos
ENSAYO									
40.00 mg/L	5	0	0.2	300	00:01:00	100	00:10:00	00:05:00	Presenta formación de coágulos

	7	0	0	300	00:01:00	100	00:10:00	00:05:00	Presenta formación de coágulos
	9	0.5	0	300	00:01:00	100	00:10:00	00:05:00	Presenta formación de coágulos
REPLICA									
	5	0	0.2	200	00:02:00	80	00:05:00	00:10:00	Presenta formación de coágulos
40.00 mg/L	7	0	0	200	00:02:00	80	00:05:00	00:10:00	Presenta formación de coágulos
	9	0.5	0	200	00:02:00	80	00:05:00	00:10:00	Presenta formación de coágulos

- Para las pruebas de dosificación de Superfloc A-110 de 20 mg/L, tanto también en las variaciones de pH: 5, pH: 7 y pH: 9 con agitación rápida de 300 RPM y agitación lenta de 100 RPM de 1 minuto y 5 minutos respectivamente.

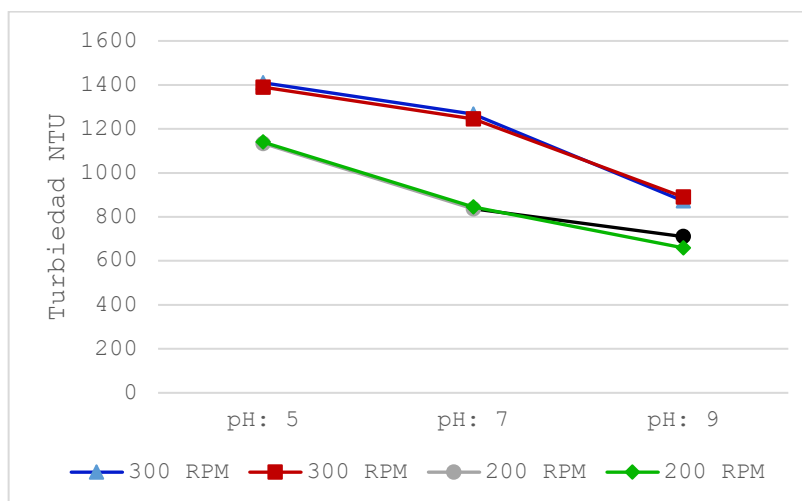


Figura 7. Reducción de la turbiedad con dosificación de 20 mg/L

y otro ensayo con una agitación rápida de 200 RPM y 80 RPM agitación lenta, con dos minutos, 5 minutos y tiempo de sedimentación de 10 minutos respectivamente.

Tabla 19.

Optimización de dosificación de floculante 20mg/L y 30 mg/L

Dosis de Floculante	Nivel de Acidez (pH)	CaO (g)	H2SO4 V/V 50% (ml)	Agitación Rápida (RPM)	Agitación Rápida (min)	Agitación Lenta (RPM)	Agitación Lenta (min)	Tiempo Sedimentación (min)	NTU Final
ENSAYO									
20.00 mg/L	5	0.0	0.2	300	00:01:00	100	00:10:00	00:05:00	1410
	7	0.0	0.0	300	00:01:00	100	00:10:00	00:05:00	1268
	9	0.5	0.0	300	00:01:00	100	00:10:00	00:05:00	872.3
REPLICA									
20.00 mg/L	5	0.0	0.2	300	00:01:00	100	00:10:00	00:05:00	1390
	7	0.0	0.0	300	00:01:00	100	00:10:00	00:05:00	1245
	9	0.5	0.0	300	00:01:00	100	00:10:00	00:05:00	890.3
ENSAYO									
30.00 mg/L	5	0.0	0.2	300	00:01:00	100	00:10:00	00:05:00	356.9
	7	0.0	0.0	300	00:01:00	100	00:10:00	00:05:00	274.6
	9	0.5	0.0	300	00:01:00	100	00:10:00	00:05:00	180.9
REPLICA									
30.00 mg/L	5	0.0	0.2	300	00:01:00	100	00:10:00	00:05:00	361.0
	7	0.0	0.0	300	00:01:00	100	00:10:00	00:05:00	298.3
	9	0.5	0.0	300	00:01:00	100	00:10:00	00:05:00	269.3

- De acuerdo con la tabla se puede observar que la dosificación óptima de floculante es de 30 mg/L y la aviación rápida es de 200 RPM por 2 minutos y agitación lenta por 5 minutos, con un tiempo de sedimentación de 10 minutos, por tanto, para Analizar el efecto del floculante Superfloc A-110 para distintos niveles de pH en la reducción de la turbidez en las aguas residuales se realizaron con estos parámetros.

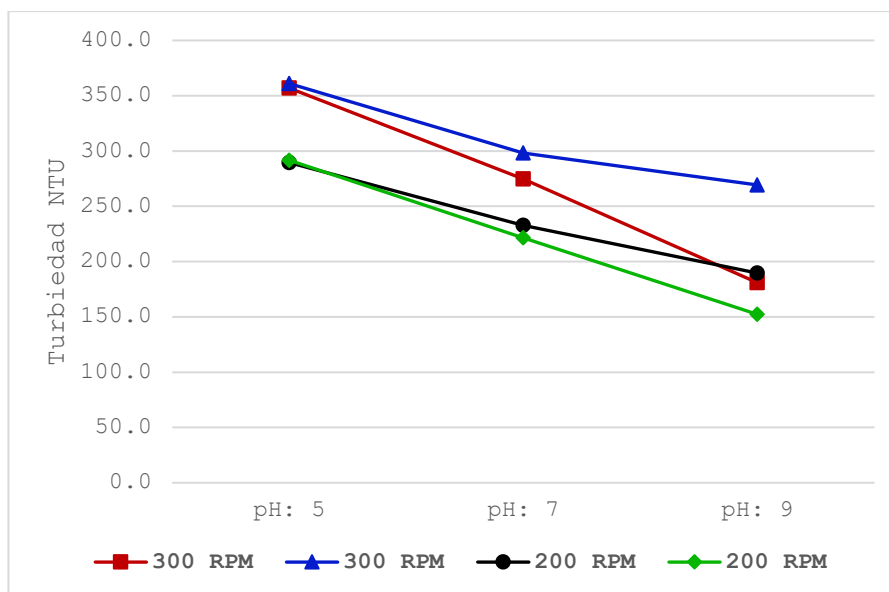


Figura 8. Reducción de la turbiedad con dosificación de 30 mg/L

4.2.2. Determinar el efecto del floculante Superfloc A-110 110 a una dosificación de 30mg/L en pH 5, 7 y 9 en la reducción de la turbidez en las aguas residuales.

Tabla 20.

Análisis de efecto del pH y Floculante en la reducción de la turbiedad

N°	Dosificación	Nivel de Acidez (pH)	Floculante A-110 (mg)	Cal (g)	H ₂ SO ₄ V/V50% (ml)	NTU Final	Altura Sedimento (mm)	Agitación Rápida 200 RPM (min)	Agitación Lenta 80 RPM (min)	Tiempo Sedimentación (min)	Temperatura (°C)
ENSAYO INICIAL	Con Floculante	5	30.00	0.00	0.20	277.2	38	00:02:00	00:05:00	00:10:00	16.4
		7	30.00	0.00	0.00	188.7	28	00:02:00	00:05:00	00:10:00	16.4
		9	30.00	0.50	0.00	142.5	23	00:02:00	00:05:00	00:10:00	16.5
Repetición N° 1	Con Floculante	5	30.00	0.00	0.20	231.8	35	00:02:00	00:05:00	00:10:00	16.4
		7	30.00	0.00	0.00	144.9	27	00:02:00	00:05:00	00:10:00	16.5

		9	30.00	0.50	0.00	96.6	21	00:02:00	00:05:00	00:10:00	16.4
Repetición N° 2	Con Floculante	5	30.00	0.00	0.20	293.4	38	00:02:00	00:05:00	00:10:00	16.5
		7	30.00	0.00	0.00	201.2	29	00:02:00	00:05:00	00:10:00	16.4
		9	30.00	0.50	0.00	159.3	23	00:02:00	00:05:00	00:10:00	16.4
Repetición N° 3	Con Floculante	5	30.00	0.00	0.20	259.3	36	00:02:00	00:05:00	00:10:00	16.5
		7	30.00	0.00	0.00	179.3	28	00:02:00	00:05:00	00:10:00	16.4
		9	30.00	0.50	0.00	140.8	22	00:02:00	00:05:00	00:10:00	16.4
Repetición N° 4	Con Floculante	5	30.00	0.00	0.20	241.5	35	00:02:00	00:05:00	00:10:00	16.5
		7	30.00	0.00	0.00	166.3	27	00:02:00	00:05:00	00:10:00	16.5
		9	30.00	0.50	0.00	102.0	21	00:02:00	00:05:00	00:10:00	16.4
Repetición N° 5	Con Floculante	5	30.00	0.00	0.20	232.6	35	00:02:00	00:05:00	00:10:00	16.5
		7	30.00	0.00	0.00	160.2	27	00:02:00	00:05:00	00:10:00	16.5
		9	30.00	0.50	0.00	98.2	21	00:02:00	00:05:00	00:10:00	16.4
Repetición N° 6	Con Floculante	5	30.00	0.00	0.20	297.4	38	00:02:00	00:05:00	00:10:00	16.6
		7	30.00	0.00	0.00	209.5	29	00:02:00	00:05:00	00:10:00	16.5
		9	30.00	0.50	0.00	167.6	23	00:02:00	00:05:00	00:10:00	16.5
Repetición N° 7	Con Floculante	5	30.00	0.00	0.20	268.1	37	00:02:00	00:05:00	00:10:00	16.4
		7	30.00	0.00	0.00	186.4	28	00:02:00	00:05:00	00:10:00	16.6
		9	30.00	0.50	0.00	150.4	22	00:02:00	00:05:00	00:10:00	16.5
Repetición N° 8	Con Floculante	5	30.00	0.00	0.20	285.6	38	00:02:00	00:05:00	00:10:00	16.4
		7	30.00	0.00	0.00	193.0	29	00:02:00	00:05:00	00:10:00	16.4
		9	30.00	0.50	0.00	146.7	23	00:02:00	00:05:00	00:10:00	16.6
Repetición N° 9	Con Floculante	5	30.00	0.00	0.20	249.1	34	00:02:00	00:05:00	00:10:00	16.4
		7	30.00	0.00	0.00	173.8	27	00:02:00	00:05:00	00:10:00	16.5
		9	30.00	0.50	0.00	110.0	22	00:02:00	00:05:00	00:10:00	16.5

De acuerdo con el análisis de reducción de turbiedad se observa que si existe efecto del pH en la reducción de la turbiedad resultados que coinciden con los datos obtenidos por Chen et al., (2020) donde también estudio la influencia del pH en la eficiencia de floculación, donde los resultados óptimos de floculación se dieron en el rango de pH 5 a 9, observándose una reducción brusca entre los pH inferiores de 4 y más de 11. De la misma forma en el estudio de investigación llevado a cabo por (Ma et al., (2019) obtiene

efectos de pH óptimos entre 6 y 8 reduciendo la turbiedad en más de 90%, la efectividad se ve educido en pH menores a 5 y mayores de 9.

4.2.3. Efecto del pH a diferentes tiempos de sedimentación

Se realizó pruebas de efectos de pH a diferente concentración, observándose que existe variación en la reducción de la turbiedad.

Tabla 21.

Floculación a 10 minutos de sedimentación

Nivel de Acidez (pH)	Cal CaO (g)	H ₂ SO ₄ V/V 50% (ml)	Agitación Rápida (RPM)	Tiempo Agitación Rápida (min)	Agitación Lenta (RPM)	Tiempo Agitación Lenta (min)	Tiempo Sedimentación (min)	NTU Final
1	0.0	0.4	200	00:02:00	80	00:05:00	00:10:00	680.5
3	0.0	0.3	200	00:02:00	80	00:05:00	00:10:00	410.5
5	0.0	0.2	200	00:02:00	80	00:05:00	00:10:00	281.4
7	0.0	0.0	200	00:02:00	80	00:05:00	00:10:00	202.3
9	0.5	0.0	200	00:02:00	80	00:05:00	00:10:00	148.4
11	0.7	0.0	200	00:02:00	80	00:05:00	00:10:00	210.7
13	0.9	0.0	200	00:02:00	80	00:05:00	00:10:00	450.4

Tabla 22.

Floculación a 15 minutos de sedimentación

Nivel de Acidez (pH)	Cal CaO (g)	H ₂ SO ₄ V/V 50% (ml)	Agitación Rápida (RPM)	Tiempo Agitación Rápida (min)	Agitación Lenta (RPM)	Tiempo Agitación Lenta (min)	Tiempo Sedimentación (min)	NTU Final
1	0.0	0.4	200	00:02:00	80	00:05:00	00:15:00	450.5
3	0.0	0.3	200	00:02:00	80	00:05:00	00:15:00	250.3
5	0.0	0.2	200	00:02:00	80	00:05:00	00:15:00	190.4
7	0.0	0.0	200	00:02:00	80	00:05:00	00:15:00	120.4
9	0.5	0.0	200	00:02:00	80	00:05:00	00:15:00	80.40
11	0.7	0.0	200	00:02:00	80	00:05:00	00:15:00	180.4
13	0.9	0.0	200	00:02:00	80	00:05:00	00:15:00	360.3

Tabla 23.

Floculación a 20 minutos de sedimentación

Nivel de Acidez (pH)	Cal CaO (g)	H ₂ SO ₄ V/V 50% (ml)	Agitación Rápida (RPM)	Tiempo Agitación Rápida (min)	Agitación Lenta (RPM)	Tiempo Agitación Lenta (min)	Tiempo Sedimentación (min)	NTU Final
1	0.0	0.4	200	00:02:00	80	00:05:00	00:20:00	310.4
3	0.0	0.3	200	00:02:00	80	00:05:00	00:20:00	180.5
5	0.0	0.2	200	00:02:00	80	00:05:00	00:20:00	140.1
7	0.0	0.0	200	00:02:00	80	00:05:00	00:20:00	85.11
9	0.5	0.0	200	00:02:00	80	00:05:00	00:20:00	55.24
11	0.7	0.0	200	00:02:00	80	00:05:00	00:20:00	155.1
13	0.9	0.0	200	00:02:00	80	00:05:00	00:20:00	300.9

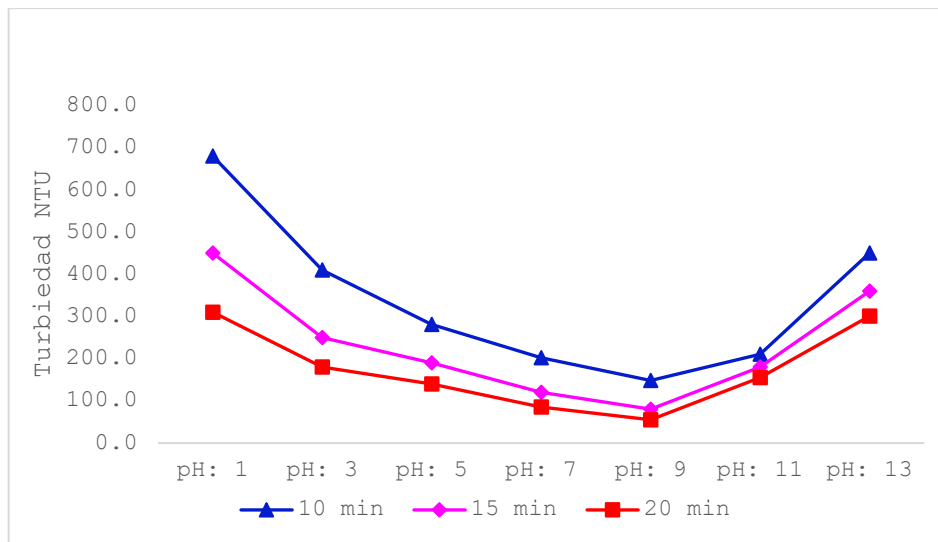


Figura 9. Reducción de la turbiedad a 10, 15 y 20 minutos

Tabla 24.

Porcentaje de recuperación de agua residual factor floculante

	CON FLOCULANTE		
	pH: 5	pH: 7	pH: 9
Ensayo inicial	54	66	72
Repetición 1	58	67	75
Repetición 2	54	65	72
Repetición 3	57	66	73
Repetición 4	58	67	75
Repetición 5	58	67	75
Repetición 6	54	65	72
Repetición 7	55	66	73
Repetición 8	59	67	73
Repetición 9	58	66	73
PROMEDIO	57%	67%	73%

En la tabla 24 podemos observar que al dosificar floculantes en 30 mg/L con una agitación de 200 RPM en agitación rápida por 2 minutos y una agitación lenta de 80 RPM por 5 minutos y 10 minutos de tiempo de sedimentación, en las pruebas de pH 5 se logra recuperar agua para recircular del 57%, en el caso del pH 7 se logra contar con 67% de agua para recircular y finalmente para el caso del pH 9 un 73%.

4.2.4. Pruebas estadísticas para el factor floculante

4.2.4.1. Efecto del floculante en la reducción de la turbiedad

Los resultados del análisis de turbiedad del ensayo y repeticiones se codifican para ser analizados por el Software grafico estadístico RStudio, el cual es mostrado en la tabla 24.

Tabla 25.

Análisis de turbiedad NTU del efecto del floculante en el agua residual

	CON FLOCULANTE		
	pH: 5	pH: 7	pH: 9
Ensayo	277.2	188.7	142.5
Repetición 1	231.8	144.9	96.6
Repetición 2	293.4	201.2	159.3
Repetición 3	259.3	179.3	140.8
Repetición 4	241.5	166.3	102.0
Repetición 5	232.6	160.2	98.2
Repetición 6	297.4	209.5	167.6
Repetición 7	268.1	186.4	150.4
Repetición 8	285.6	193.0	146.7
Repetición 9	249.1	173.8	110.0

De acuerdo con el grafico de caja analizado por el Software RStudio

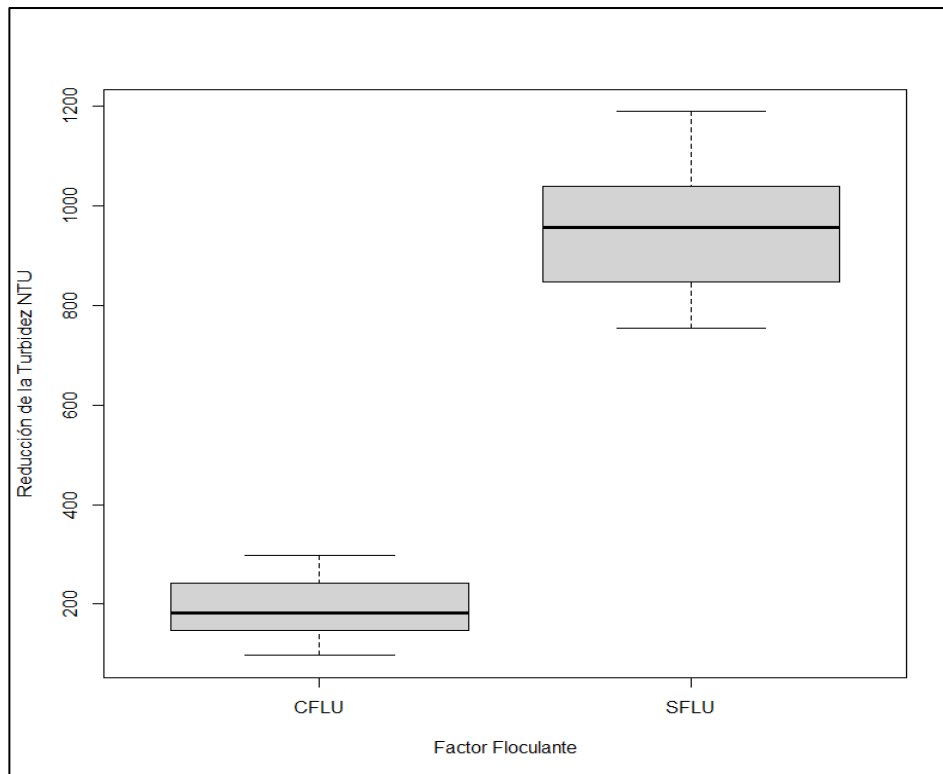


Figura 10. Efecto de la reducción de la turbiedad en NTU con floculante

Como vemos en la figura 10, las cajas de cada factor de floculante no se traslapan, por lo que indicaría que existe amplia margen de diferencia cada factor de tratamiento del agua con el uso de floculante y sin el uso de floculante.

Estos factores se podrían considerar ligeramente estables ya que la línea central en los 3 casos se ubica en la parte céntrica respecto a la media.

Tabla 26.

ANOVA respecto al factor floculante

F. de V.	G.L.	S.C.	C.M.	Fc	Signif.
Efecto del Floculante	1	8663125	8663125	3026.531	<2e-16
Efecto del pH	2	366711	183355	64.057	5.56E-15
(FLO x pH)	2	35397	17698	6.183	0.00382
Error	54	154569	2862		

De acuerdo con la tabla 25 datos obtenidos operando el Software RStudio, se observa que el factor floculante valor-p: $2e-16 < \alpha = 0.05$ por lo tanto se significativo

Por lo tanto, se acepta la hipótesis H_a : Existe diferencia entre los niveles de tratamiento del agua residual con uso de floculante y sin el uso de floculante.

Verificación de los supuestos de normalidad, de acuerdo con los datos obtenido operando el Software RStudio, Que los errores, se deben distribuir en forma e independiente con media cero y varianza constante, de acuerdo con la siguiente formula.

$$\epsilon_{ijk} \sim \text{DNI}(0, \sigma_c^2)$$

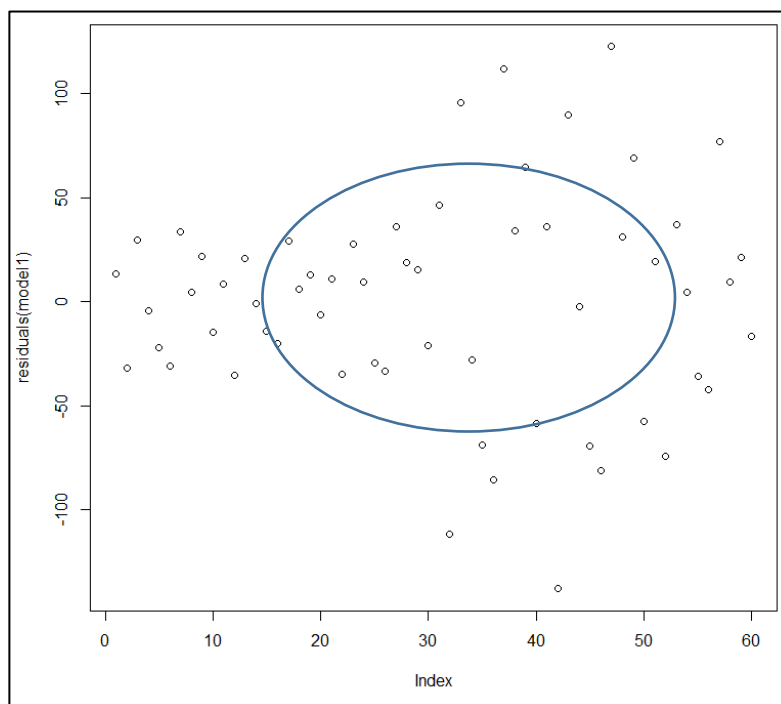


Figura 11. Comportamiento del error estadístico del factor floculante

Los datos se comportan dentro del rango de -50 y +50 los datos no se comportan de manera normal, por otro lado, los datos se encuentran aleatoriamente, no guardando ningún patrón. Es decir, cumplen con los supuestos de normalidad.

Prueba de normalidad de Shapiro-wilk

p-value=0.6283

Gráfico de Superficie de Respuesta

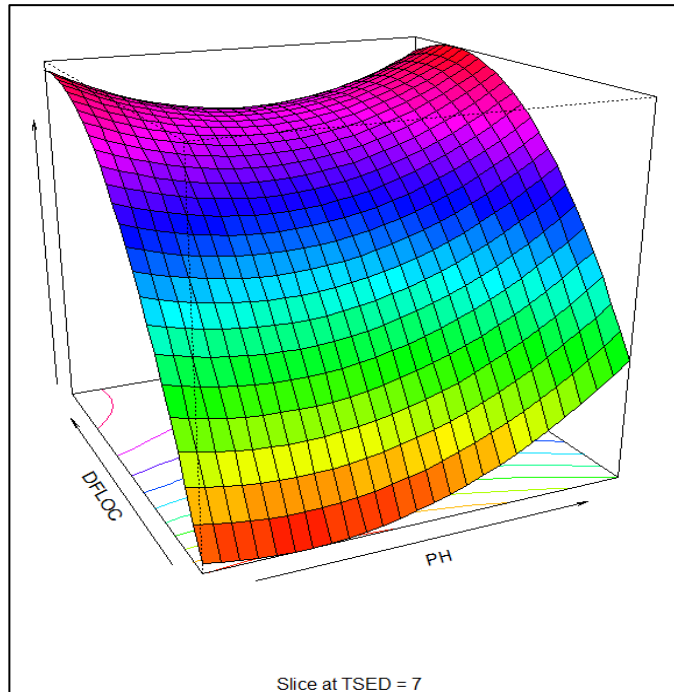


Figura 12. Gráfico de superficie de respuesta

Gráfico de contornos

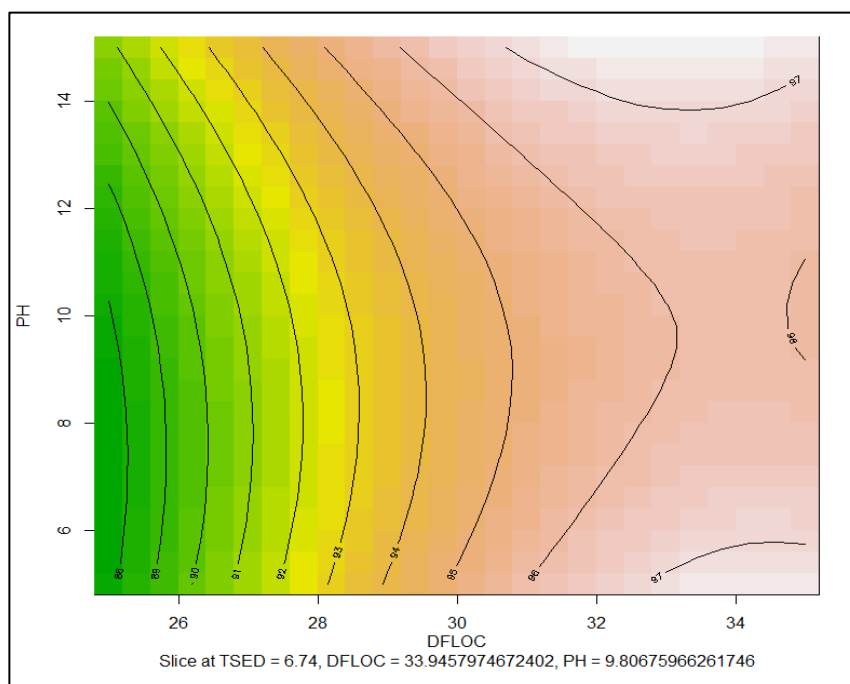


Figura 13. Gráfico de contornos de superficie de respuesta



De acuerdo 12 y 13, se puede interpretar que el modelo matemático predice que el óptimo de combinación de factores de Tiempo de sedimentación (TSED), dosificación de floculante Superfloc A-110 (DFLOC) y nivel de (PH) son los siguiente:

1. Tiempo de sedimentación (TSED): 6.74 minutos
2. Dosificación de floculante Superfloc A-110 (DFLOC): 33.95 mg/L
3. Nivel de pH (PH): 9.8

CONCLUSIONES

El agua residual de la unidad minera Mosoqminas en Ananea presenta las siguientes características física: 9890 NTU de turbiedad, con un pH de 9.96, una temperatura promedio de 10.9, contiene 650 ml/L-h de solidos sedimentables. El efecto del pH 5, 7 y 9 en el agua residual fue diferente para cada nivel de acidez, para el pH: 5 la turbiedad se redujo a 1077.8 NTU en promedio, para el pH:7 la turbiedad se redujo a 949.7 NTU y pH: 9 la turbiedad se redujo a 827.7 NTU.

El efecto del floculante Superfloc A-110, a niveles de pH 5, 7 y 9 en el agua residual, son marcadamente diferentes en cada nivel de acides para pH: 5 la turbidez se redujo a 263.6 NTU, para pH: 7 la turbiedad se redujo 180.3 NTU y para pH: 9 la turbiedad se redujo a 131.4 NTU en promedio. La influencia del pH tiene un efecto significativo en la reducción de turbidez con Superfloc A-110 en aguas residuales de mineral auríferos, en Minera Mosoqminas, Ananea – Región Puno, de acuerdo a la prueba estadística al que fue sometido los resultados, operando el Software RStudio, el factor floculante 30 mg/L y el factor pH 5, 7 y 9, son significativos en la reducción de la turbidez resultando en un p value = 0,000 y la prueba de hipótesis y prueba de normalidad de Shapiro-Wilk mayor al 0.05 y nivel de confianza del 95%.

RECOMENDACIONES

Considerando los resultados obtenidos además de considerar también la mejora en la disminución de la turbiedad de las aguas residuales producto del lavado de mineral en la unidad minera y en otras instalaciones mineras de la zona minera de Ananea para un mayor performance en el desarrollo del tratamiento y reúso del preciado recurso hídrico de la zona, es por lo que se realiza las siguientes recomendaciones para subsiguientes investigaciones.

- Es imprescindible realizar un estudio isovalórico del comportamiento de nivel de potencial de hidrógeno (pH) de los suelos y/o áreas, pozas de tratamiento de agua, pozas de captación de agua, de los diferentes cursos naturales de agua de la zona minera aluvial del distrito de Ananea.
- Se hace necesario realizar estudios de eliminación de turbiedad, precipitación de sólidos en suspensión y/o estudios de optimización con diferentes tipos de floculantes y reductores de alcalinidad del agua, considerando la diferencia de comportamiento del mineral de la zona ya que esta es muy cambiante por ser un yacimiento aluvial, también es importante considerar los precios del mercado y accesibilidad actual de estos insumos químicos.
- Promover la realización de estudios de optimización de dosificación de tipos de floculantes y modificadores de pH, para cada proyecto o unidad minera de la zona con el fin de mejorar el tratamiento y reutilización de aguas residuales, considerando que los yacimientos tienen comportamiento diferente respecto a la turbiedad del agua esto por afirmado por simple percepción visual en la zona de trabajo.
- Realizar pruebas de eliminación de turbiedad y remoción de sólidos en suspensión de las aguas residuales ejecutando nuevas alternativas tecnológicas a nivel de laboratorio, con el objetivo de eliminar el uso de insumos químicos.
- Desarrollar estudios de investigación que conlleve la solución de eliminación y/o determinación de para el uso secundario de los sólidos removidos por precipitación con floculantes (lomas).

BIBLIOGRAFÍA

- Aguilar, M. I., Sáez, J., Lloréns, M., Soler, A., & Ortuño, J. F. (2002). *Tratamiento físico-químico de aguas residuales (1a Edición ed.)*. Murcia: Universidad de Murcia, Servicios de Publicaciones, 2002.
- Alvarez Ancalla, N., & Ccahua Ocon, S. T. (2021). *Remoción de Turbidez usando biocoagulantes Echinopsis peruviana y Opuntia Tucuri, Santo Tomas. Tesis de Pregrado. Universidad San Ignacio de Loyola, Lima.*
<https://hdl.handle.net/20.500.14005/12267>
- Arias Gonzáles, J. L., & Covinos Gallardo, M. (2021). *Diseño y metodología de la investigación. Arequipa: Enfoques Consulting EIRL.*
- Chambi Hanco, Z. (2018). *Tratamiento de aguas residuales de lavanderías por el proceso de coagulación - floculación y adsorción. Tesis Pre Grado. Universidad Nacional del Altiplano, Puno.*
- Charapaqui Ancasi, J. (2019). *Dosificación de coagulantes y floculantes para la remoción de sedimentos del agua en el embalse Cuchoquesera Ayacucho. Tesis de Maestría. Universidad Nacional Agraria la Molina, Lima.*
- Chen, L., Sun, Y., Sun, W., Shah, K. J., Xu, Y., & Zheng, H. (2019). *Efficient cationic flocculant MHCS-g-P(AM-DAC) synthesized by UV-induced polymerization for algae removal. Separation and Purification Technology, 210, 10-19.*
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.seppur.2018.07.090>.
- Chen, N., Liu, W., Huang, J., & Qiu, X. (2020). *Preparation of octopus-like lignin-grafted cationic polyacrylamide flocculant and its application for water flocculation. International Journal of Biological Macromolecules, 146(0141-8130), 9 - 17.* <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2019.12.245>.
- Claros Castellares, J. H. (s.f.). *Efectos del Polihidroxiclорuro de Aluminio, velocidad de agitación y pH en la turbidez del agua del Río Shullcas - Huancayo, 2013. Tesis de Doctorado. Universidad Nacional del Centro del Perú, Huancayo.*
- De Echave, J. (2016). *La minería ilegal en Perú. Nueva Sociedad, 131 - 144.*

- Diaz Rodriguez, K. F. (2019). Evaluacion del tratamiento electroquímico y biológico de aguas residuales industriales provenientes de la actividad minera. Tesis de Pregrado. Universidad Católica de Santa María, Arequipa.*
- Dourojeanni, M., Barandiarán, A., & Dourojeanni, D. (2021). Explotación de recursos naturales e infraestructura ¿Qué está pasando? ¿Qué es lo que significa para el futuro? Lima: ProNaturaleza.*
- Enriquez Mamani, V. (2021). Riesgos ambientales establecidos por las empresas mineras de la región Puno. Tesis de Doctorado. Universidad Nacional del Altiplano, Puno.*
- Enríquez Mamani, V. (2021). Riesgos ambientales establecidos por las empresas mineras de la región Puno. Tesis Doctoral. Universidad Nacional del Altiplano, Puno.*
- Fetter, C. (2001). Applied Hydrogeology. Library of Congress Cataloging-in-Publication Data.*
- Huarca Apaza, W. J. (2022). Evaluación de reactivos de sedimentación para optimización de mineral aurífero de la Unidad Minera Cori Puno S.A.C. - Perú. Tesis de Pregrado. Universidad Nacional del Altiplano, Puno.*
- Inga Diaz, G. (2019). Disminución de coliformes totales y turbidez mediante coagulantes naturales (Opuntia ficus indica) del rio cunas, provincia de Chupaca. Tesis de Maestria. Univerdad Nacional del Centro del Perú, Huancayo.*
- Jofre Meléndez, R., Cervantes Perez, J., & Barradas, V. (2015). Calidad del agua de la niebla captada artificialmente en la microcuenca del rio Pixquiac, Veracruz, Mexico. ScienceDirect, 122 - 130.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.recqb.2015.09.004>.*
- Liu, H., Yang, X., Zhang, Y., Zhu, H., & Yao, J. (2014). Flocculation characteristics of polyacrylamide grafted cellulose from Phyllostachys heterocycla: An efficient and eco-friendly flocculant. Water Research, 59, 165-171.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.watres.2014.04.022>.*

- Lopez Rosello, G. A. (2017). *Recuperación de Manganeso presente en las aguas residuales proveniente de la Mina Geza Minerales Asis, por floculación y coagulación. Tesis de Pregrado. Universidad Nacional del Altiplano, Puno.*
- Ma, J., Wang, R., Wang, X., Zhang, H., Zhu, B., Lian, L., & Lou, D. (2019). *Drinking water treatment by stepwise flocculation using polysilicate aluminum magnesium and cationic polyacrylamide. Journal of Environmental Chemical Engineering(103049). <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jece.2019.103049>*
- Mamani Chipana, W. (2018). *Caracterización y tratamiento de efluentes de aguas ácidas en la Mina La Rinconada - Puno. Tesis de Pregrado. Universidad Nacional del Altiplano, Puno.*
- Maraschin, M., Hedlund Ferrari, K. F., & Carissimi, E. (2020). *Acidification and flocculation of sludge from a water treatment plant: New action mechanisms. Separation and Purification Technology. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.seppur.2020.117417>.*
- MINSA. (2011). *Reglamento de la calidad del agua para consumo humano D.S. N° 031-2010-SA. Lima: Dirección General de Salud Ambiental. http://www.digesa.minsa.gob.pe/publicaciones/descargas/reglamento_calidad_agua.pdf*
- Moscoso Cavallini, J., & Egocheaga Young, L. (2004). *Avances del inventario regional de la situación de las aguas residuales domésticas en America Latina. Lima: Centro Internacional de Investigaciones para el Desarrollo, Canada. <https://fdocuments.ec/document/avances-del-inventario-regional-de-la-situacion-de-las-aguas-y-uso-de-las-aguas.html?page=1>*
- Ojeda Báez, L. F. (2012). *Determinación de la eficiencia de las características coagulante sy floculantes del Tropaeolum Tuberosum, en el tratamiento del agua cruda de la planta de Puengasi de la EPMAAPS. Tesis Pregrado. Universidad Politécnica Salesiana Sede Quito, Quito. <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/3866>*
- OMS. (2017). *Riesgos para la salud relacionados con el trabajo y el medioambiente asociados a la extracción de oro artesanal o a pequeña escala. Ginebra: OMS.*

- Otiniano Aguilar, R. G. (2016). *Efecto del proceso de coagulación-floculación para la remoción de sólidos suspendidos del efluente del camal municipal de El Porvenir-Trujillo. Tesis Pregrado. Universidad Cesar Vallejo, Trujillo.*
- Pary Hilari, A., & Mamani Parisuaña, M. (2018). *Remoción de arsénico (As) en aguas naturales por procesos de oxidación, floculación, sedimentación y filtración. Tesis Pregrado. Universidad Nacional del Altiplano, Puno.*
- Pérez Farrás, L. E. (2005). *Cátedra de hidráulica aplicada a la ingeniería sanitaria. Buenos Aires: Universidad de Buenos Aires.*
- Pérez, J. M. (2010). *Estado del arte - coagulación. Colombia: Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente CEPIS.*
- Porto Huaquipaco, H. (2014). *Evaluación de la remoción de arsénico por electrocoagulación de aguas mineras. Tesis Pregrado. Universidad Nacional del Altiplano, Puno.*
- Quevedo Gonzales, H. N. (2016). *Efecto de la aplicación de nuevas tecnologías en el tratamiento de las aguas de bombeo, sobre la calidad de los efluentes de la Empresa Pesquera Pelayo S.A.C. Tesis de Maestría. Universidad Nacional de Trujillo, Trujillo.*
- Quispe Pérez, M. L., Piñas Rivera, L. C., Del Valle Gonzáles, J. R., & Aguirre Chávez, F. (2020). *Aplicaciones tecnológicas de tratamientos de aguas residuales. (V. G. Torres, Ed.) México: Nosótrica Ediciones.*
<https://biblio.flacsoandes.edu.ec/libros/digital/58476.pdf>
- Rodriguez Alvarez, M. S., Moraña, L. B., Salusso, M. M., & Seghezzo, L. (2017). *Caracterización espacial y estacional del agua de consumo proveniente de diversas fuentes en una localidad periurbana de Salta. Revista Argentina de Microbiología,, 49 Issue 4(0325-7541), 366 - 376.*
[https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.ram.2017.03.006.](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.ram.2017.03.006)
- Romero Rojas, J. A. (1999). *Potabilización del agua (3a Edición ed.). Mexico: Escuela Colombiana de Ingeniería Alfaomega.*

- Santa Cruz Alarcon, J. F. (2016). Influencia del pH en el eficiencia del proceso de coagulación floculación de agua potable para la ciudad de Moyobamba. Tesis de Pregrado. Universidad Nacional de San Martin, Moyobamba.*
<http://hdl.handle.net/11458/2391>
- SEDAPAL. (2000). Tratamiento de agua coagulación y floculación. Lima: Sedapal.*
- Tejada Mayta, R. (2017). Tratamiento y sedimentación de la turbidez con cal en las aguas residuales de los relaves mineros de la Unidad Operativa MInera Santiago - B. Tesis de Pregrado. Universidad Nacional del Altiplano, Puno.*
- Tenelanda Patiño, F. R., & Muyulema Pinguil, J. E. (2013). Optimización de la unidad de floculación y calidad microbilógica y físico-químico del agua del sistema de abastecimiento de la parroquia Sinincay. Tesis de Pregrado. Universidad de Cuenca, Cuenca - Ecuador.*
<http://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/4751>
- Uriarte Ortiz, A. S. (s.f.). Remoción del zinc del efluente de la mina Contonga mediante la coagulación y floculación. Tesis de Maestría. Universidad Ricardo Palma, Lims. <https://hdl.handle.net/20.500.14138/2514>*
- Wang, Z., Li, W., Zhang, K., Agrawal, Y. C., & Huang, H. (2020). Observations of the distribution and flocculation of suspended particulate matter in the North Yellow Sea cold water mass. *Continental Shelf Research*, 204(104187).
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.csr.2020.104187>.*
- Watanabe, M., Chaiyaso, T., Techapun, C., Shiono, T., & Hoshino, T. (2021). Effect of protease addition for reducing turbidity and flocculation of solid particles in drainage water derived from wheat-flour noodle boiling process and its electrostatic properties. *Water Resources and Industry*, 25(100150).
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.wri.2021.10015A0>.*
- Xia, W., Ma, J., Fu, X., Ding, L., Kong, Y., Zhang, H., & Fu, K. (2020). Magnetic flocculation of algae-laden raw water and removal of extracellular organic matter by using composite flocculant of Fe₃O₄/cationic polyacrylamide. *Journal of Cleaner Production*, 248(0959-6526).
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.119276>*



*Zahrim, A. Y., Nasimah, A., & Hilal, N. (2015). Coagulation/flocculation of lignin aqueous solution in single stage mixing tank system: Modeling and optimization by response surface methodology. Journal of Environmental Chemical Engineering, 3(2213-3437), 2145 - 2154.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jece.2015.07.023>.*

ANEXOS

Anexo 1. Informe de ensayo N° 057-2022



UNIVERSIDAD ANDINA NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA SANITARIA Y
AMBIENTAL
LABORATORIO DE CALIDAD AMBIENTAL



RESULTADOS DE ANALISIS EN CALIDAD DE AGUA

INFORME DE ENSAYO N° 057-2022

I. DATOS DEL SERVICIO

1.1. PROYECTO	INFLUENCIA DEL pH EN LA PRECIPITACIÓN DE LOS SÓLIDOS EN SUSPENSIÓN CON FLOCULANTE CON FLOCULANTE SUPERFLOAC A - 110 EN AGUAS RESIDUALES DE LAVADO DE MINERAL EN LA UNIDAD MINERA MOSOQ MINAS.
1.2. SOLICITANTE	Saul Lucio Llampi Pineda
1.3. PROCEDENCIA	Departamento Puno Provincia San Antonio de Putina Distrito Ananea

II. DATOS DE ENSAYO

2.1. Producto	Agua residual
2.2. Numero de muestras	1
2.3. Código de muestra	M - 1
2.4. Fecha y hora de muestreo	11/09/2022
2.5.	9:11 am
2.6. Periodo de ensayo	12/09/2022
2.7. Muestreado por	Saul Lucio Llampi Pineda
2.8. Ubicación/coordenadas	E: 380839 N: 8342065

III. RESULTADOS

N°	PÁRAMETRO	UNIDAD	M - 1
1	pH	-	6.95
2	Temperatura	°C	11.4
3	Turbidez	NTU	9890
4	Solidos suspendidos totales	mg/l	101350
5	Solidos sedimentables	ml/l	650

IV. METODO DE ENSAYO

Los parámetros fueron analizados de acuerdo a las recomendaciones de los Métodos normalizados para el Análisis de Aguas Potables y Residuales APHA, AWW.WEF.21th ed. 2005

V. OBSERVACIONES

UNIVERSIDAD ANDINA
NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ

Ing. Javier A. Polórguez Gandarillas
R. 126368
JEFE LABORATORIO CALIDAD AMBIENTAL - PUNO

26 de setiembre del 2022

Página 1 de 6

A

78



UNIVERSIDAD ANDINA NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA SANITARIA Y
AMBIENTAL
LABORATORIO DE CALIDAD AMBIENTAL



RESULTADOS DE ANALISIS EN CALIDAD DE AGUA

INFORME DE ENSAYO N° 058-2022

I. DATOS DEL SERVICIO

1.1. PROYECTO	INFLUENCIA DEL pH EN LA PRECIPITACIÓN DE LOS SÓLIDOS EN SUSPENSIÓN CON FLOCULANTE CON FLOCULANTE SUPERFLOAC A - 110 EN AGUAS RESIDUALES DE LAVADO DE MINERAL EN LA UNIDAD MINERA MOSOQ MINAS.
1.2. SOLICITANTE	Saul Lucio Llampi Pineda
1.3. PROCEDENCIA	Departamento Puno Provincia San Antonio de Putina Distrito Ananea

II. DATOS DE ENSAYO

2.1. Producto	Agua residual con tratamiento
2.2. Numero de muestras	72
2.3. Código de muestra	CF - SF
2.4. Periodo de ensayo	19 - 23/09/2022
2.5. Muestreado por	Saul Lucio Llampi Pineda
2.6. Ubicación/coordenadas	E: 380129.459 N: 8282317.413

III. RESULTADOS

TRATAMIENTO					
FECHA	CODIGO	PH	TEMPERATURA (°C)	TURBIDEZ (NTU)	SST (mg/l)
19/09/2022	CF - 1	5	16.4	277.2	37.6
	CF - 2	7	16.4	188.7	25.6
	CF - 3	9	16.5	142.5	18.5
	SF - 1	5	16.6	1124	145.4
	SF - 2	7	16.5	985.6	127.7
	SF - 3	9	16.5	847.0	111.9

REPLICA N° 1					
FECHA	CODIGO	PH	TEMPERATURA (°C)	TURBIDEZ (NTU)	SST (mg/l)
19/09/2022	CF - 1	5	16.4	283.5	31.2
	CF - 2	7	16.4	245.7	18.5
	CF - 3	9	16.6	182.7	11.5
	SF - 1	5	16.5	774.9	109.5
	SF - 2	7	16.6	604.8	82.5
	SF - 3	9	16.5	555.6	65.8



UNIVERSIDAD ANDINA NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA SANITARIA Y
AMBIENTAL
LABORATORIO DE CALIDAD AMBIENTAL



REPLICA N° 2					
FECHA	CODIGO	PH	TEMPERATURA (°C)	TURBIDEZ (NTU)	SST (mg/l)
20/09/2022	CF - 1	5	16.4	231.8	43.8
	CF - 2	7	16.5	144.9	28.4
	CF - 3	9	16.4	96.6	22.0
	SF - 1	5	16.5	966.0	167.3
	SF - 2	7	16.6	811.4	148.9
	SF - 3	9	16.6	753.5	129.3

REPLICA N° 3					
FECHA	CODIGO	PH	TEMPERATURA (°C)	TURBIDEZ (NTU)	SST (mg/l)
20/09/2022	CF - 1	5	16.5	293.4	35.9
	CF - 2	7	16.4	201.2	23.5
	CF - 3	9	16.4	159.3	16.9
	SF - 1	5	16.5	1174	135.9
	SF - 2	7	16.6	1039	119.5
	SF - 3	9	16.5	865.0	100.3

REPLICA N° 4					
FECHA	CODIGO	PH	TEMPERATURA (°C)	TURBIDEZ (NTU)	SST (mg/l)
20/09/2022	CF - 1	5	16.5	259.3	33.5
	CF - 2	7	16.4	179.3	20.5
	CF - 3	9	16.4	140.8	13.6
	SF - 1	5	16.5	1050	115.5
	SF - 2	7	16.6	947.5	101.4
	SF - 3	9	16.6	832.3	79.5

REPLICA N° 5					
FECHA	CODIGO	PH	TEMPERATURA (°C)	TURBIDEZ (NTU)	SST (mg/l)
21/09/2022	CF - 1	5	16.5	241.5	32.7
	CF - 2	7	16.5	166.3	19.9
	CF - 3	9	16.4	102.0	12.9
	SF - 1	5	16.4	1009	110.3
	SF - 2	7	16.6	880.0	95.2
	SF - 3	9	16.5	792.0	71.3



UNIVERSIDAD ANDINA NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA SANITARIA Y
AMBIENTAL
LABORATORIO DE CALIDAD AMBIENTAL



REPLICA N° 6					
FECHA	CODIGO	PH	TEMPERATURA (°C)	TURBIDEZ (NTU)	SST (mg/l)
21/09/2022	CF - 1	5	16.5	232.6	45.7
	CF - 2	7	16.5	160.2	31.5
	CF - 3	9	16.4	98.2	24.6
	SF - 1	5	16.4	992.3	180.3
	SF - 2	7	16.6	868.2	159.3
	SF - 3	9	16.5	785.5	135.4

REPLICA N° 7					
FECHA	CODIGO	PH	TEMPERATURA (°C)	TURBIDEZ (NTU)	SST (mg/l)
21/09/2022	CF - 1	5	16.5	278.0	30.3
	CF - 2	7	16.5	225.8	17.0
	CF - 3	9	16.4	162.1	9.0
	SF - 1	5	16.4	764.5	101.0
	SF - 2	7	16.6	608.1	80.1
	SF - 3	9	16.5	573.4	61.2

REPLICA N° 8					
FECHA	CODIGO	PH	TEMPERATURA (°C)	TURBIDEZ (NTU)	SST (mg/l)
22/09/2022	CF - 1	5	16.6	297.4	36.6
	CF - 2	7	16.5	209.5	24.7
	CF - 3	9	16.5	167.6	17.4
	SF - 1	5	16.4	1190	140.2
	SF - 2	7	16.4	1072	120.5
	SF - 3	9	16.6	904.8	105.5

REPLICA N° 9					
FECHA	CODIGO	PH	TEMPERATURA (°C)	TURBIDEZ (NTU)	SST (mg/l)
22/09/2022	CF - 1	5	16.5	213.0	42.9
	CF - 2	7	16.6	135.1	26.8
	CF - 3	9	16.5	93.5	20.5
	SF - 1	5	16.4	956.1	150.5
	SF - 2	7	16.6	810.6	137.9
	SF - 3	9	16.5	727.4	125.4



UNIVERSIDAD ANDINA NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA SANITARIA Y
AMBIENTAL
LABORATORIO DE CALIDAD AMBIENTAL



REPLICA N° 10					
FECHA	CODIGO	PH	TEMPERATURA (°C)	TURBIDEZ (NTU)	SST (mg/l)
22/09/2022	CF - 1	5	16.4	268.1	34.0
	CF - 2	7	16.6	186.4	21.4
	CF - 3	9	16.5	150.4	14.6
	SF - 1	5	16.6	1112	121.5
	SF - 2	7	16.5	981.0	108.3
	SF - 3	9	16.4	837.1	89.5

REPLICA N° 11					
FECHA	CODIGO	PH	TEMPERATURA (°C)	TURBIDEZ (NTU)	SST (mg/l)
23/09/2022	CF - 1	5	16.4	285.6	35.0
	CF - 2	7	16.4	193.0	22.4
	CF - 3	9	16.6	146.7	15.2
	SF - 1	5	16.5	1142	129.8
	SF - 2	7	16.6	1019	110.3
	SF - 3	9	16.5	849.2	90.5

*SST: Sólidos suspendidos totales



UNIVERSIDAD ANDINA NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA SANITARIA Y
AMBIENTAL
LABORATORIO DE CALIDAD AMBIENTAL



REPLICA N° 12				
FECHA	CODIGO	PH	TEMPERATURA (°C)	TURBIDEZ (NTU)
23/09/2022	CF - 1	5	16.4	249.1
	CF - 2	7	16.5	173.8
	CF - 3	9	16.5	110.0
	SF - 1	5	16.5	1019
	SF - 2	7	16.4	892.0
	SF - 3	9	16.4	810.9

REPLICA N° 13				
FECHA	CODIGO	PH	TEMPERATURA (°C)	TURBIDEZ (NTU)
23/09/2022	CF - 1	5	16.6	258.3
	CF - 2	7	16.5	176.4
	CF - 3	9	16.5	119.7
	SF - 1	5	16.4	1033
	SF - 2	7	16.4	907.2
	SF - 3	9	16.6	819.0

IV. METODO DE ENSAYO

Los parámetros fueron analizados de acuerdo a las recomendaciones de los Métodos normalizados para el Análisis de Aguas Potables y Residuales APHA, AWW.WEF.21th ed. 2005

V. OBSERVACIONES

26 de setiembre del 2022

UNIVERSIDAD ANDINA
"NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"

IRIG. JAVIER A. BOJÓRQUEZ GANDANILLAS
R. 126368
LABORATORIO CALIDAD AMBIENTAL - FICP

Página 6 de 6



UNIVERSIDAD ANDINA NÉSTOR CÁCERES VELASQUEZ
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA SANITARIA Y
AMBIENTAL
LABORATORIO DE CALIDAD AMBIENTAL



RESULTADOS DE ANALISIS EN CALIDAD DE AGUA

INFORME DE ENSAYO N° 059-2022

I. DATOS DEL SERVICIO

1.1. PROYECTO	INFLUENCIA DEL pH EN LA PRECIPITACIÓN DE LOS SÓLIDOS EN SUSPENSIÓN CON FLOCULANTE CON FLOCULANTE SUPERFLOAC A - 110 EN AGUAS RESIDUALES DE LAVADO DE MINERAL EN LA UNIDAD MINERA MOSOQ MINAS.
1.2. SOLICITANTE	Saul Lucio Llampi Pineda
1.3. PROCEDENCIA	Departamento Puno Provincia San Antonio de Putina Distrito Ananea

II. DATOS DE ENSAYO

2.1. Producto	Agua residual con tratamiento
2.2. Numero de muestras	72
2.3. Código de muestra	CF - SF
2.4. Periodo de ensayo	19 - 23/09/2022
2.5. Muestreado por	Saul Lucio Llampi Pineda
2.6. Ubicación/coordenadas	E: 380129.459 N: 8282317.413

III. RESULTADOS

TRATAMIENTO				
FECHA	CODIGO	PH	TEMPERATURA (°C)	TURBIDEZ (NTU)
14/09/2022	CF-1	5	16.4	1410
	CF-2	7	16.4	1268
	CF-3	9	16.5	872.3
	SF-1	5	16.6	1134
	SF-2	7	16.5	836.9
	SF-3	9	16.5	710.3
	CF-1	5	16.4	1390
	CF-2	7	16.4	1245
	CF-3	9	16.5	890.3
	SF-1	5	16.6	1140
	SF-2	7	16.5	845.0
	SF-3	9	16.5	659.3



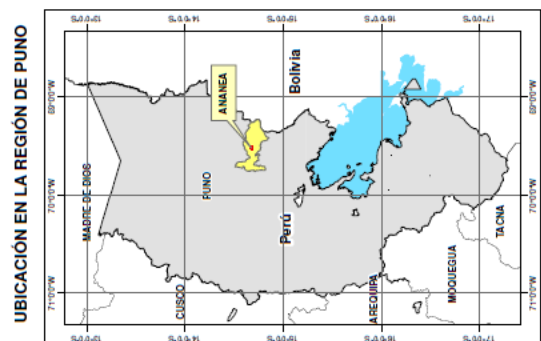
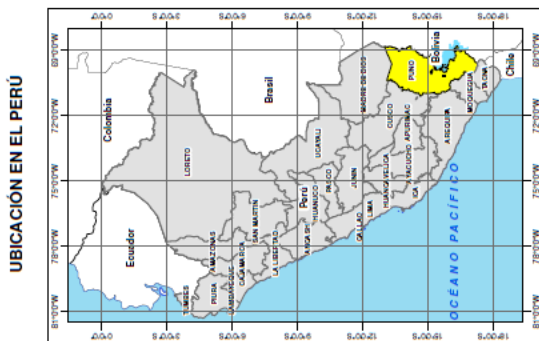
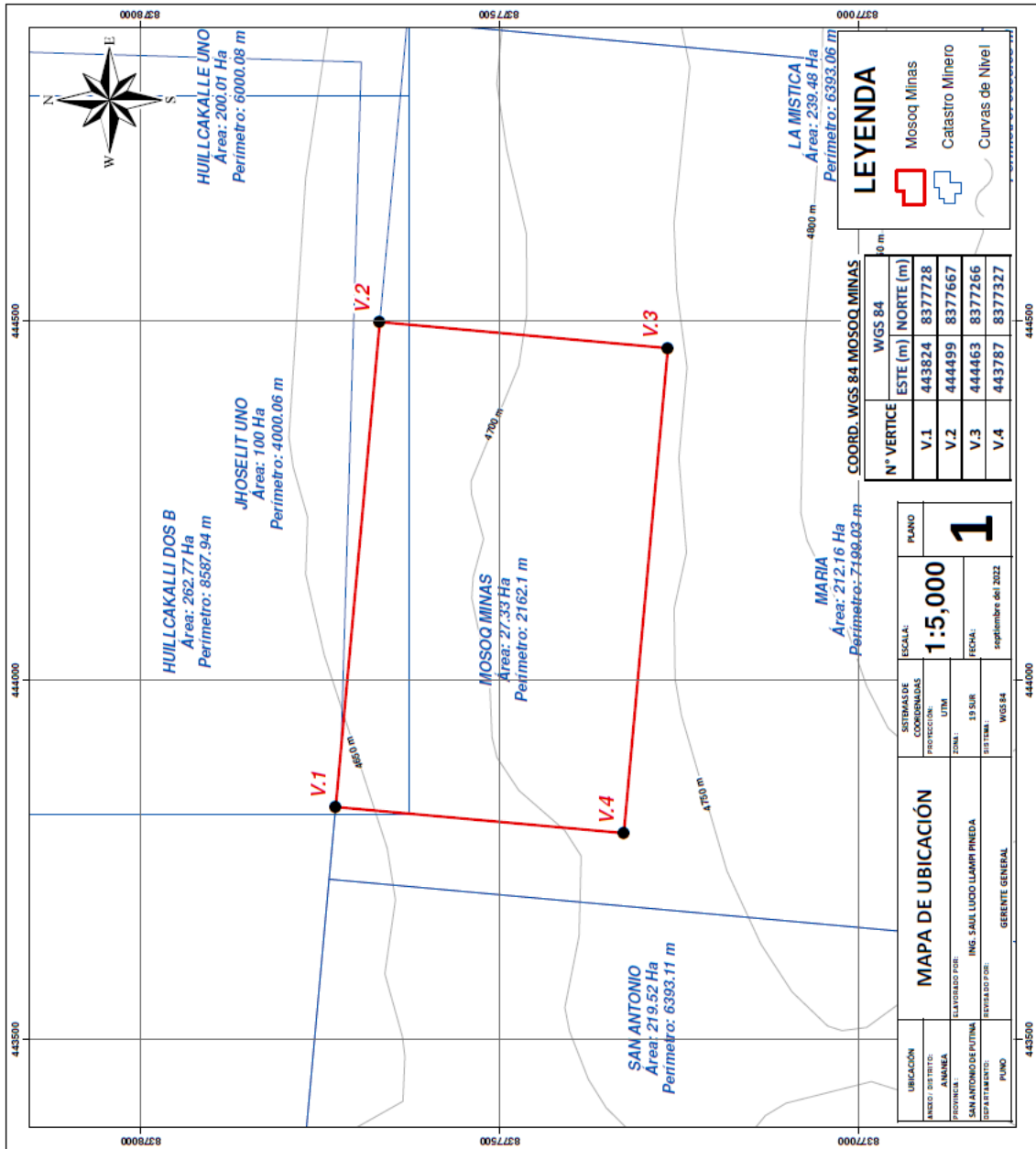
UNIVERSIDAD ANDINA NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA SANITARIA Y
AMBIENTAL
LABORATORIO DE CALIDAD AMBIENTAL



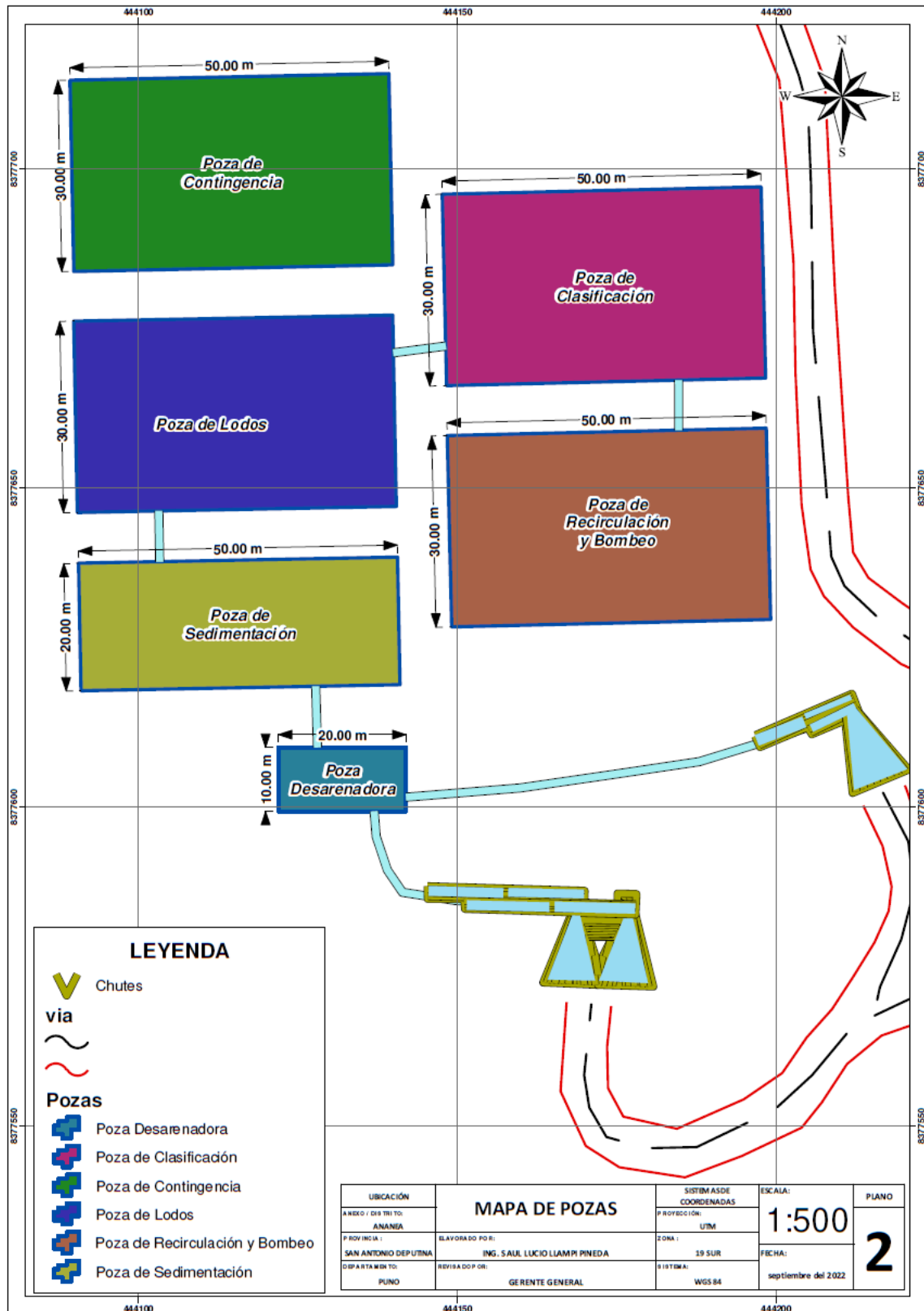
TRATAMIENTO				
15/09/2022	CF-1	5	16.6	356.9
	CF-2	7	16.5	274.6
	CF-3	9	16.5	180.9
	SF-1	5	16.4	89.5
	SF-2	7	16.4	32.69
	SF-3	9	16.5	89.6
	CF-1	5	16.6	361.0
	CF-2	7	16.5	298.3
	CF-3	9	16.5	269.3
	SF-1	5	16.4	291.6
	SF-2	7	16.4	21.40
	SF-3	9	16.5	152.3

TRATAMIENTO				
16/09/2022	CF-1-10	1	16.6	680.5
	CF-2-10	3	16.5	410.5
	CF-3-10	5	16.5	281.4
	CF-4-10	7	16.6	202.3
	CF-5-10	9	16.5	148.4
	CF-6-10	11	16.5	210.7
	CF-7-10	13	16.6	450.4
	SF-1-10	1	16.5	1210
	SF-2-10	3	16.5	1100
	SF-3-10	5	16.4	1010
	SF-4-10	7	16.4	930.1
	SF-5-10	9	16.5	832.2
	SF-6-10	11	16.6	910.3
	SF-7-10	13	16.5	1080.7
	CF-1-15	1	16.5	450.5
	CF-2-15	3	16.6	250.3
	CF-3-15	5	16.5	190.4
	CF-4-15	7	16.6	120.4
	CF-5-15	9	16.5	80.40
	CF-6-15	11	16.5	180.4
	CF-7-15	13	16.4	360.3
	SF-1-15	1	16.4	981.5
	SF-2-15	3	16.5	870.0
	SF-3-15	5	16.6	750.0
	SF-4-15	7	16.5	690.0
	SF-5-15	9	16.5	640.0
	SF-6-15	11	16.4	720.0
	SF-7-15	13	16.6	850.0

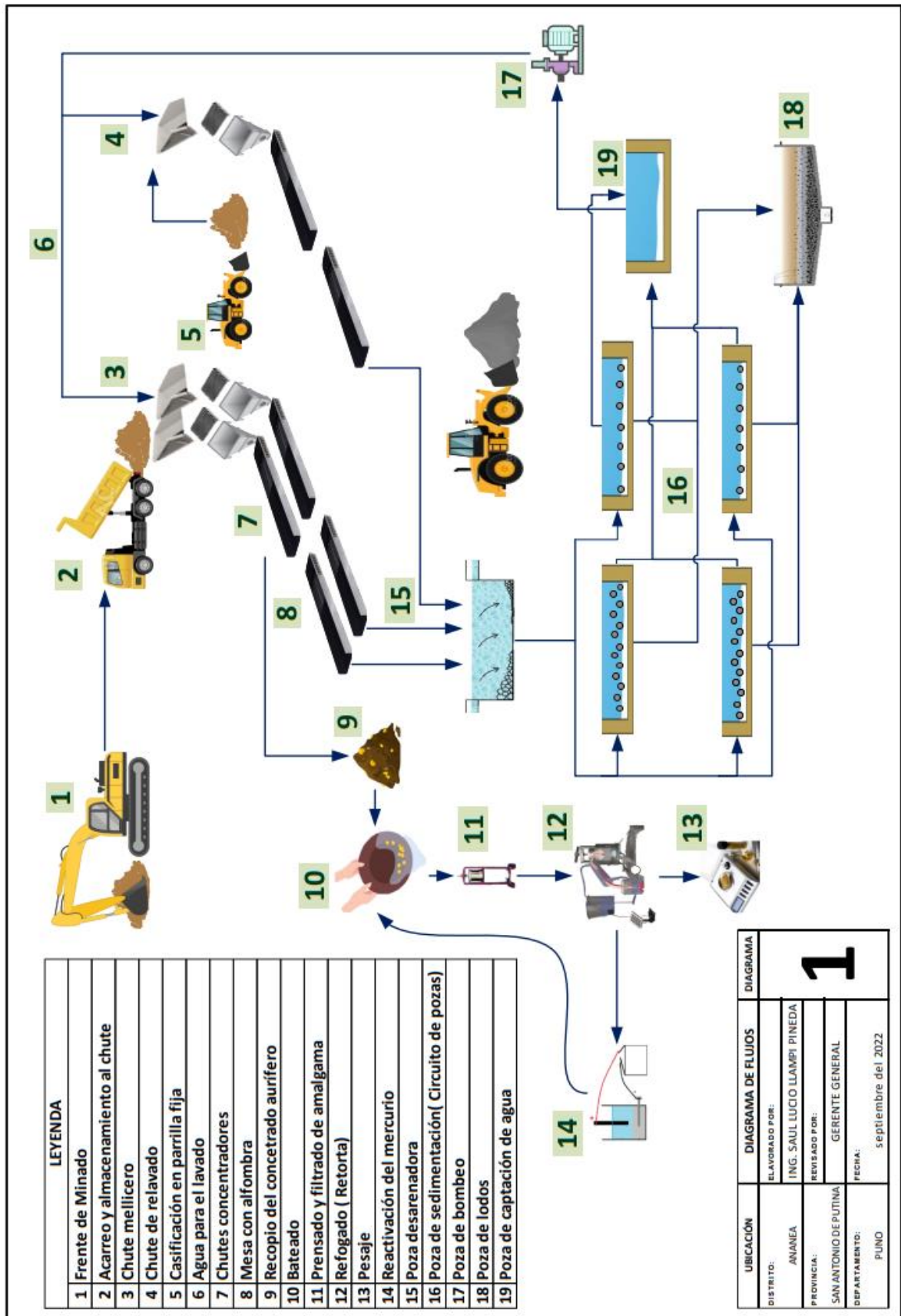
Anexo 2. Ubicación geográfica de la Unidad Minera



Anexo 3. Plano de pozas de sedimentación



Anexo 4. Diagrama de flujo de procesos



Anexo 5. Ficha técnica de cal

HOJA DE CAL APAGADA (HIDRÓXIDO DE CALCIO)		Nombre CAL COMUN		Formula UN (3262)
HOJA MSDS		Criterio de Seguridad		UN (3262)
		Clase 8. Sustancia corrosiva.		Característica
		Grupo: III. Baja peligrosidad		Valor
		Inflamación: No inflamable		Color
Puntos de fusión: Deshidratación a 580 °C		Rojo	No se inflama	Hidróxido de Calcio, Ca(OH) ₂
Punto de ebullición: 2.850°C		Azul	Poco peligroso	
		Amarillo	Estable	
		Blanco	W	No usar Agua
Inflamabilidad		Equipo de protección personal		
El hidróxido de calcio no es inflamable, pero en contacto con agua o ácidos, puede producir calor suficiente para encender los materiales que están alrededor.		<p>Piel: Use ropa de protección cómoda y suelta y botas impermeables. Aplíquese crema protectora en las manos o use guantes (AS 2161). Lávese completamente después del trabajo. Lave regularmente la ropa de trabajo.</p> <p>Ojos: Se recomienda usar gafas protectoras de polvo firmemente ajustadas.</p> <p>Respiratoria: En caso de generación de polvo, utilice un filtro de partículas de tipo P1 o P2 (AS/NZS 1715 y 1716). Use sólo filtros que cumplan con las normas internacionales y que estén correctamente ajustados. Considere que las personas con barba tendrán dificultad para proteger su cara completamente. Para alternativas, consulte AS/NZS 1715: Selección y uso de dispositivos de protección respiratoria.</p>		
INFORMACIÓN DE MANEJO SEGURO		Consideraciones ante emergencias		
<p>Almacenamiento y transporte: El hidróxido de calcio debe permanecer seco, lejos de la humedad, vapor o ácidos. Los silos de acero y barras cerradas herméticas de camiones-tanques son formas comunes de almacenamiento y transporte. El transporte a granel se debe realizar en camiones tipo volquete para un manejo seguro o si se transportan en camiones tipo baranda lo recomendable es que la cal este en sacos.</p> <p>Derrames y eliminación: Evacuar o aislar el área de peligro. Restringa el acceso a personas innecesarias y sin la debida protección. Ubíquese a favor del viento. Ventile el área. No permitir que caiga en fuentes de agua y alcantarillas. Minimizar la generación de polvo. Absorber con material inerte como tierra y/o arena. Deposite en contenedores limpios y secos. Lave la zona con abundante agua. Los derrames deben ser limpiados usando cualquier medio seco tal como escobilla, pala o aspiradora, por personal adecuadamente equipado.</p> <p>Riesgo de incendio/explosión: Se descompone a una temperatura superior a los 400° C. produciendo óxido de calcio. Mantenga alejado de fuente de calor. Evitar el contacto con materiales incompatibles. Proporcionar adecuada ventilación. No es combustible, pero en contacto con agua puede generar calor suficiente para encender los materiales alrededor. NO USE AGUA para apagar un incendio, ya que ésta puede agravar la situación. USE PRODUCTOS QUÍMICOS SECOS O EXTINGUIDORES DE TIPO CO2.</p>		<p>Ingestión: No induzca el vómito. Lávese la boca y labios con abundante agua y beba gran cantidad de agua o leche. Busque atención médica urgente.</p> <p>Ojos: Lave la zona alrededor de los ojos para eliminar el polvo. Enjuague con abundante agua por 15 a 20 minutos. Retire todas las partículas accesibles de cal (el dolor puede impedir el lavado apropiado de los ojos, a menos que se un anestésico local). Busque ayuda médica urgente. Continúe lavándose los ojos hasta obtener ayuda médica.</p> <p>Piel: Sáquese inmediatamente toda la ropa contaminada, incluyendo los zapatos. Lave completamente las áreas afectadas con abundante jabón y agua por 15 a 20 minutos. Si persiste algún efecto, busque atención médica.</p> <p>Inhalación: Deje el área polvorienta, lave con agua. Si asiste a una víctima, utilice un filtro de partículas aprobado clase L. Evite convertirse en una víctima. Si la víctima no respira, dele respiración artificial. Busque atención médica urgente.</p> <p>Instalaciones de primeros auxilios: Se debe disponer de instalaciones para el lavado de ojos y duchas de seguridad.</p> <p>Nota para los médicos: Después de proporcionar los primeros auxilios, es indispensable la comunicación directa con un médico especialista en toxicología. Que brinde información para el manejo médico de la persona afectada. Con base en su estado, los síntomas existentes y las características de la sustancia química con la cual se tuvo contacto.</p>		
uso		Producción, transporte, manipulación, y venta local.		
El hidróxido de calcio se utiliza como regulador de pH en la industria minera, manufactura de hormigón, yeso, cemento y otros materiales de construcción; álcalis, cuero, fluidos de perforación, lubricantes, petroquímicos, pesticidas, pulpa y papel, pinturas basadas en agua, blanqueadores y otros productos químicos, desinfectante, agente de la refinación del azúcar, agente de la neutralización de ácidos, tratamientos de agua y afluentes industriales, suplemento y aditivo alimenticio.		El Decreto Legislativo N° 1126 y su reglamento, aprobado por el Decreto Supremo N° 044-2013-EF, delegan a la SUNAT el registro, control y fiscalización de insumos químicos		

Anexo 6. Ficha técnica de Superfloc A-110

HOJA DE CAL APAGADA (HIDRÓXIDO DE CALCIO)		Nombre		Formula	
HOJA MSDS		CAL COMUN		UN (3262)	
Criterio de Seguridad		Color	Valor	Característica	Hidróxido de Calcio, Ca(OH) ₂
Clase 8. Sustancia corrosiva.		Rojo	0	No se inflama	
Grupo: III. Baja peligrosidad		Azul	1	Poco peligroso	
Inflamación: No inflamable		Amarillo	0	Estable	
Puntos de fusión: Deshidratación a 580 °C		Blanco	W	No usar Agua	
Punto de ebullición: 2.850°C					
Inflamabilidad					
El hidróxido de calcio no es inflamable, pero en contacto con agua o ácidos, puede producir calor suficiente para encender los materiales que están alrededor.					
INFORMACION DE MANEJO SEGURO					
<p>Almacenamiento y transporte: El hidróxido de calcio debe permanecer seca, lejos de la humedad, vapor o ácidos. Los silos de acero y barras cerradas herméticas de camiones-tanques son formas comunes de almacenamiento y transporte. El transporte a granel se debe realizar en camiones tipo volquete para un manejo seguro o si se transportan en camiones tipo baranda lo recomendable es que la cal este en sacos.</p> <p>Derrames y eliminación: Evacuar o aislar el área de peligro. Restringir el acceso a personas innecesarias y sin la debida protección. Ubíquese a favor del viento. Ventile el área. No permitir que caiga en fuentes de agua y alcantarillas. Minimizar la generación de polvo. Absorber con material inerte como tierra y/o arena. Deposite en contenedores limpios y secos. Lave la zona con abundante agua. Los derrames deben ser limpiados usando cualquier medio seco tal como escobilla, pala o aspiradora, por personal adecuadamente equipado.</p> <p>Riesgo de incendio/explosión: Se descompone a una temperatura superior a los 400° C, produciendo óxido de calcio. Mantenga alejado de fuente de calor. Evitar el contacto con materiales incompatibles. Proporcionar adecuada ventilación. No es combustible, pero en contacto con agua puede generar calor suficiente para encender los materiales alrededor. NO USE AGUA para apagar un incendio, ya que ésta puede agravar la situación. USE PRODUCTOS QUÍMICOS SECOS O EXTINGUIDORES DE TIPO CO₂.</p>					
uso					
El hidróxido de calcio se utiliza como regulador de pH en la industria minera, manufactura de hormigón, yeso, cemento y otros materiales de construcción; alcalis, cuero, fluidos de perforación, lubricantes, petroquímicos, pesticidas, pulpa y papel, pinturas basadas en agua, blanqueadores y otros productos químicos, desinfectante, agente de la refinación del azúcar, agente de la neutralización de ácidos, tratamientos de agua y afluentes industriales, suplemento y aditivo alimenticio.					
Producción, transporte, manipulación, y venta local.					
El Decreto Legislativo N° 1126 y su reglamento, aprobado por el Decreto Supremo N° 044-2013-EF, delegan a la SUNAT el registro, control y fiscalización de insumos químicos					

Anexo 7. Cadena de custodia de muestreo de agua

UNIVERSIDAD ANDINA NESTOR CERCES VELASQUEZ
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA SANITARIA Y AMBIENTAL
LABORATORIO DE CALIDAD AMBIENTAL
CADENA DE CUSTODIA - MATRIZ AGUA

Datos del cliente

SOLICITANTE: SAUL LUCIO LLAHPI PINEDA

DEPARTAMENTO: PUNO

PROVINCIA: SAN ANTONIO DE PUTINA

DISTRITO: ANDRÉS BARRAL

NOMBRE DEL PROYECTO: INFLUENCIA DEL PH EN LA PRECIPITACION DE LOS SOLIDOS EN SUSPENSION CON PROBLEMA DE SUPERFICIE A-110 EN AGUAS RESIDUALES DE LA OROQUENA DE LA COMUNIDAD MINERA MOSOQ HINAS.

Punto de muestro / Estación	Código de laboratorio	Muestreo	DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA		Ubicación	N° Frascos	PARÁMETROS DE ENSAYO		PARÁMETRO IN SITU				OBSERVACIONES	
			Grupo	Sub-grupo			Coordenadas (UTM)	V	P	T-Mtra (°C)	pH (Unidad de pH)	CE (µm/cm Salinidad (ppt))		OD (mg/L)
1 P-1	001	F: 10-09-22 H: 9:11am	-	-	N: 8377592 E: 444135	X			10.4	6.96				NINGUNA
2 P-1	002	F: 11-09-22 H: 9:32am	-	-	N: 8377592 E: 444135	X			11.2	6.95				NINGUNA
3		F:			N:									
4		F:			N:									
5		F:			N:									
6		F:			N:									
7		F:			N:									
8		F:			N:									

GUARDAR CADENA EN PDF

Legenda

F: Fecha N: Nota V: Vidrio T-Mtra: Temperatura de Muestra

CE: Conductividad Eléctrica

Recepción de muestra

Nombre: SAUL LUCIO LLAHPI PINEDA

Fecha: 11-09-22

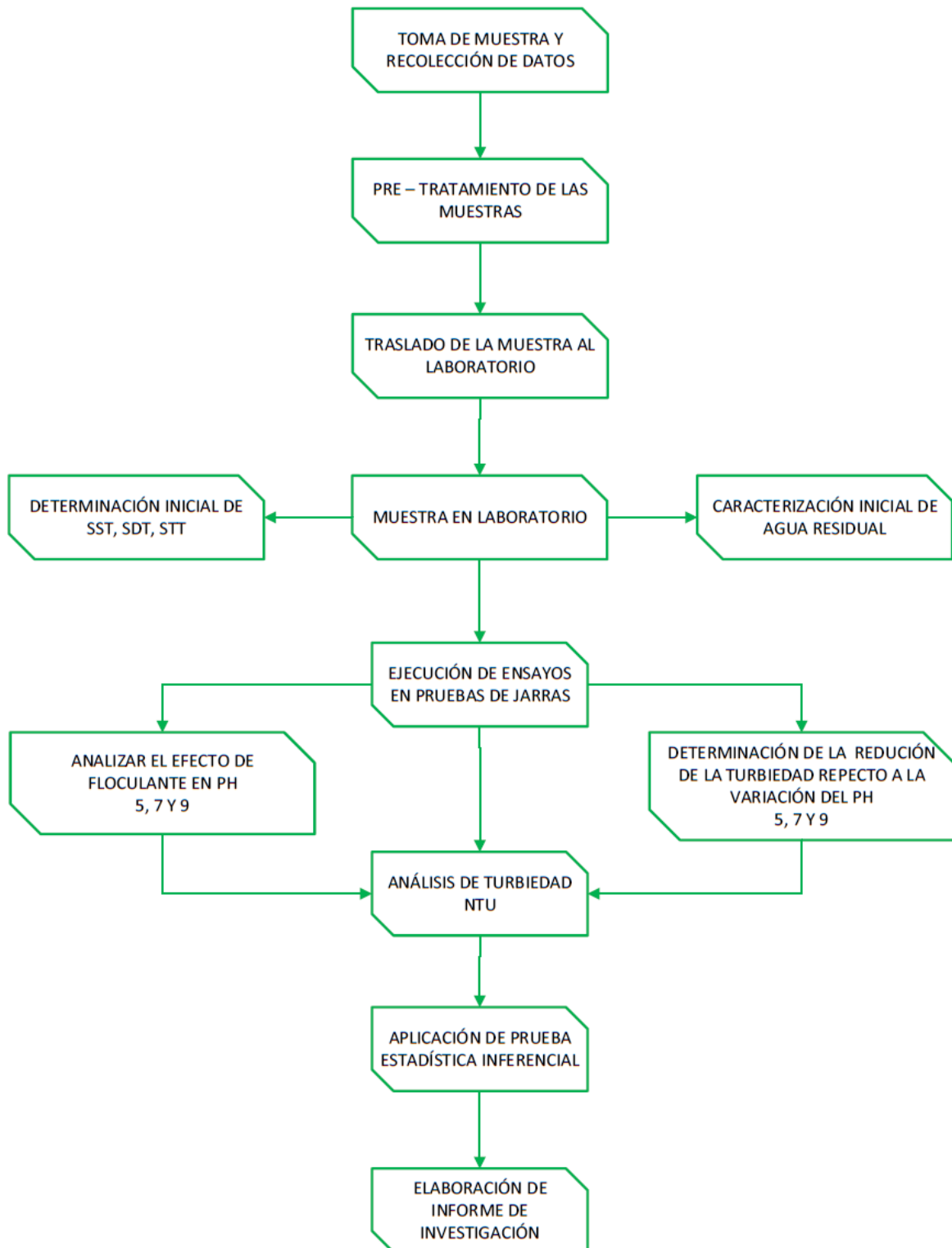
Firma:

ING. LUCIO LLAHPI PINEDA
ING. METALURGISTA
CIP N° 152478

Observaciones / Comentarios

Muestreado por: LAB Cliente

Anexo 8. Flujo del diseño experimental



Anexo 9. Registros fotográficos



Fotografía N° 1 Muestreo de aguas residuales en campo, toma de datos iniciales



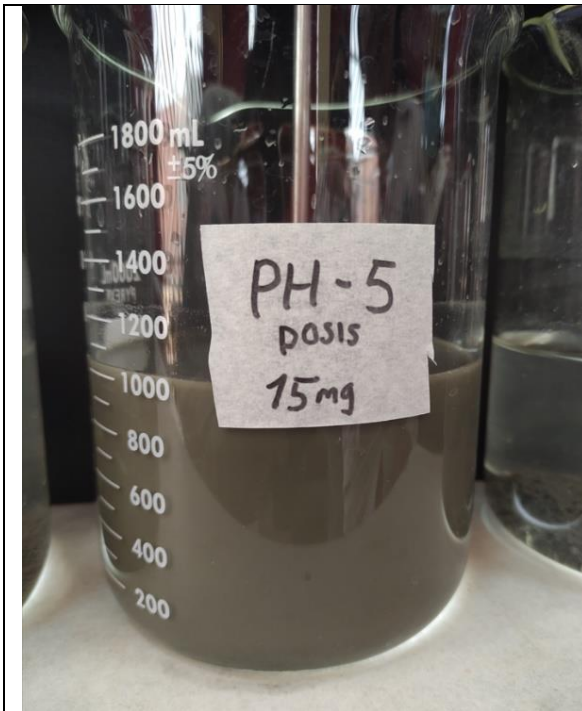
Fotografía N° 2 Ubicación del punto de muestreo, N: 8377592 E: 444134, salida de mesa de alfombras ingreso a poza de arenado



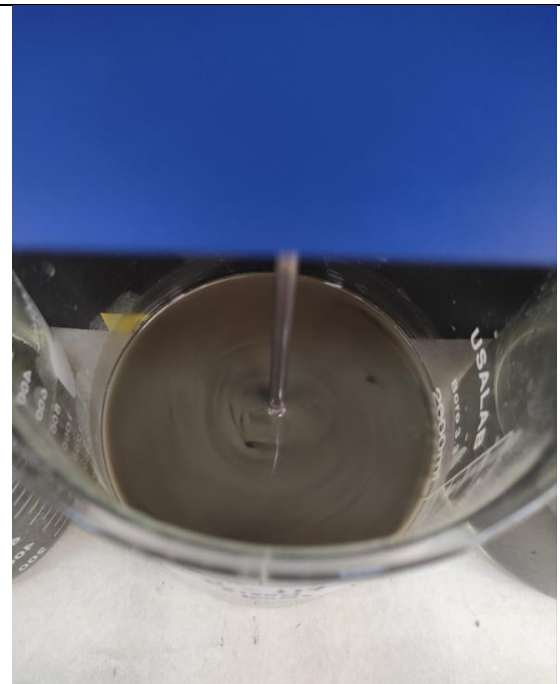
Fotografía N° 3 Unidad Minera Mosoqminas poza de arenado



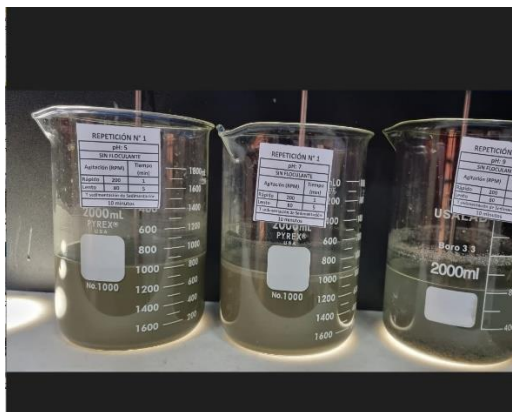
Fotografía N° 4 traslado de muestras de agua al laboratorio de Calidad Ambiental, homogenización de muestra



Fotografía N° 5 Optimización de dosificación de floculantes 15 mg/L no hay efecto del floculante



Fotografía N° 6 Optimización de dosificación de floculantes 40 mg/L se observa formación de pasta gelatinosa.



Fotografía N° 7 Pruebas de jarras repetición N° 1



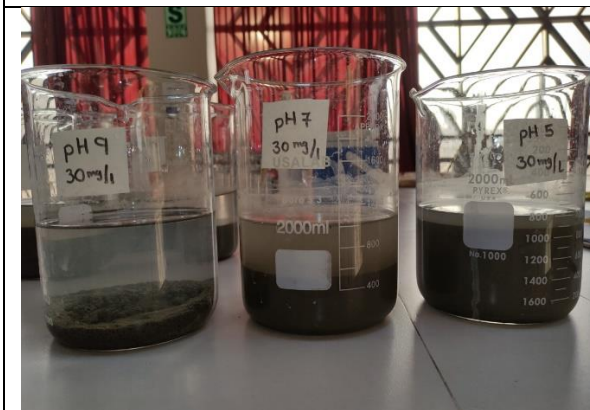
Fotografía N° 8 Pruebas de agitación lentas y rápida



Fotografía N° 9 Pruebas de jarras repetición N° 10



Fotografía N° 10 Pruebas de optimización de dosificación de coagulante



Fotografía N° 11 Sedimentación de sólidos en suspensión a dosificación 30 mg/L de floculante a una agitación de 200 RPM 10 minutos de sedimentación



Fotografía N° 12 Sedimentación de sólidos en suspensión a dosificación con floculante SUPERFLOC A-110



Fotografía N° 13 Toma de muestras para análisis de turbiedad y análisis de Sólidos Disueltos sedimentales



Fotografía N° 14 Toma de muestras para análisis de turbiedad



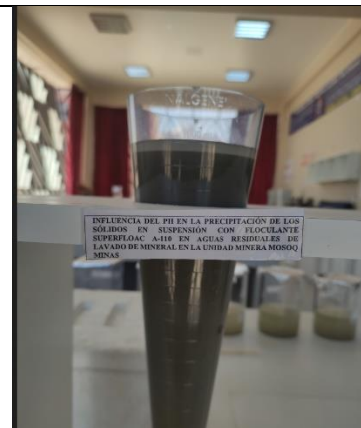
Fotografía N° 15 Análisis de turbiedad



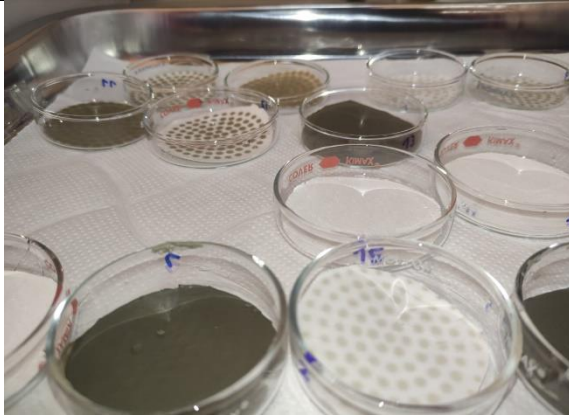
Fotografía N° 16 Pesaje de insumos químicos



Fotografía N° 17 Determinación de velocidad de sedimentación de sólidos sedimentales.



Fotografía N° 18 Uso de cono de Imhoff para determinar los sólidos sedimentales



Fotografía N° 19 Determinación de los Sólidos en Suspensión Totales y Solidos Disueltos Totales



Fotografía N° 20 Operación de equipo de pruebas de jarras



Fotografía N° 21 Secado de muestras en mufla a 105°C por un periodo de 1 hora



Fotografía N° 22 Filtrado de muestras de aguas residuales con bomba de vacío.