



**UNIVERSIDAD POLITECNICA SALISEIANA**

SEDE GUAYAQUIL

CARRERA INGENIERIA INDUSTRIAL

**DETERMINACIÓN DE LAS DOSIS ÓPTIMAS DEL COAGULANTE Y  
FLOCULANTE HIDROXICLORURO DE ALUMINIO EN FUNCIÓN DE LA  
TURBIEDAD Y EL COLOR PARA LA POTABILIZACIÓN DEL RIO GUAYAS**

Trabajo de titulación previo a la obtención del  
Título ingeniero Industrial

AUTOR: Jhan Carlos Alarcón Tafur

TUTOR: Ing. Ángel Roberto Guevara Orozco. MSc.

Guayaquil, Ecuador

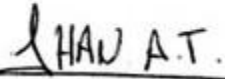
2023

## CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUDITORIA DEL TRABAJO DE TITULACION

Yo, Jhan Carlos Alarcón Tafur con numero de identidad N.º 1726310293, manifiesto que soy el autor y responsable del presente trabajo; y, autorizo a que sin fines de lucro la Universidad Politécnica Salesiana pueda, usar, difundir, reproducir o publicar de manera total o parcial el presente trabajo de titulación.

Guayaquil, 24 de Agosto del año 2023

Atentamente,

  
Jhan Carlos Alarcón Tafur

C.I. 1726310293

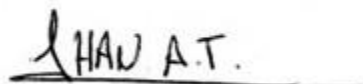
## **CERTIFICADO DE CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DE TRABAJO DE TITULACION A LA UNIVERSIDAD POLITECNICA SALESIANA**

Yo, Jhan Carlos Alarcón Tafur con documento de identificación N.º 1726310293, expreso mi voluntad y por medio del presente documento cedo a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que soy autor del Proyecto Técnico: Determinación de las dosis óptimas del coagulante y floculante Hidroxicloruro de Aluminio en función de la turbiedad y el color para la potabilización del río Guayas, el cual ha sido desarrollado para optar por el título de: Ingeniero Industrial, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente

En concordancia con lo manifestado, suscribo este documento en el momento que hago la entrega del trabajo final en formato digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

Guayaquil, 24 de Agosto del año 2023

Atentamente,



Jhan Carlos Alarcón Tafur

C.I. 1726310293

## CERTIFICADO DE DIRECCION DE TRABAJO DE TITULACION

Yo, ANGEL ROBERTO GUEVARA OROZCO con documento de identificación N.º 0923017107 docente de la Universidad Politécnica Salesiana declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación: Determinación de las dosis óptimas del coagulante y floculante Hidroxicloruro de Aluminio en función de la turbiedad y el color para la potabilización del río Guayas, realizado por Jhan Carlos Alarcón Tafur con documento de identificación 1726310293, obteniendo como resultado final el trabajo de titulación bajo la opción Proyecto Técnico que cumple con todos los requisitos determinados por la Universidad Politécnica Salesiana.

Guayaquil, 01 de septiembre del año 2023

Atentamente,



ANGEL ROBERTO GUEVARA OROZO

C.I. 0923017107

## **DEDICATORIA**

Este proyecto técnico va dedicado mis padres, quienes siempre creyeron en mí y me brindaron el apoyo inquebrantable necesario para llegar hasta aquí. A mis abuelos y familiares, por su valiosa orientación y colaboración en este viaje profesional. A mi tío, cuyo esfuerzo y sacrificio hicieron posible este logro. Este trabajo está dedicado a todos ustedes, que han sido pilares fundamentales en mi carrera y han contribuido de manera significativa a este proyecto

## AGRADECIMIENTO

Quiero expresar mi más sincero agradecimiento a todas las personas que contribuyeron de manera significativa en la realización de este trabajo de tesis profesional. Sus apoyos y colaboraciones fueron esenciales para llevar a cabo este proyecto con éxito.

Quiero agradecer a mi tío, quien fue un pilar fundamental en todo mi camino universitario, agradecer a mis padres que siempre estuvieron conmigo apoyándome en los momentos más difíciles, agradecer a mis abuelos que estuvieron el día a día conmigo y querían verme graduado.

Finalmente quiero agradecer a mis profesores cuya enseñanza y conocimientos ampliaron mi comprensión del tema y me inspiraron al esforzarme al máximo.

Este logro no habría sido posible sin la colaboración y el apoyo de todos ustedes. Estoy profundamente agradecido por la confianza que depositaron en mí y por ser parte de este importante capítulo de mi vida académica.

## **Resumen**

Debido a que no todas las empresas cuentan con una Cantidad apropiada de coagulante para el procedimiento de purificación de aguas esto ha desarrollado el derroche de producto al momento de utilizar nuestro coagulante en las PTAP, lo cual llevo a esta investigación determinar una dosis mejorada de coagulante hidroxiclورو de aluminio, esta investigación tuvo una metodología experimental lo cual se analizaron diferentes parámetros iniciales y finales del agua acuerdo a lo que nos indica la norma NTE INEN1108:2020.

El ensayo de jarra se emplea para identificar la cantidad ideal de hidroxiclورو de aluminio como coagulante, logrando resultados óptimos en la reducción de la turbidez y el procedimiento de hacer el agua apta para el consumo en su estado natural. Lo cual nos arrojó resultados positivos, alcanzando el 90% de eficacia, por lo que los resultados de los parámetros analizados están dentro del límite permisible según la norma legal mencionada en el primer párrafo.

## **Abstract**

Because not all companies have an optimal dose of coagulant for water treatment, this has developed a waste of product when using our coagulant in water treatment plants, which led to this investigation to determine a dose optimal aluminum hydroxychloride coagulant, this research had an experimental methodology which analyzed different initial and final parameters of the water according to what the NTE INEN1108:2020 standard indicates.

The method by which the optimal dose of the aluminum hydroxychloride coagulant was determined was by means of a jar test, which gave us optimal results in the removal of turbidity and color of raw water, a comparison of final data was made which gave us positive results, reaching 90% efficiency, so the results of the parameters analyzed are within the permissible limit according to the legal norm mentioned in the first paragraph



## Índice

Título .....	IX
Glosario.....	IX
<b>CAPITULO 1.....</b>	<b>1</b>
<b>1. Problema.....</b>	<b>1</b>
<b>2. Justificación.....</b>	<b>2</b>
<b>3. Grupo Objetivo Beneficiario .....</b>	<b>3</b>
<b>4. Objetivos .....</b>	<b>3</b>
<b>4.1. Generales.....</b>	<b>3</b>
<b>4.2. Específicos.....</b>	<b>3</b>
<b>5. Marco Teórico.....</b>	<b>4</b>
<b>5.1. Antecedentes.....</b>	<b>4</b>
<b>5.2. Tipos de Agua.....</b>	<b>4</b>
<b>5.2.1. Agua Natural.....</b>	<b>4</b>
<b>5.2.2. Agua Residual .....</b>	<b>5</b>
<b>5.2.3. Agua de Consumo .....</b>	<b>5</b>
<b>5.3. Calidad del Agua.....</b>	<b>5</b>
<b>5.4. Bases Teóricas .....</b>	<b>5</b>
<b>5.4.1. Tratamientos para la potabilización del agua.....</b>	<b>5</b>
<b>5.4.2. Clarificación.....</b>	<b>6</b>
<b>5.4.3. Coagulación .....</b>	<b>6</b>
<b>5.4.5. Agentes Coagulantes.....</b>	<b>8</b>
<b>5.4.7. Floculación .....</b>	<b>10</b>
<b>5.4.8. Sedimentación.....</b>	<b>11</b>
<b>5.4.9. Filtración .....</b>	<b>11</b>
<b>5.4.10. Oxido-Desinfección .....</b>	<b>12</b>
<b>5.6. Características Fisicoquímicas del agua .....</b>	<b>14</b>
<b>5.6.1. Parámetros físicos .....</b>	<b>14</b>
<b>5.6.2. Turbiedad .....</b>	<b>15</b>
<b>5.6.3. Color .....</b>	<b>15</b>
<b>5.6.4. Sabores y Olores.....</b>	<b>16</b>

5.6.5.	pH .....	16
5.6.6.	Temperatura .....	16
5.7.	Hidroxiclورو de Aluminio .....	18
5.10.	Potencial Zeta .....	20
5.11.	Ensayo de Jarra.....	21
5.12.	Condiciones del Ensayo de jarra .....	22
5.13.	Procedimiento del Ensayo de Jarras.....	23
6.	Hipótesis.....	24
7.	Propuesta de Solución.....	24
CAPITULO 2.....		25
8.	Metodología .....	25
8.1.	Muestras de Análisis.....	25
8.2.	Muestreo del agua .....	26
8.3.	Caracterización del Agua cruda .....	26
9.	Diseño de Experimentación .....	31
9.1.	Método Experimental.....	31
1.	Parámetros para la floculación.....	32
10.	Técnicas Analíticas .....	33
1.	Absorbencia (Turbidez) .....	33
2.	pH.....	33
3.	Temperatura.....	33
4.	Dureza.....	33
5.	Residual de Cloro.....	34
11.	Resultados .....	34
11.1.	Características fisicoquímicas en pruebas de jarras utilizando diversas cantidades de Hidroxiclورو de Aluminio .....	34
11.2.	Relación entre condiciones iniciales, dosis optima de Hidroxiclورو de.....	47
11.3.	Porcentajes de remoción de los parámetros fisicoquímicos con Hidroxiclورو de Aluminio .....	48
11.4.	Discusión de resultados .....	50
11.5.	Comportamiento del pH en el Tratamiento con Hidroxiclورو de Aluminio.....	50
11.6.	Discusión de resultados .....	51

11.7. Resultados finales.....	51
CAPITULO 4.....	52
12. Conclusiones y recomendaciones .....	52
12.1. Conclusiones .....	52
14. Presupuesto .....	54
15. Referencia .....	55
Anexo 1. Multiparámetro HANNA HI98130.....	61

## Lista de Tablas

<b>Tabla 1</b>	<b>Coagulantes de hierro y aluminio .....</b>	<b>8</b>
<b>Tabla 2</b>	<b>Clasificación de filtros profundos.....</b>	<b>12</b>
<b>Tabla 3</b>	<b>Velocidades de transporte de partículas (Fox, 1949) .....</b>	<b>17</b>
<b>Tabla 4</b>	<b>Preparación de la dosificación de coagulante Hidroxicloruro de Aluminio .....</b>	<b>28</b>
<b>Tabla 5</b>	<b>Turbiedad .....</b>	<b>34</b>
<b>Tabla 6</b>	<b>Comparación de turbiedad .....</b>	<b>34</b>
<b>Tabla 7</b>	<b>pH.....</b>	<b>35</b>
<b>Tabla 8</b>	<b>Comparación del pH .....</b>	<b>35</b>
<b>Tabla 9</b>	<b>Resultados del color inicial y color final.....</b>	<b>36</b>
<b>Tabla 10</b>	<b>comparación de color inicial y color final.....</b>	<b>37</b>
<b>Tabla 11</b>	<b>Resultados de todos los parámetros del agua .....</b>	<b>38</b>
<b>Tabla 12</b>	<b>Comparación de la turbiedad inicial y turbiedad final.....</b>	<b>38</b>
<b>Tabla 13</b>	<b>Comparación de la turbiedad inicial y turbiedad final.....</b>	<b>38</b>
<b>Tabla 14</b>	<b>Resultados de pH .....</b>	<b>39</b>
<b>Tabla 15</b>	<b>Comparación del pH inicial y pH final.....</b>	<b>39</b>
<b>Tabla 16</b>	<b>Resultados del color inicial y color final .....</b>	<b>40</b>
<b>Tabla 17</b>	<b>Comparación del color inicial y color final.....</b>	<b>40</b>
<b>Tabla 18</b>	<b>Resultados .....</b>	<b>41</b>
<b>Tabla 19</b>	<b>pH alterado .....</b>	<b>42</b>
<b>Tabla 20</b>	<b>Comparación de la turbiedad .....</b>	<b>42</b>
<b>Tabla 21</b>	<b>Resultados del color inicial y color final del agua.....</b>	<b>43</b>
<b>Tabla 22</b>	<b>Comparación del color inicial y color final del agua .....</b>	<b>44</b>
<b>Tabla 23</b>	<b>Comparación de color inicial y color final .....</b>	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
<b>Tabla 24</b>	<b>Relación entre condiciones iniciales, dosis optima de Hidroxicloruro de Aluminio y condiciones finales.....</b>	<b>47</b>
<b>Tabla 25</b>	<b>Porcentajes de remoción de los parámetros fisicoquímicos con Hidroxicloruro de Aluminio .....</b>	<b>48</b>
<b>Tabla 26</b>	<b>Comportamiento del pH .....</b>	<b>50</b>
<b>Tabla 28</b>	<b>Cronograma .....</b>	<b>54</b>
<b>Tabla 27</b>	<b>Cronograma .....</b>	<b>54</b>
<b>Tabla 29</b>	<b>Presupuesto.....</b>	<b>54</b>

## Lista de Figuras

<b>Ilustración 2 comparación de pH inicial y pH final .....</b>	<b>36</b>
<b>Ilustración 3 Comparación de color inicial y color final .....</b>	<b>37</b>
<b>Ilustración 4 Comparación de la turbiedad inicial y turbiedad final .....</b>	<b>39</b>
<b>Ilustración 5 Comparación del pH inicial y pH final .....</b>	<b>39</b>
<b>Ilustración 6 comparación del color inicial y color final .....</b>	<b>41</b>
<b>Ilustración 7 Comparación de la turbiedad inicial y turbiedad final .....</b>	<b>43</b>
<b>Ilustración 8 Comparación del color .....</b>	<b>44</b>
<b>Ilustración 9 Comparación de turbiedad inicial y turbiedad final .....</b>	<b>45</b>
<b>Ilustración 10 Comparación del color inicial y final .....</b>	<b>47</b>
<b>Ilustración 11 Porcentaje de remoción.....</b>	<b>49</b>
<b>Ilustración 12 Comportamiento del pH en análisis realizados .....</b>	<b>51</b>

## Lista de Anexo

<b>Anexo 1. Multiparámetro HANNA HI98130.....</b>	<b>61</b>
<b>Anexo 2. Multiparámetro HANNA HI9819 .....</b>	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
<b>Anexo 3. Turbidímetro HACH 2100Q .....</b>	<b>62</b>
<b>Anexo 4. Espectrofotómetro HACH DR/2010.....</b>	<b>62</b>
<b>Anexo 5. Equipo de prueba de jarras Velp Scientifica .....</b>	<b>63</b>
<b>Anexo 6. Gramera Electronic .....</b>	<b>63</b>
<b>Anexo 7. Espectrofotómetro HANNA IRIS HI801-01 .....</b>	<b>64</b>
<b>Anexo 8. Agua destilada.....</b>	<b>64</b>
<b>Anexo 9. Coagulante Hidroxicloruro de Aluminio.....</b>	<b>65</b>
<b>Anexo 10. Floculante Poliacrilamida .....</b>	<b>65</b>
<b>Anexo 11. Agua Cruda .....</b>	<b>66</b>
<b>Anexo 12. Utilizando el Kit de Prueba de la dureza Modelo 5-B.....</b>	<b>66</b>
<b>Anexo 13. Medidor del pH y TDS .....</b>	<b>67</b>
<b>Anexo 14. Toma de resultados de los parámetros pH y TDS .....</b>	<b>67</b>
<b>Anexo 15. muestra de agua cruda .....</b>	<b>68</b>
<b>Anexo 16. Resultados de agua tratada con Hidroxicloruro de Aluminio .....</b>	<b>68</b>
<b>Anexo 17. Agua cruda minutos antes de someterse al tratamiento fisicoquímico .....</b>	<b>69</b>

## **Título**

Determinación de las dosis óptimas del coagulante y floculante hidroxiclورو de aluminio en función de la turbiedad y el color para la potabilización del río Guayas

### **Glosario**

**PPM:** Partes por millón

**RPM:** Revoluciones por minuto

**TS:** Solidos totales disueltos

**SST:** Solidos Suspendidos totales

**TDS:** Solidos Disueltos Totales

**TOC:** Carbono orgánico total

## INTRODUCCIÓN

El acceso a agua potable y segura es un derecho humano fundamental, y su suministro confiable es esencial para garantizar la salud y el bienestar de las comunidades. En muchas regiones, la calidad del agua de origen, como ríos y fuentes naturales, puede estar afectada por diversos factores, incluida la turbiedad y la presencia de impurezas que afectan tanto su estética como su potabilidad. En este contexto, el Río Guayas, una importante fuente de abastecimiento de agua en la región, se enfrenta a desafíos considerables relacionados con la calidad del agua, particularmente en términos de turbiedad y color.

La turbiedad y el color en el agua son parámetros clave que impactan negativamente en la calidad percibida y la seguridad del suministro de agua. Estos factores no solo afectan la estética del agua, sino que también pueden indicar la presencia de partículas suspendidas y sustancias orgánicas que pueden ser perjudiciales para la salud humana. Para abordar esta problemática y garantizar un suministro de agua potable seguro y confiable desde el Río Guayas, es imperativo encontrar soluciones efectivas y sostenibles.

El coagulante y floculante hidroxiclورو de aluminio se ha destacado como una alternativa eficaz para el tratamiento de aguas con alta turbiedad y color. Su capacidad para aglutinar partículas y sustancias disueltas en el agua lo convierte en un agente potencialmente valioso en el proceso de potabilización. Sin embargo, la determinación de las dosis óptimas de este coagulante y floculante es un aspecto crítico y específico para cada fuente de agua y condición ambiental.

El presente estudio tiene como objetivo principal abordar esta necesidad crítica, identificando las dosis óptimas del coagulante y floculante hidroxiclورو de aluminio en función de la turbiedad y el color en el agua del Río Guayas. A través de investigaciones exhaustivas y experimentación precisa, este trabajo busca contribuir al desarrollo de un proceso de potabilización más eficiente y efectivo, garantizando la calidad del agua suministrada a la comunidad.

Esta investigación no solo tiene implicaciones directas en la mejora de la calidad del agua

potable en la región, sino que también puede servir como un ejemplo valioso para otras áreas que enfrentan desafíos similares. El logro de dosis óptimas específicas para el hidroxiclورو de aluminio representa un avance significativo hacia la garantía de un suministro de agua seguro y confiable, mejorando así la calidad de vida de quienes dependen de este recurso vital.



## CAPITULO 1

### 1. Problema

El agua tiene un rol esencial en el ámbito industrial y es de gran importancia en diversos aspectos y se utiliza en muchos procesos industriales como en el proceso de producción, como la fabricación de productos, la generación de energía, la refrigeración de equipos y maquinaria, la limpieza de equipos, la dilución de sustancias químicas, entre otros. Es un componente esencial en muchas industrias, como la alimentaria, la química, la textil, la farmacéutica, la automotriz, entre otras.

Por ese motivo el uso del agua en la industria es crucial tanto desde una perspectiva ambiental como económica. En el Ecuador encontramos que muchas empresas aún no han desarrollado el polímero ideal ni la cantidad correcta de dosificación de coagulantes y floculantes para el tratamiento del agua, ya que en el mercado existen muchos productos tanto orgánicos e inorgánicos.

Por lo tanto, la finalidad de este proyecto es hallar la mejor dosis del coagulante hidroxiclورو de aluminio, y adquirir varias dosis de coagulante según los criterios de turbidez y color del agua cruda, realizando experimentos por medio de la prueba de jarra, lo cual seguirá los lineamientos que establece la norma NTE INEN 1108:2020.

Nuestra metodología de trabajo se basará en un modelo experimental el cual se utiliza cuando sea necesario establecer la mejor dosis de coagulantes en instalaciones de PTAP y/o PTAR, en particular cuando la calidad del agua varía aceleradamente, lo cual ayudará a eliminar partículas suspendidas y sustancias coloidales del agua, lo que resulta en una mejor potabilización y calidad del agua tratada

## 2. Justificación.

Una gran cantidad de fábricas no manejan un procedimiento de potabilización de agua y pagan grandes cantidades al estado, por el hecho de no tener un sistema de reutilización o aprovechamiento adecuado del agua utilizada, por tal motivo la potabilización del agua es un factor importante en cualquier tipo de industria.

Lo más conveniente tanto en lo económico como en lo ambiental es la captación de agua del río Guayas, de esa manera toda el agua captada se someterá a un proceso fisicoquímico para el tratamiento de potabilización, lo cual se trabajará con los criterios implantados por la guía NTE INEN 1108:2020. Dicha norma establece que los parámetros de control sobre los indicadores a medirse son el pH, la turbidez y el color.

Lo cual intenta formar la mejor dosis del coagulante hidroxiclورو de aluminio y adquirir varias dosis de coagulante en función de las características de turbidez y color del agua bruta realizando experimentos por medio de la prueba de jarra.

La actual investigación se llevó a cabo para determinar una dosis establecida de coagulante Hidroxiclورو de Aluminio, que sea efectiva y que logre una buena potabilización del agua sin exceder una concentración que pueda ser perjudicial para la salud de los individuos como el entorno natural.

### 3. Grupo Objetivo Beneficiario

Empresas y profesionales del sector del agua: Las dosis óptimas determinadas serán útiles para las empresas y profesionales involucrados en planificación, ejecución y mantenimiento de la PTAP. Les proporcionará pautas claras para la selección y dosificación adecuada de coagulantes y floculantes, lo que contribuirá a aumentar la eficacia de los procesos de potabilización. Para obtención de la cantidad optima se ejecuta un tratamiento fisicoquímico mediante una prueba de jarra, lo cual se determinó que por cada 1000ml de agua cruda tendrá una dosificación de 30ppm o a su vez 3 mg/l.

### 4. Objetivos

#### 4.1. Generales

Determinar la dosis óptima del coagulante hidroxiclорuro de aluminio en función de la turbiedad y el color, para la potabilización del rio guayas.

#### 4.2. Específicos

- Establecer la turbidez, color y pH del agua cruda.
- Determinar en cada caso la dosis óptima de coagulante y floculante, analizando los resultados obtenidos después de la prueba de jarras en base a los parámetros fisicoquímicos (Turbidez, color y pH).
- Encontrar la dosis optima del pH para la mejor dosis del coagulante y floculante encontrada
- Hallar la mejor dosis del precipitado de la coagulación y floculación, emplearse para optimizar este proceso.
- Construcción de las tablas y gráficos de las dosis optimas del coagulante, floculante, pH y del precipitado dosificado, y su relación con los parámetros de calidad de agua: turbidez y color

## **5. Marco Teórico**

### **5.1. Antecedentes**

**Pereira (2012)**, El propósito fundamental de este estudio fue examinar la implementación del coagulante sulfato de aluminio Granular Tipo B para identificar la cantidad óptima requerida para la eliminación de la turbidez y la coloración en diversas muestras de agua recopiladas a lo largo de un intervalo de tiempo de tiempo determinado. La técnica del estudio fue experimental, ya que estas muestras se determinaron mediante una prueba de jarra. Los resultados logrados tras la prueba estuvieron idóneos en cuanto a la eliminación de las características fisicoquímicas analizados según la norma NTE INEN 1108.

**Peña (2001)**, Realizaron un estudio técnico y económico el empleo de agentes coagulantes principales y sustancias auxiliares de Floculación empleada en la etapa de aclarado del agua en la PTAP de Ciudad Caracas, La Guairita. Este proyecto permitió determinar que el rendimiento de las unidades de precipitación depende principalmente del funcionamiento de las unidades destinadas a coagulación y floculación, es decir, mientras más positiva sea la dosificación del coagulante primario en la mezcla rápida, mejor será el efecto del método de potabilización en la planta.

### **5.2. Tipos de Agua.**

#### **5.2.1. Agua Natural.**

Agua extraída de recursos naturales, diferenciada por su gran contenido de minerales la existencia de elementos en pequeñas cantidades y recolectada bajo condiciones que garantizan su integridad bacteriológica. (Normalización., 2013).

### **5.2.2. Agua Residual.**

Agua de composición variable procedente para usos domésticos, industriales, comerciales, agrícolas, animales u otros usos públicos o privados cuya calidad se ha degradado. (Guayaquil, 2012)

### **5.2.3. Agua de Consumo**

Se ha caracterizado el agua obtenida de fuentes naturales, definida como agua que no contiene patógenos ni sustancias peligrosas que puedan resultar peligrosas para los humanos; Esta categoría de agua ha experimentado modificaciones en su estructura química o propiedades físicas haciéndola apta para todas las necesidades del hogar.

## **5.3. Calidad del Agua**

La condición del agua se refiere a las cualidades químicas, físicas, biológicas o radiológicas que se utilizan para evaluar si una masa de agua es idónea para el consumo humano. Las personas pueden determinar si el agua bruta cumple los criterios de pureza necesarios para su uso previsto, que puede variar de bajo a alto en función de la aplicación, media o gran calidad del agua desde una perspectiva puramente personal. Según el uso al que se destine el agua, es importante respetar los límites admisibles de las normas vigentes, que especifican objetivos de calidad en función del uso. (Arturo, 2012)

## **5.4. Bases Teóricas.**

### **5.4.1. Tratamientos para la potabilización del agua**

Para garantizar la potabilidad del agua destinada al consumo humano son necesarias varias etapas críticas, como la purificación, la desinfección, el tratamiento químico y la evaluación sensorial. En este contexto, el proceso de purificación incluye la coagulación y la formación de flóculos, en los que las partículas del agua se agrupan en masas diminutas con una densidad mayor que la del agua, lo que facilita que las partículas se asienten y que

el agua sea segura para el uso humano. (RODRIGUEZ MUÑOZ & GARCIA ROQUE, 2002)

#### **5.4.2. Clarificación**

La clarificación del agua es un proceso de purificación del agua que tiene como objetivo eliminar partículas finas, sólidos suspendidos, así como otras partículas y materiales coloidales que pueden hacer que el agua se vuelva turbia y decolorada. Este proceso implica sedimentar estas partículas en un tanque de sedimentación, donde las partículas con mayor peso descienden al fondo, el agua purificada se almacena en la parte de arriba después de pasar por el tanque. A veces se utilizan productos químicos como polímeros para mejorar la sedimentación y acelerar la clarificación. (agua, 2023)

#### **5.4.3. Coagulación**

Las moléculas que contribuyen a la turbidez y al color de los líquidos tienen cargas eléctricas intrínsecas, a menudo negativas, aunque algunas también pueden tener cargas positivas. En general, esto hace que el agua y las soluciones sean eléctricamente equilibradas. Debido a estas cargas, las partículas experimentan una fuerza repulsiva entre sí, lo que las mantiene suspendidas y separadas en el agua. Como resultado, estas partículas no se depositan en el fondo del líquido. (RODRIGUEZ, 1995).

Durante el curado, se neutraliza la carga coloidal y se elimina la repulsión electrostática. Esto generalmente se hace agregando algunos compuestos a base de aluminio o hierro utilizados como agentes coagulantes al agua donde la carga negativa que neutraliza los iones con una carga de tres en aluminio o hierro normalmente rodea las partículas en suspensión en el agua en forma de coloides

Se realiza la etapa de coagulación y floculación se produce de forma gradual, de manera que después de que las partículas en contacto entre ellas se desestabilizan, se van formando micropartículas, que casi no se perciben a la vista, hasta que la floculación es mayor que el agua circundante. Puede ser que no se haya neutralizado completamente la carga de todas las partículas, lo que podría dar lugar a una coagulación insuficiente. En tal situación, sería necesario introducir coagulante adicional. (RESTREPO OSORNO, 2009).

#### **5.4.4. Coagulación con sales de hierro y aluminio.**

En tiempos anteriores, los coagulantes usuales de aluminio y hierro solían ser compuestos con una valencia trivalente, como el sulfato de aluminio y los sulfatos y cloruros férricos. La Tabla 1 resume algunos datos relacionados con estos. Las hojas de datos de los proveedores también deben usarse para verificar las propiedades de las sustancias químicas empleadas en el proceso de aclarado del agua. La adición de un coagulante férrico o de aluminio al agua pone en marcha una serie compleja de reacciones (Benfield LD, 1892). Inicialmente, se forman iones trivalentes férricos o de aluminio. Estos luego se hidratan para formar complejos del metal con moléculas de agua. En una serie de reacciones adicionales Los iones de hidróxido sustituyen a las moléculas de agua dando lugar a una serie adicional de complejos. Según los niveles del pH y las concentraciones, el hierro y el aluminio finalmente precipitarán en gran medida como un flóculo de hidróxido. Los puntos para tener en cuenta son que muchos de los complejos intermedios son muy efectivos en el fenómeno de doble capa y en el equilibrio de carga, y también tienen una vida corta. Esto explica la importancia de una mezcla adecuada cuando se utilizan sales de hierro o aluminio como coagulantes. Si no hay una mezcla efectiva, entonces se pueden requerir dosis más altas de coagulante.

**Tabla 1 Coagulantes de hierro y aluminio.**

<b>Nombre común/Nombre químico</b>	<b>Formula química</b>	<b>Formas Físicas</b>	<b>Formas Físicas</b>	<b>Gravedad Especifica</b>
<b>Alumbre/Aluminio</b>	$Al_2(SO_4)_3 \cdot 14H_2O$	595	Gránulos sólidos 8% $Al_2O_3$ Líquido	- 1.3 (densidad aparente) 1.32 a las 158C
<b>Sulfato Férrico</b>	$Fe_2(SO_4)_3$	400	Líquido	- 1.5
<b>Cloruro Férrico</b>	$FeCl_3$	162	Líquido	- 1,45
<b>Cloruro de Poli aluminio</b>	$Al_x(OX)_yCl_z$	Alto	Líquido	- 1.2
<b>Silicato de Poli aluminio</b>	$Al_w(OX)_x(SO_4)_y(SiO_2)_z$	Alto	Líquido	- 1.3
<b>Férrico Polimerizado</b>	$Fex(SO_4)$	Alto	Líquido	- 1.6

#### **5.4.5. Agentes Coagulantes**

Los agentes coagulantes son sustancias químicas que se añaden al agua con el fin de aglutinar todas las partículas en suspensión, formando un conglomerado más amplio (llamado floculante) que se deposita de manera más eficiente. (Pradilla, 1994).

Los compuestos inorgánicos de aluminio o hierro, como el sulfato de aluminio, el aluminato de sodio, el sulfato ferroso, y el sulfato y cloruro férricos, se emplean extensamente como agentes coagulantes en el tratamiento del agua.



Cada uno de estos floculantes presenta un intervalo de pH en el cual su solubilidad es menor y su capacidad de precipitación es mayor, y esto varía de acuerdo con la composición química del agua sin tratar. Excepto por el aluminato de sodio, estos coagulantes son compuestos de sales ácidas que provocan una disminución del pH del agua". En consecuencia, según el tipo de agua en consideración, pueden ser necesarios productos químicos alcalinos como la cal, el carbonato o el hidróxido sódicos. (Cogollo Florez, 2011).

Las sustancias inorgánicas de aluminio o hierro, como el sulfato de aluminio, el aluminato de sodio, el sulfato y el cloruro férricos, son los coágulos de sangre más utilizados en la purificación de agua. Cada floculación tiene un cierto compartimento de pH, en el que tiene la solubilidad más pequeña y causa la lluvia más alta, dependiendo de las propiedades químicas de las partículas rugosas. (Quintana, 2000).

#### **5.4.6. Coagulación Mejorada**

La mejora en el proceso de coagulación es una frase cada vez más común en el tratamiento del agua, aunque se relaciona estrictamente con los requisitos reglamentarios de EE. UU. La USEPA lo define de la siguiente manera: 'El término coagulación mejorada se refiere al proceso de mejorar y eliminar precursores de subproductos de esterilización (DBP) en una PTAP convencional.' (USEPA, Coagulación mejorada y ablandamiento precipitativo mejorado, 1999). Según el régimen regulatorio estadounidense, la USEPA debe especificar los niveles máximos de contaminantes o una técnica de tratamiento para abordar los contaminantes. Una técnica de tratamiento es un proceso o técnica que se aplica cuando es impracticable especificar una concentración máxima requerida, a, y un ejemplo de un parámetro de preocupación es el carbono orgánico total (TOC). La unión de TOC es

un fundamental en la generación de subproductos resultantes del proceso de desinfección, en particular productos químicos orgánicos clorados, muchos de los cuales son cancerígenos. Si bien la redacción es compleja, la esencia del requisito es que, en una PTAP, si la coagulación significa que la planta logra la eliminación, dependiendo del entorno del agua, entonces no se requiere una coagulación mejorada de TOC requerida. Si no se logra la eliminación requerida de TOC, la coagulación debe optimizarse y mejorarse para lograr la máxima eliminación posible, con el proceso conocido como coagulación mejorada. La coagulación mejorada implica una investigación a escala de banco sobre el proceso de floculación y coagulación para establecer las situaciones óptimas para maximizar la eliminación de TOC y luego buscar la aprobación de un estado para un criterio alternativo de eliminación de TOC para una planta, y luego implementar el tratamiento en las plantas de tamaño completo. En el contexto del Reino Unido, se podría afirmar que término se usa libremente para cubrir la optimización de la coagulación dentro de una PTAP, y generalmente no se enfoca solo en minimizar la turbidez, con el proceso conocido como coagulación mejorada. La coagulación mejorada implica una investigación a escala de banco sobre la causa de floculación y coagulación para determinar las circunstancias ideales para maximizar la eliminación de TOC y luego buscar la aprobación de un estado para un criterio alternativo de eliminación de TOC para una planta, y luego implementar el tratamiento en las plantas de tamaño completo.

#### **5.4.7. Floculación**

La formación de escamas se produce debido a la acumulación de partículas que se mueven hacia afuera cuando entran en interacción mutua. Esto podría ser causado por choques de partículas porque cuando las superficies sólidas están lo suficientemente cerca

entre sí, a fuerza de atracción de Van Der Waals supera el rechazo debido a la carga reducida, lo que resulta en una menor repulsión eléctrica.

La coagulación puede ser ortogonal, causada por la energía transferida al líquido por una fuerza externa (rotación de la pala) y ocurrir cuando los contactos se realizan debido al flujo de líquido, o para cinética, causada por el movimiento browniano en los líquidos debido a la mezcla y la gravedad. (LORENZO-ACOSTA, 2006).

El floculante utilizado provoca la formación de flóculos, sin embargo, es de vital importancia incrementar su diámetro, masa y sobre todo su cohesión. Con el fin de promover la compactación de los bloques, es necesario agitar todo el material de manera uniforme y lenta para aumentar la probabilidad de que las partículas cargadas encuentren los grumos. (LORENZO-ACOSTA, 2006).

#### **5.4.8. Sedimentación**

La sedimentación es el proceso de eliminar partículas suspendidas de un líquido cuya densidad excede la del líquido. No todas las partículas suspendidas en la mezcla se sedimentan inmediatamente, y las que se sedimentan después de un tiempo se denominan "sedimentos".

La deposición es un proceso físico, específicamente relacionado con las características de deposición de partículas suspendidas en el agua. A medida que estas partículas se sedimentan, el resultado es siempre un líquido más claro y una suspensión más densa. (Carrion, 2006)

#### **5.4.9. Filtración.**

La filtración es un proceso que remueve el material suspendido. El propósito fundamental de este proceso es retener todas aquellas partículas que no fueron precipitadas en el sedimentador y obtener agua con turbiedad dentro de las normas de calidad (Venegua,

2007). Un filtro es un conjunto único de operaciones sobre las que se realiza el filtrado. Consiste en un material filtrante (malla, tela, papel o una capa de sólidos (antracita)) que funciona como barrera permitiendo el paso del líquido reteniendo la mayor parte de los sólidos. (Eddy, 1995)

**Tabla 2 Clasificación de filtros profundos**

<b>Parámetros</b>	<b>Clasificación</b>
De acuerdo con la tasa de filtración	Lentos
	Rápidos
De acuerdo con la dirección del flujo	Ascendentes
	Descendentes
En función de la carga	Gravedad
	Presión
Dependiendo del material de filtración	Arena
	Mezcla: arena-antracita
	Mezcla, arena-antracita-granate

(Najul, 2007)

#### **5.4.10. Oxido-Desinfección**

La esterilización del agua por oxidación implica la eliminación de patógenos. Este tipo de proceso tiene aplicaciones importantes porque el agua cruda contiene una diversidad extensa de compuestos tanto orgánicos como inorgánicos, y el uso de cloro del dispensador provoca oxidación y destrucción de estos patógenos. Este tratamiento puede ser aplicado al inicio (pre-cloración) del tratamiento y al final (post-cloración) con el fin de asegurar la desinfección en las redes de distribución. (Riper, 2001).

#### **5.4.11. Conductividad.**

la habilidad del agua para llevar consigo electricidad se denomina conductividad. Esta propiedad está relacionada cuando hay iones en el agua, su capacidad de desplazamiento su carga y proporción, además de la temperatura. La interacción eléctrica

de atracción y repulsión entre los iones, así como las características de temperatura de la mezcla, pueden ser los factores más significativos que afectan a la actividad iónica en una solución. (Marta, 2009)

### **5.5. Almacenamiento de agua cruda**

La provisión de almacenamiento de agua cruda en las tomas de los ríos es una buena práctica. Hay varias razones por las que esto es así. En las tomas de los tramos inferiores de los ríos siempre existe la posibilidad de que ocurra una contaminación significativa aguas arriba; por ejemplo, un accidente vehicular que provoque diésel oíl en el río o la descarga de un químico tóxico. Para proporcionar cierta flexibilidad en el manejo de tales incidentes, es una buena práctica proporcionar almacenamiento antes de las obras. Entonces es posible dejar de extraer agua mientras la contaminación pasa.

En reconocimiento de este riesgo, el gobierno del Reino Unido recomendó a principios de la década de 1970 que se proporcionara un almacenamiento mínimo de siete días para las obras de tratamiento cuyas tomas de agua sin tratar estuvieran aguas abajo de las descargas de efluentes. El requisito de siete días para todas las obras no se ha cumplido, y ahora nunca se cumplirá. Sin embargo, siete días es un período razonable para permitir que pase la peor contaminación y dar tiempo para tratar la fuente del problema (Poynter SFB y Stevens, 1975)

Sólo se puede lograr un progreso significativo de la mala calidad del agua almacenándola, incluso si no es necesaria para ningún otro propósito. Esta mejora es el resultado de la deposición de la suspensión y de una reducción significativa del número de organismos patógenos. El aumento en la calidad del agua está relacionado con el tiempo de permanencia, si el reservorio está completamente mezclado y la época del año. Los

reservorios con varias semanas de almacenamiento normalmente darán una reducción de más del 90% en coliformes y *Escherichia coli* números, aumentando a alrededor del 99% en el verano (Poynter SFB y Stevens, 1975). Al mismo tiempo, habrá reducciones en el color, la turbidez, el amoníaco y muchos contaminantes orgánicos, incluidos pesticidas y herbicidas (Oskam, 1995). También habrá reducciones significativas en el número de *Criptosporidio* y *Giardia* oquistes.

### **5.6. Características Físicoquímicas del agua.**

El agua se compone de dos átomos de hidrógeno y uno de oxígeno que permanecen unidos a través de enlaces covalentes. Las interacciones entre dos o más moléculas de agua se producen gracias a los vínculos de hidrógeno y oxígeno, que se deben a las diferencias en electronegatividad, que atrae electrones adicionales y crea así dipolos eléctricos. El agua se caracteriza por cambios de estado de agregación, se toman como puntos fijos las temperaturas de transición de un estado a otro, aunque sus puntos de congelación y ebullición son anómalos. El agua es incolora, inolora y no tiene sabor a temperaturas habituales, aunque consigue variar, adquiriendo un color ligeramente azul debido a su capacidad para absorber longitudes de onda largas. En la industria se producen transformaciones tanto químicas como físicas entre sustancias disueltas en ellas, que pueden ocurrir en el agua. (Marta, 2009)

#### **5.6.1. Parámetros físicos.**

Se denominan así porque pueden alterar los sentidos y el estado estético; no constituyen indicadores definitivos de contaminación, dado que sus niveles pueden variar considerablemente; no obstante, es esencial llevar a cabo mediciones. La cantidad de contaminación y la magnitud de la zona impactada pueden determinarse simplemente aportando uno de estos criterios. (Ramos, 2016)

### **5.6.2. Turbiedad**

La turbidez es un atributo visual generad por la dispersión o interferencia de la luz a mediante una muestra de agua. La claridad, en cambio, es una cualidad óptica de una suspensión que permite que la luz viaje a través de ella en lugar de bloquearla. La presencia de turbidez en el agua puede deberse a diversos sólidos suspendidos, como coloides dispersos y partículas más grandes como arcilla, limo, compuestos orgánicos e inorgánicos finos, plancton, bacterias y otros componentes. La turbidimetría, que ofrece datos en unidades de turbidez, es actualmente la técnica principal para evaluar la turbidez.

El control de la turbidez es fundamental tanto en el suministro de agua potable como en varios usos en la industria de alimentos y bebidas. El nivel de turbidez se emplea para calcular la necesidad de filtración en la fuente de agua bruta, su capacidad de filtración, el coeficiente de filtración óptimo, la eficacia de procesos como la coagulación, la sedimentación y la filtración, y si el agua es adecuada para el uso humano. (Romero Rojas J. A., 2002)

### **5.6.3. Color**

El tono del agua es un factor importante para evaluar la idoneidad del agua para el consumo humano. Esto se debe a la presencia de componentes orgánicos naturales tales como compuestos orgánicos húmicos o metales específicos como el hierro, el manganeso o el cobre, cambia constantemente el color del agua. La materia orgánica presenta subproductos nocivos durante desinfección del agua. Es importante diferencia entre sustancias disueltas en agua y partículas en suspensión, ya que esto afecta el color original versus el color aparente del agua. La turbidez, causada principalmente por partículas en suspensión, puede inferir con la medición del color, por lo que se debe eliminar. (Aire, 2019)

#### **5.6.4. Sabores y Olores**

Bajo ciertas condiciones, las algas pueden estar presentes en las aguas superficiales, particularmente en el agua de los embalses o lagos. Esto puede provocar Sensaciones gustativas y aromas poco agradables en el agua que ha sido procesada.; estos están particularmente asociados con la cloración. La eliminación de algas es esencial y, a menudo, difícil. Ciertas otras sustancias también pueden causar sabor incluso cuando están presentes en concentraciones increíblemente bajas de tan solo 1 metrog/l. Después de la cloración, los fenoles pueden dar lugar a un sabor a cloro fenoles cuando están presentes a niveles tan reducidos como 0,01.mg/l (Degremón, 1991)

#### **5.6.5. pH**

El valor de pH del agua indica la concentración de iones hidrógeno en ella (H) que indica si es ácida o alcalina. El rango de pH se extiende de 0 a 14, donde 7 representa el punto neutral. Los valores ácidos son inferiores a 7. (Miguel., 2018).

El valor del pH afecta a una serie de procesos relacionados con el agua, incluyendo problemas tales como el desgaste de corrosión y la acumulación sedimentos en la red de distribución. Si bien esto no afecta directamente a la salud, puede alterar los métodos de procesamiento del agua, como el proceso de coagulación y la floculación. (Miguel., 2018).

#### **5.6.6. Temperatura.**

Influye en la posición de la barrera de energía, pero su influencia no es tan marcada en la desestabilización, como en el transporte de las partículas. En el caso de la floculación peri cinética Incrementa la tasa de difusión como consecuencia del movimiento de las partículas según el movimiento Browniano, por lo tanto, la probabilidad de colisiones es mayor. En la floculación orto cinética disminuye la viscosidad, incrementándose así el transporte y probabilidad de choques entre las partículas (Najul, 2007)



### 5.6.7. Sólidos Disueltos Totales (TDS)

Los compuestos inorgánicos como calcio, magnesio, potasio y sodio, junto con bicarbonatos, cloruros y sulfatos, constituyen la mayor parte de los sólidos disueltos en el agua. También pueden incluir trazas de sustancias químicas. Estos sólidos disueltos son soluciones y partículas coloidales que son lo suficientemente pequeños como para atravesar un filtro con un tamaño de poro de 0,45 micrómetros de porosidad. (Jimenez, 2005).

El agua natural, así como las aguas residuales urbanas e industriales, incluyen partículas disueltas, y sus cantidades varían en función debido a la existencia de minerales, descomposición de gases, metales y sustancias químicas orgánicas. Estos elementos pueden afectar al color, sabor y aroma del agua, así como crear contaminación en la masa de agua donde se encuentran. (Panachlor., 2003).

**Tabla 3 Velocidades de transporte de partículas (Fox, 1949)**

<b>Materiales</b>	<b>Diámetro de partícula (mm)</b>	<b>Velocidad del Agua: m/s</b>
<b>Arena Fina</b>	0.4	0.15
<b>Arena Media</b>	1.1	0.23
<b>Arena Gruesa</b>	2.5	0.3
<b>Grava</b>	2.5-25	0.76
<b>Guijarros</b>	22-75	1.2

### 5.6.8. Sólidos Suspendidos totales (SST)

La mayor parte de los sólidos en suspensión son de entorno orgánica y están causados principalmente por los residuos humanos, las actividades humanas, las células biológicas que componen la mayor parte de las partículas en suspensión y la resistencia natural de la superficie terrestre.

Las partículas suspendidas, que incluyen sólidos en suspensión, sólidos coloidales y precipitados, tienen un tamaño superior a 1,0 micrómetros. El tratamiento de las aguas residuales puede realizarse almacenándolas en embalses, lagos o estanques, un método rentable pero ineficaz. Otros procesos, como la coagulación, la floculación y el filtrado, aumentan la eficacia de la eliminación, pero incrementan los costes. (Jiménez, 2005)

#### **5.6.9. Sólidos Coloidales.**

Los sólidos coloidales son s ultrafinas que no sedimentan con las técnicas tradicionales. Se distinguen por la presencia de al menos dos fases, una de las cuales está dividida en pequeñas partículas (denominada fase dispersa o discreta) y la otra está totalmente englobada por otro material (denominada fase de dispersión o continua). Cuando el tamaño de la fase dispersa se sitúa entre 1 nanómetro y 1000 nanómetros (1 micrómetro), el carácter coloidal se hace evidente. Aunque no es riguroso, este número ofrece una evaluación algo exacta del tamaño. Debido a las interacciones físicas de carga entre las partículas dispersas, estas partículas son sumamente estables, y su comportamiento sigue la teoría DLVO, que se basa en la teoría de la doble capa eléctrica. (Rodríguez, 2006).

#### **5.7. Hidroxicloruro de Aluminio**

El hidroxicloruro de aluminio es un polímero de alto peso molecular. Se comercializa en forma líquida espesa, de tonalidad ámbar pálida, en ocasiones lechoso y con un agradable sabor. El clorhidrato de aluminio es un floculante coagulante polimérico que se utiliza en la purificación de agua para consumo humano, y aguas procedimientos industriales. Durante las últimas décadas se han sustituido otros coagulantes, como el sulfato de aluminio, y se ha suprimido la necesidad de un regulador del pH en la mayoría de las circunstancias. El pH ideal para el grupo funcional hidroxicloruro de aluminio "varía

en un rango de 5,0 a 9,0, según de la cantidad de carbono orgánico del agua; debido al amplio rango de pH, no es necesario modificar el pH. (Calcaneo, 2017)

### **5.8.Poliacrilamida**

La poliacrilamida es un polímero formado exclusivamente por moléculas de acrilamida. Tiene la capacidad de producirse en forma reticulada o de cadena recta, y también se emplea en copolímeros junto con otros monómeros, como el acrilato de sodio. La poliacrilamida no presenta toxicidad. No obstante, en el caso de la acrilamida polimerizada puede haber cantidades muy pequeñas de acrilamida no polimerizada neurotóxica. (Daughlon, 1988).

La poliacrilamida es un sustrato popular para la electroforesis en gel porque es químicamente inerte, tiene propiedades homogéneas, se puede producir rápidamente y es reproducible. Forma geles translúcidos insolubles en agua y mecánicamente estables que son esencialmente no iónicos y proporcionan vetas duraderas. También tiene la ventaja de tener la capacidad de regular las dimensiones de los poros variando la concentración del polímero. (Campell, 1995).

### **5.9. Formación del gel de Poliacrilamida**

“Los geles de poliacrilamida se forman por la polimerización vinílica del monómero acrilamida  $\text{CH}_2=\text{CH}-\text{CO}-\text{NH}_2$  y del monómero entrecruzado N, N'-metilen-bis-acrilamida  $\text{CH}_2 = \text{CH}- \text{CO} - \text{NH} - \text{CH}_2 - \text{NH} - \text{CO} - \text{CH} = \text{CH}_2$ .” El proceso de La polimerización inicia con la generación de monómeros a partir de radicales libres, los cuales se producen mediante la acción de iones persulfato en presencia de oxígeno. (Chaves Plains MA, 1990). Las aminas terciarias, como por ejemplo la N, N, N, N'-tetrametilendiamina (TEMED) se utilizan como fermentos en este proceso debido a que

generan radicales libres persulfatos. (Garfin, 1990). Dado que el alto contenido de oxígeno interfiere con este proceso, la solución debe desgasificarse para garantizar una gelificación reproducible. El proceso de separación electroforética se encuentra influenciado por muchos parámetros factores como el pH, la concentración de iones y el cambio de potencial, el tiempo de análisis, la concentración de acrilamida y bis acrilamida, etc. De hecho, los mejores parámetros para una separación eficiente se pueden encontrar experimentalmente analizando los efectos de diferentes componentes en una electroforesis determinada. El origen de la muestra sirve como guía para lograr las situaciones para obtener mejores resultados. (Hooper, 1999).

#### **5.10. Potencial Zeta**

El grupo resultante de estas partículas constituye un conjunto en un estado coloidal que consta de un par capa de iones, sobre la que actúa el potencial Z en la superficie inferior de la bicapa. Esta energía potencial tiene un valor crítico más allá del cual el coloide se estabiliza y por debajo del cual la repulsión en las partículas disminuye tanto que cuando chocan a un determinado ritmo pueden calentarse y aglomerarse. (Rodríguez, 1995)

El entorno del coloide cargado negativamente y cargado positivamente genera un campo eléctrico en relación con la solución. Este campo eléctrico es mayor cerca de la superficie y decrece a medida que nos distanciamos de la capa de difusión, llegando finalmente a cero en la superficie. El potencial de disociación y la distancia entre coloides constituyen un método para cuantificar la fuerza de repulsión entre coloides, teniendo en cuenta cuándo empiezan a actuar estas fuerzas en función de la distancia.

De particular interés es el potencial de intersección de las capas difusa y Stern. Este potencial se llama potencial zeta y es importante porque se puede medir de una manera

muy sencilla, pero no se puede medir su carga superficial ni su potencial. La carga zeta puede ser un método eficiente para regular la actividad coloidal porque muestra cambios en el potencial superficial y la repulsión entre coloides. (Restrepo Osorno, 2009)

#### **5.11. Ensayo de Jarra.**

La prueba de la lata es una de las más significativas para determinar la coagulación química del agua. Este procedimiento necesita datos previos sobre el pH, la turbidez, el color y la alcalinidad del agua de origen. (Romero Rojas J. A., 2002)

Cuando se realizan pruebas en viales, se utilizan diferentes dosis de coagulante y/o coagulante en cada vial (generalmente un grupo de seis (6) viales) para reducir los coloides y los compuestos orgánicos suspendidos mediante, simula procesos uniformes de coagulación, floculación y deposición, y permite ajustar ajustando el pH de cada muestra a los niveles en los que la floculación logra la máxima eficacia; esto dependerá del reactivo utilizado, pero generalmente se acepta un valor de pH de 6,3 a 7. (Navarro, 2015)

El propósito principal de los ensayos en jarras es determinar la cantidad ideal para un procedimiento concreto, lo que le permitirá adquirir agua de la mayor calidad al menor coste posible.

#### **Materiales:**

- Hidroxicloruro de aluminio
- Poliacrilamida
- Sosa caustica
- Ácido fuerte (Ácido clorhídrico)
- Pipetas de 1ml

- Vaso de precipitación de 1000 ml
- Test de jarra
- pH metro
- Turbidímetro

### **5.12. Condiciones del Ensayo de jarra**

Dado que la prueba de la jarra es sólo una imitación del proceso, deben mantenerse las circunstancias operativas observadas en los procesos industriales, como las variaciones en la presión del agua, los intervalos de agitación lenta y rápida, la ubicación de la aplicación del producto químico y la secuencia y el momento de la administración del producto químico. (regional, 1992)

#### **Mezcla rápida**

El propósito de la agitación veloz es generar el movimiento turbulento o líquido requerido en el tanque para que los químicos entren en contacto con las moléculas de agua coloidal, neutralizando así su carga, volviéndolas inestables y aglomeradas en poco tiempo. El tiempo de mezclado rápido depende del tipo de coagulante. Un ejemplo sería que la difusión de los polímeros ocurre a un ritmo más pausado que la de los iones metálicos debido a la estructura molecular de sus moléculas más grandes, por lo que se requeriría un tiempo o gradiente de velocidad más largo que la hidrólisis por floculación de metales.

#### **Mezcla Lenta**

En general, la agitación dura unos 15 minutos, y un tiempo mayor podría inducir un aumento de la temperatura de la muestra, lo que mejora la floculación, pero disminuye la sedimentación debido a la liberación de gas disuelto, que produce burbujas que se unen a los flóculos y los elevan hacia la superficie. (regional, 1992)

### **Reposo**

Durante determinado con el tiempo, los coloides se precipitan bajo la influencia de la gravedad y se obtiene agua clara.

#### **5.13. Procedimiento del Ensayo de Jarras**

Si bien se utilizan comúnmente pruebas en bancos, la implementación del Estudio Nacional de Extensión y Remoto “Diseño de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales” se cambiará a pruebas de laboratorio. (Fuquene Yate, 2017)

1. Comience la prueba de jarra analizando las aguas residuales, brutas para determinar el pH, la turbidez, el color y la alcalinidad (tal como se recogen en la industria).
2. Identifique el intervalo de pH óptimo para el coagulante que utilizará y, en caso necesario, modifique el nivel de acidez de toda la muestra de agua utilizando hidróxido de sodio.
3. Colocar un litro de muestra en cada vaso precipitado.
4. Determinar las diversas cantidades del coagulante a evaluar para determinar la dosis para cada jarra, teniendo en cuenta que la cantidad debe variar con el volumen de 0,5 ml por litro de agua.
5. Después de añadir el coagulante, programe una mezcla rápida intensiva (100rpm) durante un breve periodo de aproximadamente un minuto.
6. Planifique la adición del coagulante y realice una agitación suave (a una velocidad de alrededor de 40 rotaciones por minuto) durante alrededor de 15 minutos justo después de completar el paso 5 (asegurándose de añadir la misma cantidad de coagulante a todos los matraces, comenzando con 0,5 ml por litro de agua)
7. Comienza el proceso secuencial y observa cómo se comporta cada jarra.

8. Activa la iluminación de los dispositivos de jarras y permita que repose durante un mínimo de 10 minutos sin agitar
9. Al final del periodo de reposo, medir la cantidad de lodo producido.
10. Utilizando las llaves previstas en cada frasco o una pipeta o jeringa, extraer una muestra del agua clarificada.
11. Medir los parámetros enumerados en el número 1 para el agua tratada.

## **6. Hipótesis**

Se realizaría una investigación experimental en la que se probarían varias concentraciones de hidroxiclورو de aluminio en muestras de agua tomadas del río Guayas. Estas pruebas permitirían establecer la dosis ideal de coagulante y floculante que resulte en la reducción máxima de turbidez y color en el agua.

## **7. Propuesta de Solución**

Mediante el empleo de la técnica de la jarra, este estudio pretende descubrir la cantidad más eficaz de coagulante de hidroxiclورو de aluminio y adquirir cantidades variadas de coagulante a lo largo del proceso de tratamiento en función de los niveles de turbidez y color del agua sin tratar. Por ello utilizaremos una metodología experimental, para la que se procederá a obtener muestras de aguas del río Guayas, sometiéndolas a un proceso fisicoquímico en un laboratorio en donde cada muestra de agua será tratada con una diferente dosis de coagulante hidroxiclورو de aluminio, para determinar los parámetros que nos dice la norma NTE INEN 1108:2020, y con ello determinar la dosis final.



Los resultados se procederán a colocar en cuadros y gráficos comparativos en los cuales se podrán analizar nuestros parámetros iniciales del agua cruda y nuestros parámetros finales con el agua tratada.

## **CAPITULO 2**

### **8. Metodología**

Nuestra investigación es un trabajo experimental el cual tiene un tiempo de duración de 1 meses en el cual se estará recolectando muestras de agua cruda del rio Guayas cada semana de cada mes. De esa manera nos aseguramos de tener una variancia más ampliada y tener una mejor captación del agua, y así comparar datos para obtener una dosis optima.

En dichos procesos tenemos que ver en qué estado esta nuestra agua de manera que antes de iniciar cualquier tratamiento tenemos que comprobar el pH, la turbidez y el color. Una vez analizada el agua se procede con la prueba de jarra en donde vamos a probar nuestras dosis de coagulante en diferentes muestras de agua cruda al mismo tiempo, de esas 4 dosis se escoge la mejor dosis para otro tratamiento fisicoquímico.

Se procede así durante los 15 días comparando datos del coagulante y del floculante. Por tal motivo se procere hacer un método experimental.

#### **8.1. Muestras de Análisis.**

- La muestra de agua sin tratar fue obtenida del río Guayas en la localidad de Guayaquil, el tipo de muestra a analizar es una muestra sencilla recolectada en un determinado lugar.
- La cantidad de muestras analizadas fueron tomadas al alcance en un periodo de prueba de 15 días.

- Las muestras fueron recogidas los sábados y se las almacenó en baldes plásticos de 20L.

## **8.2. Muestreo del agua.**

Se han tenido en cuenta las reglas definidas según la regulación ecuatoriana NTE INEN 2176:2013, que se refiere al muestreo y metodologías de calidad del agua. Esta norma exige que el muestreo sea inmediato, puntual y aislado. La muestra se toma de una cantidad definida de agua en un momento y/o lugar aleatorio (Normalización, 2013).

Para el muestreo se utilizan recipientes de polietileno con una capacidad de 20 litros, suficiente para realizar los análisis fisicoquímicos necesarios. (Normalización, 2013).

Finalmente, el etiquetado de los contenedores es fundamental importancia y es de vital relevancia después de la recolección de la muestra, ya que proporciona información sobre las circunstancias en las que ocurren las condiciones bajo las cuales se recolectó la muestra, por ejemplo, origen, hora y fecha (Normalization, 2013). Una vez que se llena el contenedor, el formato de la etiqueta se pega inmediatamente al contenedor de la muestra recolectada.

## **8.3. Caracterización del Agua cruda**

El método de caracterización del agua bruta es fundamental porque determina la alcalinidad total, dureza total, pH y conductividad del agua. Estos exámenes se llevan a cabo de manera intermitente, en otras palabras, únicamente en el momento que son necesarios. Los análisis se realizan de forma periódica e incluyen pruebas de pH, temperatura, color y turbidez. Las muestras de agua bruta se someten a tratamientos similares a su llegada al lugar de la instalación y después de llevar a cabo las etapas de

coagulación, floculación y sedimentación. Se compararon los resultados de cada uno con los límites máximos permitidos según la Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 1108:2020, que establece los requisitos para el agua potable.

Se ha tenido en cuenta la norma ecuatoriana NTE INEN 2176:2013, que se refiere a la calidad del agua, el muestreo y las metodologías. La primera versión asume que la muestra es inmediata, puntual o individual, escogida al azar de una corriente de agua que fluye. (Normalización, 2013).

#### **8.4. Dosificaciones de Coagulante y acondicionador del pH**

La cantidad adecuada de coagulantes y estabilizadores del pH se establece mediante pruebas de laboratorio basadas sobre todo en la turbidez del agua bruta. La dosis se obtiene cuando el agua tratada alcanza las lecturas más bajas de turbidez y aluminio residual para cada muestra de agua bruta con un valor de turbidez específico.

Las muestras obtenidas del agua cruda nos van a generar un mismo valor de turbiedad (NTU), el cual no sabremos hasta realizar la prueba con el turbidímetro. Sea el valor que nos refleja va a estar fuera del parámetro que nos dice la norma INEN 1 108:2011 (Normalización, 2011) en la clarificación del agua su turbidez para consumo humano no debe ser mayor a los 5NTU y lo ideal sería que este por debajo de 1NTU.

La dosis de los coagulantes tienes que ser muy precisa ya que, si se agrega por debajo del índice requerido, las partículas en suspensión no se podrán neutralizar correctamente y la creación de micro flóculos, lo que resultaría en una elevada turbidez.

#### **8.5. Preparación de la medida de hidroxiclорuro de aluminio como coagulante**

$C_t$  = La cantidad de sustancia en la solución de trabajo

$C_d$  = concentración de la solución de PAC utilizada para la dosificación

$V_t$ =volumen de la solución preparada

$V_j$ = tamaño de los recipientes de las jarras

$T_p$ = período de utilización del PAC

**Tabla 4 Preparación de la dosificación de coagulante Hidroxicloruro de Aluminio**

Sustancia Químico	Hidroxicloruro de Aluminio PAC
La cantidad de sustancia en la solución de trabajo, $C_t$	1%
concentración de la solución de PAC utilizada para la dosificación, $C_d$	1%
Densidad PAC 001, $p$	1 g/ml
volumen de la solución preparada, $V_t$	100 ml
tamaño de los recipientes de las jarras, $V_j$	1000 ml
período de utilización del PAC del PAC	1 día

Preparación de la Solución de trabajo de coagulante Hidroxicloruro de Aluminio

001 al 1%

$$C_t = \frac{1g \text{ PAC}}{100 \text{ ml sol}} = \frac{10 \text{ g PAC}}{1000 \text{ ml sol}}$$

$$V_s = \frac{C_t \times V_t}{p}$$

$$\begin{aligned} V_s &= \frac{10g \text{ PAC}}{1000g \text{ sol}} \times \frac{1ml}{1g \text{ PAC}} \times 100ml \text{ sol al } 1\% \\ &= 1ml \text{ de PAC puro} \end{aligned}$$

Tomamos un volumen de 0.76ml de Hidroxicloruro de Aluminio y lo vertimos en un volumen de 100ml de agua destilada.

Concentración del Hidroxicloruro de Aluminio a 5ppm.

$$V5 = \frac{0.5ml PAC}{1L sol} \times \frac{1ml sol al 1\%}{10ml PAC} \times \frac{1L sol}{1000 ml sol} \times 1000 = 0.5ml sol al 1\%$$

Donde:

D5= Concentración del Hidroxicloruro de Aluminio

V5=Volumen de solución al 1% a aforar a 1000ml se obtendrá una concentración de 5ppm.

### **8.6. Elección del Polímero con mayor eficacia.**

Existen varios polímeros disponibles en el mercado que pueden utilizarse en los procedimientos de tratamiento del agua; sin embargo, su uso y aplicación, se definirán por su carga y las partículas presentes en el agua. Así mismo, el polímero elegido deberá poseer características las cuales mejoren considerablemente el procedimiento, no sean perjudiciales para la salud, sean económicos y respetuosos con el entorno.

Se realizaron varias pruebas para la selección, donde se eligió cambia el tipo de polímero, con ese fin se colocaron en cada matraz cantidades iguales de coagulante según los valores previamente analizados de color y turbidez, y como varía la cantidad de polímero, en caso de que sea 0.05 En un vial se colocan ppm, en el siguiente 0,06 ppm, y así sucesivamente. Después de las pruebas, se seleccionó el polímero que producía el mejor coagulante, es decir, el coagulante más grande y pesado, que proporcionaba un excelente color y eliminación de niebla.

### **8.7. Recursos y Materiales.**

Elementos y Componentes

- Recipientes de plástico para tomar muestras.
- Recipientes plasticos
- Probeta de 100 ml
- Balones de aforo de 100 y 250 ml
- Varillas de vidrio
- Vasos de precipitación de 100 y 250 ml
- Pipetas de 5 y 10 ml.
- Erlenmeyer

### **Equipos**

- Gramera Electronic
- Equipo jar-test Velp Scientifica
- Espectrofotómetro HACH DR/2010
- Turbidímetro HACH 2100 Q
- Multiparametro HANNA HI9819
- Multiparametro HANNA HI98130
- Espectrofotometro HANNA IRIS HI801-01

### **Insumos**

- Agua destilada
- Coagulante Hidroxicloruro de Aluminio
- Floculante Poliacrilamida
- Hidróxido de Sodio

## **8.8. Análisis Estadístico.**

- Con base en los resultados de los experimentos se inició la construcción de gráficos que relacionan las características de turbidez, color y pH con la dosis de floculante incluida, organizadas desde la fecha de realización de las pruebas.
- Luego se construyen las tablas y gráficos apropiados, donde la dosis óptima de floculante se correlaciona con la turbiedad del agua cruda.
- Las tasas de eliminación de turbidez y color se determinaron después del tratamiento con hidroxiclورو de aluminio.
- En última instancia, se suman los resultados obtenidos de manera que establezcan una relación entre las características iniciales y finales del agua (turbidez, color y pH) y la cantidad óptima de coagulante determinada.

## **9. Diseño de Experimentación**

### **9.1. Método Experimental**

Este enfoque se emplea para descubrir la dosis óptima de coagulante en instalaciones de PTAP o PTAR, sobre todo cuando la calidad del agua varía de forma rápida, al igual que la cantidad máxima de polímero aplicada del secado del precipitado.

La selección de productos químicos y sus concentraciones para su uso en un procedimiento específico es un paso vital en la purificación del agua. Para obtener un rendimiento aceptable a bajo coste, hay que determinar las concentraciones a las que el proceso y el sistema funcionan correctamente, a las cuales se realizan experimentos cuantitativos de laboratorio utilizando equipos como Jar Test. En la siguiente fase se utilizará el ensayo de jarras el cual tomaremos 1000ml de nuestra muestra de agua cruda para cada jarra, contaremos con 4 vasos de precipitación con distintas cantidades de dosis.

1 vaso de precipitación 10ppm

2 vaso de precipitación 20ppm

3 vaso de precipitación 30ppm

4 vaso de precipitación 40ppm

La cantidad de vasos de precipitación que utilizaremos nos va a ayudar a determinar nuestra muestra optima de coagulante, ya que al momento de trabajar con 4 vasos de precipitación estamos trabajando con 4 muestra en diferentes cantidades y observaremos cual es la más eficaz.

Según el Standard Practice for Coagulación-Flocculation Jar Test of Water se puede utilizar vasos de precipitación Griffin de 1500ml, pero se recomienda el uso del de 1000ml. Para llevar un control más exacto. (Martin Pivokonský, 2022)

Se procede a ubicar las jarras en el floculador y las llevamos a 100rpm durante 1 minuto.

Pasado el minuto cambiamos 40 rpm durante 15 minutos.

Una vez terminada la floculación esperamos 10 minutos para poder determinar cuáles son nuestras mejores muestras.

Ya determinada nuestra dosis optima y nuestro pH optimo hacemos un proceso de reutilización de lodos donde observaremos que jarra con lodos del precipitado nos da mejores resultados con menos producto.

### **1. Parámetros para la floculación**

- a) Estimación de la duración completa del tiempo de retención hidráulica en la unidad de floculación
- b) Ajustes de los niveles de gradiente de floculación, segmentos de floculación parciales y duración de los intervalos de floculación.



Al momento de tratar nuestras muestras de agua tenemos que saber en qué estado la tenemos y a qué estado la queremos llevar por ese motivo se van a medir varios parámetros que son:

- pH (7.35-7.45)
- Temperatura (26.83)
- Tiempo de sedimentación
- Turbidez 1-5 NTU
- TDS (sólidos totales disueltos) (100ppm)
- Dureza (0-100ppm)
- Residual del cloro (1-1.5ppm)

## **10. Técnicas Analíticas**

### **1. Absorbencia (Turbidez)**

Se mide con un espectrómetro. Se seleccionarán métodos de tratamiento para reducir la turbidez en el agua tratada.

### **2. pH**

Para las mediciones se utiliza un electrodo y un medidor de pH calibrados en fábrica según los estándares 4 y 7. El valor del pH se utiliza para determinar el tipo de reactivo utilizado y en el caso de la eliminación de dureza está relacionado con la eficiencia de eliminación de dureza. Precipitación de hidróxido de magnesio.

### **3. Temperatura**

Se mide con un Multiparámetro. Para ello situaremos a 10 cm por debajo de la superficie durante 30 segundos.

### **4. Dureza**

Se mide mediante valoración con EDTA utilizando el indicador Negro de eriocromo (NET). Indica la eficacia del tratamiento descalcificador de agua.

## 5. Residual de Cloro

El indicador DPD utilizando un kit de comparación es la prueba más utilizada. Esta prueba constituye la manera más veloz y directa de medir el nivel de cloro remanente.

## CAPITULO 3

### 11. Resultados

#### 11.1. Características fisicoquímicas en pruebas de jarras utilizando diversas cantidades de Hidroxicloruro de Aluminio.

A continuación, se muestran los datos experimentales obtenido del tratamiento fisicoquímico del agua cruda y los datos respectos del tratamiento con Hidroxicloruro de Aluminio mediante la prueba de jarra.

#### Resultados de la turbiedad inicial y turbiedad final después del tratamiento fisicoquímico.

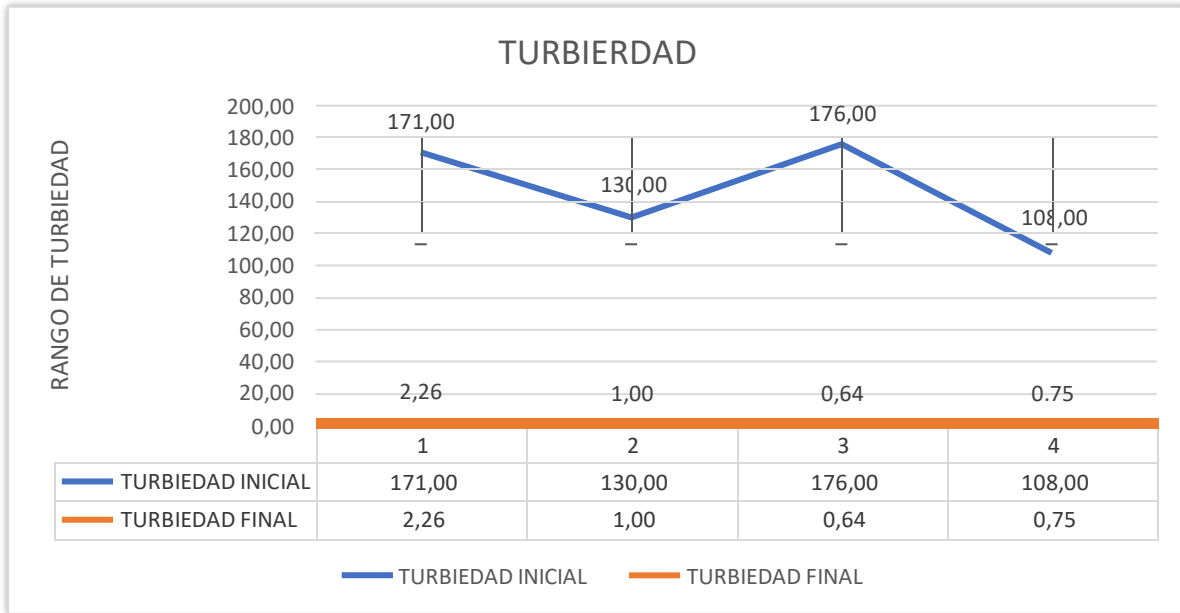
**Tabla 5 Turbiedad**

Nº DE ENSAYOS	Temperatura	TURBIEDAD INICIAL [NTU]	DOSIFICACION DE COAGULANTE [PPM]	DOSIFICACION DEL FLOCULANTE	TURBIEDAD FINAL [NTU]	DOSIS OPTIMA
1	26°	171	10	0.5 PPM	2.26	
2	26°	130	20	0.5 PPM	1.00	
3	26°	176	30	0.5 PPM	0.64	30 PPM
4	26°	108	40	0.5 PPM	0,75	40 PPM

**Tabla 6 Comparación de turbiedad**

TURBIEDAD INICIAL [NTU]	DOSIFICACION DE COAGULANTE [PPM]	TURBIEDAD FINAL [NTU]
171.00	10.00	2.26
130.00	20.00	1.00
176.00	30.00	0.64
108.00	40.00	0,75

#### Ilustración 2 comparación de turbiedad inicial y turbiedad final



Se puede observar en la gráfica que en nuestros primeros cuatro ensayos se obtienen resultados muy positivos después del tratamiento con Hidroxicloruro de aluminio, en donde nuestro principal parámetro analizar fue la turbiedad y los cuatro resultados están dentro del intervalo 5 NTU según lo establecido en la normativa NTE INEN1108:2020.

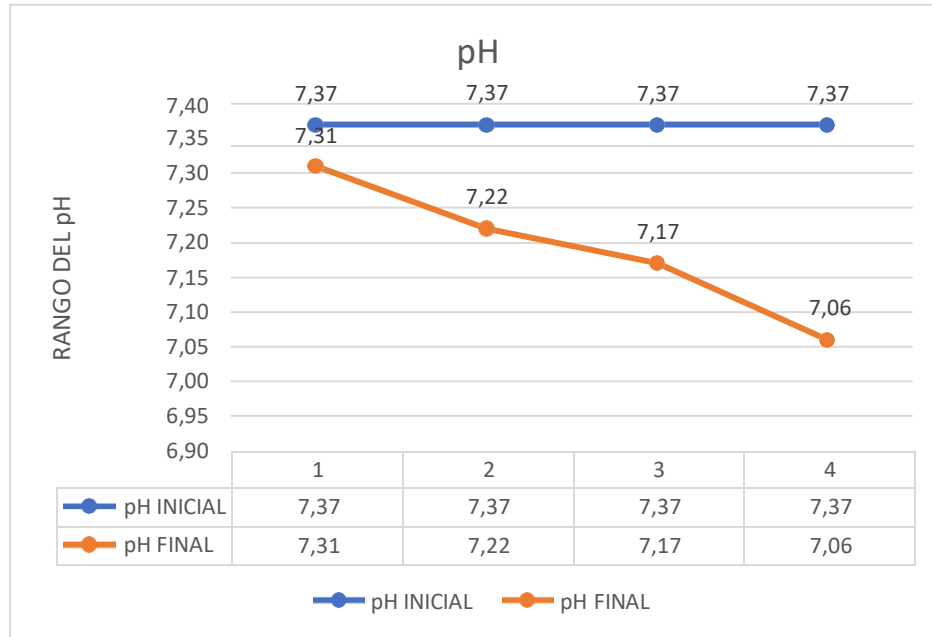
### Resultados del pH inicial y pH final después del tratamiento fisicoquímico

**Tabla 7 pH**

Nº DE ENSAYOS	TEMPERATURA	Tabla 8 Comparación del pH			PH FINAL	DOSIS OPTIMA	
		PH INICIAL	COAGULANTE	FLOCULANTE			
1	26°	7.37	10	0.5 PPM	7.31		
2	26°	7.37	20	0.5 PPM	7.22		
3	26°	7.37	30	0.5 PPM	7.17		30 PPM
4	26°	7.37	40	0.5 PPM	7.06		40 PPM

PH INICIAL	DOSIFICACION DE COAGULANTE	PH FINAL
7.37	10	7.31
7.37	20	7.22
7.37	30	7.17
7.37	40	7.06

### Ilustración 1 comparación de pH inicial y pH final



Podemos observar en nuestra grafica de pH que el coagulante Hidroxicloruro de Aluminio no altera nuestro pH ya que los resultados iniciales como los resultados finales no varían mucho y se mantienen en el rango permitido conforme con las normativas de calidad medioambiental y la regularización sobre liberación de efluentes.

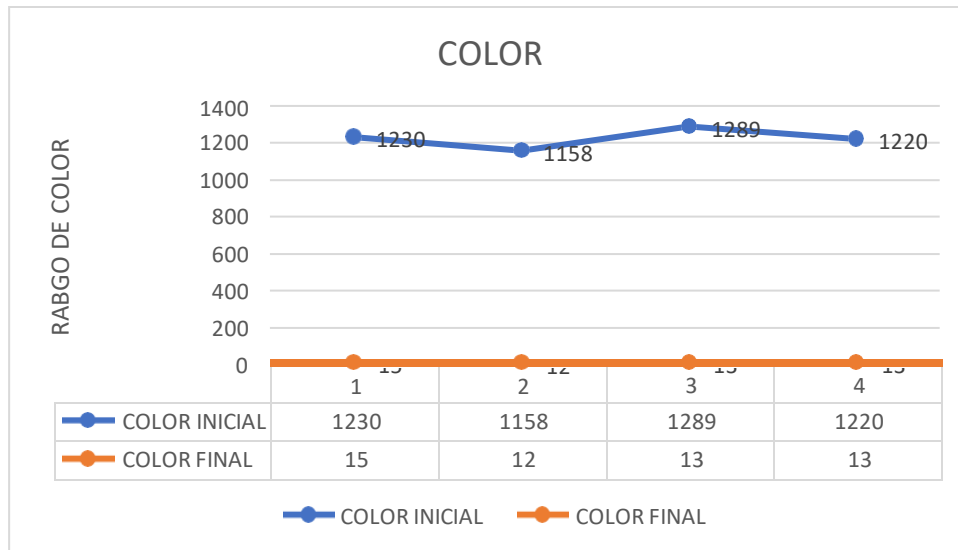
### Resultados del color inicial y color final después del tratamiento fisicoquímico.

**Tabla 9 Resultados del color inicial y color final**

Nº DE ENSAYOS	TEMPERATURA	COLOR INICIAL	DOSIFICACION DE COAGULANTE	DOSIFICACION DEL FLOCULANTE	COLOR FINAL	DOSIS OPTIMA
1	26°	1230	10	0.5 PPM	15	
2	26°	1158	20	0.5 PPM	12	
3	26°	1289	30	0.5 PPM	13	30 PPM
4	26°	1220	40	0.5 PPM	13	40 PPM

**Tabla 10 comparación de color inicial y color final**

COLOR INICIAL	DOSIFICACION DE COAGULANTE	COLOR FINAL
1230	10	15
1158	20	12
1289	30	13
1220	40	13

**Ilustración 2 Comparación de color inicial y color final**

Podemos observar en la gráfica la clarificación del agua después de nuestro tratamiento fisicoquímico con las diferentes dosis de coagulante Hidroxicloruro de Aluminio.

### **Resultados de todos los atributos fisicoquímicos en nuestras primeras cuatro muestras**

**Tabla 11 Resultados de todos los parámetros del agua**

Nº DE ENSAYOS	TEMPERATURA	TURBIEDAD INICIAL [NTU]	PH INICIAL	COLOR INICIAL	DOSIFICACION DE COAGULANTE [PPM]	DOSIFICACION DEL FLOCULANTE [PPM]	TURBIEDAD FINAL [NTU]	COLOR FINAL	TOTAL DE SOLIDOS DISUELTOS [TDS]	CONDUCTIVIDAD	DUREZA	DOSIS OPTIMA
1	26°	171	7.37	1230	10	0.5	2.26	15	120	260	83	
2	26°	130	7.37	1158	20	0.5	1.00	12	120	250	82	
3	26°	176	7.37	1289	30	0.5	0.64	13	130	260	81	30 PPM
4	26°	108	7.37	1220	40	0.5	0.75	13	130	260	82	40 PPM

**Resultados de todos los parámetros fisicoquímicos de nuestras primeras cuatros muestras.**

En el cuadro se observan todos los datos fisicoquímicos de las cuatro dosis que se trataron, se puede observar que nuestra tercera y cuarta dosis muestran mejores resultados, por el cual podemos definir que en nuestros primeros cuatros tratamientos nuestra dosis optima es la tercera con una dosis optima de 30ppm y un color final de 13upc.

**Resultados de la turbidez al comienzo y al final del proceso de tratamiento fisicoquímico.**

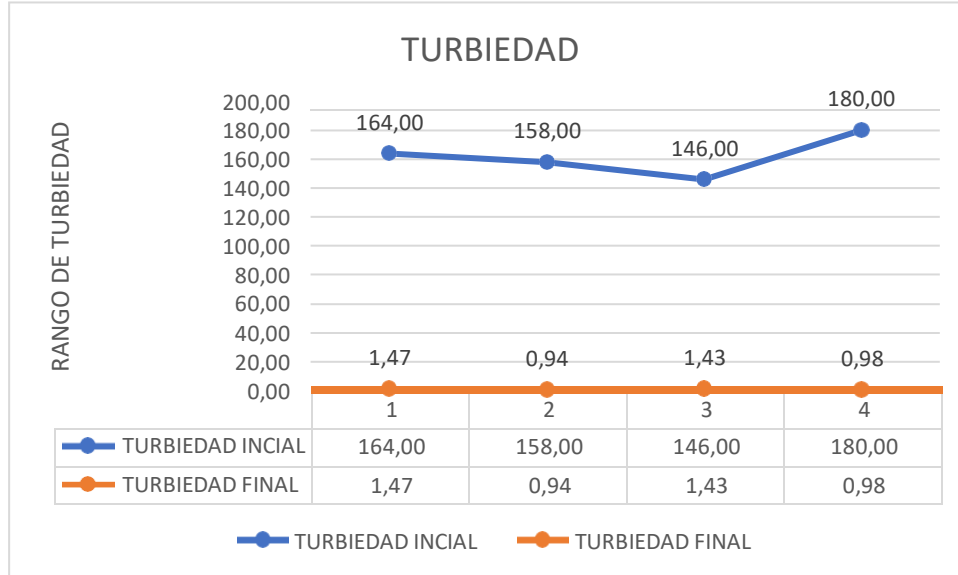
**Tabla 12 Comparación de la turbiedad inicial y turbiedad final**

Nº DE ENSAYOS	Temperatura	TURBIEDAD INICIAL	DOSIFICACION DE COAGULANTE [PPM]	DOSIFICACION DEL FLOCULANTE	TURBIEDAD FINAL [NTU]	DOSIS OPTIMA [PPM]
5	24,8°	164	50	0.5 PPM	1,47	
6	24,8°	158	60	0.5 PPM	0,94	60 PPM
7	24,8°	146	70	0.5 PPM	1,43	
8	24,8°	180	80	0.5 PPM	0,98	80 PPM

**Tabla 13 Comparación de la turbiedad inicial y turbiedad final**

TURBIEDAD INICIAL	DOSIFICACION DE COAGULANTE [PPM]	TURBIEDAD FINAL [NTU]
164	50	1,47
158	60	0,94
146	70	1,43
180	80	0,98

**Ilustración 3 Comparación de la turbiedad inicial y turbiedad final**



En la gráfica se puede observar que mientras mayor sea nuestros niveles de turbiedad vamos a tener que variar nuestras dosis para poder encontrar nuestra dosis optima.

**Resultados del pH inicial y pH final después del tratamiento fisicoquímico.**

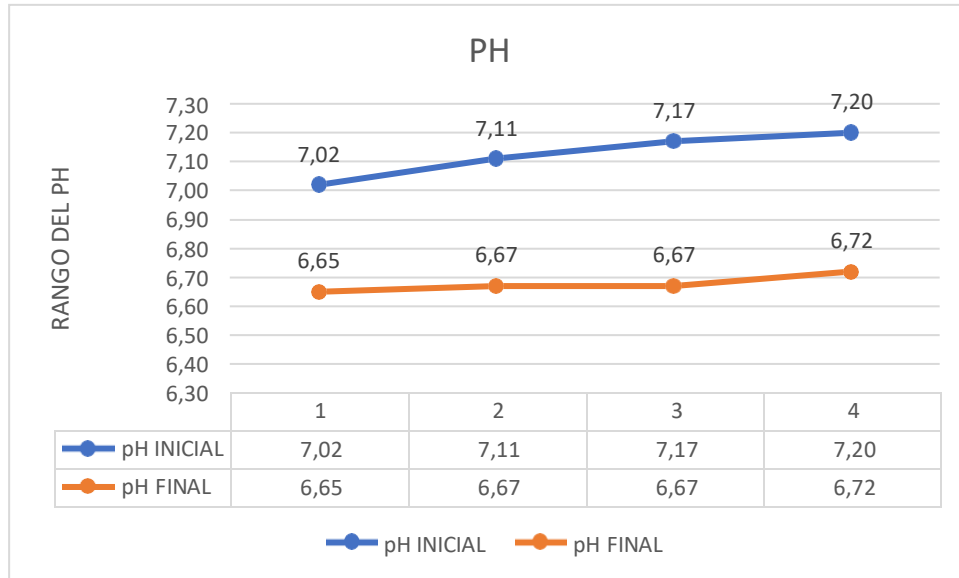
**Tabla 14 Resultados de pH**

Nº DE ENSAYOS	TEMPERATURA	PH INICIAL	DOSIFICACION DE COAGULANTE	DOSIFICACION DEL FLOCULANTE	PH FINAL	DOSIS OPTIMA[PPM]
5	24,8º	7,02	50	0.5 PPM	6,65	
6	24,8º	7,11	60	0.5 PPM	6,67	60 PPM
7	24,8º	7,17	70	0.5 PPM	6,67	
8	24,8º	7,20	80	0.5 PPM	6,72	80 PPM

**Tabla 15 Comparación del pH inicial y pH final**

PH INICIAL	DOSIFICACION DE COAGULANTE	PH FINAL
7,02	50	6,65
7,11	60	6,67
7,17	70	6,67
7,20	80	6,72

**Ilustración 4 Comparación del pH inicial y pH final**



En el cuadro se puede observar la baja del pH después del tratamiento fisicoquímico esto es debido a que entre mayor dosis de coagulante le pongamos a nuestro tratamiento fisicoquímico tendremos una alteración de los parámetros, pero ya utilizamos pequeñas dosis no afecta a nuestro tratamiento y el pH sigue dentro del rango permisible.

### Resultados del color inicial y color final después del tratamiento fisicoquímico

**Tabla 16 Resultados del color inicial y color final**

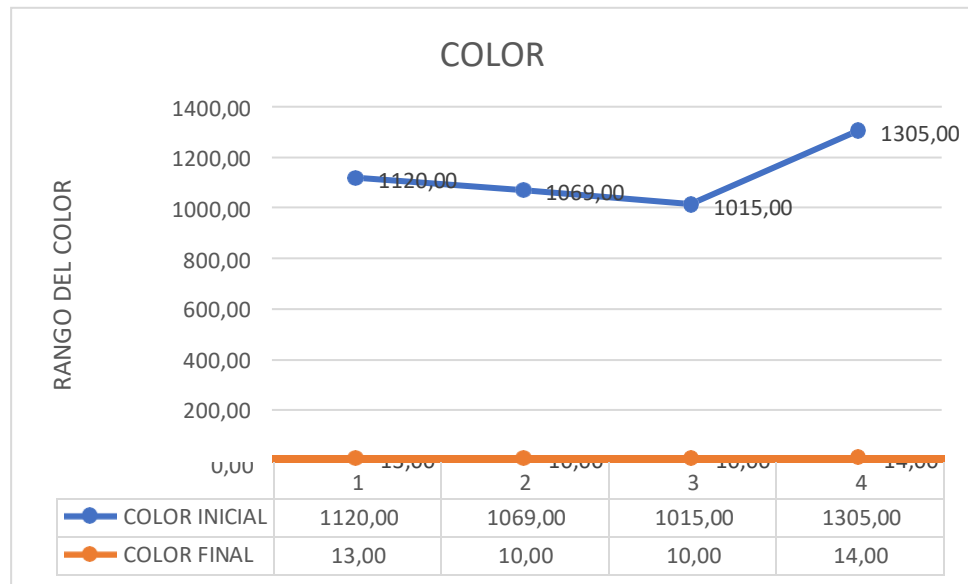
Nº DE ENSAYOS	TEMPERATURA	COLOR INICIAL	DOSIFICACION DE COAGULANTE [PPM]	DOSIFICACION DEL FLOCULANTE	COLOR FINAL	DOSIS OPTIMA
5	24,8º	1120	50	0.5 PPM	13	
6	24,8º	1069	60	0.5 PPM	10	
7	24,8º	1015	70	0.5 PPM	10	30 PPM
8	24,8º	1305	80	0.5 PPM	14	40 PPM

**Tabla 17 Comparación del color inicial y color final**



COLOR INICIAL	DOSIFICACION DEL FLOCULANTE	COLOR FINAL
1120	0.5 PPM	13
1069	0.5 PPM	10
1015	0.5 PPM	10
1305	0.5 PPM	14

**Ilustración 5 comparación del color inicial y color final**



En esta grafica se puede observar el color final y nuestros mejores resultados es la prueba 6 y 7 con 10 UPC lo que nos da una potabilización optima.

### Resultados de todos los parámetros fisicoquímicos.

**Tabla 18 Resultados**

Nº DE ENSAYOS	TEMPERATURA	TURBIEDAD INICIAL [NTU]	PH INICIAL	DOSIFICACION DE COAGULANTE [PPM]	DOSIFICACION DEL FLOCULANTE	TURBIEDAD FINAL [NTU]	COLOR FINAL	TOTALES DE SOLIDOS DISUELTOS [TDS]	CONDUCTIVIDAD	DUREZA	DOSIS OPTIMA
5	24,8º	164	7,02	50	0.5 PPM	1,47	13	130	260	80	
6	24,8º	158	7,11	60	0.5 PPM	0,94	10	130	270	80	
7	24,8º	146	7,17	70	0.5 PPM	1,43	10	140	270	83	30 PPM
8	24,8º	180	7,20	80	0.5 PPM	0,98	14	140	280	83	40 PPM

En los experimentos efectuados se obtuvieron buenos resultados, como se observa en la tabla no hay ningún ensayo que los resultados estén fuera del rango permisible, y también se observa que obtuvimos mejores resultados en el ensayo 7 y 8 los cuales vendrían hacer los óptimos.

### Resultados de los ensayos con el pH alterado para obtener pH óptimo.

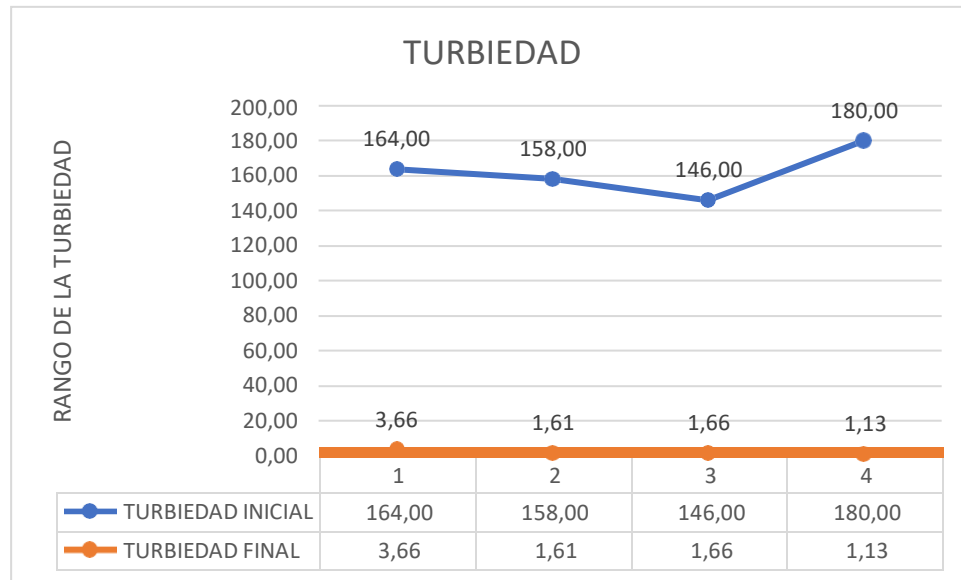
**Tabla 19 pH alterado**

Nº DE ENSAYOS	TEMPERATURA	PH INICIAL	TURBIEDAD INICIAL	DOSIFICACION DE COAGULANTE [PPM]	DOSIFICACION DEL FLOCULANTE	TURBIEDAD FINAL [NTU]	DOSIS OPTIMA[PPM]
9	24,3º	3,29	164	20	0.5 PPM	3,66	
10	24,3º	4,10	158	30	0.5 PPM	1,61	
11	24,3º	5,84	146	40	0.5 PPM	1,66	
12	24,3º	6,92	180	50	0.5 PPM	1,13	

**Tabla 20 Comparación de la turbiedad**

PH INICIAL	TURBIEDAD INICIAL	DOSIFICACION DE COAGULANTE [PPM]	TURBIEDAD FINAL [NTU]
3,29	164	20	3,66
4,10	158	30	1,61
5,84	146	40	1,66
6,92	180	50	1,13

### Ilustración 6 Comparación de la turbiedad inicial y turbiedad final



Observamos los resultados de la turbiedad final con nuestro pH modificado y podemos visualizar que nuestro mejor ensayo es el numero 12 el cual nos da de resultado una turbiedad más baja y establece, también nos indica que el tratamiento fisicoquímico nos da mejores resultados con un pH neutro.

### Resultado del color inicial y color final

**Tabla 21 Resultados del color inicial y color final del agua**

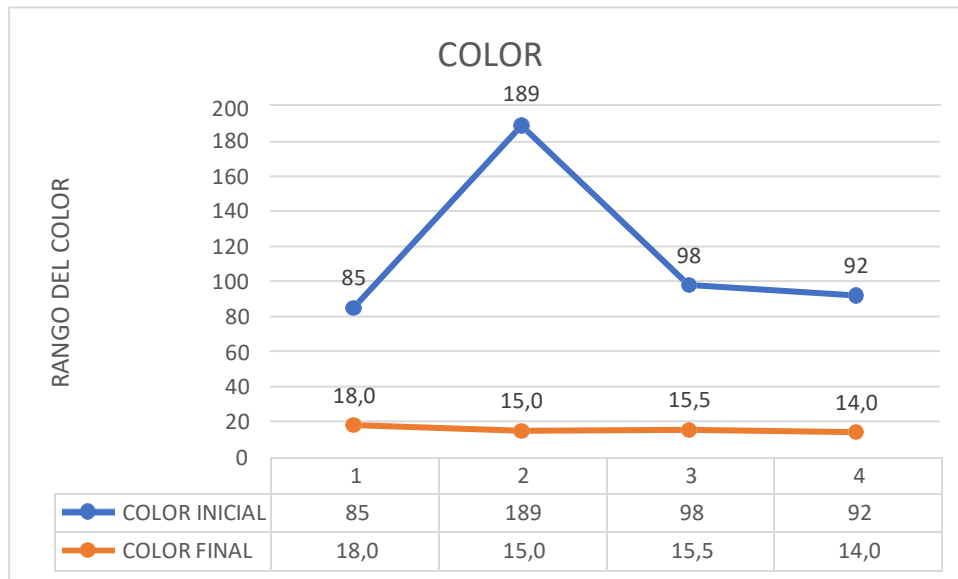
Nº DE ENSAYOS	TEMPERATURA	COLOR INICIAL	DOSIFICACION DE COAGULANTE [PPM]	DOSIFICACION DEL FLOCULANTE	COLOR FINAL	DOSIS OPTIMA[PPM]
9	24,3º	85	20	0.5 PPM	18,0	
10	24,3º	189	30	0.5 PPM	15,0	
11	24,3º	98	40	0.5 PPM	15,5	
12	24,3º	92	50	0.5 PPM	14,0	50 PPM

### Resultado del color inicial y color final

**Tabla 22 Comparación del color inicial y color final del agua**

COLOR INICIAL	DOSIFICACION DE COAGULANTE [PPM]	COLOR FINAL
85	20	18,0
189	30	15,0
98	40	15,5
92	50	14,0

**Ilustración 7 Comparación del color**



En el grafico se puede que mientras más bajo sea el pH, obtendremos una menor clarificación del agua, en la muestra número uno, notamos que el color final está fuera del parámetro permisible con 18 UPC.

## Resultados de la turbiedad utilizando el precipitado de las pruebas de jarras.

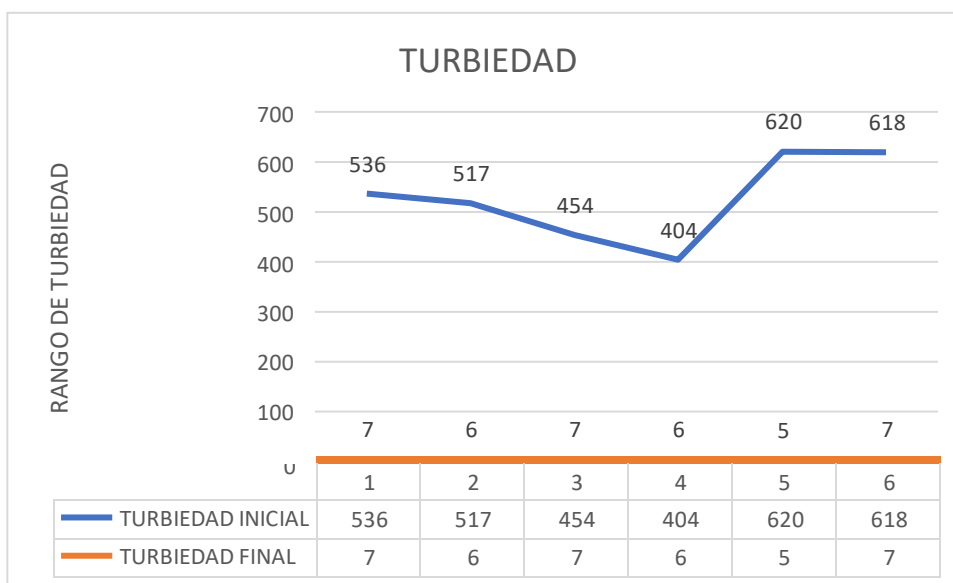
**Tabla 23 Ensayos con el precipitado**

N.º DE ENSAYOS	TURBIEDAD INICIAL	DOSIFICACION DE COAGULANTE (PPM)	DOSIFICACION DEL FLOCULANTE (PPM)	TURBIEDAD FINAL	DOSIS OPTIMA
13	536	30	0,5	7	NO
14	517	25	0,5	6	NO
15	454	20	0,5	7	NO
16	404	15	0,5	6	NO
17	620	10	0,5	5	10
18	618	5	0,5	7	NO

**Tabla 24 turbiedad inicial y turbiedad final**

TURBIEDAD INICIAL	DOSIFICACION DE COAGULANTE (PPM)	TURBIEDAD FINAL
536	30	7
517	25	6
454	20	7
404	15	6
620	10	5
618	5	7

**Ilustración 8 Comparación de turbiedad inicial y turbiedad final**



En el grafico se puede observar nuestra turbiedad al principio, y nuestra turbiedad final después de la prueba de jarra, podemos analizar en nuestros ensayados, que el ensayo numero 5 es el más óptimo ya que logramos obtener una turbiedad de 5 NTU.

### Resultados del color utilizando el precipitado de las pruebas de jarra.

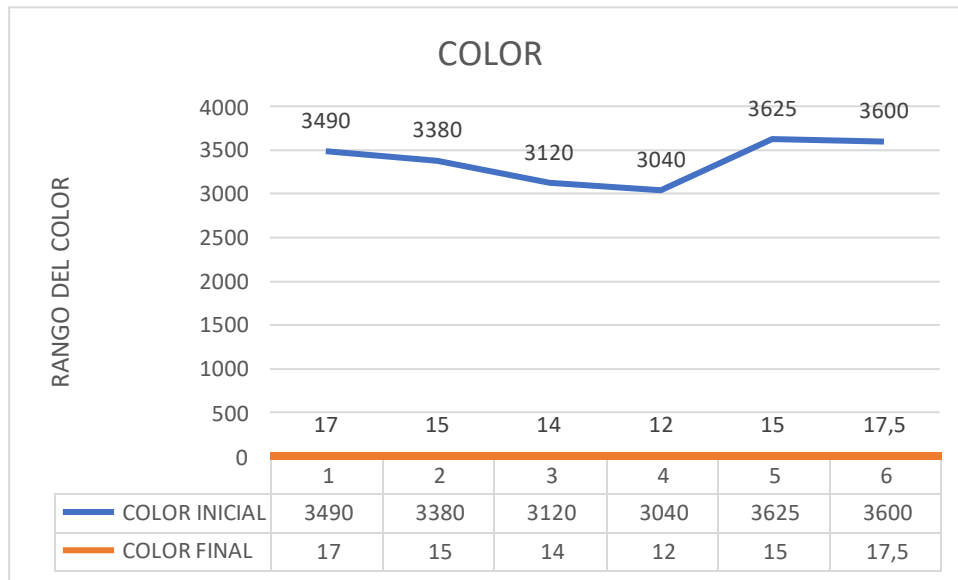
**Tabla 25 Ensayo del color con el precipitado de la prueba de jarra.**

N.º DE ENSAYOS	COLOR INICAL	DOSIFICACION DE COAGULANTE (PPM)	DOSIFICACION DEL FLOCULANTE (PPM)	COLOR FINAL	DOSIS OPTIMA
13	3490	30	0,5	17	NO
14	3380	25	0,5	15	NO
15	3120	20	0,5	14	NO
16	3040	15	0,5	12	NO
17	3625	10	0,5	15	10
18	3600	5	0,5	17,5	NO

**Tabla 26 Color inicial y color final**

COLOR INICAL	DOSIFICACION DE COAGULANTE (PPM)	COLOR FINAL
3490	30	17
3380	25	15
3120	20	14
3040	15	12
3625	10	15
3600	5	17,5

### Ilustración 9 Comparación del color inicial y final



En el gráfico podemos comparar nuestro color inicial con nuestro color final, en el cual podemos observar que nuestros ensayos 2,3,4 y 5 entran dentro del límite permisible según la norma NTE INEN 1108:2020, la cual dice que el límite máximo del color del agua es de 15 UPC.

#### Resultados finales utilizando el precipitado de las pruebas de jarra.

Para estas pruebas se utilizó 100ml del precipitado de las pruebas de jarras anteriores y 900ml del agua cruda, para la cual se analizaron los mismos parámetros establecidos y se logró la disminución de químicos en un 66.6%, lo que nos da como nuestra dosis óptima 10 ppm.

#### 11.2. Relación entre condiciones iniciales, dosis óptima de Hidroxicloruro de

**Tabla 27 Relación entre condiciones iniciales, dosis óptima de Hidroxicloruro de Aluminio y condiciones finales**

N.º DE ENSAYOS	TUBIEDAD (NTU)		pH		DOSIFICACION DE COAGULANTE (PPM)	COLOR (UPC)	DOSIS OPTIMA DEL PAC
	INICIAL	FINAL	INICIAL	FINAL			
1	171	2,26	7,37	7,31	10	15	
2	130	1	7,37	7,22	20	12	
3	176	0,64	7,37	7,17	30	13	30 PPM

4	108	0,75	7,37	7,06	40	13	40 PPM
5	164	1,47	7,02	6,65	50	13	
6	158	0,94	7,11	6,67	60	10	60 PPM
7	146	1,43	7,17	6,67	70	10	
8	180	0,98	7,2	6,72	80	14	80 PPM
9	72	3,66	3,23	3,23	20	13	
10	192	1,61	4,1	3,42	30	10	
11	143	1,66	5,84	5,62	40	10	
12	180	1,13	6,92	6,52	50	14	
13	536	7	7,64	7,18	30	17	
14	517	6	7,39	7,07	25	15	
15	454	7	7,36	7,26	20	14	
16	404	6	7,35	7,22	15	12	
17	620	5	7,35	7,41	10	15	10 PPM
18	618	7	7,35	7,33	5	17,5	

Aluminio y condiciones finales.

En la tabla podemos verificar nuestro parámetros iniciales y finales de la turbiedad y del pH, también nos indica que la dosis que tuvo mayor remoción y mejor potabilización es 30ppm la cual vendría hacer nuestra dosis optima.

### 11.3. Porcentajes de remoción de los parámetros fisicoquímicos con Hidroxicloruro de Aluminio.

A continuación, se muestra el porcentaje de eliminación de todas las dosis utilizadas en la prueba de jarra de hidroxicloruro de aluminio. Para tener los porcentajes de remoción se empleó la siguiente formula.

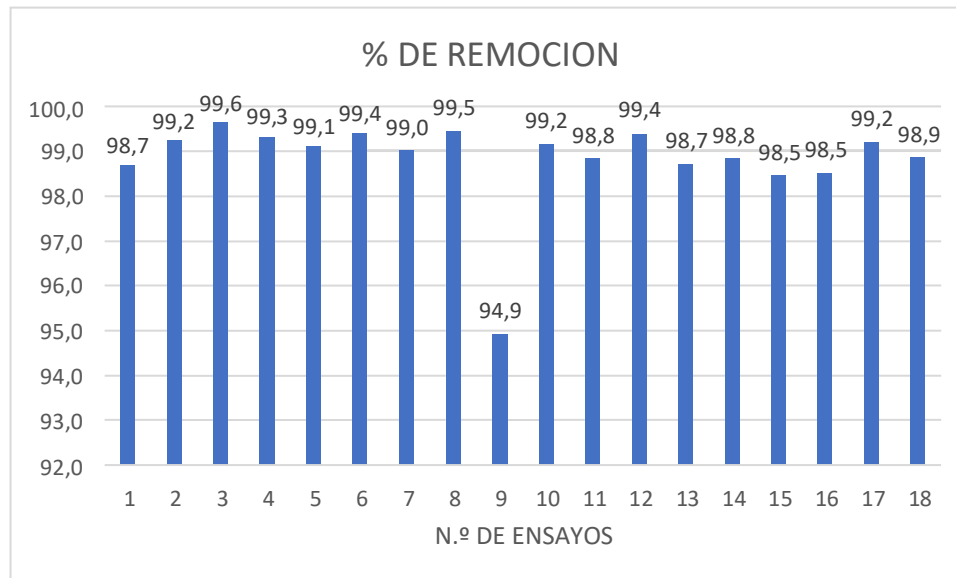
$$\% \text{ Remoción turbiedad} = \frac{\text{turbiedad inicial} - \text{turbiedad final}}{\text{turbiedad inicial}} \times 100$$

**Tabla 28 Porcentajes de remoción de los parámetros fisicoquímicos con Hidroxicloruro de Aluminio.**



N.º DE ENSAYOS	TURBIEDAD INICIAL (NTU)	TURBIEDAD FINAL (NTU)	% DE REMOCION
1	171	2,26	98,7
2	130	1	99,2
3	176	0,64	99,6
4	108	0,75	99,3
5	164	1,47	99,1
6	158	0,94	99,4
7	146	1,43	99,0
8	180	0,98	99,5
9	72	3,66	94,9
10	192	1,61	99,2
11	143	1,66	98,8
12	180	1,13	99,4
13	536	7,45	98,7
14	517	6,78	98,8
15	454	7,92	98,5
16	404	6,45	98,5
17	620	5,01	99,2
18	618	7,48	98,9

**Ilustración 10** Porcentaje de remoción



#### 11.4. Discusión de resultados

Se observó que la tasa de eliminación de turbidez superó el 90%, lo que indica la efectividad del hidroxiclорuro de aluminio (PAC) en el tratamiento del agua y también indica que la dosis de coagulante resultó ser la más efectiva; Si bien en la mayoría de las pruebas se logró una turbidez de 3 NTU, en todas las pruebas logramos una turbiedad por debajo de 5 NTU, lo cual es un límite aceptable según la NTE INEN 1108:2020.

#### 11.5. Comportamiento del pH en el Tratamiento con Hidroxiclорuro de Aluminio.

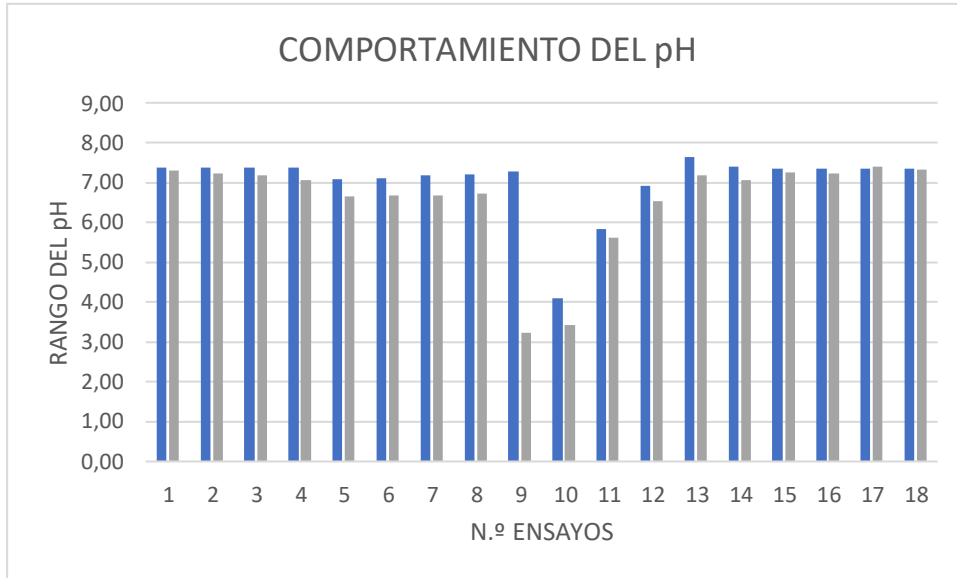
Luego observaremos la actividad del pH inicial y final en cada ensayo de jarra realizado con hidroxiclорuro de aluminio preparado en diferentes dosis.

**Tabla 29 Comportamiento del pH**

<b>N.º DE ENSAYOS</b>	<b>pH INICIAL</b>	<b>pH FINAL</b>
1	7,37	7,31
2	7,37	7,22
3	7,37	7,17
4	7,37	7,06
5	7,08	6,65
6	7,11	6,67
7	7,17	6,67
8	7,20	6,72
9	7,29	3,23
10	4,10	3,42
11	5,84	5,62
12	6,92	6,52
13	7,64	7,18
14	7,39	7,07
15	7,36	7,26
16	7,35	7,22
17	7,35	7,41
18	7,35	7,33

## Comportamiento del pH en análisis realizados

**Ilustración 11 Comportamiento del pH en análisis realizados**



### 11.6. Discusión de resultados

Cuando se agrega hidroxiclورو de aluminio al agua cruda, este se hidroliza haciendo que el pH del agua baje, a través de esta reacción podemos ver que el pH final cambia en todas las pruebas.

Después de cada dosis de hidroxiclورو de aluminio, el pH de nuestra muestra disminuyó, lo que significa que cuanto mayor es la dosis, menor es el pH.

En cada análisis que el pH final quede fuera del rango permisible tendríamos que entrar a una etapa de post-cal lo cual significa reajustar el pH, esto se logra con el hidróxido de Sodio (Sosa Caustica).

### 11.7. Resultados finales

La efectividad del proceso fisicoquímico determinando se realizó una prueba con el fin de establecer la cantidad más eficiente de coagulante en forma de hidroxiclورو de aluminio con base en los valores obtenidos durante la prueba

de jarra. Las pruebas realizadas en diferentes dosis desde 10 ppm hasta 80 ppm demostraron que en concentraciones bajas y altas no hubo una eliminación significativa de turbiedad y color, porque si la dosis de coagulante es muy baja no habrá una correcta neutralización de las partículas suspendidas, y a concentraciones muy altas de coagulantes, puede ocurrir una sobredosificación, lo que lleva a efectos indeseables que se reflejan en las remociones finales.

La dosis óptima calculada al final de las distintas pruebas de jarras fue de 30 ppm de hidroxiclورو de aluminio, dándonos una mejor potabilización del 0,64 ppm y un color de 13upc, ambos dentro de los límites establecidos por la regulación NTE INEN 1108:2020.

La mejor dosis del precipitado es de 10ppm ya que se logró una reducción de producto del 66.6% lo que nos da como resultados óptimos, en turbiedad con 5ntu y color de 15upc

## **CAPITULO 4**

### **12. Conclusiones y recomendaciones.**

#### **12.1. Conclusiones.**

La prueba del jarro se utilizó para establecer la mejor dosis de coagulante de hidróxido de aluminio y varias dosis de floculante en términos de turbidez y color del agua bruta. Se ha comprobado que los parámetros del agua fluctúan en función de la dosis de coagulante: cuanto mayor es la dosis, mayor es el cambio en los valores.

El uso del hidroxiclورو de aluminio ha mostrado ser altamente efectivo como coagulante en el tratamiento fisicoquímico, eliminando la turbidez a un alto índice en las de agua bruta estudiadas.

Se probó que el tratamiento fisicoquímico tiene mejores resultados al trabajar con un pH neutro, ya que al momento de alterar el pH los resultados finales no fueron óptimos para una buena clarificación del agua y los resultados de los parámetros finales no cumplieron con las expectativas.

Se observó que una mayor dosificación no nos asegura tener mejores resultados en nuestro proceso fisicoquímico, ya que al momento de sobre dosificar nuestras muestras de agua tendríamos un daño en la calidad del agua lo cual podría causar sabores u olores desagradables en el agua. Por otro lado, el uso excesivo del producto químico aumentaría los costes de operación y para corregir ese exceso se tendría que hacer más procesos de tratamiento fisicoquímicos lo cual a su vez consume más recursos y no sería óptimo.

#### **12.2. Recomendaciones.**

Se recomienda mantener calibrados los equipos de medición en el procedimiento de tratamiento de aguas, y realizar mantenimientos periódicos ya que esto lograra resultados más exactos.

En futuros procesos es necesario analizar no sólo parámetros como turbidez, color y además de la adición del coagulante, también se consideran factores como la dureza, sólidos disueltos totales, conductividad y pH. Estos parámetros también influyen en la cantidad de coagulante que debe ser incorporada en el procedimiento de tratamiento del agua

Para análisis futuros, se debe recolectar más agua cruda, lo que permitirá realizar pruebas más repetibles y resultados más precisos.

Es necesario contar con un buen laboratorio al momento de realizar el tratamiento fisicoquímico, ya que es importante tener un buen control de los análisis del agua tratada y garantizar un agua sin impurezas para evitar cualquier impacto negativo en la salud.

**13. Cronograma**

**Tabla 30 Cronograma**

Cronograma de Actividades																
Fechas	Noviembre				Diciembre				Enero				Febrero			
Semanas	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
Presentacion de Ante-Proyecto	■															
Aprobacion de Ante-Proyecto		■	■													
Primer Avance del Ante-Proyecto				■	■	■										
Segundo Avance del Ante-Proyecto					■	■	■									
Prueba Experimental Ante-Proyecto									■	■	■					
Resultados y Conclusiones Ante-Proye												■	■	■		
Finalización del Ante-Proyecto														■	■	

**Tabla 31 Cronograma**

CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES																				
FECHAS	ABRIL				MAYO				JUNIO				JULIO				AGOSTO			
SEMANAS	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
Presentacion del Proyecto	■	■																		
Presentacion del capitulo 1 Marco T			■	■																
Presentacion capitulo 2 Metodología					■	■														
Recoleccion de las muestras de agua							■	■												
Analisis en fisicoquimicos laboratorio									■	■	■									
Recoleccion de las muestras de agua											■									
Analisis en fisicoquimicos laboratorio												■	■	■						
Presentacion del capitulo 3 Resultados															■	■				
Presentacion capitulo 4 conclusion y R																		■	■	
Entrega de proyecto final												■								■

**14. Presupuesto**

**Tabla 32 Presupuesto**

Presupuesto para Determinación de las dosis óptimas del coagulante y floculante hidroxiclورو de aluminio en función de la turbiedad y el color para la potabilización del rio Guayas		
MATERIALES	DISCRIPCION	VALORES \$
Multiparametro HANNA HI98130	El HI98130 hace que la medición de pH sea rápida y fácil. Este medidor de peso ligero e impermeable ofrece una alta exactitud de pH	\$220,42
Multiparametro HANNA HI9819	El HI98194 es un medidor multiparamétrico resistente e impermeable que mide hasta 12 parámetros clave en la calidad del agua.	\$2,036,16
Turbidímetro HACH 2100 Q	El turbidímetro portátil 2100Q ofrece una gran facilidad de uso y exactitud en la medición de la turbidez.	\$350,00
Espectrofotómetro HACH DR/2010	El DR/2010 es un aparato de haz único controlado por microprocesador que se emplea para realizar comprobaciones colorimétricas en el laboratorio	\$600,00
Equipo de prueba de jarras Velp Cientifica	es una prueba a escala real de los productos químicos de tratamiento utilizados en un sistema de agua en particular.	\$350,00
Gramera Electronic	La función de la balanza gramera digital mini es calcular el peso de la cantidad de unidades que pones encima	\$7,49
Espectrofotometro HANNA IRIS HI801-01	El iris HI801 es un espectrofotómetro elegante e intuitivo que permite la medición de todas las longitudes de onda de la luz visible.	\$4.032,00
Agua destilada	El agua destilada es aquella sustancia compuesta por H2O sometida a un proceso de destilación en el que se eliminan las impurezas e iones del agua	\$2,50
Coagulante Hidroxiclورو de	EL Hidroxiclورو de Aluminio es un polinuclear de aluminio líquido que se desempeña efectivamente como coagulante inorgánico para aguas	\$25,00
Floculante Poliacrilamida	Poliacrilamida es un polímero soluble en agua, lineal, es un compuesto de polímero solubles en agua como floculante eficiente.	\$3,00
Hidroxido de Sodio	El hidróxido de sodio, hidróxido sódico o hidrato de sodio, también conocido como sosa cáustica o soda cáustica, es un hidróxido cáustico usado en la	\$7,70
	Presupuesto total	\$5.598,11

### 15. Referencia.

- . Guzmán, L. V. (2013). *Reducción de la turbidez del agua usando*. Revista U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica.
- Agency), U. (. (2000). *Conducting a risk assesment of mixture of disinfection by- products (DBPs) for drinking Water Treatment Systems*. Cincinnati, USA.
- Agency), U. (. (2000). *Conducting a riskassesment of mixture of disinfection by- products (DBPs) for drinking Water Treatment Systems*. Cincinnati, USA.
- Agua (CONAGUA), C. N. (s.f.). *Manual de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento: Mexico* : Diseño de Plantas Potabilizadoras de Tecnología Simplificada.
- agua, C. d. (13 de marzo de 2023). *Ecología Verde*. Obtenido de <https://www.ecologiaverde.com/clarificacion-del-agua/>.
- Aire, a. y. (17 de mayo de 2019). *higieneambiental.com*. Obtenido de [higieneambiental.com](https://higieneambiental.com/aire-agua-y-legionella/color-del-agua-parametro-indicador-de-calidad): <https://higieneambiental.com/aire-agua-y-legionella/color-del-agua-parametro-indicador-de-calidad>
- ARBOLEDA VALENCIA, J. (2000). *Teoría y práctica de la purificación del agua*. Bogotá: Mc Graw Hill y ACODAL.
- Arellano, A. &. (2019). *Efectos de la gestión y la calidad del agua potable en el consumo*. Nova sinergiarevista digital de ciencia, ingeniería y tecnología.
- Arturo, P. (2012). *Good and Agriculture Organization*. Universidad Nacional de Colombia.
- Bell- Ají K, A. M. (2000). *Convencional and optimized coagulation for NOM removal*. Journal American Water Works Association.
- Benfield LD, J. J. (1892). *Química de procesos para agua y residuos*. tratamiento de aguas.Prentice Hall.
- Calcaneo, G. (24 de Abril de 2017). *Corporativo Quimico Global* . Obtenido de <https://quimicoglobal.mx/policloruro-de-aluminio-excelente-solucion-para-el-tratamiento-de-aguas/>
- Campell, M. (1995). *Biochemistry*. Saunders College.
- Cardenas, Y. A. (2000). *Tratamiento de aguas coagulación floculación* .
- Carrion, P. (2006). *Avances de sedimentación*. Curso sobre Tecnología de Tratamiento de Agua para Países en Desarrollo.
- Chávez Planes MA, D. B. (1990). *Temas de enzimología*. La Habana: Facultad de Biología Universidad de La Habana.
- Cogollo Florez, J. M. (2011). *Clarificación de aguas usando coagulantes polimerizados: caso del Hidroxicloruro de aluminio* . Medellin .
- Daughlon, C. G. (1988). *Quantitation of Acrylamide (and Polyacrylamide): Critical review of methods for trace determination/formulation analysis & Future-research recommendations*. EPA Environmental Sciences Division homepage: The California Public.



- Degremón, T. (1991). *Manual de tratamiento de aguas*.
- Duran, J. M. (2006). *Los problemas del abastecimiento de agua potable en una ciudad*. Guadalajara : . Espiral (Guadalajara).
- Eddy, M. y. (1995). *Ingeniería de aguas residuales* . Madrid .
- Fox, C. (1949). *La geología del suministro de agua*. Londres Reino Unido : Technical Press Ltd.
- Fuquene Yate, D. M. (2017). *Guía para el desarrollo del componente práctico curso Diseño de plantas de tratamiento de aguas residuales*. Bogota.
- Garfin, D. (1990). *One dimensional gel electrophoresis Methods in enzymology*.
- Gómez, O. G. (2018). *Contaminación del agua en países de bajos y medianos recursos, un*. Revista de la Facultad de Medicina,.
- Guayaquil, C. d. (2012). *Norma de Calidad Ambiental y de Descarga de Efluentes*. Guayaquil : Recurso Agua.
- Hooper, H. i. (1999). *Soane Biosciences assignee, Us-crosslinked polymeric media for electrophoresis*.
- INEC. (2016). *Directorio de Empresas y Establecimientos*. Guayaquil.
- Jimenez, B. (2005). . *La Contaminación Ambiental en México: causas, efecto y tecnología apropiada*. Mexico : Editorial Limusa.
- Jiménez, B. (2005). *La Contaminación Ambiental en México: causas, efecto y tecnología apropiada*. Mexico : Editorial Limusa.
- Jose., M. (2003). *Sólidos Disueltos Totales y Electro conductividad*. Biblioteca virtual de Desarrollo de Sostenibilidad y Salud Ambiental.
- LITORAL, E. S. (2012). *“Análisis comparativo del proceso de floculación-coagulación en la*. Guayaquil : <https://www.dspace.espol.edu.ec/retrieve/abded7f7-31ee-4b16-8362-95f4ec3348ee/D-CD102720.pdf>.
- Lorenzo, Y. (2006). *Estado del Arte del Tratamiento de aguas por coagulación—Foculación*.
- LORENZO-ACOSTA, Y. (2006). *Estado del arte del tratamiento de aguas por coagulación-floculación*. Instituto Cubano de Investigaciones de los Derivados de la Caña de Azúcar.
- Marta, F. (2009). *Situación actual del estado de la depuración biológica*. Barcelona : Univeritat Politecnica de Catalunya Barcelonachet.
- Martin Pivokonský, K. N. (2022). *Jar Tests for Water Treatment Optimisation: How to Perform Jar Tests – a handbook*. London .
- Miguel., M. P. (2018). *CALIDAD DEL AGUA DE CONSUMO HUMANO EN ESPAÑA*. España. Obtenido de <https://www.ambientalys.com/analisis-aguas-consumo-ph>
- Najul. (2007). *Material de apoyo para el curso. Tratamiento básico para potabilización de aguas*. Caracas: Universidad Central de Venezuela .

- Navarro. (2015). *Ingeniería y Servicios Ambientales*.
- Negocios, E. (7 de agosto de 2018). *Guayaquil, capital comercial del Ecuador. Ekos Negocios*. Obtenido de <https://ekosnegocios.com/articulo/guayaquil-capital-comercial-del-ecuador>
- Normalización, I. E. (2011). *Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 1 108:2011 Cuarta revisión*. Quito .
- Normalización, I. E. (2013). *NTE INEN 2169: AGUA. CALIDAD DEL AGUA. MUESTREO. MANEJO Y CONSERVACIÓN DEMUESTRAS*. Quito .
- Normalización., I. E. (2013). *Norma Técnica Ecuatoriana. Calidad del Agua*. . Quito : INEN.
- Nouri, J. M. (2015). *Overview of coagulation process in the removal of heavy metals from water and wastewater*. Science of the Total Environment.
- Oskam, G. (1995). *Principios fundamentales de la mejora de la calidad del agua en embalses*. Diario de Abastecimiento de Agua.
- Osorno, H. A. (2009). *EVALUACIÓN DEL PROCESO DE COAGULACIÓN – FLOCULACIÓN DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE* . MEDELLÍN .
- Panachlor. (2003). *Sólidos Disueltos Totales y Electro conductividad*. Biblioteca virtual de Desarrollo de Sostenibilidad y Salud Ambiental.
- Poynter SFB y Stevens, J. (1975). *Los efectos del almacenamiento en las bacterias de higiene*. Reino Unido: WRc, Swindon.
- Pradilla. (1994). *Clarificación de aguas*. Barranquilla: Química Nalco de Colombia S.A.
- Quintana. (2000). *Cómo tratar el agua*. Bogotá : Coca Cola de Colombia.
- Ramos, D. (2016). *Calidad del Agua y su Control*. España : Universidad de Castilla- La Mancha .
- Redaccion-Quito, D. &. (30 de Noviembre de 2023). *El consumo de agua en Quito crece en un 20% durante el verano*. Obtenido de El comercio : <https://www.elcomercio.com/actualidad/quito/consumo-agua-verano-crecimiento-barrios.html>
- regional, P. (1992). *Programa regional OPS/CEPIS de mejoramiento de la calidad del agua para consumo humano* .
- Restrepo Osorno, H. A. (2009). *Evaluación del proceso de coagulación - floculación de una planta de tratamiento de agua potable* . Medellín : Universidad Nacional de Colombia .
- RESTREPO OSORNO, H. A. (2009). *Evaluación del Proceso de Coagulación –Floculación de una Planta de Tratamiento de Agua Potable*. Sede Medellín : Universidad Nacional de Colombia.
- Rhenals, C. y. (2003).
- Riper, I. (2001). *Manual de Operaciones. Gestión, operación y mantenimiento de las plantas de pretratamiento "Tuy" y de tratamiento* . Ciudad Caracas.
- RODRIGUEZ MUÑOZ, S., & GARCIA ROQUE, O. y. (2002). *Una solución factible para la clarificación de aguas para consumo humano*. . Noticias técnicas de laboratorio.

- RODRÍGUEZ, C. (1995). *Operación y mantenimiento de plantas de tratamiento de agua*. Santafé de Bogotá: Universidad Distrital Francisco José de Caldas.
- RODRIGUEZ, C. (1995). *Operación y mantenimiento de plantas de tratamiento de agua*. Santefe de Bogota : Universidad Distrital Francisco José de Caldas.
- Rodriguez, C. (1995). *Operacion y mantenimiento de plantas de tratamiento de aguas*. Santafe de Bogota: Universidad Destrital Francisco Jose de Caldas.
- Rodríguez, L. (2006). *Sistemas Coloidales en Farmacia*.
- Romero Rojas, J. A. (2002). *Calidad del Agua*. Bogota : Escuela Colombiana de Ingenieria .
- Romero Rojas, J. A. (2002). *Calidad del Agua* . Primera Edicion .
- S., Y. A. (2003). *Use of ozonation and FBT to control THM precursors*. Journal American Water Works Association.
- Toasa, F. (2012). *Validación de los Métodos de Ensayo para Fenoles, Tensoactivos, Solidos Suspendidos y Total de Solidos Disueltos*. Quito : Universidad Central del Ecuador .
- Trujillo, D. D. (2014). *Remoción de turbiedad en agua de una fuente natural mediante coagulación/floculación usando almidón de plátano*. Revista ION.
- UNAM. (2015). *Potencial Z*. Mexico: UNAM Departamento de Quimica.
- USEPA. (1999). *Coagulación mejorada y ablandamiento precipitativo mejorado*. Manual de orientación, USEPA, EPA 815–R-99–012.
- USEPA. (1999). *Coagulación mejorada y ablandamiento precipitativo mejorado*. Manual de orientación, USEPA, EPA 815–R-99–012.
- USEPA. (2000). *Conducting a risk assesment of mixture of disinfection by- products (DBPs) for drinking Water Treatment Systems*. Cincinnati, USA.
- Venegua. (2007). *tratamiento de aguas residuales sanitarias* . Informe Tecnico .
- White M, T. J. (1997). *Evaluating criteria for enhanced coagulation compliance*. Journal American Water Works Association.
- Yan M, W. D. (2006). *Enhanced coagulation in a typical North- China water treatment plant*. China .
- Yolanda. (2000).

# Anexos

**Anexo 1. Multiparámetro HANNA  
HI98130**



**Anexo 2 Multiparámetro HANNA HI9819**



**Anexo 3. Turbidímetro HACH 2100Q**



**Anexo 4. Espectrofotómetro HACH DR/2010**



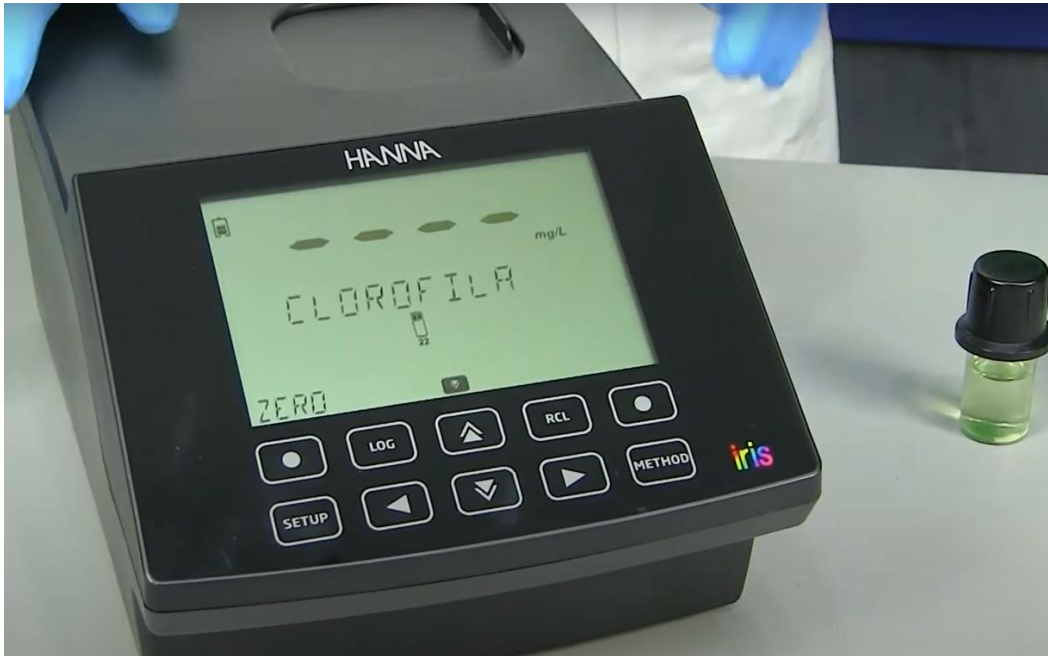
**Anexo 5. Equipo de prueba de jarras Velp Scientifica**



**Anexo 6. Gramera Electronic**



### Anexo 7. Espectrofotómetro HANNA IRIS HI801-01



### Anexo 8. Agua destilada





### Anexo 9. Coagulante Hidroxicloruro de Aluminio



### Anexo 10. Floculante Poliacrilamida



Anexo 11. Agua Cruda



Anexo 12. Utilizando el Kit de Prueba de la dureza Modelo 5-B



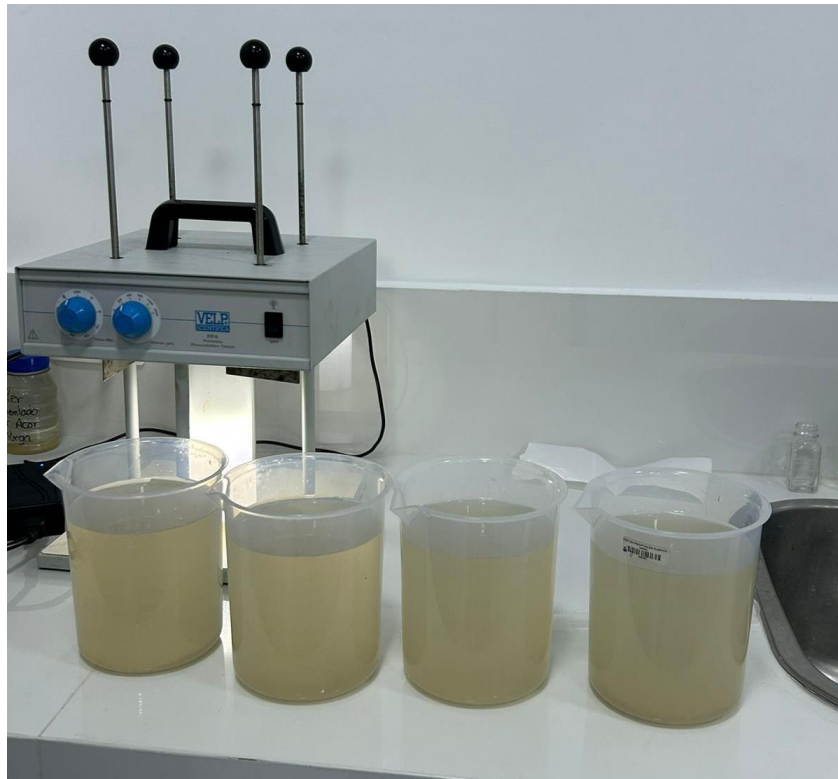
### Anexo 13. Medidor del pH y TDS



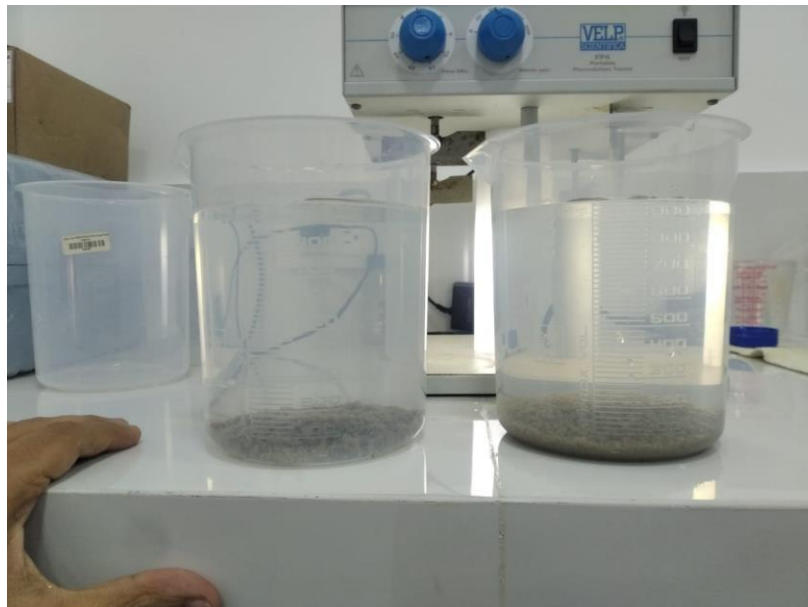
### Anexo 14. Toma de resultados de los parámetros pH y TDS



*Anexo 15. muestra de agua cruda*



*Anexo 16. Resultados de agua tratada con Hidroxicloruro de Aluminio*



*Anexo 17. Agua cruda minutos antes de someterse al tratamiento fisicoquímico*

