



UNIVERSIDAD
PRIVADA
DEL NORTE

FACULTAD DE INGENIERÍA

Carrera de Ingeniería de Minas

“EFICIENCIA DEL FLOCULANTE SULFATO DE ALUMINIO Y POLIFLOC (POLICLORURO DE ALUMNIO) EN LA REMOCION DE METALES Y DEPURACIÓN DE AGUAS RESIDUALES DE UNA EMPRESA MINERA EN CAJAMARCA, 2019”

Tesis para optar el título profesional de:

INGENIERO DE MINAS

Autores:

Bach. Cristian Chávez Villanueva

Bach. Edgar Javier Salazar Torres

Asesor:

Ing. Víctor Eduardo Álvarez León

Cajamarca - Perú

2019

DEDICATORIA

A Dios todo poderoso quien ha forjado mi camino y me ha dirigido por el camino correcto.

Dedico este proyecto de investigación a mis padres, quienes me apoyaron durante mi carrera profesional, ya que fueron un pilar importante en mi formación académica y a mis abuelitos, quienes me inculcaron valores y principios para la vida, gracias a su apoyo íntegro.

Cristian Chávez

A Dios todo poderoso porque a él le debo todo lo que tengo y lo que soy.

Dedico este proyecto de investigación a mis padres, así como a mis hermanos quienes me apoyaron durante mi carrera profesional y me inculcaron valores y principios para la vida, quienes fueron el motivo y la razón para seguir adelante en mi formación académica, gracias a su apoyo íntegro.

Edgar Salazar

AGRADECIMIENTO

Agradecemos a nuestros padres y familiares por su apoyo moral, durante todo nuestro camino y darnos fuerzas para superar obstáculos y dificultades a lo largo de nuestras vidas, quienes nos enseñaron a no desfallecer, ni rendirnos ante nada y siempre perseverar a través de sus sabios consejos.

A nuestro asesor el ingeniero Víctor Eduardo Álvarez León. Por todo el apoyo y facilidades que nos fue otorgando en cada clase y siempre brindar lo mejor de su persona ante cualquier situación y consulta realizada.

A nuestros compañeros y amigos de la facultad. Gracias por permitirnos conocerlos y recorrer juntos este camino universitario.

Por otro lado, queremos agradecer a nuestra alma mater, La Universidad Privada del Norte, la cual nos proporcionó las herramientas necesarias para desarrollarme profesionalmente, a nuestros docentes, quienes contribuyeron al logro de nuestra formación profesional.

Tabla de contenidos

DEDICATORIA	2
AGRADECIMIENTO.....	3
ÍNDICE DE TABLAS	5
ÍNDICE DE FIGURAS	6
CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN	8
1.1. Realidad problemática.....	8
1.2. Formulación del problema	17
1.3. Objetivos	17
1.4. Hipótesis.....	18
CAPÍTULO II. METODOLOGÍA	19
2.1. Tipo de investigación	19
2.2. Población y muestra (Materiales, instrumentos y métodos)	20
2.3. Técnicas e instrumentos de recolección y análisis de datos.....	20
2.4. Procedimiento.....	21
CAPÍTULO III. RESULTADOS	25
3.1. Caracterización de los reactivos, Ph y Turbidez inicial de las muestras.....	25
3.2. Evaluación de dosis óptima de sulfato de aluminio y policloruro de aluminio para Ph y turbidez según LMP	28
3.3. Evaluación de dosis óptima de policloruro de aluminio para remoción de Cu, Fe, Mn y Pb, según los parámetros de LMP.....	45
3.4. Análisis de la eficiencia de los reactivos en el tratamiento de aguas residuales de mina	47
CAPÍTULO IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES	49
REFERENCIAS	52
ANEXOS	56

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Características del sulfato de aluminio.....	25
Tabla 2: Características granulométricas del sulfato de aluminio.....	25
Tabla 3: Caracterización de los tipos de sulfato de aluminio.....	26
Tabla 4: Caracterización del policloruro de aluminio.....	27
Tabla 5: Datos iniciales del pH y turbidez.....	27
Tabla 6: Resultados de la prueba de jarras N° 01.....	28
Tabla 7: Resultados de la prueba de jarras N° 02.....	30
Tabla 8: Resultados de la prueba de jarras N° 03.....	32
Tabla 9: Resultados de la prueba de jarras N° 04.....	34
Tabla 10: Resultados de la prueba de jarras N° 05.....	36
Tabla 11: Resultados de la prueba de jarras N° 06.....	38
Tabla 12: Resultados de la prueba de jarras N° 07.....	40
Tabla 13: Resultados de la prueba de jarras N° 08.....	42
Tabla 14: Resultados de las dosis óptimas de las 8 pruebas.....	44
Tabla 15: Resultados de la remoción de metales con policloruro de aluminio.....	45
Tabla 16: Eficiencia del sulfato de aluminio (pH - Turbidez).....	47
Tabla 17: Eficiencia del Policloruro de aluminio (pH - Turbidez).....	48

ÍNDICE DE FIGURAS

Ilustración 1: Prueba de jarras.	23
Ilustración 2: Turbidez Sulfato de aluminio Vs LMP..	29
Ilustración 3: Turbidez Policloruro de aluminio Vs LMP.	29
Ilustración 4: Turbidez Sulfato de aluminio Vs LMP.	30
Ilustración 5: Turbidez Policloruro de aluminio Vs LMP.	31
Ilustración 6: Turbidez Sulfato de aluminio Vs LMP.	32
Ilustración 7: Turbidez Policloruro de aluminio Vs LMP.	33
Ilustración 8: Turbidez Sulfato de aluminio Vs LMP.	34
Ilustración 9: Turbidez Policloruro de aluminio Vs LMP.	35
Ilustración 10: Turbidez Sulfato de aluminio Vs LMP.	36
Ilustración 11: Turbidez Policloruro de aluminio Vs LMP.	37
Ilustración 12: Turbidez Sulfato de aluminio Vs LMP.	38
Ilustración 13: Turbidez Policloruro de aluminio Vs LMP.	39
Ilustración 14: Turbidez Sulfato de aluminio Vs LMP.	40
Ilustración 15: Turbidez Policloruro de aluminio Vs LMP.	41
Ilustración 16: Turbidez Sulfato de aluminio Vs LMP.	42
Ilustración 17: Turbidez Policloruro de aluminio Vs LMP.	43
Ilustración 18: Remoción de metales - PAC Vs LMP.	46

RESUMEN

La presente investigación se realizó debido a que en una empresa minera de Cajamarca, se identificó en sus aguas residuales la presencia de metales pesados, por lo cual se planteó evaluar la eficiencia del sulfato de aluminio y policloruro de aluminio, como floculantes en un tratamiento alternativo para tratar estas aguas para cuatro de los metales pesados (Cu, Fe, Mn y Pb), que se encontraban en bajas concentraciones pero que aún estaban por encima de los LPM, para lo cual se realizaron un total de 8 pruebas y asimismo se evaluó la dosis óptima de ambos reactivos.

Los resultados encontrados nos indican que los floculantes sulfato de aluminio y policloruro de aluminio son eficientes en un 79.73% y 87.95% durante el tratamiento de aguas residuales de mina, ya que en los análisis de muestras se logró disminuir la turbidez del agua, en promedio de 10 NTU, así mismo el pH lo mantienen dentro del parámetro que indican los LMP.

Al combinar los dos reactivos se obtuvo en promedio como dosis óptima 25.75 (mg/L) de sulfato de aluminio y 0.49 (mg/L) de policloruro de aluminio permiten realizar un proceso de tratamiento de aguas con resultados favorables y según los parámetros indicados en la normativa establecida por la OMS (Organización mundial de la salud).

Para la remoción de los metales se utilizó 70 (mg/L) de policloruro de aluminio en una muestra de 2 litro lo cual permitió reducir la concentración de los metales por debajo de los LPM.

Palabras clave: Floculantes, Sulfato de aluminio, Policloruro de aluminio, turbidez, pH, remoción de metales, dosis óptima.

CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

1.1. Realidad problemática

Uno de los grandes problemas que afronta el mundo es la disponibilidad de agua dulce, ya que esta es vital para la supervivencia de los seres humanos. En el planeta existe una limitación de la disponibilidad de agua dulce. Del 0,8% del agua dulce existente, el 97% son aguas subterráneas y solamente el 3% es agua superficial. Aun así, no siempre esta es apropiada para el consumo humano, haciéndose necesario realizar la remoción de las impurezas presentes para adecuarla a los patrones de potabilidad. El color y la turbiedad son los principales parámetros que se consideran en la evaluación de la calidad del agua, siendo indicadores sanitarios y patrones de aceptación del agua para consumo humano (FUNASA, 2006). En Perú, de acuerdo con el La Ley General de Aguas, el valor máximo de turbiedad permitido es de 5,0 NTU como nivel establecido para consumo humano.

Según Castrillón y Ángeles (2012). En s trabajo de investigación “Determinación de las Dosis Óptimas del Coagulante Sulfato de Aluminio Granulado Tipo B en Función de la Turbiedad y el Color para la Potabilización del Agua en la Planta de Tratamiento de Villa Santana Determinación de las Dosis Óptimas del Coagulante Sulfato de Aluminio Granulado Tipo B en Función de la Turbiedad y el Color para la Potabilización del Agua en la Planta de Tratamiento de Villa Santana. Barrio Álamos - Risaralda – Colombia”. El método por el cual se determinaron dichas dosis óptimas fue mediante el test de jarras y estas dosis fueron escogidas tomando como base el cumplimiento del decreto 1575 resolución 2115/2007. Los resultados obtenidos después de realizar el test de jarras

arrojaron resultados óptimos en cuanto a la remoción de los parámetros fisicoquímicos analizados y el cumplimiento de ellos según la norma.

De igual manera Morales (2010), en su tesis Tratamiento de efluentes ácidos por NDS (Neutralización Coagulante Dinámica), para la optimización del proceso, presentado a la coordinación de investigación de la Facultad de Ingeniería Geológica e Ingeniería Metalúrgica, UNA - Puno. Concluye lo siguiente: —el consumo de caliza es de 10 g/l, porque permite formar hidróxidos metálicos y aumentar la velocidad de sedimentación de los precipitados, hecho que no ocurre en el proceso de LDS (Lodos de baja Densidad) en donde el reactivo es solo cal. También concluye que, —el tiempo de agitación es una variable muy importante porque mide el tiempo de residencia necesario, para que la caliza pueda tener mayor contacto con los metales disueltos, y lograr una buena precipitación y coagulación. El tiempo de agitación es de 15 minutos (p. 129).

Claros (2015), en su trabajo de investigación “Efectos del Polihidroxicloruro de Aluminio, Velocidad de Agitación y pH en la Turbidez del agua del Río Shullcas - Huancayo-Perú” El cual tuvo como propósito de la tesis fue evaluar los efectos del polihidroxicloruro de aluminio, velocidad de agitación y pH en la turbidez del agua del río Shullcas en la localidad de Huancayo, en el año 2013 y aplicar en el tratamiento de agua potable a fin de lograr un producto de turbidez óptima. Al realizar la prueba de hipótesis se encontró que, en cada caso, un p valúe = 0,000 para el PAC, velocidad de agitación y pH, que indica que los efectos principales de las variables independientes tienen una alta significancia sobre la turbidez, con un nivel de confianza de 95% y $\alpha=0.05$. Se logró una remoción de la turbidez de 86,67 %.

Según Barajas y León (2015) en su trabajo de investigación “Determinación de la Dosis Óptima de Sulfato de Aluminio $Al_2(SO_4)_3 \cdot 18H_2O$ en el Proceso de Coagulación – Floculación Para el Tratamiento de Agua Potable por Medio del uso de una Red Neuronal Artificial. Bogotá. Colombia” Se realizó con el fin de llevar a cabo la determinación de la dosis óptima de Sulfato de Aluminio $Al_2(SO_4)_3$ utilizando modelos de correlación entre variables como las regresiones lineales y polinomiales y al mismo tiempo un modelo de Red Neuronal Artificial (RNA) que al enfrentarse a variaciones en tiempo real de la turbidez sea capaz de arrojar como resultado una dosis indicada, con el objetivo de conseguir una coagulación efectiva en el agua a tratar y de esta forma evitar la presencia excesiva o insuficiente de coagulante, minimizar la necesidad de realizar ensayos de jarras continuamente y al mismo tiempo lograr disminuir las pérdidas de carácter económico debido al gasto inadecuado del coagulante.

Mendoza, E. (2009), en su tesis Tratamiento de aguas residuales procedentes de la planta de curtiembre del centro de investigación y producción de la Facultad de Ingeniería Química, presentado a la coordinación de investigación de la Facultad de Ingeniería Química, UNAP. Concluye lo siguiente: —los reactivos utilizados en el tratamiento no incrementan la contaminación en las aguas, esto se deduce de los análisis realizados (p. 72).

Suárez y Trujillo (2011), Ecuador; realizan el estudio de diseño y construcción de un equipo de prueba de jarras para la tratabilidad de aguas residuales, concluyendo que para estudios de turbiedad este método es muy adecuado y llegando a porcentajes de error de 2 %, así como la evaluación adecuada de coagulantes, tanto en concentración como en dosificación; recomendando su uso en estas pruebas.

Según Khanh y Kang (2011), en su estudio, presentan el siguiente resumen: La realización de prueba de jarras frecuentemente requiere llevar a cabo procedimientos iterativos que conllevan a una pérdida de tiempo para averiguar las cantidades correctas de floculante químicos para procesos de coagulación- floculación en plantas de tratamiento de agua. La aplicación del método de superficie de respuesta (RSM) en pruebas de jarra como una alternativa de los métodos convencionales se investigó en este estudio. El propósito es descubrir la combinación óptima de dosificación de coagulante y pH con respecto a la más alta eficiencia en la remoción de la turbiedad y carbono orgánico disuelto.

Las partículas coloidales que confieren turbiedad y color, sobre todo en aguas naturales, poseen en su mayor parte cargas eléctricas negativas en su superficie, que crean una barrera repelente entre sí, lo que imposibilita su aglomeración. Así, se hace necesario promover la alteración de las características de la superficie de las partículas con la adición de coagulantes, siendo uno de los primeros pasos en el proceso de tratamiento del agua en planta de tratamiento. Todas las demás etapas posteriores dependen del éxito de la coagulación.

En este trabajo se investiga la eficiencia de dos coagulantes, el sulfato de aluminio y Polifloc (Policloruro de Aluminio), para la remoción de la turbiedad en muestras del agua con baja turbidez. Se determina la dosis óptima de coagulante, con el objetivo de ayudar en la comprensión de los mecanismos involucrados en la coagulación, pues indica cambios en el potencial en la superficie y las fuerzas de repulsión entre coloides,

así evaluar si parámetros como el pH y la dosificación de coagulante empleados están coadyuvando a la eficiencia del proceso. Se opta por clarificar las aguas provenientes del Proyecto Especial Rio Cachi, que son de baja turbiedad, con el objetivo de reducir la turbidez y expandir la discusión sobre la utilización de coagulantes en la depuración de aguas, además de comparar la eficiencia de ambos coagulantes.

Los tratamientos para la purificación de agua cruda resultan ser de suma importancia para la sociedad, ya que de estos tratamientos depende la calidad del agua para consumo humano, doméstico y usos de diferente índole. Si dichos tratamientos se aplican de la manera correcta cada comunidad puede satisfacer el requerimiento esencial para la vida que es el agua pura (Guerrero, 2012).

En el distrito de Samegua el recurso hídrico potabilizado, es de escasa disponibilidad en volumen y tiempo, debido a que la planta de tratamiento no se abastece para proveer de agua potable a 6 515 pobladores (INEI, 2007). No reuniendo las características necesarias en factor económico y estructural para proveer de agua potable a la población Sameguana por tanto actúa como factor limitante en el desarrollo, siendo necesario, establecer medidas que permitan la preservación, uso racional y eficiente del recurso. Esto lleva a buscar medidas de solución que sean factibles económica, social y ambientalmente (DIRESA, 2014).

El aluminio residual que genera la utilización del policloruro de aluminio en el organismo humano puede generar problemas crónicos en la salud a largo plazo. Se

presenta el riesgo de cáncer o fibrosis pulmonar ocasionando síntomas de tos y falta de oxígeno. En análisis realizados a muestras de aguas tratadas con policloruro de aluminio se han encontrado trazas de coagulante químico, causando una creciente preocupación relacionado entre el aluminio residual y efectos neurológicos adversos en las personas de avanzada edad, principalmente manifestado en la enfermedad del Alzheimer.

Se tomó como referencia el informe técnico N°197-2016-GERESA-DSA-SBHAZ-SB en donde se muestran los resultados fisicoquímicos de los análisis de agua de la planta de tratamiento de agua Samegua en donde se muestran los resultados del parámetro Aluminio al ingreso de la planta de tratamiento de agua Samegua se encuentra dentro de los estándares nacionales de calidad ambiental (ECA) categoría 1 subcategoría 2 siendo distintos los resultados a la salida del agua de la planta de tratamiento de agua de Samegua en donde se muestra un incremento de 1,3 mg/l de aluminio dado que en el punto de muestreo el parámetro aluminio sobrepasa los límites máximos permisibles del reglamento de calidad de agua para consumo humano.

Alvarado (2011) desarrolló el estudio del uso de las cáscaras de papa como coagulante natural en el tratamiento de aguas potables de la Planta “La Diana” Colombia. Realizó una investigación cuantitativa experimental donde evaluó la capacidad del almidón de papa (*Solanum tuberosum*) variedad Diacol capiro para remover la turbidez de aguas crudas. El objetivo de este trabajo de investigación fue aprovechar el almidón de papa para determinar si sirven como coagulante natural en el tratamiento de agua potable de la planta La Diana (Villa de Leyva). En este estudio se realizó comparaciones de mezclas de almidón de papa y sulfato de aluminio, con la finalidad de poder evaluar la

formulación óptima como agente coagulante en el tratamiento de aguas potables, manteniendo los parámetros de pH, color y turbiedad. Los resultados mostraron la reducción de color se obtuvo con el tratamiento 3 (2,5 g de cáscaras de papa) y para el pH (7,5); es decir, los resultados de estos dos parámetros se encuentran dentro de los valores exigidos por la norma.

Con los resultados de dicho trabajo de investigación se comprobó que la formulación que presentó mejor poder coagulante manteniendo los parámetros de pH, y turbidez fue la del almidón de papa, es decir, que sirven como agente coagulante biológico para el tratamiento de aguas potables, pues forman mejores flóculos y mayores partículas sedimentadas. Al comparar todas las formulaciones, se observa que la del almidón de papa, presentó un comportamiento similar en cuanto a la remoción de turbidez respecto de la formulación patrón de sulfato de aluminio.

Moscozo (2015) realizó el estudio del uso de almidón de yuca como sustituto del sulfato de aluminio en el proceso de coagulación-floculación en sistemas de tratamiento de agua para potabilización Guatemala. Mediante una investigación cuantitativa el presente trabajo de investigación, plantea el uso del almidón de yuca como ayudante en el proceso de floculación-coagulación, el cual se analiza hasta qué porcentaje puede sustituir este al sulfato de aluminio en la dosis óptima para diferentes valores de turbiedad y también se realiza el análisis de la factibilidad técnica y económica del uso del almidón. Tiene como objetivo determinar la posibilidad de sustituir hasta un 40 % de sulfato de aluminio por almidón de yuca en el proceso de coagulación-floculación para la potabilización de agua y lograr turbiedades menores a las 5 NTU. Dando como

resultados importantes que se puede sustituir hasta un 60 % de sulfato de aluminio por almidón de yuca, para que se cumpla los límites máximos permisibles según las normas establecidas con estos resultados podemos concluir que el almidón de yuca puede sustituir al sulfato de aluminio hasta un 60 % de la dosis óptima, para lograr valores de turbiedad inferiores a 5 NTU.

Mantilla (2013) desarrolló el estudio de investigación extracción y modificación de almidón de plátano cuatro filos (musa abb del subgrupo silver bluggoe) para posible uso en el tratamiento de potabilización de aguas Colombia. Tuvo como objetivo demostrar que el almidón nativo de plátano no tiene necesidad de ser gelificado o de modificar el almidón para ser utilizado en tratamiento de aguas potables. Como resultados importantes el análisis estadístico multifactorial arrojó que no hubo diferencia significativa en cuanto a la turbidez y el pH, y mediante el análisis estadístico simple se concluyó que no hubo diferencias significativas entre un tratamiento y otro para la dureza y el pH. Como conclusión importante se tiene que el almidón de plátano cuatro filos (Musa ABB del subgrupo Silver bluggoe) resulto con un poder coagulante bajo, por lo cual es necesario realizar estudio en donde se utilice con coadyuvantes en mezclas con coagulantes, o realizar otro tratamiento posterior al de floculación coagulación que permita una mayor remoción de color y turbidez en el agua.

Marco legal

Según la ley N° 26842 Ley general de salud se enmarca dentro de la política nacional de salud y los principios establecidos para la calidad del agua para consumo humano y garantiza su inocuidad. (MINAM)

Según el D.S. N° 002-2008-MINAM donde se aprueban los estándares nacionales de calidad ambiental para el agua, especifica y establecen el nivel de concentración o el grado de elementos, sustancias o parámetros físicos, químicos y biológicos presentes en el agua, en su condición de cuerpo receptor y componente básico de los ecosistemas acuáticos, que no representa riesgo significativo para la salud de las personas ni para el ambiente.

Según el reglamento de calidad del agua para consumo humano D.S. 031- 2010-S.A. artículo 1 establece las disposiciones generales con relación a la gestión de la calidad del agua para consumo humano, con la finalidad de garantizar su inocuidad, prevenir los factores de riesgos sanitarios, así como proteger y promover la salud y bienestar de la población.

Según el D.S. N° 015-2015-MINAM en donde se modifican estándares nacionales de calidad ambiental para agua y establecen disposiciones complementarias para su aplicación en el artículo 3 inciso 3.2 indica que los titulares de la actividad extractiva, productiva y de servicios deben prevenir y/o controlar los impactos que sus operaciones pueden generar en los parámetros y concentraciones aplicables a los cuerpos de agua dentro del área de influencia de sus operaciones, advirtiéndole entre otras variables, las condiciones particulares de sus operaciones y los insumos empleados en el tratamiento de sus efluentes; dichas consideraciones deben ser incluidas como parte de los compromisos asumidos en su instrumento de gestión ambiental, siendo materia de fiscalización por parte de la autoridad competente.

Valores guía para el agua de bebida. OMS-2004 en donde indica que el acceso al agua potable es fundamental para la salud, uno de los derechos humanos básicos y un componente de las políticas eficaces de protección de la salud.

1.2. Formulación del problema

¿Se logrará evaluar la eficiencia de los floculantes sulfato de aluminio y Polifloc (Policloruro de Aluminio) en la remoción de metales y depuración de aguas residuales de una empresa minera en Cajamarca?

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo general

Evaluar la eficiencia de los floculantes de sulfato de aluminio y Polifloc (Policloruro de Aluminio) empleado en la remoción de metales y la depuración de aguas residuales de una empresa minera.

1.3.2. Objetivos específicos

- Caracterizar los reactivos en estudio, pH y turbidez inicial en las muestras de aguas residuales de mina antes de aplicar cualquier tipo de tratamiento.
- Evaluar la dosis óptima de sulfato de aluminio y policloruro de aluminio al nivel de laboratorio que se necesita para obtener resultados por debajo de los LPM establecidos para el pH y turbidez.
- Evaluar la dosis óptima de policloruro de aluminio para la remoción de cobre, hierro, manganeso y plomo que se necesita para obtener resultados por debajo de los LPM establecidos.

- Analizar la eficiencia de los dos reactivos en el tratamiento de aguas residuales.

1.4. Hipótesis

1.4.1. Hipótesis general

Mediante el uso de sulfato de aluminio y policloruro de aluminio como floculantes combinados en el tratamiento de aguas se logrará evaluar la eficiencia de cada uno con respecto a la remoción de metales y depuración de aguas residuales de una empresa minera.

1.4.2. Hipótesis específicas

- Se caracterizará los reactivos usados y las muestras de agua identificando el porcentaje de turbidez y pH con el que se encuentra la muestra antes de ser tratada.
- Se logrará evaluar la dosis óptima de sulfato de aluminio y policloruro de aluminio al nivel de laboratorio obteniendo resultados por debajo de los LPM establecidos para el pH y turbidez.
- Se logrará evaluar la dosis óptima de policloruro de aluminio para la remoción de cobre, hierro, manganeso y plomo obteniendo resultados por debajo de los LPM establecidos por la OMA.
- Se analizará la eficiencia de los dos reactivos utilizados para la depuración de aguas residuales de una empresa minera, de manera que ambos floculantes logren alto porcentaje de eficiencia y regulen las concentraciones de pH, turbidez, cobre, hierro, manganeso y plomo por debajo de los LPM.

CAPÍTULO II. METODOLOGÍA

2.1. Tipo de investigación

El presente proyecto corresponde a una investigación Aplicada, del tipo Experimental a nivel de laboratorio, ya que los datos de las muestras tomadas en campo se manejaron en el laboratorio, así mismo se realizó 8 pruebas para encontrar la dosis óptima de sulfato de aluminio y policloruro de aluminio que permita a las concentraciones de pH, turbidez, Cu, Fe, Mn y Pb estar por debajo de los LMP (Límites máximos permisibles).

Vargas (2009), nos indica que el tipo de investigación Aplicada es una forma de conocer las realidades con una prueba científica; requiere obligatoriamente de un marco teórico, sobre el cual se basará para generar una solución al problema específico que se quiera resolver, se centra en el análisis y solución de problemas de varias índoles de la vida real, así como también se nutre de avances científicos y se caracteriza por su interés en la aplicación de los conocimientos.

Según Palella y Martins, (2012) “El diseño experimental es aquel según el cual el investigador manipula una variable experimental no comprobada, bajo condiciones estrictamente controladas. Su objetivo es describir de qué modo y porque causa se produce o puede producirse un fenómeno. Busca predecir el futuro, elaborar pronósticos que una vez confirmados, se convierten en leyes y generalizaciones tendentes a incrementar el cúmulo de conocimientos pedagógicos y el mejoramiento de la acción educativa” (p.86). Así mismo es a nivel de laboratorio, ya que todos los datos de las mediciones realizadas se obtuvieron de las pruebas de jarras realizadas en laboratorio.

2.2. Población y muestra

- **Población**

Todas las aguas residuales procedentes de la empresa minera de Cajamarca de la cual se obtuvieron las muestras.

- **Muestra**

98 Litros de agua residual procedentes de la empresa minera de Cajamarca

2.3. Técnicas e instrumentos de recolección y análisis de datos

2.3.1. Observación directa

Se identificó aguas residuales de la empresa minera que tenían presencia de metales pesados para ser tratadas por el método actual con el cual se trata el resto de aguas procedentes de diversas operaciones que contienen pH ácido y altas concentraciones de metales pesados por lo cual su tratamiento conlleva más procesos.

Por lo cual se tomaron las muestras de esta zona, para poder evaluar un tratamiento alternativo con sulfato de aluminio y policloruro de aluminio de tal manera que permita obtener agua apta para el consumo de las poblaciones cercanas a esta empresa y siguiendo los parámetros de LPM establecidos por la OMS (Organización mundial de la salud).

2.3.2. Análisis documental

Se recolecto información de trabajos de investigación con relación a tratamientos de agua con sulfato de aluminio y policloruro de aluminio para tener una perspectiva referencial acerca de la eficiencia de ambos productos,

para lo cual se recurrió a bibliotecas virtuales y repositorios de universidades.

Además, se revisó y analizó los resultados de laboratorio con respecto a las mediciones iniciales de las muestras donde se identificó los porcentajes y concentraciones de los metales presentes (Cu, Fe, Mn y Pb), pH y turbidez.

2.3.3. Experimentación

Se realizaron un total de 8 pruebas de laboratorio utilizando la prueba de jarras con ayuda de formatos para la toma de datos (Anexo N° 01), en el cual se tuvo 6 depósitos milimetrados de 2 litros cada uno en los cuales se probaron diferentes dosificaciones de ambos reactivos, hasta encontrar la dosis óptima para que el pH y turbidez estén por debajo de los LPM.

Para la remoción de metales se realizó una prueba en 2 litros de agua donde se agregó 140 mg de policloruro de aluminio (70 mg/L), a la muestra se le hizo un segundo análisis de barrido de metales, en el cual se pudo identificar que las concentraciones de metales se encontraban por debajo de los LPM.

2.4. Procedimiento

El tipo de investigación que se utilizó en este trabajo es experimental, por lo cual se realizaron varias pruebas en laboratorio y la técnica que se utilizó fue la prueba de jarras que permitió calcular las dosis óptimas de ambos reactivos para el tratamiento de las muestras de agua obtenidas.

2.4.1. Gabinete

Se realizó una revisión de trabajos previos de los cuales se seleccionó la información con contenido destacado y relacionado a trabajos en tratamientos

de agua utilizando sulfato de aluminio y policloruro de aluminio. Se analizó los resultados de las pruebas de laboratorio iniciales con respecto al Ph, turbidez y barrido de metales realizados a las muestras de agua. Estos resultados fueron organizados de forma digital mediante el programa Excel de tal manera que a medida que se realizaron las pruebas se modificaba la base de datos creada con los datos iniciales.

2.4.2. Trabajo de Laboratorio

Se realizaron mediciones utilizando el método “prueba de jarras”, el cual permite realizar ajustes en el pH, las variaciones en la dosis de coagulante o polímero, alternando velocidades de mezclado, o la prueba de coagulante o diferentes tipos de polímeros, a pequeña escala con el fin de predecir el funcionamiento de una operación a gran escala de tratamiento. Una prueba de jarras simula los procesos de coagulación y floculación que fomentan la eliminación de los coloides en suspensión y materia orgánica que puede conducir a problemas de turbidez, olor y sabor.

La prueba de jarra consta de seis contenedores cada uno de 2 litros con sus respectivos remos. Un envase actúa como un control, mientras que las condiciones de funcionamiento pueden variar entre los restantes cinco contenedores. Un medidor de RPM en la parte superior central del dispositivo permite el control uniforme de la velocidad de mezclado en todos los contenedores.



Ilustración 1: Prueba de jarras.

Fuente: Elaboración propia.

La prueba de jarras se realizó de acuerdo al siguiente procedimiento para las 8 pruebas:

- Se llenó los 6 depósitos con 2 litros de agua correspondiente a la muestra tomada en campo, el primer depósito servirá como control en relación a los otros 5, esto nos permitirá regular el Ph y turbidez de acuerdo a cada dosificación de los reactivos.
- Luego se adicionó el coagulante a cada contenedor y se agitó a aproximadamente a 260 o 270 rpm por 1 minuto. La etapa de mezcla rápida ayuda a dispersar el coagulante a través de cada contenedor. Los coagulantes empleados ayudan a producir pequeños agregados para formar partículas más grandes.
- Pasados los 30 segundos de la mezcla rápida se adiciona el PAC, luego viene el proceso de floculación por un tiempo de 40 rpm y la sedimentación en un tiempo de 20 minutos a una revolución de cero.

Inmediatamente después se procede a realizar la lectura y toma de datos de turbidez del agua cruda utilizando el turbidímetro.

- Finalmente se apagan los agitadores y se deja que los contenedores actúen con sedimentadores por un tiempo de 20 minutos. A continuación, se midió la turbidez final en cada contenedor.

Los resultados obtenidos se analizaron y se escogió la dosis óptima como la que presenta menor turbidez y color, para cada concentración de coagulante. En esta prueba se tomaron concentraciones de sulfato aluminio 15%, 18%, 20%, 25%, 28% y 30%, y luego se hace un segundo procedimiento, estandarizando la dosis óptima del sulfato de aluminio y se procedió a realizar el segundo test de jarras adicionando el policloruro de aluminio (PAC) alternando las concentraciones 0,1 hasta 0,6 ppm y determinamos la dosis óptima, también se determinó la variación de pH respecto a la concentración y dosis de coagulante.

2.4.3. Gabinete

Los datos tomados durante las pruebas de laboratorio por el método de prueba de jarras se pasaron al documento de base de datos digital creado anteriormente con los datos iniciales para poder efectuar los cálculos de promedios y eficiencia de los reactivos, así como para la creación de gráficos.

CAPÍTULO III. RESULTADOS

3.1. Caracterización de los reactivos, pH y Turbidez inicial de las muestras

3.1.1. Caracterización del sulfato de Aluminio

El sulfato de aluminio es una sal inorgánica que por sus propiedades físico-químicas es utilizada principalmente como agente coagulante y floculante primario en el tratamiento de aguas de consumo humano y aguas residuales. Se caracteriza por agrupar los sólidos suspendidos en el agua y acelerar la sedimentación, contribuyendo a la disminución de la carga bacteriana, así como la remoción del color y sabor.

Tabla 1:

Características del sulfato de aluminio

SULFATO DE ALUMINIO	
Características	Especificación
Aluminio, Al ₂ O ₃	% 17.0mín
Basicidad, Al ₂ O ₃	% 0.60máx.
Hierro, Fe ₂ O ₃	%0.05 máx.
Insolubles	%0.20 máx.

Fuente: Informe del Área de Operaciones EPSASA- diciembre 2012

Tabla 2:

Características granulométricas del sulfato de aluminio

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO	
Características	Especificación
Malla 4, pasante	100%
Malla 10, pasante	% 60 mín.
Malla 50, pasante	% 20 máximo

Fuente: Informe del Área de Operaciones EPSASA- diciembre 2012

Tabla 3:

Caracterización de los tipos de sulfato de aluminio

TIPOS DE SULFATO DE ALUMINIO							
CARACTERÍSTICAS							
TIPOS	Aluminio (Al₂O₃%)	Basicidad %	Hierro (Fe₂O₃%)	Insolubles	Apariencia	Color	Dens. (g/cm³)
Tipo A	17.0 min.	0.60 máx.	0.05 máx.	0.2 máx.	Granulado	Blanco	
Tipo A M20	17.0 min.	0.60 máx.	0.05 máx.	0.2 máx.	Granulado	Blanco	
Tipo B-200	16.0 min.	0.70 máx.	0.05 máx.	2.0 máx.	Granulado	Beige Claro	
Tipo B-500	15.5 min.	0.70 máx.	0.05 máx.	5.0 máx.	Granulado	Beige Claro	
Tipo A Solución 8%	%7.8 a 8.2	0.20 máx.	0.10 máx.	0.20 máx.	Líquido	Amari llento	1.30 - 1.35
Tipo B Solución 8%	%7.8 a 8.2	0.20 máx.	0.35 máx.	1.0 máx.	Líquido	Beige Claro	1.30 - 1.35

Fuente: Informe del Área de Operaciones EPSASA- diciembre 2012

3.1.2. Caracterización del policloruro de aluminio (PAC)

PAC es un coagulante inorgánico líquido base policloruro de aluminio, indicado principalmente para remover materia coloreada y coloidal en suspensión en sistemas acuosos, plantas potabilizadoras de agua, afluentes y plantas de tratamiento de efluentes líquidos industriales, como reemplazo de sulfato de aluminio, cloruro férrico y otras sales inorgánicas.

Recomendado como floculante primario, así como para romper emulsiones aceite - agua o petróleo – agua. Se trata de un producto que no modifica el pH del sistema, trabajando bien tanto en piletas de decantación como en sistemas de flotación.

Tabla 4:

Caracterización del policloruro de aluminio

CARACTERISTICAS DEL POLICLORURO DE ALUMINIO		
	MÍNIMO	MÁXIMO
Color	10	20
Densidad a 25° C	1.29	
pH	1.5	4
Viscosidad CPS a 25° C	1	20

Fuente: Ficha técnica PAC, CAHESA S.A.

3.1.3. Datos del pH y turbidez inicial de cada muestra

Antes de realizar cada una de las 8 pruebas de jarra se tomó los datos del Ph y turbidez inicial que se detallan a continuación:

Tabla 5:

Datos iniciales del pH y turbidez

PRUEBA DE JARRAS						
N° Prueba	Fecha	Hora	Turbidez Agua cruda	Ph	Alcalinidad	Dureza
1	01/03/2019	09:00 a.m.	27 NTU	7.05	28 ppm	22 ppm
2	06/03/2019	09:00 a.m.	12.1 NTU	7.76	20 ppm	18 ppm
3	05/04/2019	09:00 a.m.	7.13 NTU	7.64	24 ppm	20 ppm
4	09/04/2019	09:00 a.m.	6.02 NTU	6.8	26 ppm	20 ppm
5	10/04/2019	09:00 a.m.	7.22 NTU	7.24	28 ppm	20 ppm
6	11/04/2019	09:00 a.m.	7.5 NTU	6.98	28 ppm	20 ppm
7	12/04/2019	09:00 a.m.	21.6 NTU	7.69	26 ppm	24 ppm
8	15/04/2019	09:00 a.m.	7.63 NTU	7.64	30 ppm	20 ppm

Fuente: Datos de laboratorio.

3.2. Evaluación de dosis óptima de sulfato de aluminio y policloruro de aluminio para Ph y turbidez según LMP

Se realizaron 8 pruebas de laboratorio mediante el método de prueba de jarras el cual permitió calcular la dosis óptima de cada reactivo que permite estandarizar el pH y turbidez por debajo de los LMP.

Tabla 6:

Resultados de la prueba de jarras N° 01

Fecha	Hora	Turbidez Agua cruda	pH	Alcalinidad	Dureza	
01/03/2019	09:00 a.m.	27 NTU	7.05	28 ppm	22 ppm	
SULFATO DE ALUMINIO			POLICLORURO DE ALUMINIO			
Dosis (mg/L)	NTU	PH	Dosis sulfato (mg/L)	Dosis (mg/L)	NTU	PH
20	3.65	7.58	25	0.1	2.37	6.82
25	3.18	7.37	25	0.2	2.05	6.8
30	3.45	7.37	25	0.3	2.1	6.78
35	4.67	7.07	25	0.4	2.28	6.77
40	12.5	6.6	25	0.5	2.4	6.77
45	26.4	6.23	25	0.6	2.84	6.77
PROMEDIO		7.04	PROMEDIO		6.79	

Fuente: Datos de laboratorio.

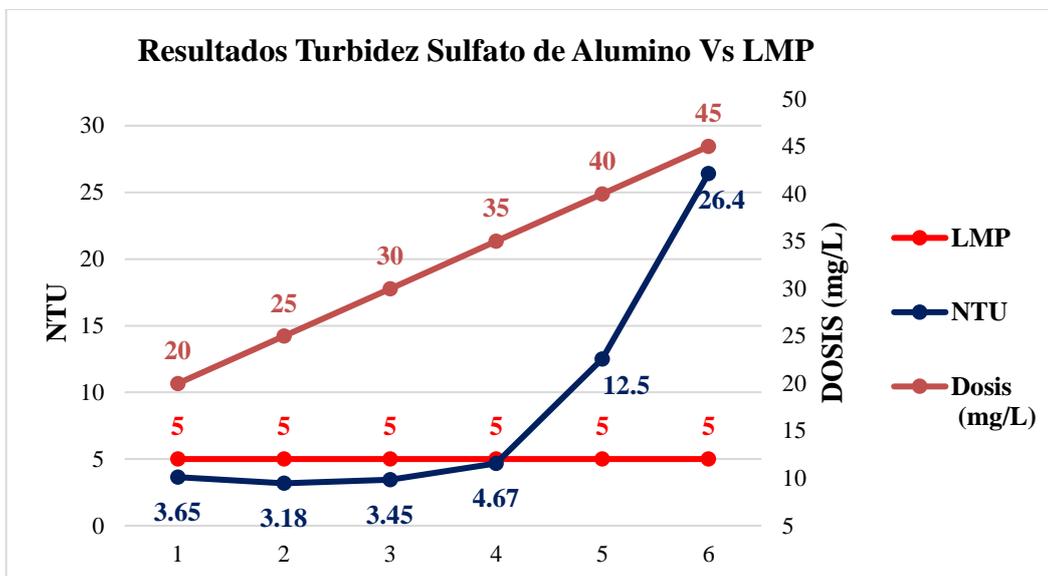


Ilustración 2: Turbidez Sulfato de aluminio Vs LMP. Fuente: Datos de laboratorio.

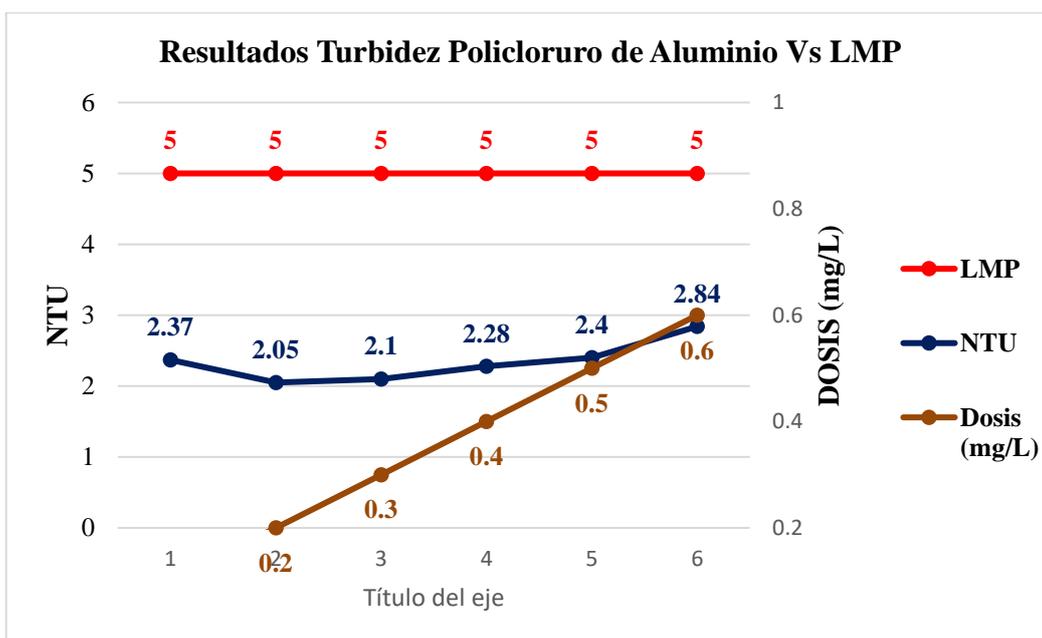


Ilustración 3: Turbidez Policloruro de aluminio Vs LMP.

Fuente: Datos de laboratorio.

En la tabla N° 06, se identifica que la dosis óptima para el sulfato de aluminio es de 25 mg/L, obteniendo una turbidez de 3.18 NTU. Para el policloruro de aluminio la dosis óptima es de 0.2 mg/L obteniendo una turbidez de 2.05 NTU.

Tabla 7:

Resultados de la prueba de jarras N° 02

Fecha	Hora	Turbidez Agua cruda	pH	Alcalinidad	Dureza	
06/03/2019	09:00 a.m.	12.1 NTU	7.76	20 ppm	18 ppm	
SULFATO DE ALUMINIO			POLICLORURO DE ALUMINIO			
Dosis (mg/L)	NTU	PH	Dosis sulfato (mg/L)	Dosis (mg/L)	NTU	PH
10	15	7.67	20	0.1	1.63	6.85
15	4.97	7.46	20	0.2	1.42	6.84
20	2.75	7.36	20	0.3	1.81	6.83
25	2.96	6.95	20	0.4	2.6	6.85
30	3.7	6.8	20	0.5	1.16	6.86
35	3.95	6.6	20	0.6	1.05	6.87
PROMEDIO		7.14	PROMEDIO		6.85	

Fuente: Datos de laboratorio.

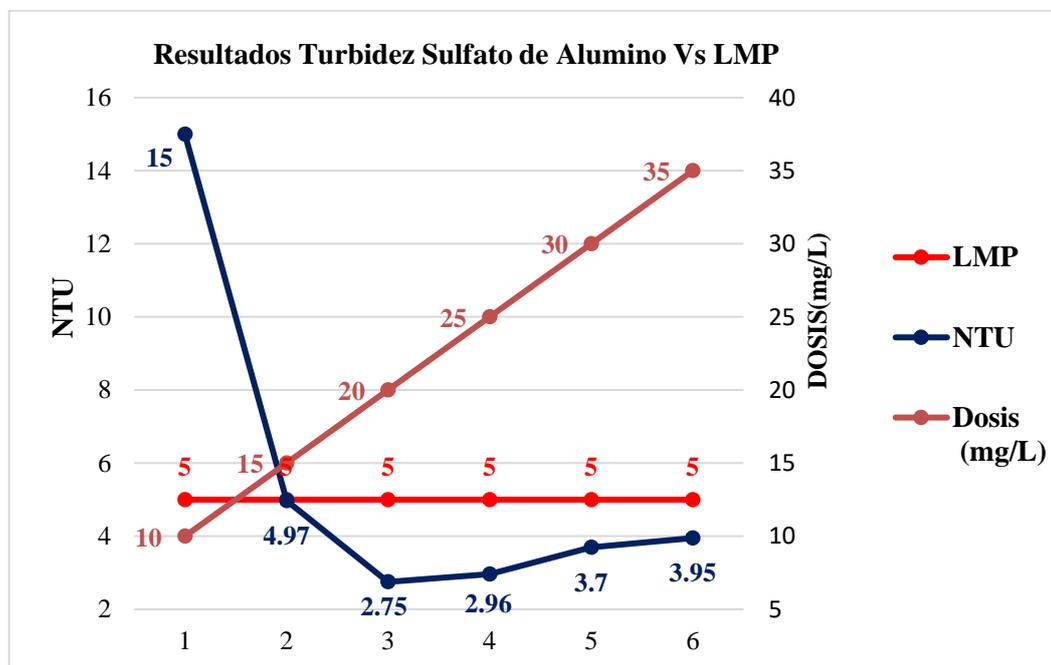


Ilustración 4: Turbidez Sulfato de aluminio Vs LMP.

Fuente: Datos de laboratorio.

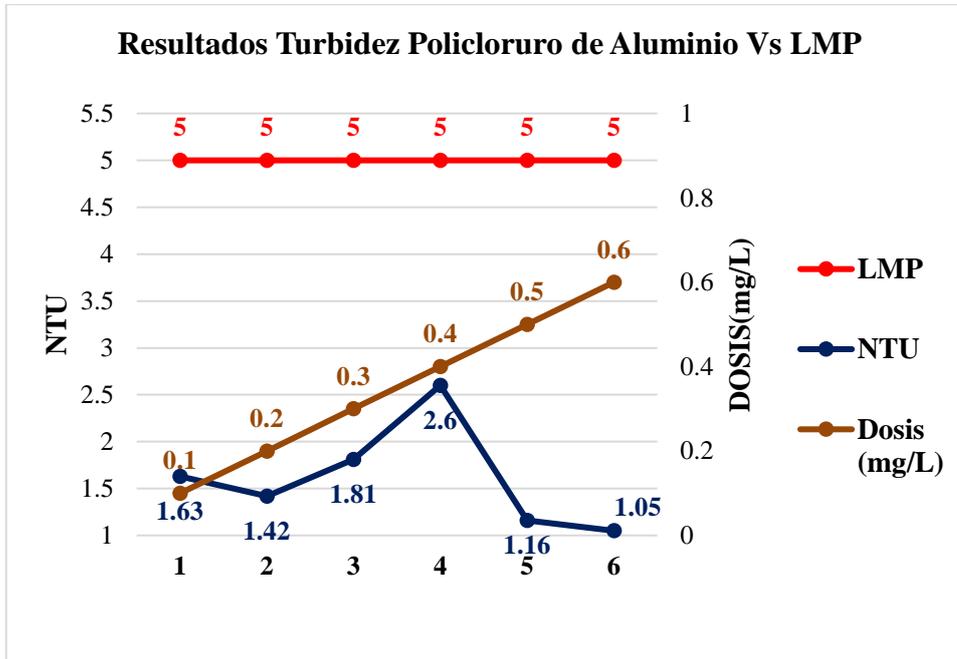


Ilustración 5: Turbidez Policloruro de aluminio Vs LMP.

Fuente: Datos de laboratorio.

En la tabla N° 07, se identifica que la dosis óptima para el sulfato de aluminio es de 20 mg/L, obteniendo una turbidez de 2.75 NTU. Para el policloruro de aluminio la dosis óptima es de 0.6 mg/L obteniendo una turbidez de 1.05 NTU.

Tabla 8:

Resultados de la prueba de jarras N° 03

Fecha	Hora	Turbidez Agua cruda	pH	Alcalinidad	Dureza	
05/04/2019	09:00 a.m.	7.13 NTU	7.64	24 ppm	20 ppm	
SULFATO DE ALUMINIO			POLICLORURO DE ALUMINIO			
Dosis (mg/L)	NTU	PH	Dosis sulfato (mg/L)	Dosis (mg/L)	NTU	PH
15	3.27	6.65	24	0.2	2.7	6.88
18	2.75	6.81	24	0.3	2.37	6.78
21	2.3	6.8	24	0.4	2.02	6.85
24	2.26	6.71	24	0.5	1.81	6.94
27	2.4	6.81	24	0.6	2.07	6.92
30	2.56	6.81	24	0.7	2.8	6.84
PROMEDIO		6.77	PROMEDIO		6.87	

Fuente: Datos de laboratorio.

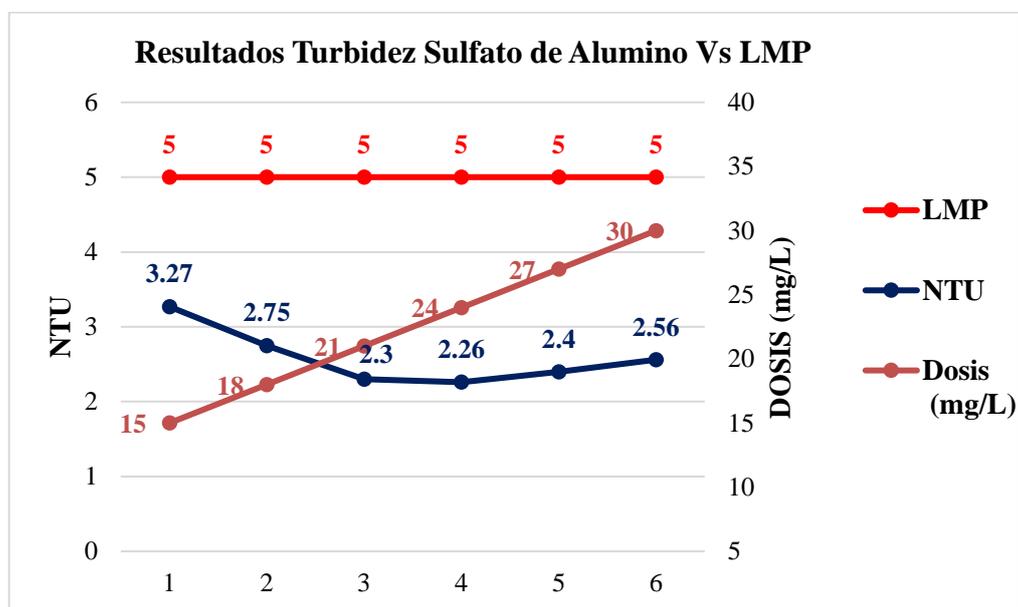


Ilustración 6: Turbidez Sulfato de aluminio Vs LMP.

Fuente: Datos de laboratorio.

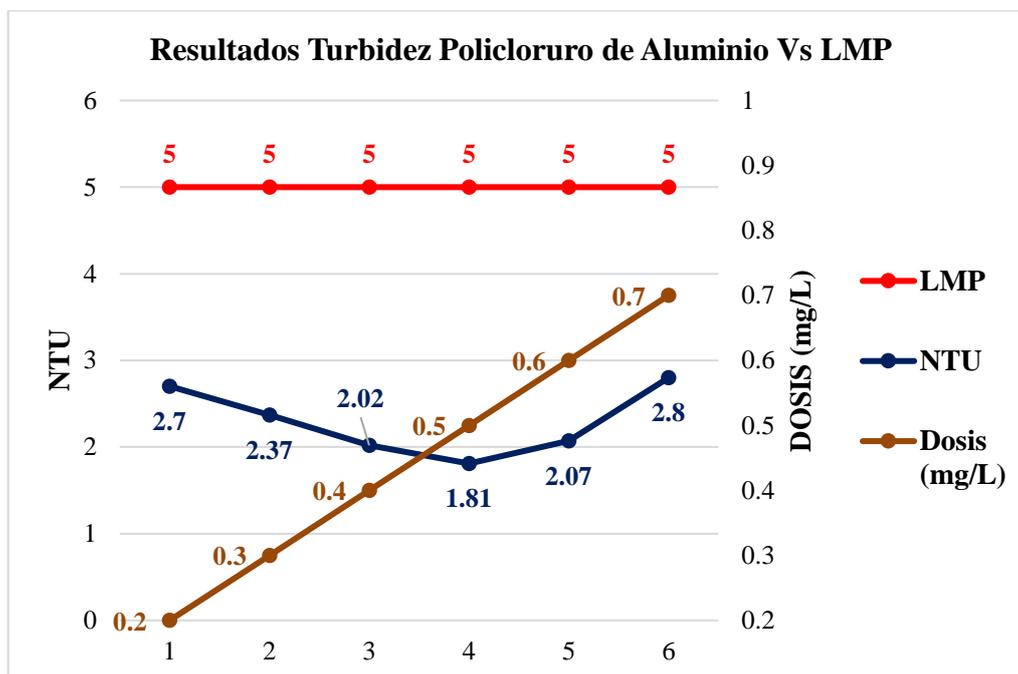


Ilustración 7: Turbidez Policloruro de aluminio Vs LMP.

Fuente: Datos de laboratorio.

En la tabla N° 08, se identifica que la dosis óptima para el sulfato de aluminio es de 24 mg/L, obteniendo una turbidez de 2.26 NTU. Para el policloruro de aluminio la dosis óptima es de 0.5 mg/L obteniendo una turbidez de 1.81 NTU.

Tabla 9:

Resultados de la prueba de jarras N° 04

Fecha	Hora	Turbidez Agua cruda	pH	Alcalinidad	Dureza	
09/04/2019	09:00 a.m.	6.02 NTU	6.8	26 ppm	20 ppm	
SULFATO DE ALUMINIO			POLICLORURO DE ALUMINIO			
Dosis (mg/L)	NTU	PH	Dosis sulfato (mg/L)	Dosis (mg/L)	NTU	PH
15	2.24	6.8	27	0.2	1.51	6.88
18	2.22	6.8	27	0.3	1.36	6.77
21	1.66	6.9	27	0.4	1.18	6.58
24	1.54	6.81	27	0.5	1.15	6.94
27	1.51	6.77	27	0.6	1.86	6.94
30	1.61	6.97	27	0.7	1.91	6.82
PROMEDIO		6.84	PROMEDIO		6.82	

Fuente: Datos de laboratorio.

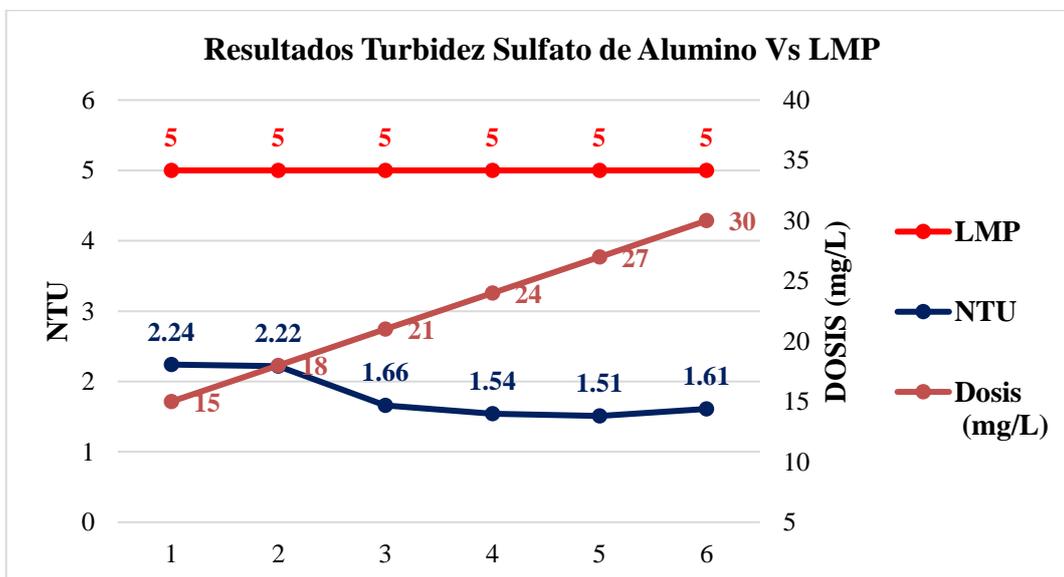


Ilustración 8: Turbidez Sulfato de aluminio Vs LMP.

Fuente: Datos de laboratorio.

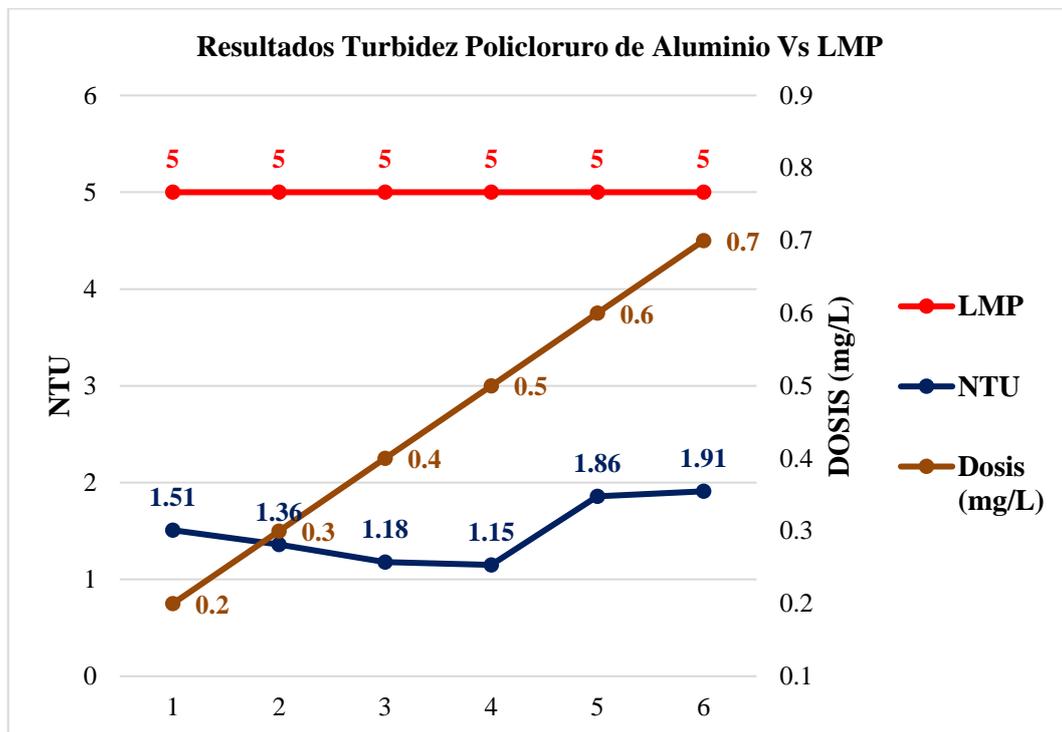


Ilustración 9: Turbidez Policloruro de aluminio Vs LMP.

Fuente: Datos de laboratorio.

En la tabla N° 09, se identifica que la dosis óptima para el sulfato de aluminio es de 27 mg/L, obteniendo una turbidez de 1.51 NTU. Para el policloruro de aluminio la dosis óptima es de 0.5 mg/L obteniendo una turbidez de 1.15 NTU.

Tabla 10:

Resultados de la prueba de jarras N° 05

Fecha	Hora	Turbidez Agua cruda	pH	Alcalinidad	Dureza	
10/04/2019	09:00 a.m.	7.22 NTU	7.24	28 ppm	20 ppm	
SULFATO DE ALUMINIO			POLICLORURO DE ALUMINIO			
Dosis (mg/L)	NTU	PH	Dosis sulfato (mg/L)	Dosis (mg/L)	NTU	PH
15	3.57	6.8	27	0.2	1.23	6.17
18	3.46	6.9	27	0.3	1.19	6.18
21	2.87	6.89	27	0.4	1.14	6.17
23	2.41	6.86	27	0.5	1.09	6.16
27	2.37	6.9	27	0.6	1.08	6.96
30	2.7	6.82	27	0.7	1.58	6.28
PROMEDIO		6.86	PROMEDIO		6.32	

Fuente: Datos de Laboratorio.

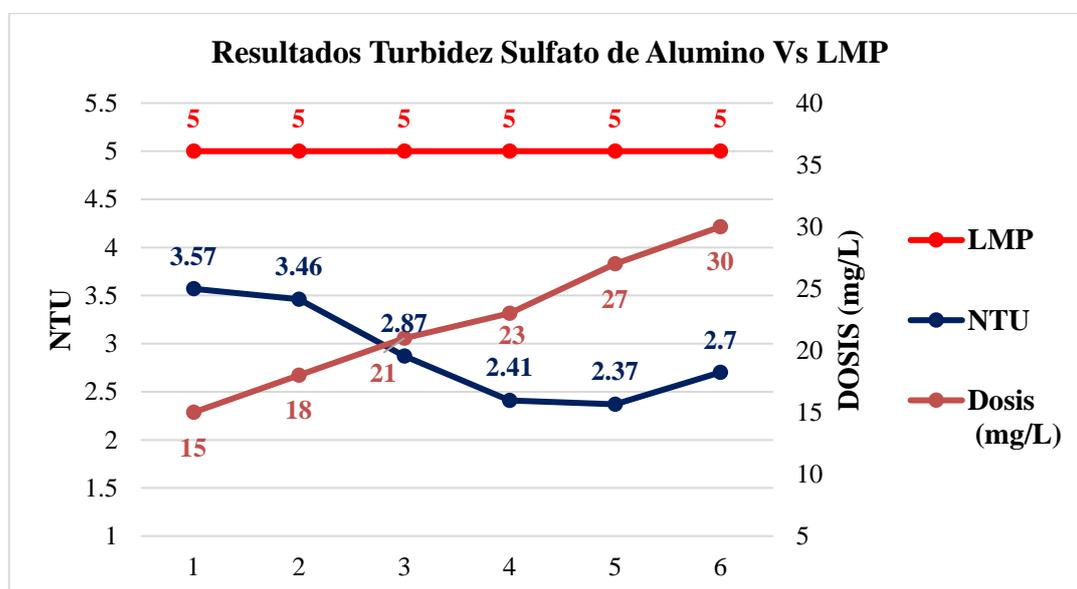


Ilustración 10: Turbidez Sulfato de aluminio Vs LMP.

Fuente: Datos de laboratorio.

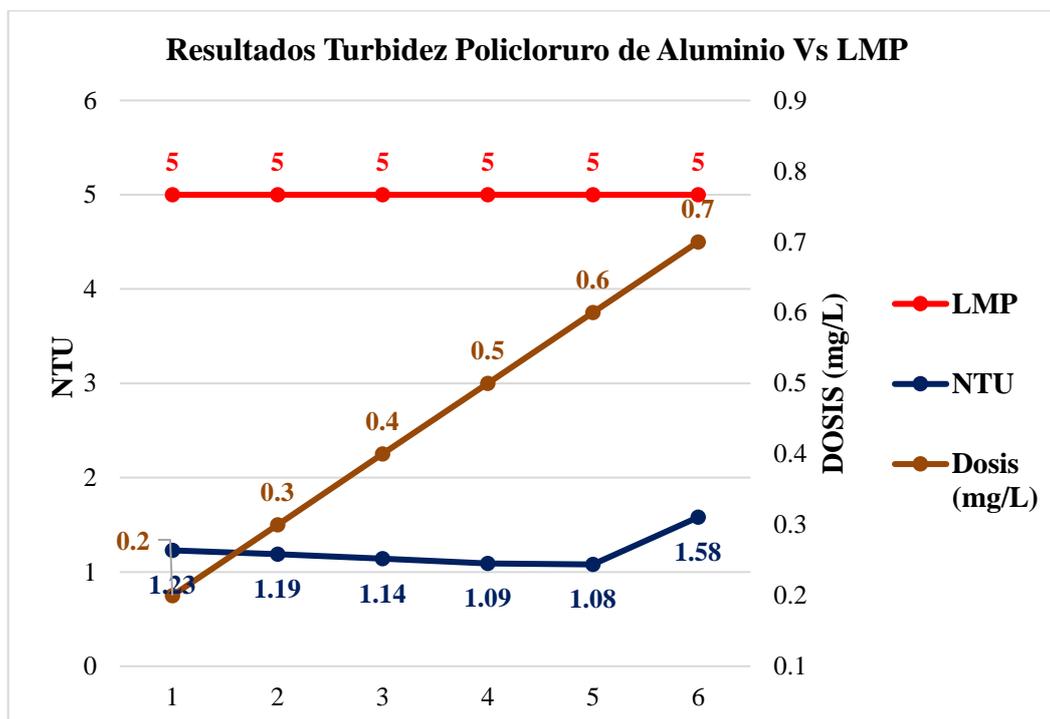


Ilustración 11: Turbidez Policloruro de aluminio Vs LMP.

Fuente: Datos de laboratorio.

En la tabla N° 10, se identifica que la dosis óptima para el sulfato de aluminio es de 27 mg/L, obteniendo una turbidez de 2.37 NTU. Para el policloruro de aluminio la dosis óptima es de 0.6 mg/L obteniendo una turbidez de 1.08 NTU.

Tabla 11:

Resultados de la prueba de jarras N° 06

Fecha	Hora	Turbidez Agua cruda	pH	Alcalinidad	Dureza	
11/04/2019	09:00 a.m.	7.5 NTU	6.98	28 ppm	20 ppm	
SULFATO DE ALUMINIO			POLICLORURO DE ALUMINIO			
Dosis (mg/L)	NTU	PH	Dosis sulfato (mg/L)	Dosis (mg/L)	NTU	PH
15	3.37	7.12	29	0.3	1.88	6.6
20	2.94	6.98	29	0.4	1.16	6.6
23	2.7	6.68	29	0.5	1.22	6.85
26	2.48	6.81	29	0.6	1.42	6.64
29	2.18	6.71	29	0.7	1.35	6.6
32	3.36	6.68	29	0.8	1.22	6.57
PROMEDIO		6.83	PROMEDIO		6.64	

Fuente: Datos de laboratorio.

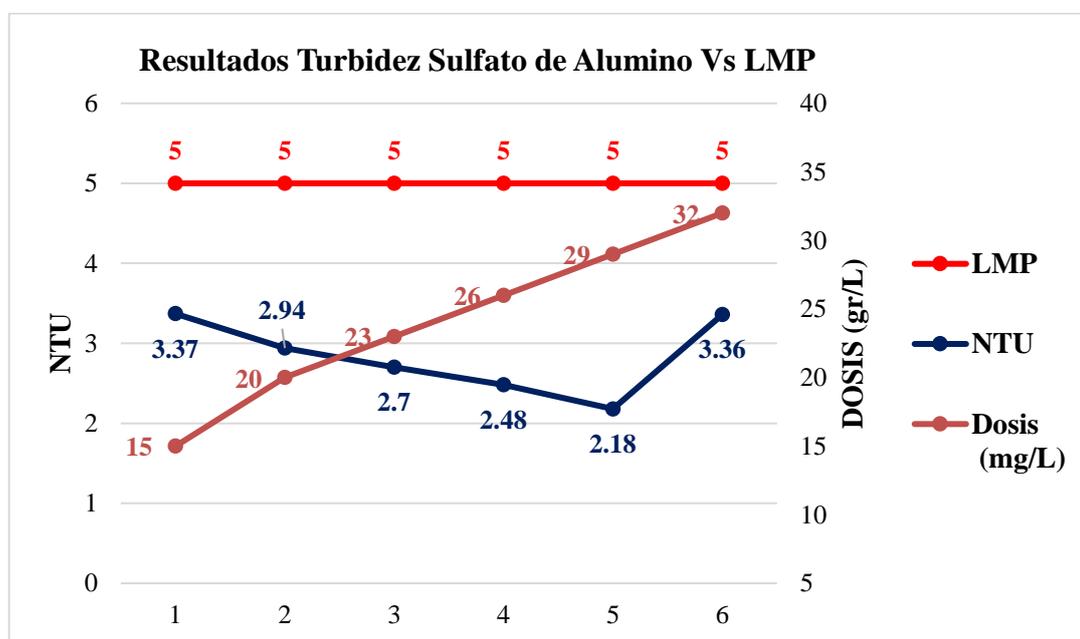


Ilustración 12: Turbidez Sulfato de aluminio Vs LMP.

Fuente: Datos de laboratorio.

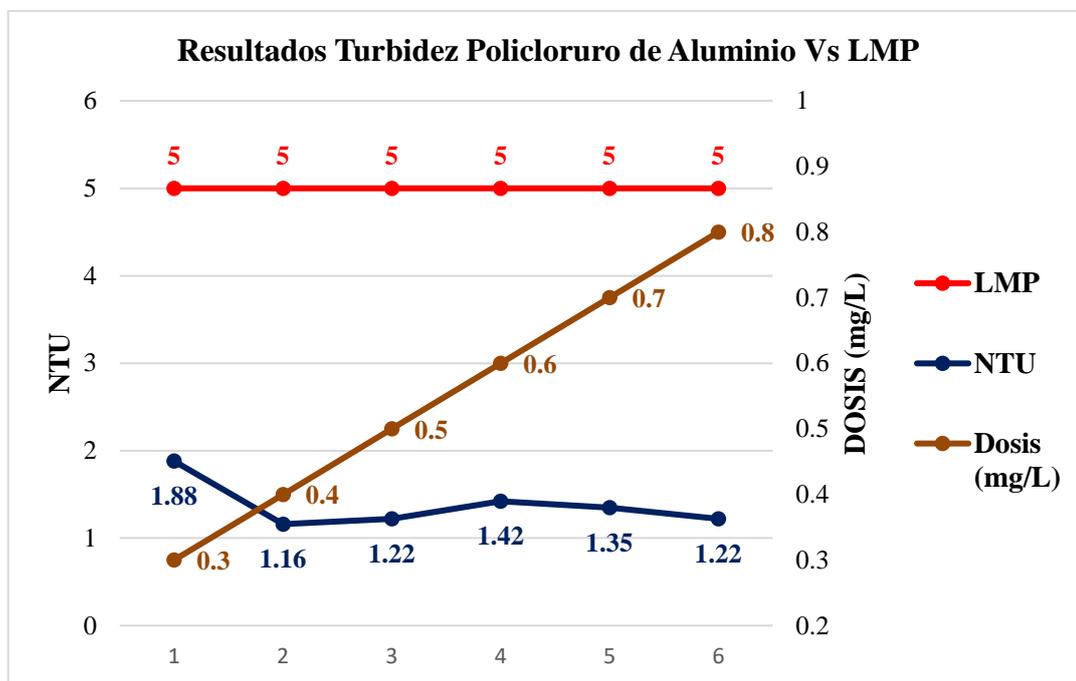


Ilustración 13: Turbidez Policloruro de aluminio Vs LMP.

Fuente: Datos de laboratorio.

En la tabla N° 11, se identifica que la dosis óptima para el sulfato de aluminio es de 29 mg/L, obteniendo una turbidez de 2.18 NTU. Para el policloruro de aluminio la dosis óptima es de 0.4 mg/L obteniendo una turbidez de 1.16 NTU.

Tabla 12:

Resultados de la prueba de jarras N° 07

Fecha	Hora	Turbidez Agua cruda	pH	Alcalinidad	Dureza	
12/04/2019	09:00 a.m.	21.6 NTU	7.69	26 ppm	24 ppm	
SULFATO DE ALUMINIO			POLICLORURO DE ALUMINIO			
Dosis (mg/L)	NTU	PH	Dosis sulfato (mg/L)	Dosis (mg/L)	NTU	PH
15	8.72	7.01	24	0.2	2.33	7.09
18	4.93	7.04	24	0.3	2.56	6.98
21	4.38	7.11	24	0.4	2.4	7.01
24	3.24	7.08	24	0.5	2.12	7
27	3.5	7.11	24	0.6	2.68	7.04
30	3.68	7.08	24	0.7	3.47	7.03
PROMEDIO		7.07	PROMEDIO		7.03	

Fuente: Datos de laboratorio.

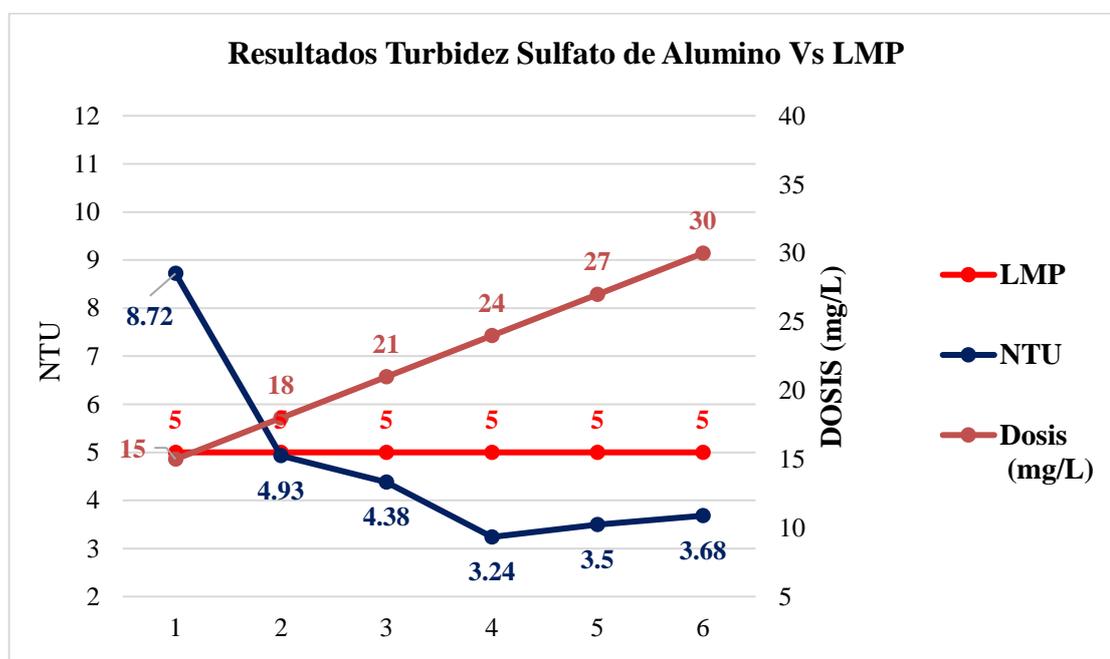


Ilustración 14: Turbidez Sulfato de aluminio Vs LMP.

Fuente: Datos de laboratorio.

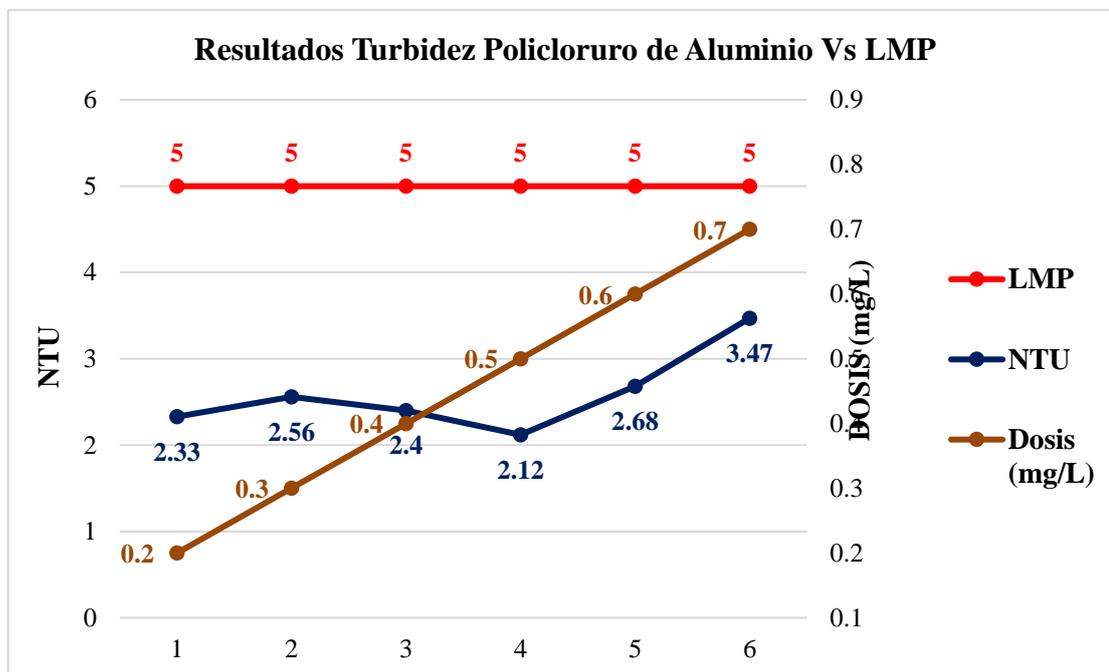


Ilustración 15: Turbidez Policloruro de aluminio Vs LMP.

Fuente: Datos de laboratorio.

En la tabla N° 12, se identifica que la dosis óptima para el sulfato de aluminio es de 24 mg/L, obteniendo una turbidez de 3.24 NTU. Para el policloruro de aluminio la dosis óptima es de 0.5 mg/L obteniendo una turbidez de 2.12 NTU.

Tabla 13:

Resultados de la prueba de jarras N° 08

Fecha	Hora	Turbidez Agua cruda	pH	Alcalinidad	Dureza	
15/04/2019	09:00 a.m.	7.63 NTU	7.64	30 ppm	20 ppm	
SULFATO DE ALUMINIO			POLICLORURO DE ALUMINIO			
Dosis (mg/L)	NTU	PH	Dosis sulfato (mg/L)	Dosis (mg/L)	NTU	PH
18	3.1	7	30	0.2	1.93	6.77
21	2.58	7.02	30	0.3	1.94	6.8
24	2.34	6.93	30	0.4	1.84	6.89
27	2.02	6.84	30	0.5	1.4	7.03
30	2.01	6.78	30	0.6	1.17	6.97
33	3.26	6.76	30	0.7	1.6	6.94
PROMEDIO		6.89	PROMEDIO		6.90	

Fuente: Datos de laboratorio.

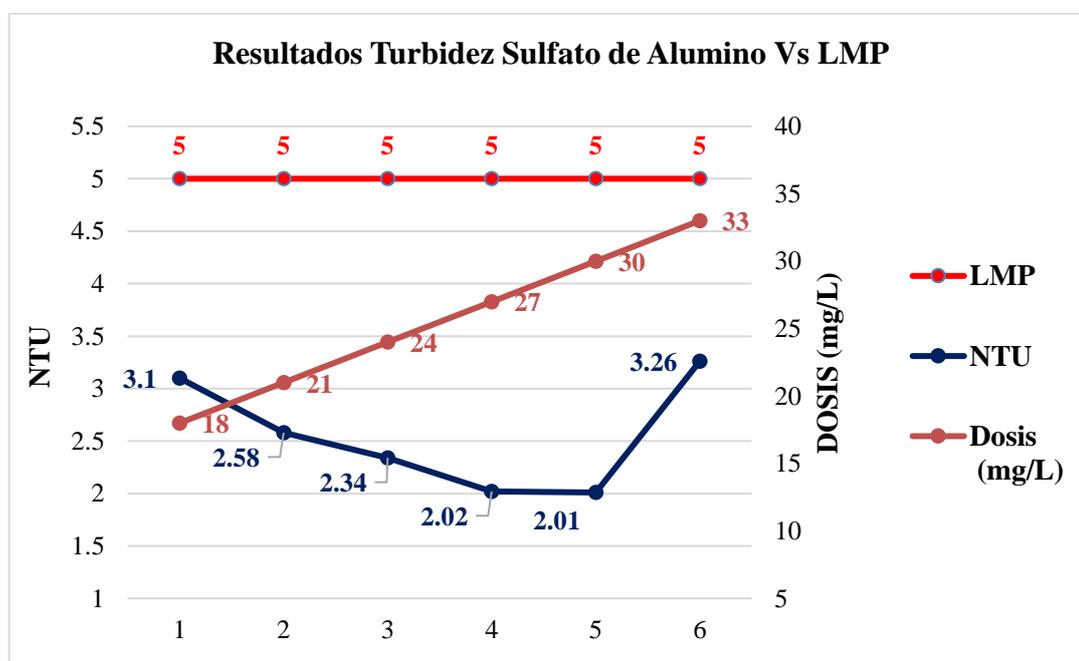


Ilustración 16: Turbidez Sulfato de aluminio Vs LMP.

Fuente: Datos de laboratorio.

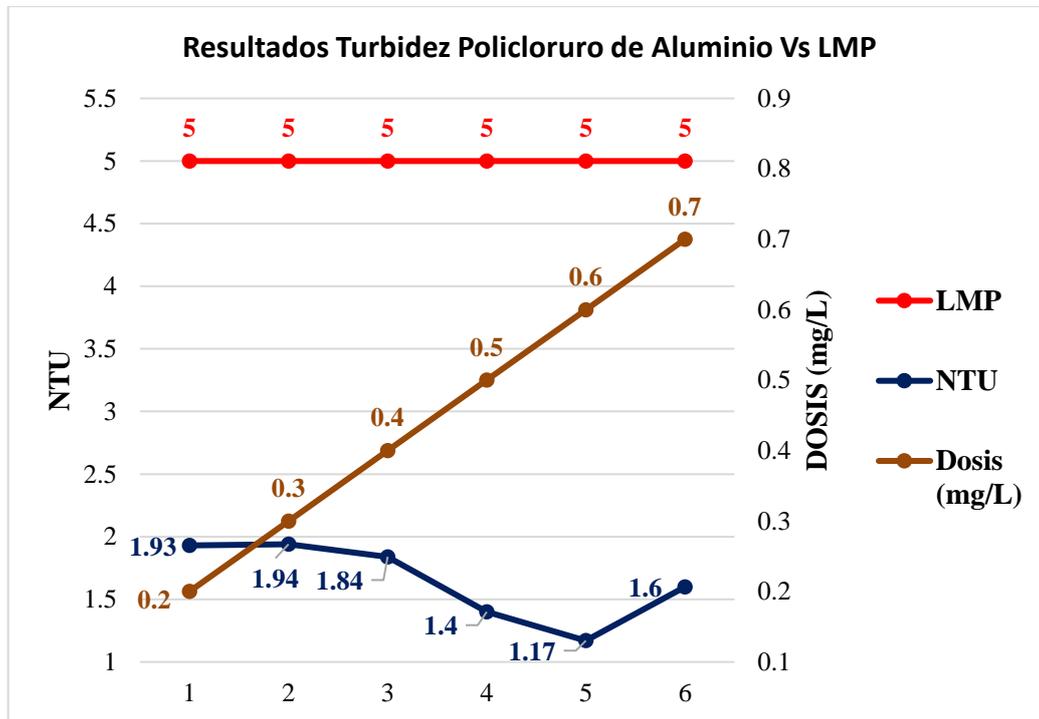


Ilustración 17: Turbidez Policloruro de aluminio Vs LMP.

Fuente: Datos de campo.

En la tabla N° 13, se identifica que la dosis óptima para el sulfato de aluminio es de 30 mg/L, obteniendo una turbidez de 2.01 NTU. Para el policloruro de aluminio la dosis óptima es de 0.6 mg/L obteniendo una turbidez de 1.17 NTU.

Luego de evaluar las dosis óptimas en cada una de las 8 pruebas realizadas se hace un análisis de los resultados para sacar el promedio de dosis de cada reactivo, resultados que se muestran en la siguiente tabla.

Tabla 14:

Resultados de las dosis óptimas de las 8 pruebas.

DATOS INICIALES	SULFATO DE ALUMINIO			POLICLORURO DE ALUMINIO				
	Día	Turbidez Inicial (NTU)	Turbidez Final (NTU)	Dosis Óptima (mg/L)	pH	Turbidez Final (NTU)	Dosis Óptima (mg/L)	pH
	01/03/2019	27	3.18	25	7.37	2.05	0.2	6.8
	06/03/2019	12.1	2.75	20	7.36	1.05	0.6	6.87
	05/04/2019	7.13	2.26	24	6.71	1.81	0.5	6.94
	09/04/2019	6.02	1.51	27	6.77	1.15	0.5	6.94
	10/04/2019	7.22	2.37	27	6.9	1.08	0.6	6.96
	11/04/2019	7.5	2.18	29	6.71	1.16	0.4	6.6
	12/04/2019	21.6	3.24	24	7.08	2.12	0.5	7
	15/04/2019	7.63	2.01	30	6.78	1.17	0.6	6.97
PROMEDIO	12.03	2.44	25.75	6.96	1.45	0.49	6.89	

Fuente: Datos de laboratorio.

En la tabla N° 14, se identifica la dosis óptima promedio para el sulfato de aluminio siendo de 25.75 (mg/L), la cual nos da como resultado una turbidez promedio de 2.44 NTU por debajo del LMP (5NTU).

Para el policloruro de aluminio se identifica una dosis óptima promedio de 0.49 (mg/L), la cual nos permite obtener una turbidez promedio de 1.45 NTU, también por debajo del LMP.

3.3. Evaluación de dosis óptima de policloruro de aluminio para remoción de Cu, Fe, Mn y Pb, según los parámetros de LMP

Se realizó una prueba para la remoción de 4 metales en un depósito de 2 litros al cual se le agregó 140 mg de policloruro de aluminio y se agitó a aproximadamente a 260 o 270 rpm por 1 minuto. Para luego mandar analizar la muestra obtenida como resultado, los datos se muestran a continuación.

Tabla 15:

Resultados de la remoción de metales con policloruro de aluminio.

Fecha	Hora	Turbidez Agua cruda	pH
15/04/2019	09:00 a.m.	12.1 NTU	5.8
ANALISIS	CONCENTRACIÓN INICIAL	CONCENTRACIÓN FINAL	LPM
PH	5.8	7.9	8.5
NTU	12.1	1.81	5
Cu(mg/L)	50	0.01	3
Fe(mg/L)	428	0.13	0.3
Mn (mg/L)	9.2	0.01	0.2
Pb(mg/L)	2.9	0.051	0.1

Fuente: Datos de laboratorio.

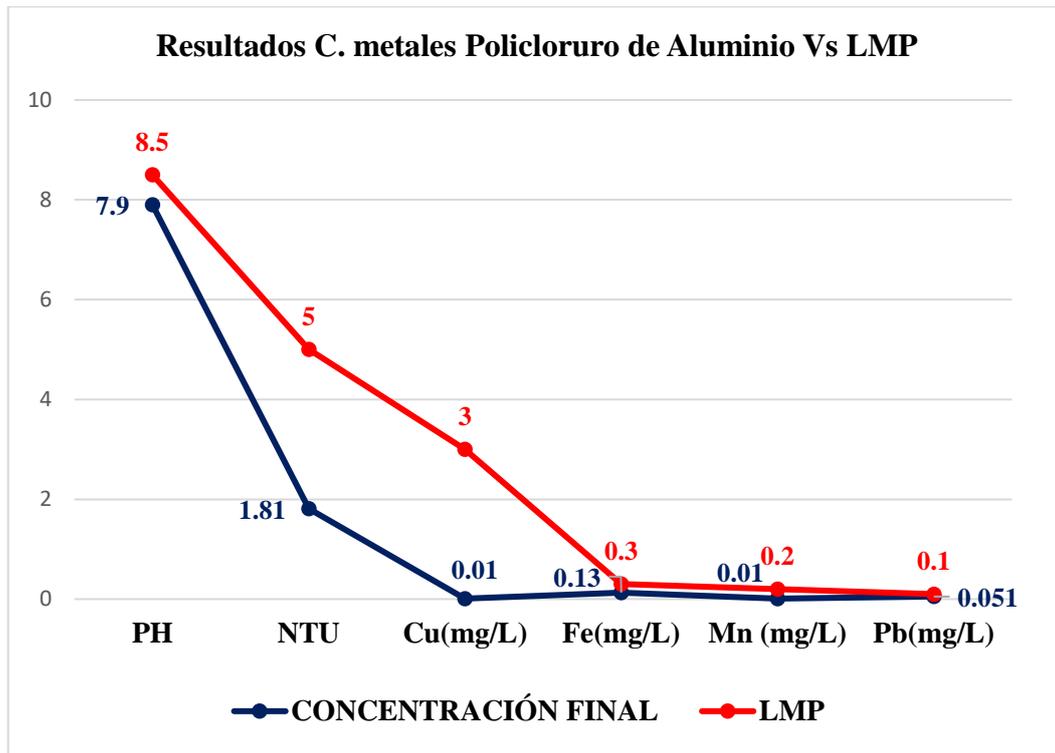


Ilustración 18: Remoción de metales - PAC Vs LMP.

Fuente: Datos de laboratorio.

Los resultados mostrados con respecto a la remoción de Cu, Fe, Mn y Pb utilizando policloruro de aluminio nos arrojan datos por debajo de los LMP establecidos por la Organización Mundial de la Salud, lo cual nos indica que es eficiente en procesos de depuración y remoción de metales.

3.4. Análisis de la eficiencia de los reactivos en el tratamiento de aguas residuales de mina

Con los datos obtenidos durante las pruebas realizadas, se calculó la eficiencia del sulfato de aluminio y policloruro de aluminio para el tratamiento de agua residual de mina.

Tabla 16:

Eficiencia del sulfato de aluminio (pH - Turbidez)

EFICIENCIA DEL SULFATO DE ALUMINIO				
Día	Turbidez Inicial (NTU)	Turbidez Final (NTU)	Diferencia	Eficiencia %
01/03/2019	27	3.18	23.82	88.22
06/03/2019	12.1	2.75	9.35	77.27
05/04/2019	7.13	2.26	4.87	68.30
09/04/2019	6.02	1.51	4.51	74.92
10/04/2019	7.22	2.37	4.85	67.17
11/04/2019	7.5	2.18	5.32	70.93
12/04/2019	21.6	3.24	18.36	85
15/04/2019	7.63	2.01	5.62	73.66
PROMEDIO	12.03	2.44	9.5875	79.73

Fuente: Datos de laboratorio.

La eficiencia promedio del Sulfato de aluminio como floculante en el tratamiento de aguas residuales de mina es de 79.73%.

Tabla 17:

Eficiencia del Policloruro de aluminio (pH - Turbidez)

EFICIENCIA DEL POLICLORURO DE ALUMINIO				
Día	Turbidez Inicial (NTU)	Turbidez Final (NTU)	Diferencia	Eficiencia
01/03/2019	27	2.05	24.95	92.41
06/03/2019	12.1	1.05	11.05	91.32
05/04/2019	7.13	1.81	5.32	74.61
09/04/2019	6.02	1.15	4.87	80.90
10/04/2019	7.22	1.08	6.14	85.04
11/04/2019	7.5	1.16	6.34	84.53
12/04/2019	21.6	2.12	19.48	90.19
15/04/2019	7.63	1.17	6.46	84.67
PROMEDIO	12.03	1.45	10.58	87.95

Fuente: Datos de laboratorio.

La eficiencia promedio del policloruro de aluminio como floculante en el tratamiento de aguas residuales de mina es de 87.95 %

CAPÍTULO IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

4.1 Discusión

Los resultados encontrados nos indican que los floculantes sulfato de aluminio y policloruro de aluminio son eficientes en un 79.73% y 87.95% durante el tratamiento de aguas residuales de mina, ya que en los análisis de muestras lograron bajar la turbidez del agua en promedio de 10 NTU, así mismo el pH lo mantienen dentro del parámetro que indican los LMP.

Al combinar los dos reactivos se obtuvo en promedio como dosis óptima 25.75 (mg/L) de sulfato de aluminio y 0.49 (mg/L) de policloruro de aluminio permiten realizar un proceso de tratamiento de aguas con resultados favorables y según los parámetros indicados en la normativa establecida por la OMS (Organización mundial de la salud).

El policloruro de aluminio es eficiente en la remoción de Cobre, Hierro, Manganeso y Plomo, ya que en la prueba realizada consiguió bajar las concentraciones de los metales pesados antes mencionados por debajo de los LPM, la dosis óptima para conseguir buenos resultados es de 70 (mg/L).

La determinación de las dosis óptimas de ambos floculantes fue determinante en la obtención de resultados favorables, lo cual nos permite apoyar lo descrito por Guerrero en su investigación del año 2012, en la cual indica que los tratamientos para la purificación de agua cruda resultan ser de suma importancia para la sociedad, ya que de estos tratamientos depende la calidad del agua para consumo humano,

doméstico y usos de diferente índole. Si dichos tratamientos se aplican de la manera correcta cada comunidad puede satisfacer el requerimiento esencial para la vida que es el agua pura.

El sulfato de aluminio realiza un excelente trabajo de floculación especialmente ayuda a bajar niveles de NTU de turbidez, y combinado con otros productos puede aumentar su eficiencia, lo cual nos permite apoyar lo descrito por Moscozo (2015) que realizó el estudio del uso de almidón de yuca como sustituto del sulfato de aluminio en el proceso de coagulación-floculación en sistemas de tratamiento de agua para potabilización Guatemala, como resultados importantes que se puede sustituir hasta un 60 % de sulfato de aluminio por almidón de yuca, para que se cumpla los límites máximos permisibles según las normas establecidas con estos resultados podemos concluir que el almidón de yuca puede sustituir al sulfato de aluminio hasta un 60 % de la dosis óptima, para lograr valores de turbiedad inferiores a 5 NTU.

4.2 Conclusiones

- Se evaluó la eficiencia del sulfato de aluminio y el policloruro de aluminio en aguas residuales de mina con presencia de metales pesados, de dichas pruebas se puede concluir que el sulfato de aluminio es un excelente floculante para aguas de una turbidez moderada (1S- 60 NTU), para aguas muy claras (menores de 20 NTU) es necesario utilizar el policloruro de aluminio como ayudante en la formación de flóculos.
- Las pruebas realizadas en laboratorio permitieron evaluar las dosis óptimas de ambos floculantes, para lo cual se utilizaron 25.75 (mg/L) de sulfato de aluminio y 0.49 (mg/L) de policloruro de aluminio estas cantidades permitieron obtener valores por debajo de los LMP.
- El policloruro de aluminio demostró ser un reactivo con excelentes resultados en la remoción de Cu, Fe, Mn y Pb, la dosis que se utilizó fue de 70 (mg/L); esto permitió reducir las concentraciones de los metales pesados antes mencionados por debajo de los LPM.
- La eficiencia de ambos reactivos se calculó con ayuda de los datos iniciales y finales, dando como resultado una eficiencia promedio de 79.73% para el sulfato de aluminio y 87.95% para el policloruro de aluminio.

REFERENCIAS

Barajas, C. & León, A. (2015). *Determinación de la Dosis Óptima de Sulfato de Aluminio $Al_2(SO_4)_3 \cdot 18H_2O$ en el Proceso de Coagulación – Floculación Para el Tratamiento de Agua Potable por Medio del uso de una Red Neuronal Artificial*. Bogotá, Colombia.

Castrillón, D. & Ángeles, M. (2012). *Determinación de las Dosis Óptimas del Coagulante Sulfato de Aluminio Granulado Tipo B en Función de la Turbiedad y el Color para la Potabilización del Agua en la Planta de Tratamiento de Villa Santana Determinación de las Dosis Óptimas del Coagulante Sulfato de Aluminio Granulado Tipo B en Función de la Turbiedad y el Color para la Potabilización del Agua en la Planta de Tratamiento de Villa Santana*. Risaralda, Colombia.

Claros, J. (2015). *Efectos del Polihidroxicloriguro de Aluminio, Velocidad de Agitación y PH en la Turbidez del agua del Río Shullcas*. Huancayo, Perú.

Dirección Regional de Salud (DIRESA). (2015). *Enfermedades diarreicas*, recuperado de: <http://saludmoquegua.gob.pe/>

Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI). (2007). *Perú encuesta demográfica y de Salud familiar ENDES. Informe principal*, recuperado de: <http://censos.inei.gob.pe/cpv2007>.

Kong, T. & Kang, S. (2011). Enfoque de la metodología de superficie de respuesta para optimizar los procesos de coagulación-floculación en tratamiento de agua potable. Corea.

Mantilla, P. (2013). *Extracción y modificación de almidón de plátano cuatro filos (musa abb del subgrupo silver bluggoe) para posible uso en el tratamiento de potabilización de aguas,* recuperado de: <http://190.242.62.234:8080.jspui/handle/11227/294>.

Mendoza, E. (2009). *Tratamiento de Aguas Residuales Procedentes de la Planta de Curtiembre del Centro de Investigación y Producción de la Facultad de Ingeniería Química. (tesis de pregrado).* Facultad de Ingeniería de Química. Universidad Nacional del Altiplano. Puno, Perú.

Ministerio del Ambiente (MINAM). (2008). *D. S. N°002-2008-MINAM. Aprueban estándares nacionales de calidad ambiental para agua.* Publicada en el diario el peruano 377222 el 31 de julio del 2008, recuperado de: <http://larepublica.pe/23-03-2010/reglamento-de-calidad-de-agua-para-el-consumo-humano>.

Ministerio del Ambiente (MINAM). (2015). *D.S.N° 015-2015-MINAM. Modifica los ECAs para agua y establecen disposiciones complementarias para su aplicación,* recuperado de:

<http://www.ana.gob.pe/sites/default/files/normatividad/files/ds-ndeg-015-2015-minam.pdf>.

Ministerio de Salud (MINSA). (2010). D. S. N°031-2010-SA. *Límites Máximos Permisibles de parámetros de calidad organoléptica del reglamento de calidad de agua para consumo humano*, recuperado de: http://www.digesa.minsa.gob.pe/publicaciones/descargas/reglamento_calidad_agua.pdf

Morales, L. (2010). *Tratamiento de efluentes ácidos por NDS (Neutralización coagulante dinámica), para la optimización del proceso. (tesis pregrado)*. Facultad de Ingeniería Geológica e Ingeniería Metalúrgica. Universidad Nacional del Altiplano. Puno, Perú.

Moscozo, A. (2015). *Almidón de yuca como sustituto del sulfato de aluminio en el proceso de coagulación-floculación en sistemas de tratamiento de agua para potabilización*. Guatemala, recuperado de: http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08_0462_MT.pdf.

Parella, S. & Martins, F. (2012). *Metodología de la investigación cuantitativa*, Florencia, Venezuela. Recuperado de <https://www.docsity.com/es/disenio-tipo-nivel-y-modalidad-de-parella-y-martins/2733947/>

Solier, L. (2014). *Evaluación de la eficiencia del floculante de sulfato de Aluminio y Polifloc (policloruro de aluminio) empleado en la depuración de aguas con baja turbiedad en la planta de tratamiento de agua potable Quicapata.* (tesis pregrado). Universidad nacional San Cristóbal de Huamanga. Ayacucho, Perú.

Suárez, D & Trujillo, P. (2011). Diseño y construcción de un equipo de prueba de jarras para la tratabilidad de aguas residuales. Ecuador.

Vargas, R. (2009). La Investigación aplicada: *una forma de conocer las realidades con evidencia científica.* Vol. (33), p.161.

ANEXOS

ANEXO N° 01: Formato de toma de datos de laboratorio

		Turbidez Agua					
Fecha:	Hora:	cruda:	Ph:	Alcalinidad:	Dureza:		
SULFATO DE ALUMINIO			POLICLORURO DE ALUMINIO				
Dosis (mg/L)	NTU	PH	Dosis sulfato (mg/L)	Dosis (mg/L)	NTU	PH	
PROMEDIO				PROMEDIO			

Fuente: Elaboración propia.

ANEXO N° 02: Fotografías del trabajo de laboratorio.



Foto N° 1: Medición de las muestras de agua en laboratorio.



Foto N° 02: Medición de las muestras de agua en laboratorio.