



REPÚBLICA DEL ECUADOR

UNIVERSIDAD ESTATAL DE MILAGRO

DIRECCIÓN DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO

**PROYECTO DE INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO PREVIO A LA OBTENCIÓN
DEL TÍTULO DE:**

MAGÍSTER EN QUÍMICA APLICADA

TEMA:

**ANÁLISIS COMPARATIVO ENTRE EL HIDROXICLORURO DE ALUMINIO Y
SULFATO DE ALUMINIO COMO ALTERNATIVA COAGULANTE EN LA PLANTA
DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE "MAHUARCAY" EN LA CIUDAD DE
AZOGUES.**

AUTOR

VERÓNICA DANIELA CRESPO ARGUDO

DIRECTOR

M.Sc. MÓNICA VILLAMAR AVEIGA

MILAGRO, 2021

ACEPTACIÓN DEL TUTOR

Yo, **MÓNICA DEL ROCÍO VILLAMAR AVEIGA** en mi calidad de director del trabajo de titulación, elaborado por **VERÓNICA DANIELA CRESPO ARGUDO**, cuyo tema es **ANÁLISIS COMPARATIVO ENTRE EL HIDROXICLORURO DE ALUMINIO Y SULFATO DE ALUMINIO COMO ALTERNATIVA COAGULANTE EN LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE “MAHUARCAY” EN LA CIUDAD DE AZOGUES**, que aporta a la Línea de Investigación **Desarrollo Sostenible**, previo a la obtención del Grado de **Magíster en Química Aplicada**. Trabajo de titulación que consiste en una propuesta innovadora que contiene, como mínimo, una investigación exploratoria y diagnóstica, base conceptual, conclusiones y fuentes de consulta, considero que el mismo reúne los requisitos y méritos necesarios para ser sometido a la evaluación por parte del tribunal calificador que se designe, por lo que lo APRUEBO, a fin de que el trabajo sea habilitado para continuar con el proceso de titulación de la alternativa de Informe de Investigación de la Universidad Estatal de Milagro.

Milagro, 05 marzo 2023



Escaneado digitalmente por:
**MÓNICA DEL ROCÍO
VILLAMAR AVEIGA**

MÓNICA DEL ROCÍO VILLAMAR AVEIGA

CI: 0918306507

DECLARACIÓN AUTORÍA

El / la autor/a de esta investigación declara ante el Comité Académico del Programa de Maestría en Química Aplicada de la Universidad Estatal de Milagro, que el trabajo presentado de mi propia autoría, no contiene material escrito por otra persona, salvo el que está referenciado debidamente en el texto; parte del presente documento o en su totalidad no ha sido aceptado para el otorgamiento de cualquier otro Título de una institución nacional o extranjera.

Milagro, 03 de mayo del 2023



VERÓNICA DANIELA CRESPO ARGUDO
CI: 0302397328

VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO

DIRECCIÓN DE POSGRADO

CERTIFICACIÓN DE LA DEFENSA

EL TRIBUNAL CALIFICADOR previo a la obtención del título de MAGÍSTER EN QUÍMICA APLICADA, presentado por ING CRESPO ARGUDO VERONICA DANIELA, otorga al presente proyecto de investigación denominado "ANÁLISIS COMPARATIVO ENTRE EL HIDROXICLORURO DE ALUMINIO Y SULFATO DE ALUMINIO COMO ALTERNATIVA COAGULANTE EN LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE "MAHUARCAY" EN LA CIUDAD DE AZOGUES.", las siguientes calificaciones:

TRABAJO DE TITULACION	55.00
DEFENSA ORAL	34.00
PROMEDIO	89.00
EQUIVALENTE	Muy Bueno



Firmado electrónicamente por:
CARMEN SAGRARIO
HERNANDEZ DOMINGUEZ

Dr. HERNANDEZ DOMINGUEZ CARMEN SAGRARIO
PRESIDENTE/A DEL TRIBUNAL



Firmado electrónicamente por:
LUIS FRANKLIN
MALDONADO HOLGUIN

Mgtr. MALDONADO HOLGUIN LUIS FRANKLIN
VOCAL



Firmado electrónicamente por:
MANUEL
ALEJANDRO
FIALLOS
CARDENAS

Mgtr. FIALLOS CARDENAS MANUEL ALEJANDRO
SECRETARIO/A DEL TRIBUNAL

DEDICATORIA

El presente trabajo le dedico a mis padres Carlos y Laura, a mi esposo, a mi hijo Sebas y mis hermanas, por ser el pilar fundamental para culminar con mi maestría, que gracias al apoyo constante de ellos y también de mis hermanas no hubiese podido alcanzar esta meta, gracias, a Dios por la salud para poder culminar con mi tesis.

AGRADECIMIENTO

Mi sincero agradecimiento a:

- La Universidad Estatal de Milagro (UNEMI).
- A la M.Sc. Mónica Villamar, directora de la Tesis, por la ayuda incondicional prestada en el desarrollo de este trabajo.
- A EMAPAL EP en la persona del Ing. Santiago Luna, Gerente de la Empresa por la facilidad ofrecida.

DERECHOS DE AUTOR

**Sr. Dr.
Fabricio Guevara Viejó
Rector de la Universidad Estatal de Milagro
Presente.**

Yo, VERÓNICA DANIELA CRESPO ARGUDO en calidad de autor y titular de los derechos morales y patrimoniales de este informe de investigación, mediante el presente documento, libre y voluntariamente cedo los derechos de Autor de este proyecto de desarrollo, que fue realizada como requisito previo para la obtención de mi Grado, de MAGÍSTER EN QUÍMICA APLICADA, como aporte a la Línea de Investigación DESARROLLO SOSTENIBLE de conformidad con el Art. 114 del Código Orgánico de la Economía Social de los Conocimientos, Creatividad e Innovación, concedo a favor de la Universidad Estatal de Milagro una licencia gratuita, intransferible y no exclusiva para el uso no comercial de la obra, con fines estrictamente académicos. Conservo a mi favor todos los derechos de autor sobre la obra, establecidos en la normativa citada.

Así mismo, autorizo a la Universidad Estatal de Milagro para que realice la digitalización y publicación de este Proyecto de Investigación en el repositorio virtual, de conformidad a lo dispuesto en el Art. 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior.

El autor declara que la obra objeto de la presente autorización es original en su forma de expresión y no infringe el derecho de autor de terceros, asumiendo la responsabilidad por cualquier reclamación que pudiera presentarse por esta causa y liberando a la Universidad de toda responsabilidad.

Milagro, 3 de mayo 2023



VERÓNICA DANIELA CRESPO ARGUDO
Ci: 0302397328

ÍNDICE

DEDICATORIA.....	v
AGRADECIMIENTO.....	vi
ÍNDICE	viii
LISTA DE FIGURAS	x
LISTA DE TABLAS.....	xi
LISTA DE SIGLAS	xii
LISTA DE ABREVIATURAS.....	xiii
LISTA DE SIMBOLOS.....	xiv
RESUMEN	xv
ABSTRACT	xvi
INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO I: El problema de la investigación	2
1.1 Planteamiento del problema	2
1.2 Delimitación del problema.....	2
1.3 Formulación del problema	2
1.4 Objetivo general.....	3
1.5 Objetivos específicos.....	3
1.6 Hipótesis.....	3
1.7 Justificación	3
1.8 Alcance y limitaciones	4
CAPÍTULO II: Marco teórico referencial	5
2.1 Antecedentes	5
2.1.1 Breve historia de la PTAP de Mahuarcay	5
2.1.2 Tipo de Planta.....	5
2.1.3 Procesos de potabilización en la PTAP de Mahuarcay.....	6
2.1.4 Características del agua.....	7
2.1.5 Coagulantes utilizados en la potabilización del agua.....	11
CAPITULO III: Diseño metodológico	12
3.1 Tipo de Investigación.....	12
3.2 Diseño Experimental	12
3.2.1 Proceso de selección de muestra.....	12

3.3	Métodos y técnicas	12
3.3.1	Medición de pH	12
3.3.2	Medición de turbidez	13
3.3.3	Medición de color.....	13
3.3.4	Test de jarras	14
3.3.5	Determinación de la curva de calibración.....	15
CAPÍTULO IV: Análisis y discusión de resultados.....		16
CAPITULO V: Conclusiones y Recomendaciones		30
5.1	Conclusiones.....	30
5.2	Recomendaciones	31
BIBLIOGRAFÍA		32

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Curva de Dosificación del Sulfato de Aluminio	20
Figura 2: Curva de Dosificación del Hidroxicloruro de Aluminio	21
Figura 3: Grafica de valores del parámetro turbidez.....	24
Figura 4: Comparación del color con los dos coagulantes	26
Figura 5: Porcentaje de Remoción del color	27
Figura 6: Grafica de la variación del pH.....	28

LISTA DE TABLAS

Tabla 1: Características del agua.....	7
Tabla 2: Resumen de resultados de replicas	17
Tabla 3: Dosificación del Sulfato de aluminio en mg/l	19
Tabla 4: Dosificación del Hidroxicloruro de Aluminio en mg/l	20
Tabla 5: Análisis comparativo del sulfato de aluminio vs hidroxocloruro de aluminio.....	22
Tabla 6: Parámetro turbidez.....	23
Tabla 7:Comparación del parámetro color	25
Tabla 8: Variación del Ph.....	27

LISTA DE SIGLAS

NTU: Nephelometric Turbidity Unit

INEN: Servicio Ecuatoriano de Normalización

UNEMI

LISTA DE ABREVIATURAS

AC	:	Agua Cruda
PTAP	:	PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE
PACI	:	HIDROXICLORURO DE ALUMINIO
SAL	:	SULFATO DE ALUMINIO

LISTA DE SIMBOLOS

Pt-Co : Platino Cobalto

UNEMI

RESUMEN

La remoción de turbidez es un proceso fundamental en el tratamiento de potabilización del agua cruda, que eleva los costos de producción; donde el sulfato de aluminio utilizado como coagulante no logra coagular la turbidez >200 NTU en la planta de tratamiento “Mahuarca”, para lo cual se propone evaluar la efectividad del hidroxiclورو de aluminio como alternativa coagulante en el proceso de coagulación. Se utilizó la prueba de jarra para determinar la dosis de químico requerido y métodos espectrofotométricos para turbidez, color, pH. El hidroxiclورو de aluminio entre 10 a 710 NTU con las dosis obtenidas removieron el 97,70% de turbidez y el 90,54% con sulfato de aluminio; además, también existió la remoción del color obteniéndose un 94,02% con el sulfato de aluminio y un 98,67% de hidroxiclورو de aluminio, la variación la curva de dosificación dio como resultado un coeficiente de correlación $R= 0,96$ cercano a uno; siendo los datos confiables.

Palabras claves: *coagulantes, tratamiento, hidroxiclورو, sulfato de aluminio*

ABSTRACT

Turbidity removal is a fundamental process in the purification treatment of raw water, which raises production costs; where the aluminum sulfate used as a coagulant fail to coagulate the turbidity >200 NTU in the "Mahuarcay" treatment plant, for which it is proposed to evaluate the effectiveness of aluminum hydroxychloride as a coagulant alternative in the coagulation process. The jar test was used to determine the required chemical dose and spectrophotometric methods for turbidity, color, pH Aluminum hydroxychloride between 10 and 710 NTU with the doses obtained removed 97.70% of turbidity and 90.54% with aluminum sulfate; In addition, there was also the removal of color, obtaining 94.02% with aluminum sulfate and 98.67% with aluminum hydroxychloride, the variation in the dosage curve resulted in a correlation coefficient $R= 0.96$ close to one; the data being reliable.

Keywords: *coagulants, treatment, hydroxychloride, aluminum sulfate*

INTRODUCCIÓN

El agua cruda que ingresa a la “Planta de Tratamiento de Mahuar cay (PTM) “, que suministra toda a la ciudad de Azogues, es sometida a diferentes procesos para su potabilización; entre esos se encuentra la coagulación que sirven para eliminar los sólidos en suspensión, los sólidos disueltos y partículas coloidales. En esta planta se hace uso del sulfato de aluminio para dicho proceso, pero a lo largo de los años se ha observado que este coagulante no se diluye de manera correcta, lo cual produce que en los tanques de preparación quede sedimentación; además que cuando se hace la limpieza de los mismos el agua se desfoga hacia las quebradas ocasionando contaminación ambiental. Según el criterio de los operadores de la planta; se concluye que el sulfato de aluminio no es eficiente y en épocas invernales en donde el agua presenta condiciones extremas en sus parámetros físicos es aún más ineficiente; por ello se ha visto la necesidad de evaluar la efectividad de otros coagulantes. (EMAPAL, 2004).

Es así donde se propone este trabajo de investigación para evaluar la efectividad del hidroxiclورو de aluminio, para mejorar del proceso de coagulación en la “Planta de Tratamiento Mahuar cay” en la ciudad de Azogues y compararlo con el sulfato de aluminio (EMAPAL, 2004) (Cogollo, 2017).

Este trabajo se fundamenta en la naturaleza de los objetivos y en la información recopilada para la resolución del problema, clasificándose de esta manera, en un tipo de investigación experimental y cuantitativa, se va a utilizar una alternativa de coagulante como es el hidroxiclورو de aluminio para establecer la dosis óptima y compararlo con el sulfato de aluminio para la remoción de la turbidez y color del agua cruda, mediante ensayo de jarras.

CAPÍTULO I: El problema de la investigación

1.1 Planteamiento del problema

La “Planta de Tratamiento de agua potable de Mahuar cay”, necesita constantemente utilizar reactivos químicos para la potabilización del agua, aumentar la capacidad de producción y, lo que es más importante, mejorar la calidad del agua para satisfacer las necesidades de la ciudad de Azogues. Por ello, para dar respuesta a estas necesidades, se decidió un proyecto encaminado a decidir cuál es el mejor coagulante durante el proceso de coagulación utilizando hidroxiclورو de aluminio que en contraste con el sulfato de aluminio, garantiza mejores resultados, porque aumenta la retención de sólidos en suspensión, funciona en un amplio rango de pH y mejora la remoción de la turbidez y por ende, también mejora la eliminación del color del agua, sobre todo el hidroxiclورو de aluminio al actuar con una menor dosis ayuda a que el operador no esté todo el tiempo en contacto con los reactivos.

1.2 Delimitación del problema

El presente estudio fue realizado en la “Planta de Tratamiento Mahuar cay” de la Empresa Pública EMAPAL EP, que está ubicada a 2810 m sobre el nivel del mar, al noreste de la ciudad de Azogues, a unos 5 km del centro de la ciudad (área residencial). Recibe su nombre porque se encuentra ubicado en la parroquia de Bayas, sector Legabuga (EMAPAL, 2004).

1.3 Formulación del problema

La eliminación de la turbidez es un proceso clave de tratamiento de agua cruda que aumenta los costos de producción; donde el sulfato de aluminio utilizado como coagulante no coagula una turbidez mayor de 200 NTU en la “Planta de Tratamiento Mahuar cay”, con esto se propone evaluar la efectividad del hidroxiclورو de aluminio como coagulante alternativo para el proceso de coagulación.

1.4 Objetivo general

Evaluar la efectividad del hidroxiclورو de aluminio como alternativa coagulante en el proceso de coagulación de la “Planta de Tratamiento Mahuar cay”.

1.5 Objetivos específicos

- Obtener la dosis óptima del hidroxiclورو de aluminio mediante la prueba de jarras.
- Estandarizar la curva de dosis óptima del sulfato de aluminio mediante la prueba de jarras.
- Análisis de los datos obtenidos de los coagulantes hidroxiclورو de aluminio y sulfato de aluminio mediante el programa de Excel.

1.6 Hipótesis

Ho: ¿Los dos coagulantes: hidroxiclورو de aluminio y sulfato de aluminio presentan igual o diferente remoción de sólidos en suspensión?

Ha: ¿El hidroxiclورو de aluminio es un coagulante superior al sulfato de aluminio por presentar mayor remoción de sólidos?

1.7 Justificación

La “Planta de Tratamiento de agua potable Mahuar cay”, cuenta con tres procesos de tratamiento que son la coagulación, filtración y desinfección. El agua es captada en los afluentes en el “Llaucay y Nudpud”, mismas que corresponden a la parte alta de la microcuenca del “Tabacay”, abastecen de agua a la “Planta de Mahuar cay” con una capacidad máxima de 120 l/s esta etapa el agua presenta contaminación por partículas coloidales que deben ser removidas por medio de la sedimentación. (EMAPAL, 2004).

En el proceso de coagulación, es esencial la utilización de reactivos químicos que interactúen con el agua y permitan tanto la desestabilización de los coloides como su aglomeración, para una posterior sedimentación. El coagulante que se emplea en “Mahuarcay” es el sulfato de aluminio, pero la aplicación de este provoca en el agua una disminución del pH y, por ende, un aumento de aplicación de cal para contrarrestarlo; por el contrario, el hidroxiclورو de aluminio trabaja en un amplio rango de pH, es decir, realiza su función como coagulante sin afectar su pH; con lo cual disminuiría la aplicación de cal e indirectamente se vería reflejado en los costos, también es una mejor alternativa medioambiental, debido a que cuando se prepara el sulfato de aluminio deja demasiado sedimento en los tanques de preparación y el hidroxiclورو de aluminio no deja ningún tipo de sedimento en los tanques de preparación. (Cogollo, 2017).

Por otra parte, el uso de productos químicos, más específicamente los coagulantes con sales de aluminio puede provocar un aumento residual de aluminio en el agua tratada, donde la concentración máxima permitida según la Norma INEN 1108 es de 0,2 mg/L, de esta forma también se genera mayores costos en la remoción. Por lo antes expuesto, el eje de esta investigación se enfocará en la selección, determinación y comparación de la dosis óptima del mejor coagulante teniendo en cuenta su eficacia en características como turbiedad, color, variación del pH, en las aguas tratadas por medio de análisis físicos.

1.8 Alcance y limitaciones

El trabajo de investigación tiene como alcance solo el proceso de coagulación dentro de la “Planta de Tratamiento de agua potable Mahuarcay” de la Empresa Pública “EMAPAL EP”.

CAPÍTULO II: Marco teórico referencial

2.1 Antecedentes

2.1.1 Breve historia de la PTAP de Mahuarcay

Para mejorar tanto la calidad como la cantidad del sistema, en 2002 se hizo necesaria la construcción de una nueva planta de tratamiento de agua cruda, la cual trataría el agua de las captaciones de “Llaucay y Nudpud”, que pertenecen a la microcuenca “Tabacay”, que suministra el agua a la “Planta de Mahuarcay” con una capacidad máxima de 120 l/s. La conducción desde estas captaciones se realiza mediante tubería y canales de hormigón, recorre un total de ocho kilómetros antes de llegar a la planta y pasa por la parte baja de la Microcuenca de “Tabacay” por los sectores de “Condoryacu, Corazón Urco, Rosario y Rubies”. (EMAPAL, 2004).

El agua tratada de la “Planta de Mahuarcay” y “Uchupucún” se juntan para llegar al repartidor de caudales; este está conformado por canales y compuertas que regulan su salida a las reservas. Esta agua abastece a cinco zonas y estas son: “Reserva de la Zona Principal”, “Reserva de la Zona La Playa”, “Reserva de la Zona Media”, “Reserva de la Zona de Zhapacal” y “Reserva de la Zona Alta”. Cabe mencionar que las redes de agua de la “Zona Principal alta y media” se construyeron a partir del año de 1987 y las de la “Zona La Playa y Zhapacal” fueron construidas en el transcurso de los años de 2004 y 2006. (Gutiérrez, 2017).

2.1.2 Tipo de Planta

Es una planta convencional con operación por gravedad que integra procesos que utilizan coagulación, sedimentación, filtración rápida y desinfección, sulfato de aluminio, polímeros y cloro gaseoso. En el futuro, este centro de producción podría recibir energía durante un período suficientemente largo (2020 o 2230) de nuevas fuentes de energía diseñadas para satisfacer las necesidades de la población. Cuenta con edificaciones auxiliares para almacenamiento y administración de químicos, laboratorios de control, salas de comando, operaciones administrativas

y de seguridad, caminos, jardines y espacios verdes de circulación interna (Zhindón, 2011)

2.1.3 Procesos de potabilización en la PTAP de Mahuarcay

El proceso de potabilización del agua cruda consiste en la eliminación de sólidos en suspensión junto con la materia coloidal, mediante procesos físicos y químicos para formar partículas de mayor tamaño y más fácil de eliminar. Todos estos procesos se realizan en las plantas de potabilización con el fin de obtener agua apta para el consumo humano libre de contaminantes; pero esta tecnología también se utiliza para aguas residuales, agua doméstica, el mismo que consta de aeración, coagulación, floculación, sedimentación, filtración y cloración. (Zhindón, 2011).

2.1.3.1 Coagulación

La coagulación es el proceso donde las cargas de los sólidos suspendidos se neutralizan en el agua; ya que naturalmente estas partículas tienen carga negativa, por lo que se agrega al proceso un coagulante o un químico con carga positiva para neutralizar la carga. Hay cuatro mecanismos fisicoquímicos involucrados en el proceso de agregación y la formación de floculantes, incluida la absorción de carga y la neutralidad de carga. Absorción, reticulación entre partículas y compresión bicapa (Cabrera Bermúdez et al., 2009).

La etapa de la coagulación se le considera el proceso más importante en el tratamiento del agua, pues su uso implica la eliminación de partículas sólidas suspendidas gracias al aditamento de coagulantes químicos; sin embargo el uso de estos químicos presenta algunos inconvenientes como el económico ya que su adquisición representa altos costos; además, genera grandes cantidades de lodos y afectan el valor del pH del agua tratada (Guzmán et al., 2013).

El proceso de coagulación inicia con las adiciones de químicos como son las sales de aluminio y hierro; seguido de estos se dan dos fenómenos, uno químico y otro físico. El primero que es el químico consiste en la reacción del coagulante con el agua, dando lugar a la formación de partículas hidrolizadas cargadas positivamente; recordando que al inicio todas las partículas tienen carga negativamente, es así que las neutraliza. Este primer fenómeno depende totalmente de la concentración del coagulante y el pH de la mezcla. El segundo fenómeno es esencialmente físico, aquí las partículas hidrolizadas que se forman en la primera etapa son transportadas y expuestas a los contaminantes del agua o mecanismos de coagulación (Veliz et al., 2016).

La evaluación de este proceso deben considerar tanto las propiedades químicas con las físicas del agua; además de la dosis, concentración y donde se aplica el coagulante, al igual que la fuerza, tiempo de mezcla y el tipo de coagulante mezclador. Diferentes estudios han mostrado que la concentración del coagulante afecta directamente a la eficiencia de la mezcla rápida y por ende altera el resultado en todo el proceso de coagulación; es por eso que se debe seleccionar los valores óptimos en el laboratorio, para que estos datos puedan trasladarse a la planta de tratamiento de agua potable (Baque, 2018).

2.1.4 Características del agua

El agua cruda es una solución con varios compuestos adjuntos que adquieren un tipo de carácter diferente según cada proceso del ciclo del agua con la composición del suelo, el lugar y los procesos químicos y físicos que ocurren durante su paso. El agua tiene varias propiedades que la distinguen de otras dependiendo de la ubicación y el proceso en el que se produjo (Rodríguez et al., 2017), estas características podrían ser:

Tabla 1: Características del agua.

Físicas	Químicas
Turbidez	pH
Color	

2.1.4.1 Turbidez

La turbidez son todas las partículas suspendidas o coloides presentes en el agua, estas partículas que componen el sistema coloidal pueden ser arcilla, limo, tierra finamente dividida, entre otras; es decir toda aquella partícula que por su tamaño minúsculo flota y limita en gran medida la claridad del agua. La turbidez se mide con la ayuda del turbidímetro o nefelómetro y las unidades con las que usualmente se las presentan son las unidades de turbidez nefelométrica que en siglas son NTU (Barrenechea, 2015).

El cambio climático es impredecible para el cambio de la turbidez, además de la degradación severa de las cuencas hidrográficas, todo esto debido a la gran contaminación que existe aunado a esto, está la deforestación que modifica los terrenos y los hace mas áridos; todo esto hace que la probabilidad de que la calidad del agua sea deficiente, aumente más y esto afecta directamente a la potabilización de la misma, para que esta sea apta para el consumo de toda la población (Montoya et al., 2011).

En la práctica, la eliminación de la turbidez en las plantas de tratamiento de agua no es tan complicado; sin embargo, la remoción de este parámetro implica un gran impacto económico pues requiere el uso de coagulantes, modificadores de pH, entre otras cosas. En el proceso de remoción de la turbiedad también se debe considerar la morfología de las partículas es decir el tipo, tamaño y comportamiento de la misma (Barrenechea, 2015).

La turbidez no tiene un impacto directo en la salud, aunque entre esas partículas puede esconderse algún patógeno; sin embargo, la caracteriza que más afecta este parámetro es el color del agua y al no ser clara, la estética del agua se pierde y esto genera rechazo entre los consumidores, pues asocian el color a mala calidad de la misma, todo esto lo destaca Castro de Esparza en su trabajo. Adicionalmente, los estudios de Tracy, Sanderson y Kelly, mostraron que al tener partículas turbias, la eliminación de patógenos por medio de químicos como el

cloro, se ve afectada e incluso es ineficiente; pues los microorganismos se encuentran protegidos dentro del sistema coloidal y no permite el correcto contacto con los desinfectantes para su eliminación. Es así que en diferentes países establecen rigurosos estándares de medidas de la turbidez, todo esto con el objetivo que el proceso de desinfección sea completamente efectivo (Ledó et al., 2009).

En el caso que el agua potable tenga turbidez esto puede ser ocasionado por un tratamiento inadecuado en la planta, por el sistema de distribución o por conexiones cruzadas en el mismo. Como se menciona con anterioridad, la turbidez protege a los microorganismos de los efectos del desinfectante más si está en grandes proporciones; también estimula el crecimiento bacteriano, por ende, aumentan la necesidad de cloro. En muchos casos, los patógenos agregados o absorbidos por partículas y bacterias en las heces no pueden destruirse (Marcó et al., 2004)

Todos estos riesgos se agravan si la turbidez excede las 5 NTU (Unidades Nefelométricas de Turbidez) y ninguna muestra debe exceder este valor. Por lo tanto, para que la desinfección sea efectiva, la turbidez debe ser baja (OMS, 1998)

2.1.4.2 Color

El color presente en el agua puede estar relacionada directamente con la turbidez; sin embargo, también puede deberse a otros factores, como lo son ciertas partículas, mismas que aún no han sido posibles dilucidar su estructura química básica. La apariencia de color en el agua suele atribuirse a presencia de polímeros como las ligninas y taninos, también algunos ácidos grasos, húmicos, fúlvicos entre otros. Se tiene que mencionar que el agua dentro de las fuentes naturales posee cierto color proporcionado por sustancias vegetales debido a la extracción acuosa de las mismas y también por la descomposición de materia orgánica; además, la presencia de ciertos materiales hace que el agua se tiña de cierto color como es el caso de aguas color rojizas o terrosos por la presencia de hierro;

también sucede lo mismo con minerales como manganeso, fósforo, calcio entre otros. En varios trabajos se menciona que el pH, temperatura, tiempo de contacto, sustancias disponibles y solubilidad de los elementos también influyen en la formación de color en el agua (ENCA, 2018).

Existe dos términos para mencionar el color del agua, este es el color visible que representa el agua en su estado natural o cruda y el color verdadero que es lo que queda después de filtrar el agua. Hay diferentes métodos de eliminación de color; pero lo más importante es la coagulación con compuestos como el sulfato de aluminio y hidroxiclورو de aluminio. Una recomendación importante es que la desinfección del agua se realice una vez removido el color, ya que el color del agua suele deberse a la presencia de compuestos orgánicos, lo que conduce a la formación de trihalometanos, que son cancerígenos. Los resultados del color se expresan como unidades platino cobalto (UPC) (Barrenechea, 2015).

2.1.4.3 pH

Esta característica indica la solubilidad y biodisponibilidad del agua, la primera hace referencia a cuanto se puede disolver en agua y la segunda en cambio al valor que pueden absorber los organismos acuáticos, como son las sustancias químicas (carbono, nitrógeno, fosforo), metales pesados (cobre, plomo, cadmio), entre otros. Al pH también se lo conoce por determinar la cantidad y forma de fosforo más común en el agua y adicional a esto si los organismos acuáticos tienen disponibilidad de fosforo. En el caso de metales pesados su solubilidad indica toxicidad; pues los metales son mas solubles por lo cual pH bajos indican toxicidad alta. El valor de pH se obtiene por puntos de muestro en el agua como también se lo puede determinar en el laboratorio mediante medidores de pH. En el mercado existen diferentes modelos de pequeños medidores de pH, que van desde tiras reactivas hasta dispositivos electrónicos de bolsillo y equipos de laboratorio que son los mas precisos; se pueden llevar a campo los más pequeños y los mas grandes son uso exclusivo de laboratorio (García et al., 2019).

2.1.5 Coagulantes utilizados en la potabilización del agua

2.1.5.1 Sulfato de Aluminio

El sulfato de aluminio se usa generalmente para el tratamiento de agua cruda, pues actúa como uno de los mejores floculantes en base a sustancias químicas, que aglutinan los sólidos en suspensión que están presentes en el agua provocando de esta manera su precipitación, así estas sustancias son unidas para luego ser precipitadas o filtradas gracias al uso del sulfato de aluminio, mismo material se queda alojado en los lodos de sedimentación (Meza-Leones et al., 2018)

2.1.5.2 Hidroxicloruro de Aluminio

El hidroxiclóruro de aluminio también conocido como policloruro de aluminio se obtiene de un proceso de fabricación que reclama una gran complejidad, también se lo conoce por su abreviación de PAC y es el término más común usado en las plantas de tratamiento de agua, este producto químico resulta muy eficiente como coagulante para la clarificación del agua (Cogollo, 2017).

CAPITULO III: Diseño metodológico

3.1 Tipo de Investigación

La presente investigación se fundamenta en la naturaleza de los objetivos y en la información recopilada para la resolución del problema, clasificándose de esta manera, en un tipo de investigación experimental y cuantitativa.

3.2 Diseño Experimental

Las pruebas de tratabilidad a continuación mencionadas corresponden a las Norma INEN 1108 para el agua potable y en normas internacionales como “APHA” o “American Public Health Association”, “AWWA” o “American Water World Association” y “WEF” o “Water Environment Federation”. “Métodos Estandarizados para el Análisis de Aguas y Aguas Residuales” o en inglés “Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater” en su última edición.

3.2.1 Proceso de selección de muestra

Las muestras de agua cruda se tomaron en la planta “Mahuarcay” en el mes de octubre, en la entrada principal de la planta en canecas de polipropileno, las mismas fueron recogidas cumpliendo con los métodos estandarizados para el agua potable y residual de la “Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 2169 y NTE INEN 2176”.

3.3 Métodos y técnicas

Las metodologías aplicadas se realizaron según el instructivo de la Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN “Ensayos del laboratorio de Aguas”.

3.3.1 Medición de pH

- a) Para la medición de este parámetro se utilizó el equipo pH metro OAKTON pH 510, por el método potenciómetro, este parámetro es adimensional, utilizando la norma NTE INEN 973.
- b) Se encendió el equipo de medición del pH presionando la tecla on/off.
- c) Se levantó el electrodo del agua potable que está en el vaso de precipitación y se lo introdujo en otro recipiente con aproximadamente 200ml de la muestra.
- d) Se espera el tiempo necesario hasta que se establezca la lectura “la palabra read /display”.
- e) Finalmente se leyó el valor del pH.
- f) Se realizó este mismo procedimiento con cada muestra tomada.

3.3.2 Medición de turbidez

- a) Se colocó la muestra en la celda y lleno hasta la marca de color blanco, se limpió y seco la misma utilizando un papel toalla, asegurándose que la celda esté libre de humedad y huellas.
- b) Luego se encendió el equipo, turbidímetro 2100P marca Hach, se utilizó la NTE INEN 971, se introdujo la celda en el compartimiento del equipo, e inmediatamente después se da lectura al valor mostrado en el equipo, este parámetro se mide en NTU

3.3.3 Medición de color

- a) Se colocó la muestra en la celda y se lleno hasta la marca de color blanco, se limpió y seco la misma usando un papel toalla, asegurándose que la celda esté libre de humedad y huellas.
- b) Luego se encendió el equipo, colorímetro DR 2300 marca Hach, utilizando la NTE INEN 970 se introdujo la celda en el compartimiento del equipo, e inmediatamente después se da lectura al valor mostrado en el equipo, este parámetro se mide en Pt-Co

3.3.4 Test de jarras

El test de jarras se utiliza desde hace muchos años atrás, es una parte esencial en la parte práctica de los ensayos a fin de poder conocer cuáles son las dosis optimas de coagulante asi como otros parámetros operativos esenciales para el adecuado funcionamiento de una PTAP (Izquierdo, 2015).

Test de Jarras con el Hidroxicloruro de aluminio

- a) Se tomó la muestra de agua cruda a la entrada del vertedero (aproximadamente 30 litros).
- b) Se realizaron las mediciones de pH, turbidez, color, luego se colocó en las 6 jarras del equipo de prueba de jarras Jar-Tester PHIPPS & BIRD, cumpliendo con la NTC-3903, la cantidad de 2 litros en cada jarra, se midió en las jeringas las dosis de hidroxicloruro de aluminio para aplicar en cada jarra y ver cuál fue el resultado más óptimo.
- c) Se encendió el equipo 1 minuto a 295 rpm y se añadió la dosis respectiva en cada jarra, cabe recalcar que se agito 4 veces a diferentes rpm, las mismas que fueron 4 minutos a 65 rpm, 10 min a 40 rpm, 8 min a 25 rpm y durante 20min a 2 rpm.
- d) Se tomaron las muestras de las 6 jarras y se realizó las mediciones de PH, turbiedad, color y aluminio residual, con los resultados se estableció la dosis óptima del hidroxicloruro de aluminio

Test de Jarras con el Sulfato de aluminio

- a) Se tomó la muestra de agua cruda a la entrada del vertedero (aproximadamente 30 litros).
- b) Se realizaron las mediciones de pH, turbidez, color y aluminio residual, luego se colocó en las 6 jarras del equipo de prueba de jarras Jar-Tester PHIPPS & BIRD, la cantidad de 2 litros en cada jarra, se midió en las jeringas las dosis de sulfato de aluminio para aplicar en cada jarra y ver cuál fue el resultado más óptimo.

- c) Se encendió el equipo 1 minuto a 295 rpm y se añadió la dosis respectiva en cada jarra, cabe recalcar que se agito 4 veces a diferentes rpm, las mismas que fueron 4 minutos a 65 rpm, 10 min a 40 rpm, 8 min a 25 rpm y durante 20min a 2 rpm.
- d) Se tomaron las muestras de las 6 jarras y se realizó las mediciones de PH, turbiedad, color y aluminio residual, con los resultados se estableció la dosis óptima del sulfato de aluminio.

3.3.5 Determinación de la curva de calibración

La curva de calibración de la dosificación de los coagulantes, se determinan mediante ensayos de jarras con el agua. Todos los datos obtenidos en el ensayo son analizados, estudiados, ajustados relativos y posteriormente graficados y calibrados en relación con la dosis de los coagulantes aplicados a la planta en base a los parámetros de turbiedad, color y pH. Los gráficos están diseñados para ayudar a los operadores de planta a dosificar correctamente los químicos, optimizando así los recursos (Izquierdo, 2015)

CAPÍTULO IV: Análisis y discusión de resultados

En la tabla 2 se encuentra detallado todas las réplicas que se realizaron con los dos coagulantes: el hidroxicloriguro de aluminio y el sulfato de aluminio en la “Planta de Mahuarcay”, para lo cual se evaluó la efectividad del hidroxicloriguro de aluminio como alternativa coagulante en el proceso de coagulación de la planta de tratamiento Mahuarcay, con pruebas para determinar la dosis óptimas de los dos coagulantes, cuyo proceso se detalló anteriormente.

Se obtuvo la dosis óptima con los mejores resultados que presentaron los test de jarras, en tanto a los parámetros físicos como turbidez, color y pH, se comparó entre los dos coagulantes sus parámetros físicos, los mismos que sirvieron para así obtener la curva de dosificación de estos dos coagulante.

Datos Generales de las Replicas

Tabla 2: Resumen de resultados de replicas

Agua Cruda			Sulfato de Aluminio (SAL)				Hidroxiclорuro de Aluminio (PACI)			
NTU	pH	Color	DOSIS mg/l	NTU	pH	Color	DOSIS mg/L	NTU	pH(Color
10	7,87	99	9,8	7	6,88	2	6,6	1	7,2	0
20	7,98	211	16,0	10	6,85	98	9,9	2,5	7,5	20
30	7,99	459	19,6	6,4	6,45	54	11,8	1,2	7,56	10
40	7,99	433	22,2	8,23	6,77	74	13,2	2,3	7,6	12
50	7,97	545	24,1	9,3	6,69	91	14,2	1,84	7,62	18
60	7,92	675	25,8	4,4	6,89	42	15,1	0,89	7,45	7,5
80	7,99	825	28,3	10,2	6,47	97	16,4	3,67	7,53	20
100	8,21	1200	30,3	10,1	6,76	72	17,5	3,4	7,52	18
120	7,98	1267	32,0	11,1	6,89	54,2	18,4	3,85	7,67	23,1
140	8,01	1465	33,3	9,29	6,55	79	19,1	2,45	7,5	18
160	7,98	1560	34,5	13,3	6,79	124	19,7	2,81	7,55	22
190	7,93	1875	36,1	9,25	6,69	89	20,5	1,2	7,64	10
210	7,98	2340	36,9	6,98	6,45	65	21,0	3,1	7,54	13
230	7,98	2255	37,8	9,2	6,65	87	21,4	1,2	7,45	10,1
250	8,02	2555	38,5	10,1	6,78	86	21,8	3,4	7,49	20
270	8,01	2975	39,2	12,1	6,65	96	22,2	3,34	7,45	21
290	7,99	3110	39,8	11,2	6,76	110	22,5	2,29	7,5	18
310	8,1	3122	40,4	15,1	6,79	114	22,8	6,1	7,5	70
330	7,99	3345	41,0	16,1	6,5	134	23,1	4,08	7,58	45
350	8,01	3625	41,5	13,1	6,86	107	23,4	4,56	7,61	23
370	8	3765	42,0	10,1	6,87	81	23,7	4,5	7,54	22

390	8,01	3875	42,5	15,1	6,75	121	23,9	3,88	7,61	31
410	7,9	4200	42,9	9,9	6,99	73	24,2	6,3	7,6	49
430	7,99	4335	43,3	13,3	6,87	122	24,4	4,3	7,54	35
450	8,02	4665	43,7	10,1	6,88	102	24,6	5,2	7,61	43
470	8,12	4575	44,1	17,3	6,5	131	24,8	5,04	7,58	32
490	8,4	4568	44,5	8,23	6,45	44,5	25,0	2,3	7,54	12
510	8,03	5210	44,9	8,24	6,99	82	25,2	0,98	7,58	5,5
560	7,96	5155	45,7	12,2	6,66	101	25,6	5,2	7,51	27
610	7,99	6555	46,5	18	6,75	101	26,0	8,2	7,56	56
660	8,03	6445	47,2	11,5	6,89	101	26,4	3,75	7,66	31
710	8,21	7834	47,8	10,2	6,99	91	26,8	3,1	7,56	12,1

Discusión de la tabla 2

Dosificación del Sulfato de aluminio en mg/l

Tabla 3: Dosificación del Sulfato de aluminio en mg/l

DOSIS mg/L	TURB
9,8	10
16,0	20
19,6	30
22,2	40
24,1	50
25,8	60
28,3	80
30,3	100
32,0	120
33,3	140
34,5	160
36,1	190
36,9	210
37,8	230
38,5	250
39,2	270
39,8	290
40,4	310
41,0	330
41,5	350
42,0	370
42,5	390
42,9	410
43,3	430
43,7	450
44,1	470
44,5	490
44,9	510
45,7	560
46,5	610
47,2	660
47,8	710

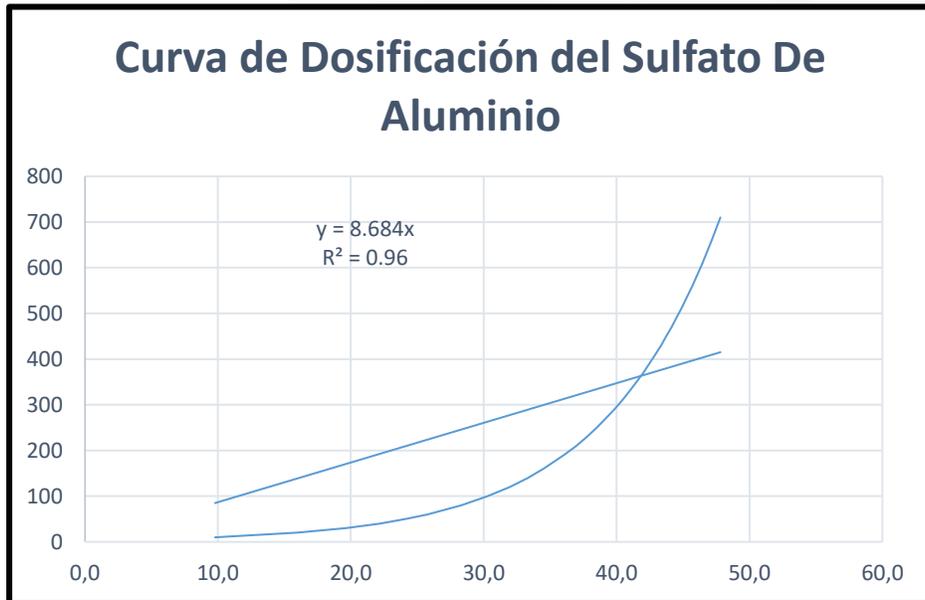


Figura 1: Curva de Dosificación del Sulfato de Aluminio

Tabla 4: Dosificación del Hidroxicloruro de Aluminio en mg/l

DOSIS mg/L	TURB
6,6	10
9,9	20
11,8	30
13,2	40
14,2	50
15,1	60
16,4	80
17,5	100
18,4	120
19,1	140
19,7	160
20,5	190
21,0	210
21,4	230
21,8	250
22,2	270
22,5	290
22,8	310

23,1	330
23,4	350
23,7	370
23,9	390
24,2	410
24,4	430
24,6	450
24,8	470
25,0	490
25,2	510
25,6	560
26,0	610
26,4	660
26,8	710

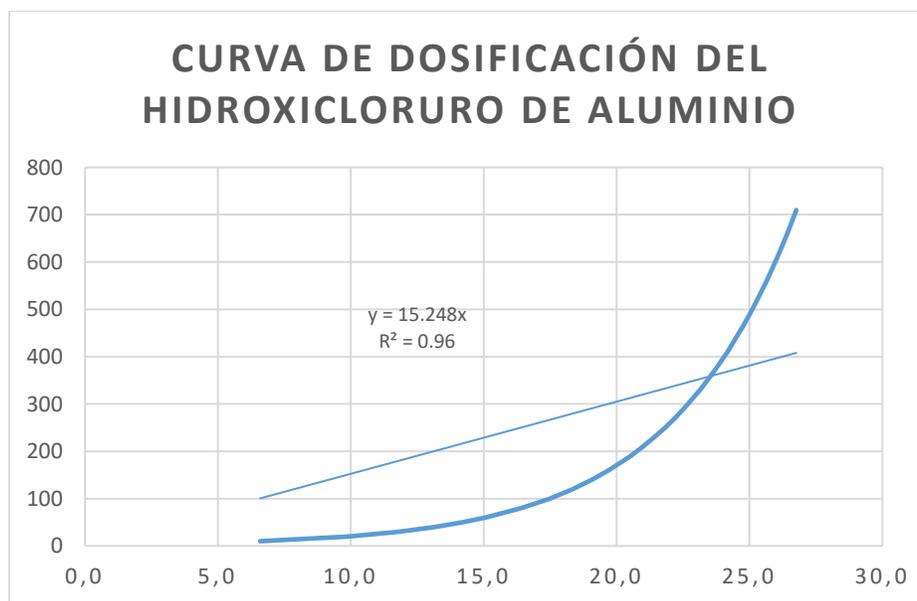


Figura 2: Curva de Dosificación del Hidroxiclорuro de Aluminio

Tabla 5: Análisis comparativo del sulfato de aluminio vs hidroxiclорuro de aluminio

Sulfato de aluminio		Hidroxiclорuro de aluminio	
DOSIS mg/L	TURB	DOSIS mg/L	TURB
9,8	10	6,6	10
16,0	20	9,9	20
19,6	30	11,8	30
22,2	40	13,2	40
24,1	50	14,2	50
25,8	60	15,1	60
28,3	80	16,4	80
30,3	100	17,5	100
32,0	120	18,4	120
33,3	140	19,1	140
34,5	160	19,7	160
36,1	190	20,5	190
36,9	210	21,0	210
37,8	230	21,4	230
38,5	250	21,8	250
39,2	270	22,2	270
39,8	290	22,5	290
40,4	310	22,8	310
41,0	330	23,1	330
41,5	350	23,4	350
42,0	370	23,7	370
42,5	390	23,9	390
42,9	410	24,2	410
43,3	430	24,4	430
43,7	450	24,6	450
44,1	470	24,8	470
44,5	490	25,0	490
44,9	510	25,2	510
45,7	560	25,6	560
46,5	610	26,0	610
47,2	660	26,4	660
47,8	710	26,8	710

ANALISIS COMPARATIVO DEL PARÁMETRO TURBIDEZ

Tabla 6: Parámetro turbidez

NTU(AC)	NTU(SAL)	NTU(PACI)	%(SAL)	%(PACI)
10	7	1	30,00	90,00
20	10	2,5	50,00	87,50
30	6,4	1,2	78,67	96,00
40	8,23	2,3	79,43	94,25
50	9,3	1,84	81,40	96,32
60	4,4	0,89	92,67	98,52
80	10,2	3,67	87,25	95,41
100	10,1	3,4	89,90	96,60
120	11,1	3,85	90,75	96,79
140	9,29	2,45	93,36	98,25
160	13,3	2,81	91,69	98,24
190	9,25	1,2	95,13	99,37
210	6,98	3,1	96,68	98,52
230	9,2	1,2	96,00	99,48
250	10,1	3,4	95,96	98,64
270	12,1	3,34	95,52	98,76
290	11,2	2,29	96,14	99,21
310	15,1	6,1	95,13	98,03
330	16,1	4,08	95,12	98,76
350	13,1	4,56	96,26	98,70
370	10,1	4,5	97,27	98,78
390	15,1	3,88	96,13	99,01
410	9,9	6,3	97,59	98,46
430	13,3	4,3	96,91	99,00
450	10,1	5,2	97,76	98,84
470	17,3	5,04	96,32	98,93
490	8,23	2,3	98,32	99,53
510	8,24	0,98	98,38	99,81
560	12,2	5,2	97,82	99,07
610	18	8,2	97,05	98,66
660	11,5	3,75	98,26	99,43
710	10,2	3,1	98,56	99,56

Se obtuvo una remoción de turbidez del 90,54% con el sulfato de aluminio y una remoción del 97,70% con el hidroxiclورو de aluminio.

Al igual que en la siguiente figura se puede observar que con el sulfato de aluminio se obtiene niveles superiores de NTU en comparación con el hidroxiclورو de aluminio; es así, que se evidencia que este último obtiene mayores remociones de turbidez.

En la tesis de Cosme Pecho y Renzón Daniel se obtiene una remoción de turbidez de 92.11 % con el hidroxiclورو de aluminio, en contraste con una remoción inferior de 68.6% de turbidez con el sulfato de aluminio; esta tesis removió sustancias húmicas del río "Nanay" en Perú, pero da una diferencia bastante marcada de la remoción y mostrando que el hidroxiclورو de aluminio es superior al otro coagulante. (Pecho, 2021)

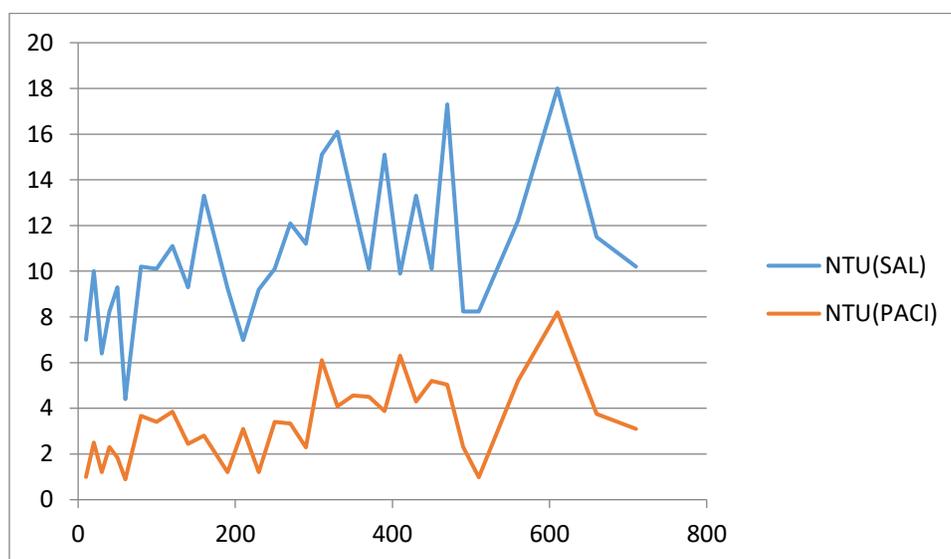


Figura 3: Grafica de valores del parámetro turbidez

ANALISIS COMPARATIVO DEL PARÁMETRO COLOR

Tabla 7: Comparación del parámetro color

Color(AC)	Color(SAL)	Color(PACI)	% (SAL)	%PACI
99	2	0	97,98	100,00
211	98	20	53,55	90,52
459	54	10	88,24	97,82
433	74	12	82,91	97,23
545	91	18	83,30	96,70
675	42	7,5	93,78	98,89
825	97	20	88,24	97,58
1200	72	18	94,00	98,50
1267	54,2	23,1	95,72	98,18
1465	79	18	94,61	98,77
1560	124	22	92,05	98,59
1875	89	10	95,25	99,47
2340	65	13	97,22	99,44
2255	87	10,1	96,14	99,55
2555	86	20	96,63	99,22
2975	96	21	96,77	99,29
3110	110	18	96,46	99,42
3122	114	70	96,35	97,76
3345	134	45	95,99	98,65
3625	107	23	97,05	99,37
3765	81	22	97,85	99,42
3875	121	31	96,88	99,20
4200	73	49	98,26	98,83
4335	122	35	97,19	99,19
4665	102	43	97,81	99,08
4575	131	32	97,14	99,30
4568	44,5	12	99,03	99,74
5210	82	5,5	98,43	99,89
5155	101	27	98,04	99,48
6555	101	56	98,46	99,15
6445	101	31	98,43	99,52
7834	91	12,1	98,84	99,85

Se obtuvo una remoción de color del 94,02% con el sulfato de aluminio y 98,67 % de color con el hidroxicloriguro de aluminio.

Al igual que con la turbidez el color obtiene una mayor remoción con el hidroxicloriguro de aluminio; aunque no tiene una diferencia tan marcada en la tesis de Cosme Pecho y Renzón Daniel se obtiene una remoción de color de 82,29% con el hidroxicloriguro de aluminio, en contraste con una remoción inferior de 58.28% de turbidez con el sulfato de aluminio. (Pecho,2021)

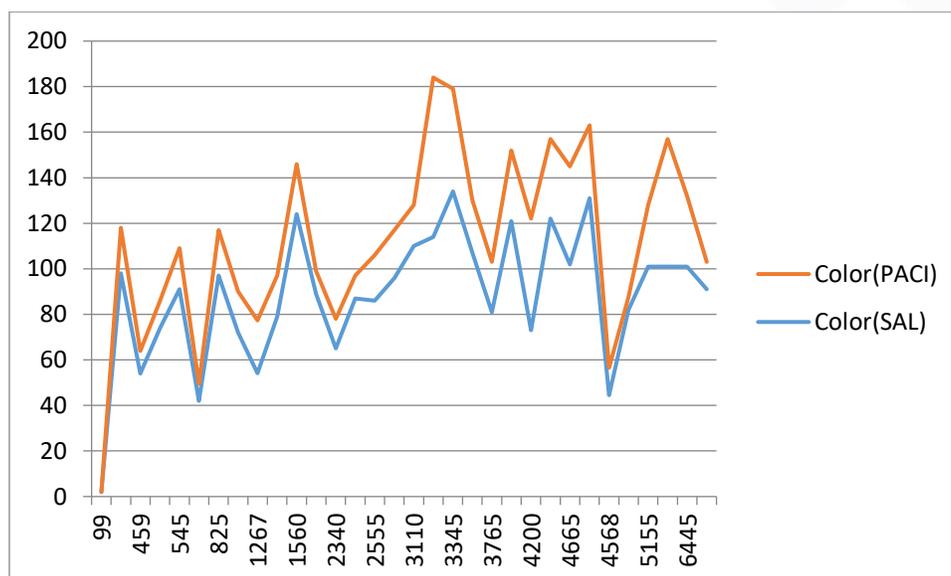


Figura 4: Comparación del color con los dos coagulantes

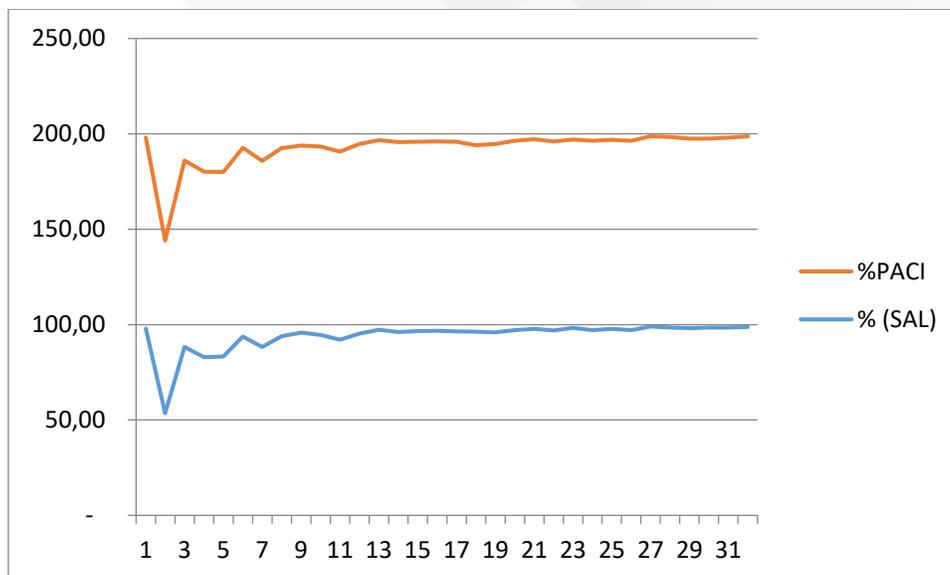


Figura 5: Porcentaje de Remoción del color

Tabla 8: Variación del Ph

pH(AC)	pH(SAL)	pH(PACI)
7,87	6,88	7,2
7,98	6,85	7,5
7,99	6,45	7,56
7,99	6,77	7,6
7,97	6,69	7,62
7,92	6,89	7,45
7,99	6,47	7,53
8,21	6,76	7,52
7,98	6,89	7,67
8,01	6,55	7,5
7,98	6,79	7,55
7,93	6,69	7,64
7,98	6,45	7,54
7,98	6,65	7,45
8,02	6,78	7,49
8,01	6,65	7,45
7,99	6,76	7,5
8,1	6,79	7,5
7,99	6,5	7,58

8,01	6,86	7,61
8	6,87	7,54
8,01	6,75	7,61
7,9	6,99	7,6
7,99	6,87	7,54
8,02	6,88	7,61
8,12	6,5	7,58
8,4	6,45	7,54
8,03	6,99	7,58
7,96	6,66	7,51
7,99	6,75	7,56
8,03	6,89	7,66
8,21	6,99	7,56

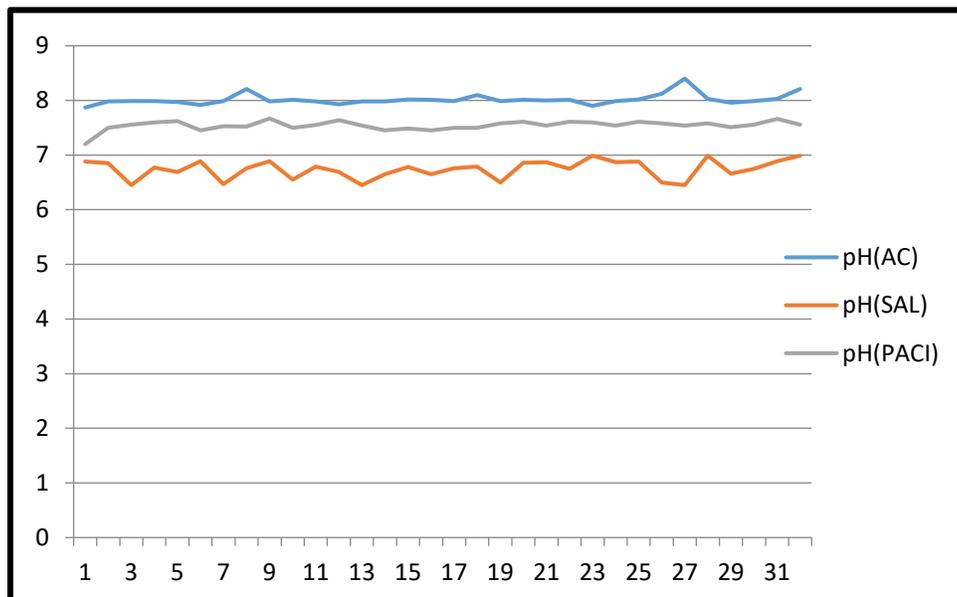


Figura 6: Grafica de la variación del pH

La variación de pH del agua cruda que estuvieron entre rangos de 7,87- 8,21 con respecto al sulfato de aluminio fue mayor entre rangos de 6,45- 6,99 a la del hidroxiclورو de aluminio que cuya variación fue menor 7,2- 7,67 cuyos resultados también se ha obtenido ya en investigaciones anteriores.

El parámetro pH que influye en la calidad de agua cuyo parámetro aceptable es de 6,5 a 8,5 según la norma INEN 11.08 se observó que el pH del agua AC disminuye mucho más con el SAL que con el PACI (Rodríguez-Díaz et al., 2019)

En la plata de “Cambray” se realizó un monitoreo aplicando hidroxiclورو de aluminio, se observó que su aplicación mantuvo el pH estable, lo contrario que se visualizó con el sulfato de aluminio que deja valores por debajo de 7 y para estabilizarlo fue necesario recurrir al hidróxido de calcio o comúnmente conocida como cal hidratada (Rodríguez, 2009).

CAPITULO V: Conclusiones y Recomendaciones

5.1 Conclusiones

- Se evaluó los dos coagulantes hidroxiclورو de aluminio y sulfato de aluminio y se evidencio que el hidroxiclورو de aluminio es mejor coagulante que el sulfato de aluminio haciéndose evidente entre los parámetros de turbidez de 10-710 NTU que se requirió 1,4 veces menor a la dosis de sulfato de aluminio, aumentando su efectividad con turbiedades mayores a 710 NTU requiriendo 1,7 veces menor cantidad de dosis que el sulfato de aluminio la cual fue 1,7 veces mayor.
- En el análisis comparativo de los parámetros de color y turbidez se observó mayor remoción de color un 98,67% y turbiedad 97,70% con el hidroxiclورو de aluminio que, con el sulfato de aluminio, siendo así que con una menor dosis de hidroxiclورو de aluminio se removió mayor cantidad de estos dos parámetros.
- Usando el hidroxiclورو de aluminio la influencia de la alcalinidad en la reacción que se produjo en el agua tratada no es significativa, por ello este producto reacciona de manera eficiente incluso en condiciones de alta turbidez obteniendo así una clarificación del agua sin influir en el pH quedando en el rango de 7,5.
- Las soluciones de sulfato de aluminio reaccionaron de manera acida lo que hizo que el pH del agua tratada disminuya sobre todo en las turbiedades altas, lo que hace que sea necesario utilizar un neutralizador para ajustar este parámetro.

5.2 Recomendaciones

Hablar con los técnicos para poder utilizar solamente el hidroxiclورو de aluminio debido a que se utiliza una menor cantidad de dosis para producir la coagulación, esto quiere decir que los operadores podrían preparar el hidroxiclورو de aluminio en los tanques de dosificación y durara más así ellos no estarían en contacto con los químicos puesto que se redujera las veces que ellos deberían preparar las soluciones.

Efectuar un estudio económico considerando que con el coagulante hidroxiclورو de aluminio se utilizó una menor cantidad de dosis con respecto al sulfato de aluminio el cual requirió mayor cantidad de dosis.

Hay que evaluar el proceso de sedimentación cuál de los dos coagulantes dejo menor cantidad de lodos y compararlas con el costo de mantenimiento y operación de la planta

La seguridad y salud en el trabajo debe gestionarse con responsabilidad La empresa es responsable de la salud del personal que trabaja en ella, aunque se tenga en cuenta este aspecto, la manipulación de los dos coagulantes requiere la utilización de equipos de protección personal para su manipulación, no tener contacto directo con la piel ya que puede producir alguna irritación, especialmente los polvos del sulfato de aluminio producen afecciones respiratorias.

Se debe crear una estructura de procesos, que permitan la identificación de directos y enlaces indirectos a la producción de agua a estimar el desempeño de todos y así mejorar la eficiencia del proceso, es necesario para realizar y determinar la factibilidad de reemplazar el coagulante no solo para asegurar el suministro de agua de calidad, sino también para determinar parámetros para mejorar el proceso, lo que permitirá aumentar la capacidad de producción

BIBLIOGRAFÍA

- Baque, D. (2018). *Tecnología Para Aplicación Del Policloruro De Aluminio En Procesamiento De Aguas*. Universidad De Guayaquil.
- Barrenechea, A. (2015). Coagulación. *Revista Química*.
- Cabrera Bermúdez, C., Ramírez, F., & Moya, C. (2009). XXIX, núm. 3, septiembre-diciembre. *Tecnología Química*, 64–73.
<http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=445543760009>
- Cogollo, J. (2017). Clarificación De Aguas Usando Coagulantes Polimerizados: Caso Del Hidroxicloruro De Aluminio. *DYNA*, 1, 6–9.
- EMAPAL. (2004). *Empresa Pública Municipal de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento Ambiental*.
- ENCA. (2018). *Estrategia Nacional De Calidad Del Agua*.
- García, S., Arguello, A., & Parra, R. (2019). Factors that influence the pH of water through the application of linear regression models. *INNOVA Research Journal*.
- Gutiérrez, G. (2017). *Diseño de una red de monitoreo integral del recurso hídrico en la microcuenca del río Tabacay*. Universidad Católica de Cuenca.
- Guzmán, L., Villabona, Á., Tejada, C., & García, R. (2013). REDUCCIÓN DE LA TURBIDEZ DEL AGUA USANDO COAGULANTES NATURALES: UNA REVISIÓN. *Revista U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica*, 16(1), 253-262.
- Hernández, I., González, R., Arriaga, L., & Barra, G. (2013). Clarificación de agua del arroyo el Hueleque de Poza Rica, Ver., utilizando cal, sulfato de aluminio e hidroxocloruro de aluminio. *Universidad Veracruzana*, 1, 12–18.
- INEN, N. 2169. (1998). Agua. Calidad Del Agua. Muestreo. Manejo Y Conservación De Muestras. *Instituto Ecuatoriano De Normalización*, 1.

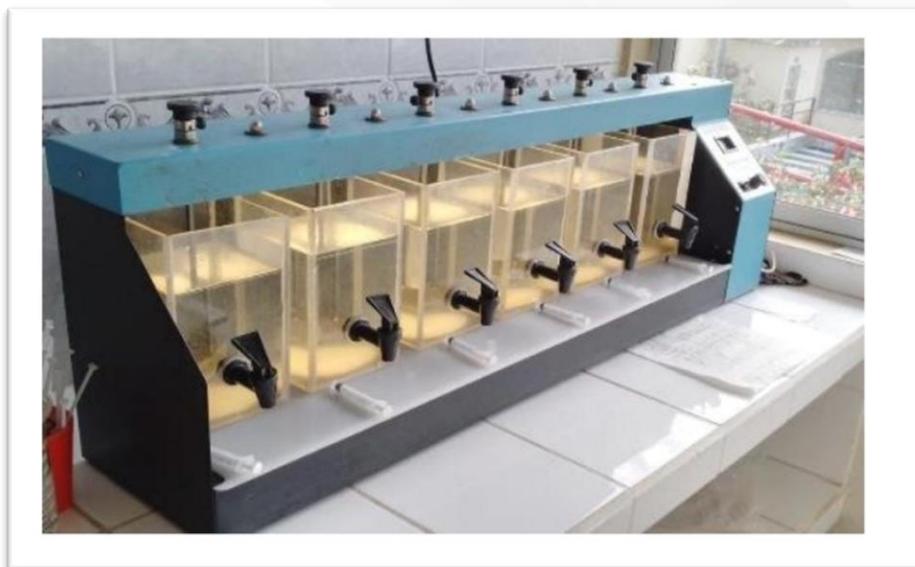
- Izquierdo, A. (2015). *Determinación De La Dosis Óptima Del Coagulante Sulfato De Aluminio Aplicado En La Planta De Tratamiento De Agua De La Central Termoeléctrica "El Descanso"*. Universidad de Cuenca.
- Ledó, P., Joao.Paulo, Lima.Raquel, & Duarte, M. (2009). Estudio comparativo de sulfato de aluminio y semillas de moringa oleifera como coagulantes en la clarificación de aguas con baja turbidez. *Scopus*.
- Meza-Leones, M., Riaños Donado, K., Mercado Martínez, I., Olivero Verbel, R., & Jurado Eraso, M. (2018). Evaluación del poder coagulante del sulfato de aluminio y las semillas de Moringa oleífera en el proceso de clarificación del agua de la ciénaga de Malambo-Atlántico. *Revista UIS Ingenierías*, 17(2), 95–104. <https://doi.org/10.18273/revuin.v17n2-2018009>
- Montoya, C., Loaiza, D., Torres, P., Cruz, C. H., & Escobar, J. C. (s. f.). *EFFECTO DEL INCREMENTO EN LA TURBIEDAD DEL AGUA CRUDA SOBRE LA EFICIENCIA DE PROCESOS CONVENCIONALES DE POTABILIZACIÓN*.
- Murillo, D. (2011). *Análisis De La Influencia De Dos Materias Primas Coagulantes En El Aluminio Residual Del Agua Tratada*. Universidad Tecnológica De Pereira.
- Orellana, J. (2005). Tratamiento De Las Aguas. *Ingeniería Sanitaria*, 1.
- Pecho, C. R. D. (2021, 7 noviembre). Registro Nacional de Trabajos de Investigación: Remoción de sustancias húmicas de las aguas del rio Nanay (Loreto) empleando el policloruro de aluminio como coagulante alternativo. <https://renati.sunedu.gob.pe/handle/sunedu/3266861>
- Sierra, I., & Guatame, V. (2016). *Análisis Comparativo Del Policloruro De Aluminio (Pac) Y Sulfato De Aluminio Líquido (Sal) Para La Optimización Del Proceso Coagulación En La Planta De Tratamiento De Agua Potable Francisco Wiesner*. Universidad Distrital Francisco José De Caldas.

- Marcó, L., Azario, R., & Metzler, C. (2004). *La turbidez como indicador básico de calidad de aguas potabilizadas a partir de fuentes superficiales. Propuestas a propósito del estudio del sistema de potabilización y distribución en la ciudad de Concepción del Uruguay (Entre Ríos, Argentina)*.
- Montoya, C., Loaiza, D., Torres, P., Cruz, C. H., & Escobar, J. C. (s. f.). *EFFECTO DEL INCREMENTO EN LA TURBIEDAD DEL AGUA CRUDA SOBRE LA EFICIENCIA DE PROCESOS CONVENCIONALES DE POTABILIZACIÓN*.
- Rodríguez, M., Rodríguez, G., Seródes, J., & Sadiq, R. (2017). *Subproductos De La Desinfección Del Agua Potable: Formación, Aspectos Sanitarios Y Reglamentación*. Scielo.
- Rodriguez-Diaz, Y. J., Torregroza-Mozo, A. A., Mejía-Padilla, F., Atencia-Vargas, J. J., & Villero-González, A. C. (2019). Eficiencia de la aplicación de policloruro de aluminio en post-tratamiento de aguas industriales en palma de aceite. *Temas Agrarios*, 24(2), 158-169.
<https://doi.org/10.21897/rta.v24i2.2068>
- Rodríguez, J. A. C. (2009). *Universidad de San Carlos de Guatemala Facultad de Ingeniería Escuela de Ingeniería Civil*.
- Trejo Vázquez, R., Com, D., Virginia, I., & Montoya, H. (n.d.). *Riesgos a la salud por presencia del aluminio en el agua potable*. Retrieved November 8, 2022, from <http://www.nutritionfoundationofindia.org/ARCH>
- Veliz, E., Llanes, J. G., Fernández, L. A., Bataller, M., Veliz, E., Llanes, J. G., Fernández, L. A., & Bataller, M. (2016). Coagulación-floculación, filtración y ozonización de agua residual para reutilización en riego agrícola. *Tecnología y ciencias del agua*, 7(1), 17-34.
- Zhindón, C. (2011). *Tratamiento De Los Lodos Generados En La Planta Potabilizadora De Mahuarca Y Mediante El Uso De Un Lecho De Secado*. Universidad De Cuenca.

Anexos

<i>Anexos 1: Ensayo de jarras.....</i>	<i>36</i>
<i>Anexos 2: Coagulación con hidrócloruro de aluminio.....</i>	<i>36</i>
<i>Anexos 3: Proceso de coagulación con hidrócloruro de aluminio</i>	<i>37</i>
<i>Anexos 4: Clarificación con Sulfato de aluminio.....</i>	<i>37</i>
<i>Anexos 5: Sedimentación con hidrócloruro de aluminio.....</i>	<i>38</i>
<i>Anexos 6: Floculación con sulfato de aluminio.....</i>	<i>38</i>
<i>Anexos 7: Floculación y sedimentación con sulfato de aluminio.....</i>	<i>39</i>
<i>Anexos 8: Preparación de soluciones</i>	<i>39</i>
<i>Anexos 9: Sulfato de Aluminio.....</i>	<i>40</i>

Anexos



Anexos 1: Ensayo de jarras



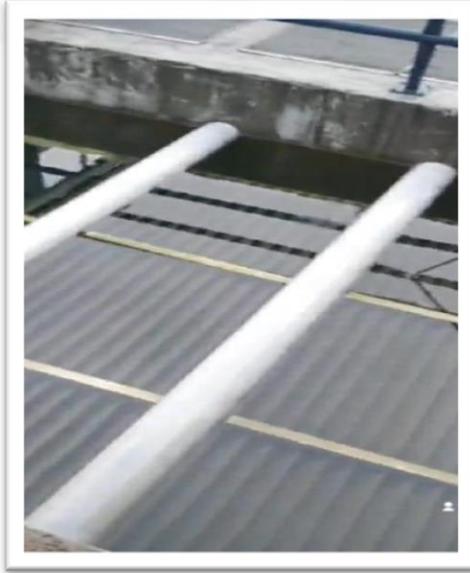
Anexos 2: Coagulación con hidrocioruro de aluminio



Anexos 3: Proceso de coagulación con hidrocioruro de aluminio



Anexos 4: Clarificación con Sulfato de aluminio



Anexos 5: Sedimentación con hidrocloreuro de aluminio



Anexos 6: Floculación con sulfato de aluminio



Anexos 7: Floculación y sedimentación con sulfato de aluminio



Anexos 8: Preparación de soluciones



Anexos 9: Sulfato de Aluminio