

**EVALUACIÓN DE ALTERNATIVAS DE TRATAMIENTO QUÍMICO PARA EL  
PROCESO DE POTABILIZACIÓN EN LA NUEVA PLANTA DE TRATAMIENTO  
ASOCRUCES DISTRITO 3 DEL MUNICIPIO DE TIMBÍO – CAUCA**



**ANGIE LEANDRA DORADO DORADO**

**NOHELIA MARÍA MOSQUERA VIDAL**

**CORPORACIÓN UNIVERSITARIA AUTÓNOMA DEL CAUCA  
FACULTAD DE CIENCIAS AMBIENTALES Y DESARROLLO SOSTENIBLE  
PROGRAMA DE INGENIERÍA AMBIENTAL Y SANITARIA**

**2021**

**EVALUACIÓN DE ALTERNATIVAS DE TRATAMIENTO QUÍMICO PARA EL  
PROCESO DE POTABILIZACIÓN EN LA NUEVA PLANTA DE TRATAMIENTO  
ASOCRUCES DISTRITO 3 DEL MUNICIPIO DE TIMBÍO – CAUCA**



**Trabajo de grado para optar al título de Ingeniera Ambiental y Sanitaria**

**DIRECTOR**

**Biólogo Arnol Arias Hoyos, Esp.**

**CORPORACIÓN UNIVERSITARIA AUTÓNOMA DEL CAUCA  
FACULTAD DE CIENCIAS AMBIENTALES Y DESARROLLO SOSTENIBLE  
PROGRAMA DE INGENIERÍA AMBIENTAL Y SANITARIA**

**2021**


## NOTA DE ACEPTACIÓN

Hacemos constar que el presente trabajo de grado. EVALUACIÓN DE ALTERNATIVAS DE TRATAMIENTO QUÍMICO PARA EL PROCESO DE POTABILIZACIÓN EN LA NUEVA PLANTA DE TRATAMIENTO ASO CRUCES DISTRITO 3 DEL MUNICIPIO DE TIMBÍO – CAUCA, ha sido aceptado por el director y los jurados como requisito para optar al título de Ingeniero Ambiental y Sanitario.



---

Firma Director: Arnol Arias Hoyos, Esp.



---

Firma Jurado: Mónica Alejandra Moreno Ruano, Ph.D.



---

Firma Jurado: Natalia Eugenia Samboni Ruiz, M.Sc.

## **AGRADECIMIENTOS**

Agradecemos a Dios por guiarnos en este trabajo final de grado, por siempre estar presente desde el comienzo y hasta el final de la carrera.

Agradecemos al Biól. Arnol Arias, Ing. Albeiro Burbano, nuestros padres, hermanos, familiares, amigos, al acueducto Asocruces por brindarnos la oportunidad de participar en el desarrollo y funcionamiento de la planta de tratamiento de agua potable y permitirnos aportar el conocimiento que adquirimos a lo largo de la carrera.

Y por último toda la familia Uniautonoma los docentes personales de la Corporación Universitaria Autónoma del Cauca, por ser nuestro apoyo en toda la carrera, brindar conocimiento y formar profesionales con vocación humana demás personas que directamente e indirectamente ayudaron y colaboraron por haber hecho parte en este proceso profesional.

**ANGIE LEANDRA DORADO DORADO**

**NOHELIA MARÍA MOSQUERA VIDAL**

## **DEDICATORIA**

Ofrecemos este trabajo a Dios por ser el creador del universo y darnos la sabiduría y fuerza para la finalización de nuestra carrera.

A nuestros padres por ser nuestros compañeros de vida, por la confianza, el amor y el gran apoyo que fue fundamental para culminar este sueño.

Nuestros hermanos que desde el inicio aportaron para la culminación de la carrera.

A la familia Uniautónoma que nos formó e hizo de nosotras profesionales con convicción para hacer la diferencia ante la sociedad.

La vida, es lo que nos define a través del tiempo.

**ANGIE LEANDRA DORADO DORADO**

**NOHELIA MARÍA MOSQUERA VIDAL**

## TABLA CONTENIDO

<b>CAPÍTULO I: PROBLEMA</b> .....	14
1.1 Planteamiento del problema .....	14
1.2 JUSTIFICACIÓN .....	15
1.3 OBJETIVOS .....	16
1.3.1 Objetivo general.....	16
1.3.2 Objetivos específicos.....	16
<b>CAPÍTULO II: REFERENCIAS CONCEPTUALES</b> .....	17
2.1 DESCRIPCIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO .....	17
2.2 ANTECEDENTES .....	18
2.3 BASES TEÓRICAS .....	19
2.3.1 Calidad del Agua .....	19
2.4 TRATABILIDAD DE AGUA CRUDA.....	21
2.4.1 Teoría de la Coagulación de agua.....	22
2.4.2 Tipos de coagulantes.....	23
2.4.3 Prueba de jarras (Sistema de simulación proceso de coagulación, floculación y sedimentación).....	24
2.4.4 Floculación .....	25
2.4.5 Desinfección .....	25
2.4.6 Demanda de cloro .....	26
2.5 MARCO LEGAL .....	27
<b>CAPÍTULO III: METODOLOGÍA</b> .....	29
3.1 Fase 1: Determinación de la dosis óptima de cuatro tipos de coagulantes .....	29
3.1.1 Actividad 1: Recolección de información secundaria y recolección de la muestra.....	29
3.1.2 Actividad 2: Caracterización fisicoquímica y microbiológica .....	30
3.1.3 Actividad 3: Prueba de jarras.....	31
3.2 Fase 2: Determinación de la dosis óptima del desinfectante .....	32
3.3 Fase 3: Evaluación de la eficiencia técnica y económica del producto coagulante y desinfectante.....	33
<b>CAPÍTULO IV: PRESENTACIÓN Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS</b> .....	34

4.1 Caracterización fisicoquímica y microbiológica del agua .....	34
4.2 Análisis de parámetros fisicoquímicos .....	39
4.2.1 Turbiedad y Color .....	39
4.2.2 pH y Alcalinidad .....	40
4.2.3 Oxígeno disuelto y Temperatura.....	41
4.2.4 Cloruros y Sulfatos .....	42
4.2.5 Conductividad y Dureza total.....	42
4.2.6 Nitritos y Nitratos .....	43
4.2.7 Demanda biológica de oxígeno y Demanda química de oxígeno .....	44
4.2.8 Sólidos Sedimentados .....	45
4.2.9 <i>E.coli</i> y Coliformes totales .....	45
4.3 DETERMINACIÓN DE LOS PARÁMETROS DE TRATABILIDAD .....	46
4.3.1 Sulfato de Aluminio Tipo A líquido.....	46
4.3.2 Sulfato de aluminio tipo A granulado .....	48
4.3.3 Policloruro de aluminio .....	50
4.3.4 Hidroxicloruro de aluminio .....	51
4.4 DETERMINACIÓN DEL CLORO RESIDUAL Y DEMANDA.....	54
4.5 DESINFECCIÓN .....	55
4.6 EVALUACIÓN DE LA EFICIENCIA TÉCNICA Y ECONÓMICA DEL PRODUCTO COAGULANTE Y DESINFECTANTE.....	56
4.6.1 Sulfato de aluminio .....	56
4.6.2 Sulfato de aluminio granulado .....	57
4.6.3 Policloruro de aluminio .....	57
4.6.4 Hidroxicloruro de aluminio .....	58
4.6.5 Tipos de cloro .....	58
4.7 ANÁLISIS DE COSTOS .....	60
<b>CAPÍTULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....</b>	<b>67</b>
5.1 CONCLUSIONES .....	67
5.2 RECOMENDACIONES .....	67
<b>BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>69</b>
<b>ANEXOS.....</b>	<b>74</b>

## LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Características Físicas.....	20
Tabla 2. Características Químicas.....	20
Tabla 3. Características Microbiológicas .....	21
Tabla 4. Normatividad ambiental .....	28
Tabla 5. Recolección de muestras en zona de estudio (Bocatoma).....	30
Tabla 6. Parámetros fisicoquímicos y microbiológicos monitoreados en el presente estudio .....	31
Tabla 7. Análisis fisicoquímico y microbiológico del agua cruda para el año 2019 – 2020.....	35
Tabla 8. Eficiencia de color y turbiedad en los cuatro tipos de coagulantes para baja y alta pluviosidad .....	53
Tabla 9. Características de las formas diferentes del cloro .....	59
Tabla 10. Cotización Quimicotienda Comerquiaguas S.A .....	60
Tabla 11. Cotización Quimicotienda Productos químicos panamericanos (PQP)..	60
Tabla 12. Cotización Quimicotienda Quimpac.....	61
Tabla 13. Costos de transporte Químico tienda – Acueducto Las Cruces.....	61
Tabla 14. Costos de los productos coagulantes y desinfectantes .....	63
Tabla 15. Inversión inicial en equipos y consumo mensual del tratamiento químico (Coagulante - Desinfectante) en el Acueducto las Cruces .....	64
Tabla 16. Representación costos teóricos del sulfato de aluminio granular e hipoclorito de calcio por año .....	66
Tabla 17. Información general de los productos coagulantes.....	66



## LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Área de estudio - Timbío dividido en distritos .....	17
Figura 2. Planta de tratamiento de agua.....	22
Figura 3. Desestabilización de las cargas en la coagulación.....	23
Figura 4. Curva de demanda de cloro .....	27
Figura 5. Turbidez y color .....	39
Figura 6. pH y Alcalinidad.....	40
Figura 7. Oxígeno disuelto y Temperatura.....	41
Figura 8. Cloruros y sulfatos.....	42
Figura 9. Conductividad y Dureza Total.....	43
Figura 10. Nitritos y Nitratos .....	44
Figura 11. DBO5 y DQO.....	45
Figura 12. E. Coli y Coliformes totales.....	46
Figura 13. Comportamiento variación de color y turbiedad en épocas de baja pluviosidad respecto a la concentración de coagulante.....	47
Figura 14. Comportamiento variación de color y turbiedad en épocas de alta pluviosidad respecto a la concentración de coagulante.....	48
Figura 15. Comportamiento variación de color y turbiedad en épocas de baja pluviosidad respecto a la concentración de coagulante.....	49
Figura 16. Comportamiento variación de color y turbiedad en épocas de alta pluviosidad respecto a la concentración de coagulante.....	49
Figura 17. Comportamiento variación de color y turbiedad en épocas de baja pluviosidad respecto a la concentración de coagulante.....	50
Figura 18. Comportamiento variación de color y turbiedad en épocas de alta pluviosidad respecto a la concentración de coagulante.....	51
Figura 19. Comportamiento variación de color y turbiedad en épocas de baja pluviosidad respecto a la concentración de coagulante.....	52
Figura 20. Comportamiento variación de color y turbiedad en épocas de alta pluviosidad respecto a la concentración de coagulante.....	52
Figura 21. Punto de quiebre .....	54
Figura 22. Punto de quiebre .....	55
Figura 23. Punto de quiebre .....	56

## LISTA DE ECUACIONES

Ecuación 1. Consumo en masa de reactivo al mes .....	62
Ecuación 2. Precio de dosificación mensual de coagulante .....	62
Ecuación 3. Precio dosificación anual de coagulante y desinfectante .....	62

## RESUMEN

Colombia ocupa el segundo lugar en biodiversidad, es predilecto por sus riquezas naturales, belleza geográfica, diversidad de ecosistemas y en recursos hídricos, sin embargo, el 3 % de la zona urbana y el 26 % de la zona rural carece de agua potable y saneamiento básico, presentando problemas sanitarios por la contaminación del agua que consume la población al no contar con la infraestructura adecuada que cumpla con los estándares de calidad, cantidad y continuidad de prestación del servicio.

En el presente trabajo de investigación se evaluó alternativas de tratamiento químico para la nueva planta de tratamiento de agua potable en el Distrito tres del Municipio de Timbío, mediante los procesos físico-químicos y biológicos del recurso. Esto se llevó a cabo mediante los procesos de coagulación, floculación y desinfección escala laboratorio.

Se realizaron pruebas con los coagulantes: sulfato de aluminio tipo A líquido, sulfato de aluminio tipo A granulado, hidroxiclorigenato de aluminio y policloruro de aluminio con una pureza del 100 %, estableciendo un rango de 8 a 20 mg/L en baja pluviosidad y de 10 a 42 mg/L en alta pluviosidad, encontrando que el más adecuado tanto por su rendimiento y economía para la fuente es el sulfato de aluminio granulado con un rango de 15 a 20 mg/L; mientras que en el proceso de desinfección se aplicó hipoclorito de calcio granulado con una pureza del 70 % en un rango de 0,5 a 3,5 mg/L.

Bajo los dos tratamientos aplicados se logró obtener agua que cumple con las condiciones establecidas en la resolución 2115 de 2007, pretendiendo de este modo brindar agua segura para los 3.400 habitantes del Distrito tres del municipio de Timbío, debido a que en los últimos años han existido cambios en las características del agua, dando por resultado el no cumplimiento con la normatividad vigente en cuanto a presencia de coliformes fecales, *E. coli*, nitritos, turbiedad y color. Por lo tanto, se recomendó generar alternativas de tratamiento que ofrezca a la comunidad acceso al agua potable y minimice el riesgo de enfermedades de origen hídrico.

**Palabras clave:** Plantas de tratamiento de agua potable, coagulantes, parámetros físicoquímicos/microbiológicos, desinfección del agua

## ABSTRACT

Colombia occupies the second place in biodiversity, it is preferred for its natural wealth, geographical beauty, diversity of ecosystems and water resources, however, 3 % of the urban area and 26% of the rural area lack drinking water and basic sanitation, presenting health problems due to the pollution of the water consumed by the population due to the lack of adequate infrastructure that meets the standards of quality, quantity and continuity of service provision.

In this research work, chemical treatment alternatives were evaluated for the new drinking water treatment plant in District 3 of the Municipality of Timbío, through the physical-chemical and biological processes of the resource. This was done through the processes of coagulation, flocculation and disinfection laboratory scale.

Coagulants were tested: liquid aluminium type A sulphate, granulated aluminium type A sulphate, aluminium hydroxychloride and aluminium polychloride with 100 % purity, establishing a range of 8 to 20 mg/L in low rainfall and 10 to 42 mg/L in high rainfall, finding that the most suitable for both performance and economy for the source is granulated aluminium sulphate with a range of 15 to 20 mg/L; while in the disinfection process granulated calcium hypochlorite with a purity of 70 % in a range of 0.5 to 3.5 mg/L was applied.

Under the two treatments applied, it was possible to obtain water that meets the conditions set out in resolution 2115 of 2007, in order to provide safe water for the 3,400 inhabitants of District 3 of the municipality of Timbío, because in recent years there have been changes in the characteristics of the water, resulting in non-compliance with current regulations regarding the presence of fecal coliforms, *E. coli*, nitrites, turbidity and color. Therefore, it is recommended to generate treatment alternatives that offer the community access to drinking water and minimize the risk of water-borne diseases.

**Keywords:** Drinking water treatment plants, coagulants, physicochemical / microbiological parameters, water disinfection

## INTRODUCCIÓN

El suministro de agua potable es indispensable para la calidad de vida de la población mundial, respecto a este criterio es necesario realizar un tratamiento químico que garantice la eliminación de sólidos suspendidos, materia orgánica e inorgánica, gases disueltos, microorganismos, y otros [1].

La agenda 2030 abarca tres extensiones para la sostenibilidad: económica, social y medioambiental. Está constituida por 17 Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), puntualmente el Objetivo 6, propone como meta para el año 2030 “lograr el acceso universal y equitativo a agua potable y saneamiento de manera segura” [2].

De acuerdo con la Organización Mundial de la Salud (OMS) las letalidades son responsables por las condiciones ambientales de cada territorio según el contexto de los modelos de desarrollo se genera efectos adversos sobre el medio ambiente, generando así impactos a la salud humana. El 3.1 % (1.7 millones) de las muertes a nivel mundial son atribuidas a condiciones de saneamiento ambiental, agua e higiene [3].

Este marco a nivel rural de Colombia se mantuvo para los años 2007 a 2012, presentándose así enfermedades de salud pública ya que la comunidad se abastece de agua no apta para consumo humano porque carece de saneamiento básico [4]. La ausencia del estado en la defensa del medio ambiente y en las coberturas de agua potable y saneamiento básico en las zonas rurales del Departamento del Cauca es un factor determinante para que se presente problemas en la salud de la población [5].

El presente proyecto se formuló con el fin de evaluar alternativas de tratamiento químico para el proceso de potabilización en la nueva planta de tratamiento Aso cruces, siendo este el más adecuado y garantice el cumplimiento de la normatividad ambiental y suministre agua apta a los hogares del Distrito 3 del municipio de Timbío.

## CAPÍTULO I: PROBLEMA

### 1.1 Planteamiento del problema

Para la Organización Mundial de la Salud, la calidad del agua para consumo humano es un tema de interés universal, siendo esencial para la vida y que todas las personas dispongan de un suministro satisfactorio y adecuado en cuanto a su tratabilidad [6].

En este contexto, es válido mencionar que en Colombia el abastecimiento de agua potable, a pesar de constituirse como un servicio público domiciliario y un derecho fundamental para sus habitantes, no ha podido ser enteramente satisfecho en todo el territorio nacional, lo cual denota la imposibilidad de abastecer el recurso a los sectores más vulnerables del País. [7].

La escasa indagación acerca de los acueductos rurales y el no acatamiento de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos por parte de los prestadores de servicio, ha implicado a la producción de agua no apta para consumo humano en las poblaciones más vulnerables de Colombia [8].

Actualmente el sistema de abastecimiento del distrito 3 del municipio de Timbío no cuenta con un adecuado diseño estructural, puesto que está conformado por un sistema de captación y distribución directa de agua sin ningún tipo de tratamiento; además se evidencian otros problemas en la delimitación del área de la bocatoma, siendo esta de fácil acceso para cualquier persona. Por otro lado, las veredas y fincas ubicadas aguas arriba han realizado vertimientos de sus aguas residuales a esta fuente hídrica, trayendo como consecuencia problemas en la salud relacionadas con enfermedades de origen hídrico, entre ellas diarrea aguda y dermatitis, como lo manifiesta la propia comunidad y evidenciada en los reportes del centro médico de la cabecera municipal.

Teniendo en cuenta lo anterior, la comunidad del distrito 3 bajo sus propios recursos envió a elaborar el diseño de una planta de tratamiento de agua potable (PTAP) para dicho sector, diseño que a su vez fue aprobado para su construcción bajo recursos del comité de cafeteros del Departamento del Cauca. Con el fin de complementar estos diseños se hace necesario seleccionar un tratamiento fisicoquímico para las unidades planteadas que garanticen un recurso que cumpla con la normatividad y que sea apto para el consumo humano, ya que por el momento no hay datos en relación a los procesos de coagulación y desinfección, ya que el servicio que se presta en esta comunidad ha sido la distribución de agua cruda, siendo estos aspectos muy importantes para tomar decisiones pertinentes para el mejoramiento del servicio que se prestara con la nueva planta de tratamiento de agua potable.

## 1.2 JUSTIFICACIÓN

La escasez del recurso hídrico, junto con la mala calidad del agua y la falta de saneamiento básico repercuten en la seguridad alimentaria, la calidad de vida y la oportunidad de educación para las familias pobres en todo el mundo. Uno de los principales objetivos de la agenda 2030, el cual menciona “agua limpia y saneamiento” es uno de los principales pilares para combatir la carencia de agua potable a nivel mundial [9].

Asimismo, el agua es necesaria para la vida y todos los seres humanos deben disponer de un suministro apropiado, autosuficiente, inocuo y de fácil acceso. La mejora del acceso al agua potable puede proveer beneficios tangibles para la salud humana. Para alcanzar una alta inocuidad del recurso hídrico, se deben realizar grandes esfuerzos para el cumplimiento [10].

El suministro de agua potable en las zonas rurales de Colombia es hasta hoy una problemática latente debido a que no se ha garantizado en su totalidad, ya sea por falta de voluntad política, recursos económicos y la falta de interés desde la misma comunidad por conocer los beneficios de implementar un sistema de potabilización adecuado [11].

El distrito 3 del Municipio de Timbío está conformado por nueve veredas con una población aproximada de 3,400 habitantes (Encuesta Acueducto Veredal Aso Cruces). Actualmente el acueducto solo cuenta con una bocatoma, un tanque de almacenamiento y una red de distribución hasta las viviendas del distrito. Al realizar la visita técnica se evidenció la falta de un tratamiento que garantice agua de buena calidad y así evitar que la comunidad se encuentre vulnerable, puesto que su salud se puede ver afectada por enfermedades de origen hídrico a causa del mal manejo de este recurso.

Por lo anterior la comunidad y la junta administrativa del acueducto se vieron en la necesidad de adquirir apoyo económico para la construcción de una nueva planta de tratamiento de agua potable, diseñada con el fin de dar cumplimiento a lo expuesto en la resolución 2115 del 2007, para lo cual se realizaron pruebas de coagulación y cloración con el objetivo de garantizar un agua de buena calidad, permitiendo de esta forma evaluar las alternativas de tratamiento químico para el proceso de potabilización en el Acueducto Aso Cruces.

Asimismo, minimizará la aparición de enfermedades causadas por el consumo de agua no tratada y permitirá a la población tener acceso a agua potable segura como lo proyecta el objetivo seis del desarrollo sostenible. Por lo anterior, este proyecto deja un aporte significativo en los procesos funcionales de la nueva PTAP, por lo tanto, se pretende comprobar la factibilidad tanto técnica como económica del uso de algunos coagulantes y desinfectantes a utilizar en el proceso de potabilización

del agua, aspectos importantes para la toma de decisiones en cuanto al mejoramiento del servicio prestado.

### **1.3 OBJETIVOS**

#### **1.3.1 Objetivo general**

Evaluar alternativas de tratamiento químico para el proceso de potabilización en la nueva planta de tratamiento Asocruces Distrito 3 del Municipio de Timbío – Cauca.

#### **1.3.2 Objetivos específicos**

- Determinar la dosis óptima de cuatro tipos de coagulantes sulfato de aluminio tipo A (líquido), sulfato de aluminio tipo A (sólido), policloruro de aluminio e hidroxiclорuro de aluminio para el proceso de potabilización de agua.
- Establecer la dosis óptima del desinfectante para el proceso de potabilización de agua.
- Evaluar la eficiencia técnica y económica del producto coagulante y desinfectante en el proceso de potabilización de agua.

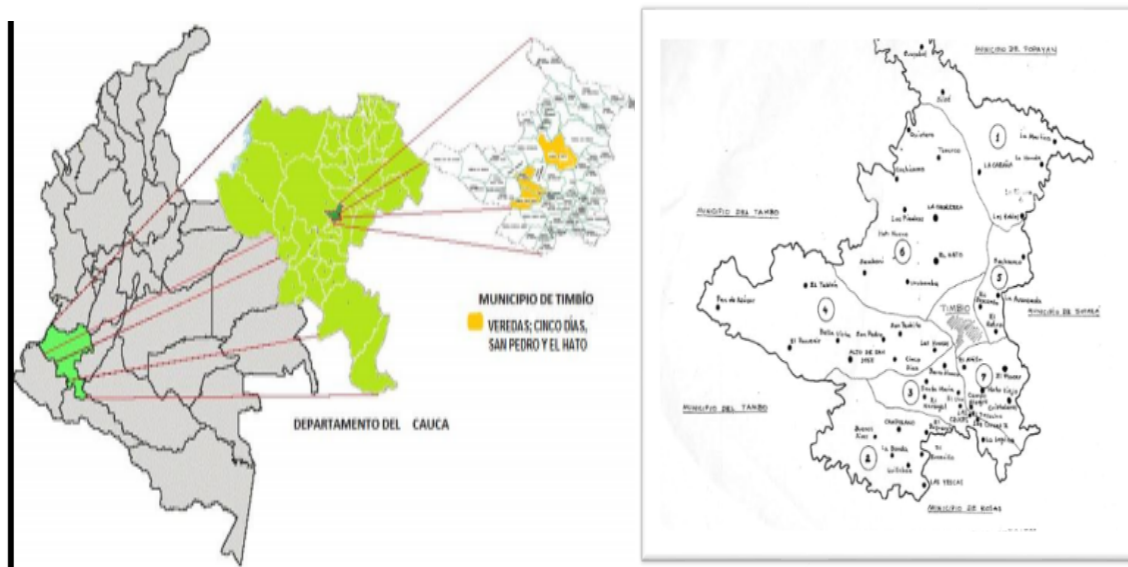


## CAPÍTULO II: REFERENCIAS CONCEPTUALES

### 2.1 DESCRIPCIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO

El acueducto Asocruces está localizado al sur del Municipio de Timbío en la Región Andina de la zona centro del Departamento del Cauca. Este sistema de abastecimiento está compuesto por bocatoma, desarenador, tanque de almacenamiento con capacidades de 200 m<sup>3</sup> y red de distribución, suministrando agua a 850 familias que pertenecen a las nueve veredas del Distrito 3 de este municipio (la Laguna, Cruces II, Cruces I, Naranjal, Santa María, el Uvo, Barro Blanco, Tropical y Desecho), y que durante años han estado expuestos a consumir agua no apta para el consumo humano (información suministrada por parte de funcionario del Acueducto).

Esta zona se caracteriza por ser multicultural con un 89 % de población campesina, un 8 % población afro y un 3 % población indígena, dedicada a la actividad ganadera y agricultura (café, plátano y hortalizas), obteniendo una estabilidad económica en la población (información suministrada por la Alcaldía de Timbío).



**Figura 1. Área de estudio - Timbío dividido en distritos**

*Fuente: [34,35]*

## 2.2 ANTECEDENTES

La carencia de agua potable en países en vía de progreso representa una gran dificultad cada día más grande a nivel mundial, por lo que amerita alternativas que sean eficientes y nuevas para que el saneamiento y seguridad del agua para todos los seres humanos, sobre todo en las poblaciones que está excluidas por diferentes razones; es decir que para que esto se lleve a cabo y necesario el uso de productos químicos industriales, los más usados son el sulfato de aluminio y el sulfato férrico para el tratamiento de potabilización del agua [12].

La investigación de Solís, Laines, y et. al. en el año 2012 titulado: Mezclas con potencial coagulante para clarificar aguas superficiales; expresa que el uso de agentes químicos como el sulfato de aluminio permite remover una proporción significativa de los sólidos suspendidos, clarificando el agua para su posterior potabilización. En este estudio se compararon mezclas con potencial coagulante compuestas por almidón de yuca (*Manihot esculenta Crantz*) y sulfato de aluminio grado comercial, que permitirían reducir la cantidad sulfato de aluminio usado en plantas de tratamiento de agua. Mediante prueba de jarras se determinó la dosis óptima del sulfato de aluminio. En cada tratamiento se midieron tres parámetros fisicoquímicos relevantes en ensayos de coagulación-floculación: color, turbiedad y pH. Los resultados indican que la mayor reducción de color (94 % de eficiencia) se obtuvo con el tratamiento 2 (2 mg/L de yuca más 28 mg/L de sulfato de aluminio). La remoción de color en los tratamientos 3 y 4 (4 mg/L de yuca más 26 mg/L de sulfato de aluminio y 6 mg/L de yuca más 24 mg/L de sulfato de aluminio, respectivamente), son estadísticamente iguales al tratamiento 1 de acuerdo con la prueba de comparación de medias de Dunnett. En cuanto a la remoción de turbiedad se observa que los tratamientos 1 y 2 son estadísticamente iguales de acuerdo con la prueba de comparación de medias de Dunnett, con una reducción del 98.7 y 97.9 % respectivamente. Finalmente, el pH no varió significativamente para todos los tratamientos [13].

En el trabajo realizado por Meza, Riaños et. al, [14] se evaluó el poder coagulante que tiene la semilla de *Moringa oleífera* y se comparó con la sustancia química más utilizada a nivel mundial en los procesos de clarificación de aguas, sulfato de aluminio. Se realizó un muestreo simple del agua de la ciénaga de Malambo-Atlántico, registrando sus características iniciales. Mediante el test de jarras, se simuló un proceso de clarificación y se observó la reducción de turbidez que se obtuvo con cada coagulante. Se concluyó que el sulfato de aluminio disminuye la turbidez en un 96%, mientras que las semillas de *Moringa oleífera* reducen este mismo parámetro en un 64%. Por su baja toxicidad, este coagulante natural es una alternativa para reemplazar parcialmente al sulfato de aluminio.

Rodríguez, Lugo, et al. En su trabajo titulado: Evaluación del Proceso de la Coagulación para el Diseño de una Planta Potabilizadora, se expone el resultado

de una investigación de tipo experimental, la cual tuvo como objetivo evaluar el proceso de coagulación de un agua superficial que sirve como fuente de abastecimiento para una planta potabilizadora no convencional (utilizando energías alternativas), mediante la aplicación y valoración del sulfato de aluminio tipo B, polielectrolito, almidón de yuca y almidón de maíz como coagulantes alternativos. Los resultados obtenidos señalan que el almidón de maíz, como alternativa técnica de coagulación es buena, dado que es una opción de tecnología adaptable y flexible, a las condiciones de operación de las plantas de potabilización municipales [15].

En la provincia de Tucumán, Argentina, se realizó un trabajo de investigación para describir la síntesis y los resultados preliminares de la aplicación de un hidrogel de hidróxido de aluminio para lograr la eliminación total del arsénico, cualquiera que sea la naturaleza del agua y el estado de oxidación del metaloide. El control de calidad del producto final consistió en la determinación de su capacidad para adsorber el arsénico y la realización de pruebas bacteriológicas para demostrar su esterilidad. El producto fue aplicado a muestras de agua a las que se añadió arsénico en el laboratorio y a muestras de aguas arsenicales naturales procedentes de la provincia. La aplicación del hidrogel proporcionó una gran reducción del arsénico. Tanto en las aguas arsenicales naturales como en las artificiales, después del tratamiento las concentraciones de arsénico quedaron por debajo del límite de detección del método analítico utilizado (0,01 partes por millón). Las pruebas bacteriológicas del producto terminado revelaron la ausencia de bacterias viable [16].

## **2.3 BASES TEÓRICAS**

### **2.3.1 Calidad del Agua**

La calidad del agua está expresada por gran cantidad de parámetros como fisicoquímicos y microbiológicos que cobran relevancia de acuerdo al origen del agua captada y de factores socioeconómicos en la comunidad y pueden llegar hacer una fuente de contaminación [17].

La Resolución 2115 de 2007 ha clasificado los parámetros físicos, químicos y microbiológicos de acuerdo al tipo de impacto sobre la salud humana como se indica en las siguientes tablas:

La Tabla 1 muestra las características físicas; siendo aquellas que se detectan por su apariencia. Los principales parámetros utilizados para caracterizar físicamente el agua son [18]:

**Tabla 1. Características Físicas del Agua**

<b>Características físicas</b>	<b>Expresadas como</b>	<b>Valor máximo aceptable</b>
Color aparente	Unidades de Platino Cobalto (UPC)	15
Olor y sabor	Aceptable o no aceptable	Aceptable
Turbiedad	Unidades Nefelométricas de turbiedad (UNT)	2

*Fuente: [37]*

Las características químicas evalúan la idoneidad de la calidad del agua de consumo, basándose en la comparación de los resultados analizados con los valores de referencia, como lo muestra la Tabla 2 [19].

**Tabla 2. Características Químicas del Agua**

<b>Características químicas</b>	<b>Expresados como</b>	<b>Valor máximo aceptable (mg/L)</b>
pH	-	Entre 6.5 y 9.0
Nitritos	$\text{NO}_2^{-1}$	0.1
Nitratos	$\text{NO}_3^{-1}$	10
Fosfatos	$\text{PO}_4^{-3}$	0.5

*Fuente: [37]*

A continuación, se exponen las características microbiológicas (Tabla 3), indicando una contaminación fecal, pero también puede incluir, en algunas circunstancias la determinación de las concentraciones de patógenos específicos [20]. Los microorganismos causantes de las denominadas “enfermedades hídricas” provienen principalmente de las heces humanas o de animales [21].

Las características microbiológicas del agua para consumo humano deben enmarcarse dentro de los siguientes valores máximos aceptables dependiendo de las técnicas.

**Tabla 3. Características Microbiológicas del Agua**

<b>Técnicas utilizadas</b>	<b>Coliformes Totales</b>	<b><i>E. coli</i></b>
Filtración por membrana	0 UFC/100 cm <sup>3</sup>	0 UFC/100 cm <sup>3</sup>
Enzima Sustrato	< de 1 microorganismo en 100 cm <sup>3</sup>	< de 1 microorganismo en 100 cm <sup>3</sup>
Sustrato Definido	0 microorganismo en 100 cm <sup>3</sup>	0 microorganismo en 100 cm <sup>3</sup>
Presencia – Ausencia	Ausencia en 100 cm <sup>3</sup>	Ausencia en 100 cm <sup>3</sup>

Fuente: [37]

Para garantizar los anteriores valores es necesario tratar el recurso y asegurar el cumplimiento de los parámetros fisicoquímicos, como son:

- El pH: Es una de las variables más importantes al hacer el proceso de coagulación ya que este incide en la velocidad de las misma y este debe estar en el rango apropiado, también depende de la alcalinidad y los iones del agua.
- La turbiedad y el color: La remoción de turbiedad es más fácil de trabajar cuando el pH está en su rango óptimo. El color es un parámetro organoléptico que indica la calidad de agua para consumo humano, esto se debe a la presencia de material orgánico presente en el agua ya que estas sustancias se pueden presentar en suspensión o disuelta.
- La alcalinidad: Es una solución que tiene la capacidad de neutralizar ácidos para disminuir el pH, está determinada principalmente por el sistema carbonato.
- La temperatura: Es un parámetro físico que afecta a la cantidad de oxígeno que puede transportar el agua. El agua a menor temperatura transporta más oxígeno y todos los animales acuáticos necesitan este para sobrevivir, temperaturas superiores a 15 °C favorecen el progreso de microorganismos y aumentan los olores y sabores [32].

## **2.4 TRATABILIDAD DE AGUA CRUDA**

La operación de potabilización del agua comprende una serie de procesos cuya finalidad es transformar el agua cruda en un producto final como lo es el agua potable, la cual debe tener las características indicadas por las normas vigentes [22]. El motivo fundamental del tratamiento del agua es preservar a los consumidores de los patógenos, virus, bacterias y de las impurezas que puedan estar presentes en la misma y que puedan ser nocivos para la salud [23].

El tipo de fuente, que determina las características físicas, químicas y biológicas, además de la calidad del agua, son elementos a tener en cuenta para realizar el tratamiento, cuya finalidad es proteger al consumidor contra los patógenos y las impurezas que afecten su salud [24].

En el siguiente esquema se presentan los procesos físicos y químicos que una planta de tratamiento requiere en el proceso de potabilización:



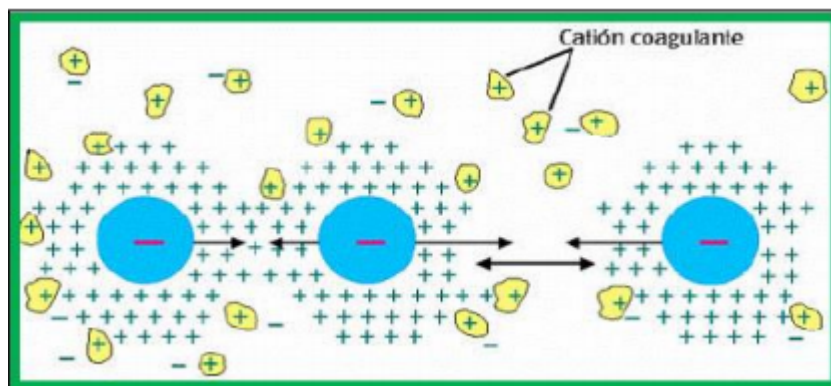
Figura 2. Planta de tratamiento de agua  
Fuente: [25]

### 2.4.1 Teoría de la Coagulación de agua

La coagulación consiste en añadir aditivos químicos con el propósito de desestabilizar las partículas coloidales para que sean removidas, este proceso ocurre en tiempo mínimo y dependerá de la concentración de coagulante y de su pH. La remoción de color y turbiedad ocurren en esta etapa además de la eliminación de algunas bacterias, virus, organismos patógenos, y el sabor, en ocasiones el olor. La coagulación comienza en la mezcla rápida de la planta de tratamiento, requiere de control ya que es una etapa de vital importancia e influye en la eficiencia de la sedimentación-filtros [27].

El proceso anteriormente mencionado tiene gran importancia ya que los coloides o suspensiones son un sistema físico que se forma por dos fases; continua habitualmente fluida y dispersa en forma de partículas, regularmente sólida, cuya dimensión varía entre 1 y 1.000 mili micrómetros. Los coloides pueden ser hidrófobos que repelen el agua, por tanto, son lo de mayor importancia ya que son responsables de la turbiedad y por eso es vital el tratamiento de agua. Por otra parte,

existen los coloides hidrófilos que presentan mucha afinidad con el agua. Los coloides están sujetos a ser estabilizados y desestabilizados por varios factores [56].



**Figura 3. Desestabilización de las cargas en la coagulación**  
**Fuente:** [25]

El agua que está presente en la naturaleza contiene partículas suspendidas e impurezas, su tamaño puede variar de acuerdo a su origen y son las encargadas de la presencia del color y turbiedad, son los encargados de originar grandes problemas durante el desarrollo de la potabilización del agua por sus contaminantes [26], así mismo siendo los responsables de la aparición de bacterias o microorganismos patógenos que puedan afectar la salud humana.

Cuando queda desestabilizada la carga de las partículas, éstas tienden a aglomerarse por su vulnerabilidad y otras quedan en suspensión aumentando su tamaño y de esta manera ocurra la formación de flóculos siendo necesario el proceso de floculación ya que en esta etapa la agitación es lenta y las partículas más pequeñas se desestabilicen, chocan con otras y formen floc para luego sedimentarse [25].

#### 2.4.2 Tipos de coagulantes

Los usos de los coagulantes son de diferentes tipos; inorgánicos, polímeros, naturales y sintéticos. Los coagulantes más utilizados en el tratamiento de aguas son las sales metálicas y los polímeros; Entre los agentes coagulantes más empleados por sus propiedades físico químicas, se encuentran la alúmina ( $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18 \text{H}_2\text{O}$ ), y el cloruro férrico. Las sales de aluminio es un compuesto hidratado pertenece a la fórmula  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ , se origina con una hidratación menor y se enuncia con una fórmula  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 14\text{H}_2\text{O}$ , que se obtiene mediante la reacción entre el ácido sulfúrico y un mineral rico en aluminio tal como la bauxita, son empleadas por su bajo costo y disponibilidad y buen resultado [28].

El sulfato de aluminio viene en varias presentaciones como tipo A, tipo B, en estado líquido y sólido. Estos productos vienen en presentaciones de litros, galones, kilogramos, toneladas, lo más utilizados para los sistemas de potabilización de aguas son el sulfato de aluminio tipo B y sulfato de aluminio en solución. El sulfato de aluminio granulado es constante bajo condiciones normales de almacenamiento, para la dosificación de estos coagulantes tanto líquido como sólido es la calibración de los dosificadores, ya que van ligados a los promedios de descarga y unidad de tiempo del producto.

El cloruro férrico anhidro sólido contiene un 98% de  $FeCl_3$ , se proporciona en forma de cristales de tono azul, verde o negro. Se diluye muy fácilmente con el agua para crear soluciones hasta de 45% de  $FeCl_3$ . Su empaque es en bolsas de polietileno selladas herméticamente con un peso de 50kg, también existe la presentación en solución y puedo variar la concentración de  $FeCl_3$  entre 35 a 45%, su almacenamiento debe ser en tanques de acero o tanques de polietileno, como la norma NTC-3976 lo indica [56].

Por otro lado, están los policloruros de aluminio (PAC'S) como integrantes de una nueva generación de coagulantes alternativos, cuyo uso se ha venido incrementando en los últimos años por su excelente desempeño respecto a los coagulantes convencionales. Es una opción de elección considerada para poder llegar a un alto nivel de agua de calidad y de desempeño para el uso de coagulantes. Esta generación de coagulantes inorgánicos prepolimerizados, como el policloruro de aluminio (PAC 's), clorhidrato de aluminio (ACH) y polisulfatos de aluminio (PAS). Su desempeño es superior para la remoción de materia orgánica y partículas en suspensión [1].

#### **2.4.3 Prueba de jarras (Sistema de simulación proceso de coagulación, floculación y sedimentación)**

Este sistema trabaja en representar en jarras el proceso de coagulación que se origina en una planta de tratamiento de agua potable y evaluar los diferentes parámetros tanto al inicio como al final de las pruebas, mediante este proceso se puede determinar; su dosis óptima de coagulante, influencia de pH, eficiencia de las mezclas lenta y rápida, determinación del tiempo para los gradientes en la floculación y la precisión para la velocidad de sedimentación. Estos ensayos se llevan a cabo para obtener resultados para el diseño y operación de las unidades de tratamiento, para el desarrollo de dicho procedimiento se necesitan conocer los resultados mínimos de turbiedad, color, pH y alcalinidad [32].

Aspectos a tener en cuenta para la prueba de jarras:

- Dispositivo de jarras
- Estudio de laboratorio
- Dosis-Concentración de coagulante



- Método de adición de coagulante
- Dosificación de ayudante de floculación
- Tiempo de duración y gradiente de velocidad mezcla rápida y lenta
- Sistema de toma de muestra.

#### **2.4.4 Floculación**

Consiste en la aglomeración, mediante la agitación moderada del agua, con el fin de desestabilizar las partículas coloidales durante el proceso de coagulación formando así de esta manera flóculos. La finalidad de la floculación es reunir microflóculos para construir partículas con peso específico superior al del agua y compactar el flóculo reduciendo su grado de hidratación para crear baja concentración volumétrica, presentando así una alta eficacia para los procesos de sedimentación y filtración [27].

Las variables más significativas para el proceso de floculación son; dosis y concentración de coagulante, gradiente de velocidad, tiempo de retención y el número de compartimientos del floculador; Los tipos de floculadores se clasifican en: floculadores de contacto o manto de lodos y de disipación de energía.

Los floculadores de contacto o manto de lodos son: usualmente es una sección de los tanques de decantación de flujo vertical. El proceso de coagulación sucede cuando el agua pasa coagulada por el manto de lodos suspendidos.

Floculador de disipación de energía: son aquellos en que las partículas son arrastradas por el flujo de agua, la floculación pasa por el choque de partículas en el seno de la corriente y pueden ser floculadores hidráulico o mecánico. Estos manejan energía hidráulica para formar el gradiente de velocidad, un modelo de estos puede ser el de tipo Alabama, tabique horizontal o vertical y los de medios porosos [58].

#### **2.4.5 Desinfección**

El primer brote de cólera aconteció en 1817 en Asia, se extendió a Turquía y países árabes, de este modo inició su expansión fue por el resto de los continentes. Apareciendo así la salud ambiental como eje fundamental para la prevención de enfermedades por el agua, teniendo en cuenta el proceso de desinfección del agua y teniendo como objetivo bajar los niveles del riesgo de infección de las enfermedades de origen hídrico, mediante la destrucción-inactivación de los organismos patógenos que están presentes en la fuente por medio de la cloración de agua para que los habitantes utilizan para satisfacer sus necesidades básicas y tengan el derecho de contar con un recurso fiable y de manera segura [30].

Los factores que influyen en la desinfección son:

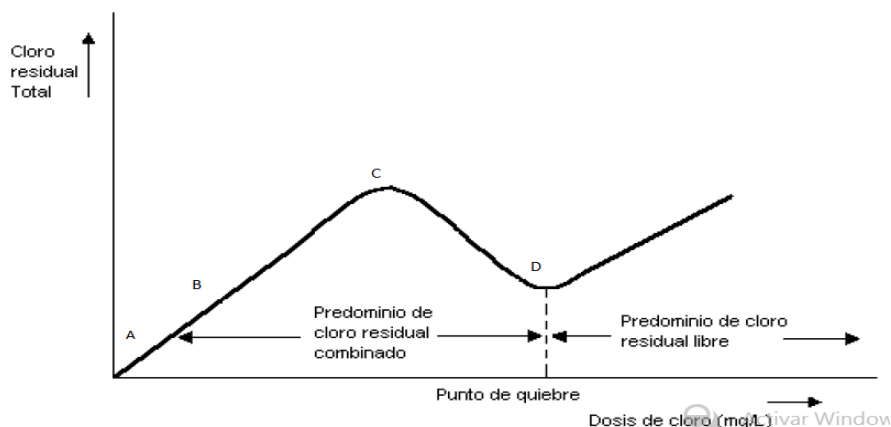
- Los microorganismos presentes y su comportamiento.
- La naturaleza y concentración del agente desinfectante.
- La temperatura del agua.
- La naturaleza y calidad del agua.
- El pH del agua.
- El tiempo de contacto.

La efectividad de la desinfección se mide por el porcentaje de organismos muertos dentro de un tiempo, una temperatura y un pH prefijados.

El cloro es el agente desinfectante más importante; puede utilizarse en forma de gas, de líquido o de sal (hipoclorito de sodio). Es de fácil aplicación, manejo sencillo y de bajo costo. En dosis adecuadas no produce riesgos para el hombre ni para los animales. Su efecto residual protege al agua de contaminarse en las redes de distribución. Es importante tomar precauciones en el uso del cloro, debido a la formación de trihalometanos, los cuales son considerados potencialmente peligrosos [31].

#### **2.4.6 Demanda de cloro**

La demanda de cloro es la diferencia entre la cantidad de cloro aplicado al agua y la cantidad de cloro libre que persiste al final de un periodo explícito de tiempo de contacto, mientras que el punto de quiebre depende de la cantidad de amoníaco presente en el agua se crearán compuestos nitrogenados llamados monocloramina, dicloramina, y tricloramina. los residuales de cloramina habitualmente alcanzan un máximo en concentraciones equimolares de cloro y amoníaco, mayores incrementos en las proporciones del cloro y amoníaco resulta la oxidación de amoníaco y la reducción de cloro [56].



**Figura 4. Curva de demanda de cloro**

**Fuente:** [57].

Mirando el comportamiento de esta gráfica se puede afirmar que el cloro reacciona primeramente con los agentes reductores presentes y no forma un residual, la dosis de cloro en el punto B significa la cantidad de cloro necesario para compensar la demanda realizada por los agentes reductores del agua. Logrado este punto de demanda inmediata de cloro, éste reacciona con todo el amoníaco y las aminas orgánicas presentes para formar un residual de cloro combinado.

En el punto C, la concentración de cloro libre es muy alta como para oxidar las cloraminas, mientras tanto en C-D su oxidación de las cloraminas:  $\text{NH}_2\text{Cl} + \text{NHCl}_2 + \text{HOCl} \rightarrow \text{N}_2\text{O} + 4\text{HCl}$ . La pérdida de las cloraminas reduce el cloro residual y es conducida por la formación de óxido nitroso, nitrógeno y tricloruro de nitrógeno. Y donde D: Una vez completa la oxidación de los compuestos susceptibles de ser oxidados por cloro, todo el cloro agregado desarrolla un residual de cloro libre y la oxidación de los productos del amoníaco es completa, se conoce como punto de quiebre el cual se refiere a la cantidad de cloro necesaria para obtener un residual determinado, después de un tiempo de contacto concreto señalando hasta aquí que este proceso es muy importante para la determinación de la demanda de cloro para su respectivo proceso de desinfección y que este puede variar según el agua, el tiempo de contacto, pH y de la temperatura [57].

## 2.5 MARCO LEGAL

A continuación, se listan las diferentes normas relacionadas con calidad y tratabilidad del agua, con el fin de proveer las herramientas necesarias para entender la problemática y las diferentes formas para su respectiva solución. Además, contendrá una breve descripción de estas.

**Tabla 4. Normatividad ambiental colombiana**

Norma	Descripción	Detalle
<b>LEY 99 DE 1993</b>	De los derechos fundamentales	Por el cual se crea el ministerio de medio ambiente, se reordena el sector Público encargado de la gestión y conservación del medio ambiente.
<b>NORMA RAS 2017</b>	Por el cual se dicta el Código Nacional de Recursos Naturales Renovables y de Protección al Medio Ambiente	<p>Título C: <b>Sistemas de potabilización</b> Dirigido al desarrollo de estudios y diseños de todos los componentes de un sistema de potabilización del agua en sus etapas de conceptualización, diseño, la puesta en marcha, la operación y el mantenimiento que se desarrolle en la República de Colombia, con el fin de garantizar su seguridad, durabilidad, funcionalidad, calidad, eficiencia, sostenibilidad y redundancia dentro de un nivel de complejidad determinado.</p> <p>Título B: <b>Sistemas de acueducto</b> El propósito del siguiente título es fijar los criterios básicos y requisitos mínimos que deben reunir los diferentes procesos involucrados en la conceptualización, el diseño, la construcción, la supervisión técnica, la puesta en marcha, la operación y el mantenimiento de los sistemas de acueductos que se desarrollen en la República de Colombia, con el fin de garantizar su seguridad, durabilidad, funcionalidad, calidad, eficiencia, sostenibilidad y redundancia dentro de un nivel de complejidad determinado.</p>
<b>DECRETO 1575 DE 2007</b>	Decreto del Ministerio de Protección Social por el cual se establece el sistema para la protección y control de la calidad del agua para consumo humano.	El objeto del presente decreto es establecer el sistema para la protección y control de la calidad del agua, con el fin de monitorear, prevenir y controlar los riesgos para la salud humana causados por su consumo exceptuando el agua envasada.
<b>RESOLUCIÓN 2115 DE 2007</b>	Decreto del Ministerio de Desarrollo Económico por el cual se expiden normas técnicas de calidad del agua potable	Las características y los instrumentos básicos y frecuencias del sistema de control y vigilancia para el consumo humano.

Fuente: [33]

## **CAPÍTULO III: METODOLOGÍA**

### **3.1 Fase 1: Determinación de la dosis óptima de cuatro tipos de coagulantes**

Con la finalidad de dar cumplimiento a los objetivos propuestos para el desarrollo de este trabajo, se diseñó un esquema metodológico compuesto por tres fases fraccionadas en diferentes actividades, proporcionando marcos de referencia en la recopilación y análisis de datos, las cuales se describen a continuación:

#### **3.1.1 Actividad 1: Recolección de información secundaria y recolección de la muestra**

##### **Fuente secundaria**

Para la recolección de información secundaria y las condiciones ecosistémicas de la zona, se hizo necesario consultar la normatividad colombiana vigente en cuanto a calidad y tratabilidad del agua como también consultar bases teóricas científicas (EBSCO, literatura profesional, SciELO y Dialnet) sobre las temáticas estudiadas.

##### **Recolección de Muestras**

La toma de muestras se realizó en dos épocas, en baja y alta pluviosidad, teniendo en cuenta las guías del IDEAM, empleando una técnica tipo simple, es decir que estas muestras son tomadas una sola vez y en un solo sitio de la zona de estudio (Bocatoma Acueducto) [36].

En la Tabla 5 se indica la cantidad de muestras recogidas, parámetros a analizar y el laboratorio donde se procesó.

**Tabla 5. Recolección de muestras en zona de estudio (Bocatoma)**

<b>Volumen muestra</b>	<b>Número de muestreos</b>	<b>Frecuencia de muestreo</b>	<b>Parámetros a analizar</b>	<b>Laboratorio</b>
1 ½ L	3	Tres veces al mes	Cloruros, Sulfatos, Demanda química de oxígeno, <i>E. coli</i> y Coliformes totales.	Acueducto el Tablazo
1 L	1	Una vez al mes	Demanda biológica de oxígeno	Fundación Universitaria de Popayán
1 L	52	Una vez a la semana durante un año	Color, Turbiedad, Conductividad, temperatura, pH, Alcalinidad, Nitritos, Nitratos, Dureza total, temperatura y oxígeno disuelto	Universidad Autónoma del Cauca

*Fuente: Elaboración propia*

### **3.1.2 Actividad 2: Caracterización fisicoquímica y microbiológica**

Al inicio de la primera fase se realizó la comparación de las características de la muestra de agua, bajo los estándares de calidad establecidas en la resolución 2115 del 2007, normas que se basan en un rango de niveles científicamente tolerables para los seres vivos, principalmente los seres humanos [37].

**Tabla 6. Parámetros fisicoquímicos y microbiológicos monitoreados en el presente estudio**

Análisis	Parámetros	Valor máximo aceptable	Método
Físicos	Color aparente	15 UPC	Fotométrico
	Turbiedad	2 NTU	Nefelométrico
	Conductividad	-	Potenciómetro
	pH	5 – 9	Potenciómetro
	Temperatura	-	Termómetro
Químicos	Alcalinidad total	200 CaCO <sub>3</sub>	Volumétrico titulación con NaOH
	Oxígeno Disuelto	-	Electrométrico
	Demanda química de oxígeno	-	Espectrofotométrico
	Demanda biológica de oxígeno	2 mg/L	Respirométrico
	Sulfatos	250 SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	Nefelométrico
	Cloruros	250 Cl <sup>-</sup>	Fotométrico
	Dureza total	300 CaCO <sub>3</sub>	Fotómetro
	Nitritos	0,1 NO <sub>2</sub> <sup>-1</sup>	Fotómetro
	Nitratos	10 NO <sub>3</sub> <sup>-1</sup>	Fotómetro
	Sólidos suspendidos	-	Cono Imhoff
Microbiológicos	Coliformes Fecales ( <i>E. coli</i> )	0 UFC/100 cm <sup>3</sup>	Filtración membrana
	Coliformes Totales	0 UFC/100 cm <sup>3</sup>	Filtración membrana

**Fuente:** *Elaboración propia*

### 3.1.3 Actividad 3: Prueba de jarras

Una vez evaluada la calidad microbiológica y fisicoquímica del agua, se agrega a cada uno de los vasos de la prueba de jarras una concentración de coagulante determinada [38], para este trabajo de investigación fueron: Sulfato de aluminio tipo A líquido - sólido, Policloruro de aluminio e hidroxiclورو de aluminio, que pueda variar 0.2 mg/L entre vaso y vaso. Posterior a esto se agitan las muestras a una velocidad de 200 rpm durante 2 minutos generalmente, para simular la mezcla rápida. Pasado este tiempo, se procede a simular la mezcla lenta, donde se disminuye la velocidad a un rango de 100 rpm por un lapso de 5 minutos, luego 40 rpm durante 10 minutos y por ultimo 0 rpm durante 10 minutos, dejando de esta manera un tiempo de sedimentación. Es importante tener en cuenta que estas

condiciones pueden presentar variaciones antes y después del ensayo de acuerdo al tipo de agua y coagulante con que se esté llevando a cabo el proceso.

### **Determinación de la dosis óptima del coagulante**

Al finalizar el periodo de retención de la prueba de jarras, se mide la turbidez final presente en cada uno de los 4 vasos, se tendrá en cuenta las características de los flóculos formados y se escoge como dosis óptima aquella con la cual se removió la mayor cantidad de sólidos suspendidos, la misma que generalmente presenta flóculos más compactos y con mayor tamaño y velocidad de sedimentación. Cabe adicionar que previo a la realización del ensayo debe medirse la turbidez inicial con la que cuentan las muestras con el fin de conocer la concentración inicial de sólidos suspendidos y poder establecer una relación al finalizar el proceso.

Dentro del tratamiento de aguas se evalúan ciertos de parámetros fisicoquímicos (turbiedad, color, alcalinidad, pH y temperatura) los cuales pueden establecer las condiciones iniciales del agua que se va a tratar, así como las operaciones unitarias que se deberán realizar para obtener el nivel de calidad de agua deseado. Es importante resaltar que estos parámetros son determinantes para el proceso de coagulación y floculación, ya que estos intervienen en el nivel de efectividad del coagulante, afectando su garantía frente a la remoción de sólidos suspendidos y a su vez la calidad del efluente [39].

Un indicador fundamental en la calidad del agua es la turbiedad ya que tiene una relación con su máximo valor ante la dosificación de coagulante y desinfección, estableciendo el grado de tratamiento requerido para la fuente en cuanto a la filtración, sedimentación, coagulación, y así se determinará qué tan potable es el agua [40] [41].

### **3.2 Fase 2: Determinación de la dosis óptima del desinfectante**

Con base en los resultados obtenidos en las anteriores actividades se realizó un análisis estadístico descriptivo, que permita determinar la veracidad de los datos y efectuar la comparación entre los coagulantes y desinfectantes a estudiar.

Para la desinfección del agua, fue necesario realizar 41 pruebas preparando una solución de hipoclorito de calcio granular al 70 %, siendo disuelto previamente en 10 L de agua coagulada y filtrada utilizando un equipo de filtración al vacío y un papel filtrante de 45 micras, utilizando beakers de 150 mL cada uno para las muestras de agua, adicionando el hipoclorito de calcio una concentración desde 0,1 hasta 4,1 mg/L con un intervalo de tiempo de 5 minutos en la medición del cloro residual y transportada finalmente al laboratorio el tablero para su respectivo estudio.



Cabe considerar que durante los últimos años se ha verificado que la dosis de cloro ha sido considerada ventajosa para la disolución rápida y es ampliamente utilizada por su eficiencia en procesos de desinfección del agua.

### **3.3 Fase 3: Evaluación de la eficiencia técnica y económica del producto coagulante y desinfectante**

Esta evaluación técnica y económica pretende analizar los coagulantes y desinfectantes planteados ante los insumos requeridos para las etapas de coagulación y desinfección en el tratamiento de aguas.

Para cumplir con este objetivo se prosiguió a realizar un estudio de los costos de cada uno de ellos y de este modo garantizar la sostenibilidad presupuestal de la nueva planta de tratamiento Aso cruces, por ello que se hizo pertinente realizar una revisión bibliográfica de cada uno de los coagulantes y desinfectantes utilizados en el transcurso del trabajo.

## **CAPÍTULO IV: PRESENTACIÓN Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS**

A continuación, se presentan los resultados obtenidos después de realizar distintos muestreos en épocas de baja y alta pluviosidad en un lapso de tiempo de seis meses, permitiendo evaluar las diferentes alternativas de tratamiento químico y seleccionar la mejor opción para el proceso de potabilización.

### **4.1 Caracterización fisicoquímica y microbiológica del agua**

Para la determinación de la dosis óptima se tuvo en cuenta teniendo lo establecido en el RAS 2017 para caracterización de agua cruda y que en su artículo 103 indica que para definir el nivel de riesgo sanitario de una muestra de agua se debe basar en lo establecido por el decreto 1575 de 2007 y la resolución conjunta 2115 del 2007.

La tabla 7 representa los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos encontrados en la bocatoma del Rio Presidente; con color rojo se señalan los datos que no cumplen con los valores establecidos para agua potable, en este caso nitritos, Coliformes totales y *E. coli* (Anexo 1, 2, 3).

**Tabla 7. Análisis fisicoquímico y microbiológico del agua cruda para el año 2019 – 2020**

Alcalinidad (mg/L de CaCO <sub>3</sub> )	Temperatura (°C)	Conductividad (µS/cm)	Sólidos sedimentados (mg/L)	Sulfatos (mg/L)	DQO (mg/L)	DBO5 (mg/L)	Oxígeno disuelto (mg/L)	Nitritos (mg/L)	Nitratos (mg/L)	Cloruros (mg/L)	Dureza total (mg/L)	E. Coli NMP/100mL	Coliformes Totales NMP/100mL
200	-	1000	-	250	-	2	-	0,1	10	250	300	0	0
36,6	23,2	81,8	3,3	<3,0	8,5	0	6,43	<0,02	<2,0	<4	49,84	855	9804
48,8	23,4	72,4		<3,0	96		7,38	0,14	<0,5	<4	30,2	717	24196

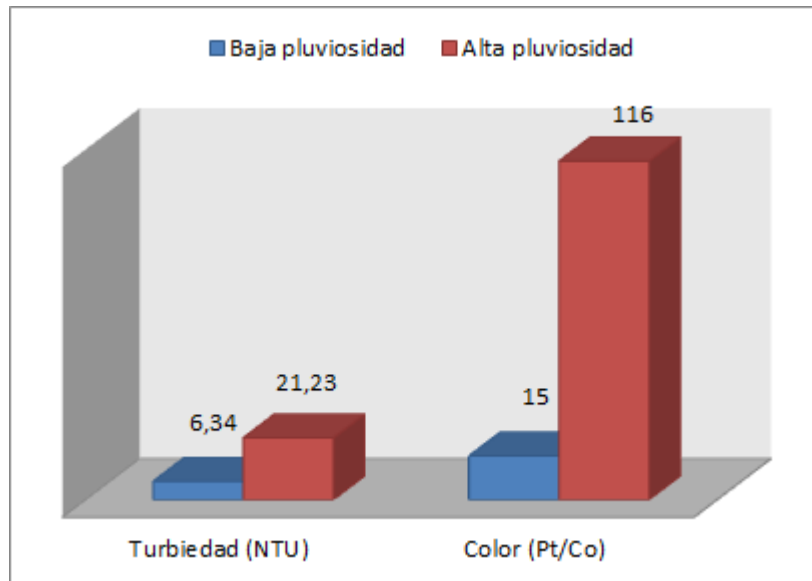
**Fuente:** Elaboración propia

## 4.2 Análisis de parámetros fisicoquímicos

### 4.2.1 Turbiedad y Color

Los resultados de la figura 5 evidencian la importancia y urgencia que tiene la comunidad de establecer un mecanismo que les permita disminuir estos valores mediante procesos de bajo costo (coagulación y floculación) para la nueva planta de tratamiento Asocruces.

Para tiempos de alta pluviosidad la turbiedad y el color no se encuentran dentro de lo permisible en la Resolución 2115 del 2007, arrojando valores de 21,23 NTU y 116 Pt/Co.



**Figura 5. Turbidez y color**

*Fuente: Elaboración Propia*

La turbiedad y el color han sido características ampliamente aplicadas como criterio de calidad de agua, tanto en las fuentes de abastecimiento como en los procesos de potabilización y distribución, de modo que sea una medición rápida, económica y de fácil interpretación para los operadores de las plantas de tratamiento.

Por ejemplo la turbidez en el efluente del Acueducto Asocruces ha sido un indicativo de la existencia de ciertos contaminantes, ya que por acciones antrópicas el agua se deteriora por la presencia de material suspendido, coloidal y por microorganismos microscópicos [42] que descienden por las altas corrientes del Río Presidente en tiempo de invierno, del mismo modo el color puede sugerir que la

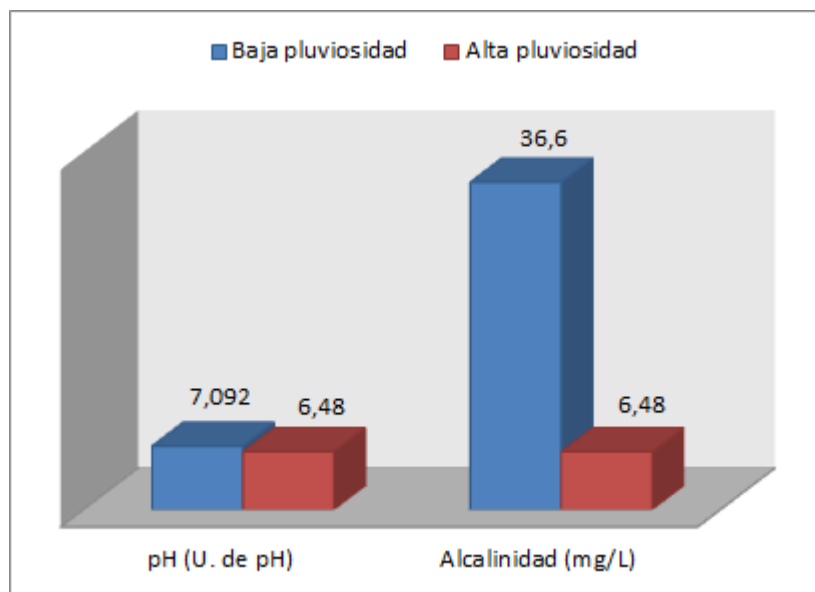
depuración del efluente no está siendo la correcta por el contenido de vegetales en descomposición o sales solubles de Fe.

Debido a estas épocas del año la interrupción del sistema de distribución ha disminuido en un 65 %, posiblemente a causa del alto grado de contaminación que ingresa a la zona de almacenamiento, por ende, el Acueducto pese a las circunstancias optó por instalar dos tanques de almacenamiento, mientras que un tanque se encuentra en un proceso de sedimentación en un tiempo prolongado el otro abre sus compuertas y distribuye agua con mejores condiciones a la comunidad.

Así mismo es fundamental garantizar que el agua potable no tenga problemas con las características y no generar rechazos ante el consumidor al detectar colores, olores o sabores que no se asocien al “agua pura” [43].

#### 4.2.2 pH y Alcalinidad

El valor para el potencial de hidrógeno, para agua potable deberán estar comprendido entre 6.5 y 9.0, puesto que son valores ideales para consumo humano. Básicamente este parámetro expresa la intensidad de las condiciones ácidas o alcalinas que presenta una corriente de agua [44].



**Figura 6. pH y Alcalinidad**

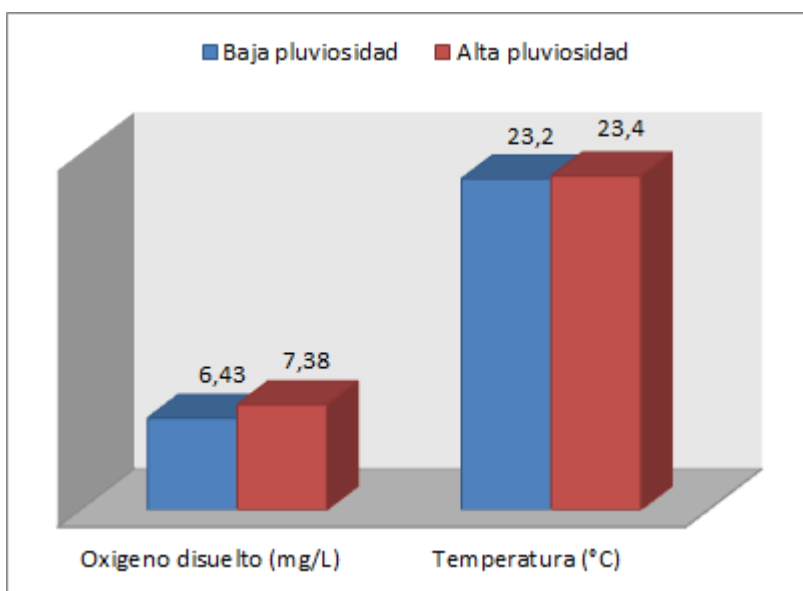
*Fuente: Elaboración Propia*

Teniendo en cuenta la figura 6 no se observan variaciones significativas en valores de pH y alcalinidad, precisamente debido a que el arrastre de material aloctono

(carbonatos, bicarbonatos, hidróxidos, y en general especies iónicas) son bajas en tiempo de alta pluviosidad [45], evidenciando el desarrollo de un sistema buffer, lo que a su vez permite desplegar un buen proceso de tratabilidad al agua del Acueducto Asocruces.

### 4.2.3 Oxígeno disuelto y Temperatura

En la figura 7 se observa que los valores de oxígeno disuelto se encuentra un poco por debajo del rango permitido, pero que sin embargo al resultar valores bajos de oxígeno se sugiere realizar un proceso de re oxigenación, con el fin de mejorar el contenido de esta concentración en agua del río Presidente, del mismo modo se debe tener en cuenta que estos dos parámetros son indispensables para el funcionamiento dinámico del efluente, puesto que posiblemente influyen en el retardo o aceleración de la actividad biológica y la absorción de oxígeno en el agua [46].



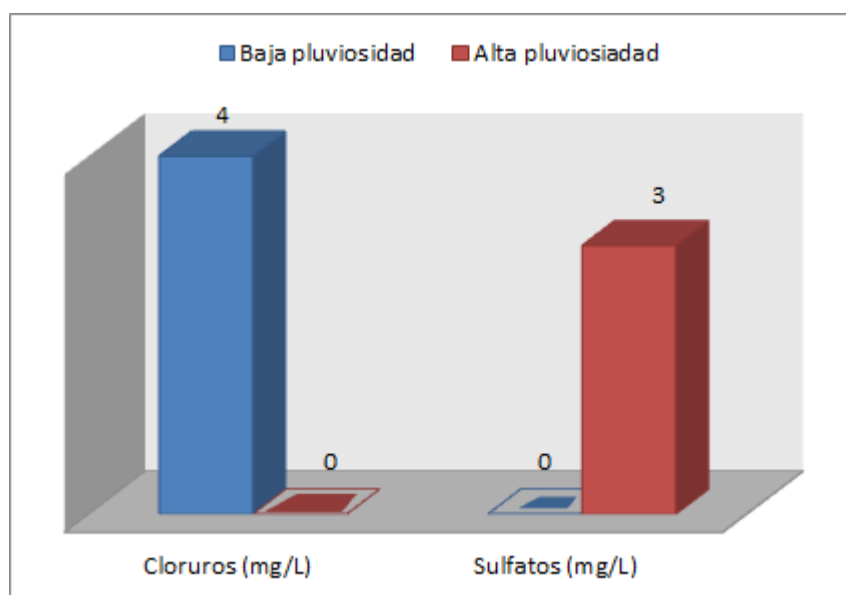
**Figura 7. Oxígeno disuelto y Temperatura**

*Fuente: Elaboración Propia*

Es importante conocer que la temperatura y la concentración de oxígeno actúan inversamente proporcional, es decir que aguas frías contienen mayor cantidad de oxígeno disuelto, mientras que aguas tibias o calientes, causan problemas en el desarrollo de la vida acuática de la zona, y por otra parte el decaimiento del oxígeno disuelto en la los sitios de abastecimiento de agua potable puede dar paso de la disminución microbiana del nitrito a nitrato y sulfato a sulfuro, provocando la corrosión de las tuberías de metal [47].

#### 4.2.4 Cloruros y Sulfatos

Los resultados obtenidos para estos dos parámetros son significativamente bajos, infiriendo que la presencia de cloruros y sulfatos en las aguas del Río Presidente se atribuye a contaminación proveniente de agua excedentaria de riegos agrícolas, contaminantes domésticos (orina humana y animal) o actividades industriales, ligadas en este caso a la producción de materia prima por parte de la Empresa Cartón Colombia [48]; Asimismo es importante mantener el monitoreo de estos parámetros, puesto que contenidos superiores a 250 mg/l pueden producir trastornos gastrointestinales en los niños, debido a que los sulfatos de sodio y magnesio pueden tener acción laxante, por lo que no es deseable un exceso de los mismos en las aguas de bebida [54].



**Figura 8. Cloruros y sulfatos**

*Fuente: Elaboración Propia*

La baja presencia de estos dos parámetros (figura 8) no originara daños a las conducciones o estructuras metálicas que atravesarán las instalaciones del acueducto y no ocasionarán efectos adversos a la salud de la comunidad del Distrito 3 del Municipio de Timbío.

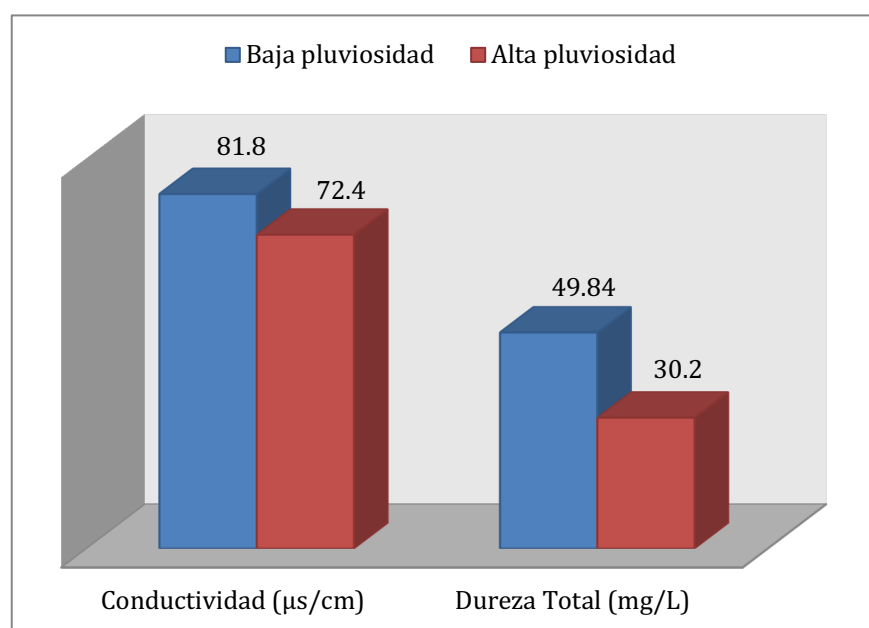
#### 4.2.5 Conductividad y Dureza total

En la figura 9 se observa que la conductividad del agua presenta variaciones no muy significativas tanto en época de baja pluviosidad (81,8 $\mu$ s/cm) como en alta pluviosidad (72,4 $\mu$ s/cm), reflejando desde el punto de vista de productividad que es

un sistema oligomesotrófico, con una carga de iones baja y con el arrastre de ciertos tipos de materiales en el agua propios de su entorno natural [52].

Los valores obtenidos de dureza se encuentran entre 30 a 50 mg/L, lo que indica que son aguas blandas, siendo beneficiosas para el buen funcionamiento de la planta de tratamiento, ya que gracias al bajo contenido de minerales no se acumularán en las tuberías, no bajará la presión del flujo de agua y no creará obstrucciones en ellas.

La dureza en el agua contiene altas y bajas concentraciones de compuestos minerales como sales de magnesio y de calcio, sin embargo, el agua se denomina comúnmente como “dura” cuando tiene una elevada concentración de dichas sales y el agua “blanda” las contiene en muy poca cantidad, de modo que no provoquen efectos negativos en los ecosistemas acuáticos de la población [49].



**Figura 9. Conductividad y Dureza Total**

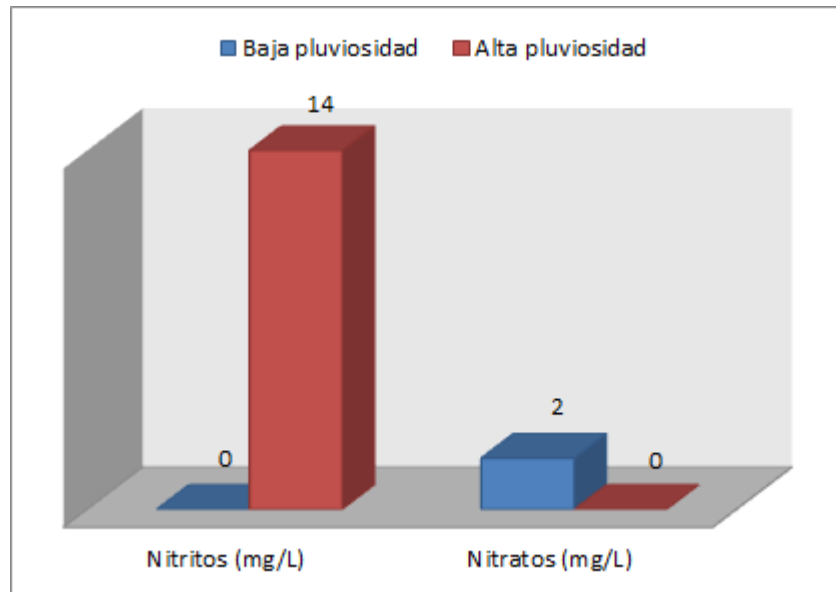
*Fuente: Elaboración Propia*

#### 4.2.6 Nitritos y Nitratos

Los valores de nitritos y nitratos representados en la figura 10 cumplen con los rangos expuestos en la norma, pero que de un modo u otro se debe tener cuidado en tiempo de alta pluviosidad, puesto que los nitritos se encuentran en el límite del valor máximo permitido, influenciado posiblemente por la precipitación que se genera sobre esta época de año [50].



Los nitratos han sido sustancias altamente solubles transportadas fácilmente cuando fuentes contaminadas de la zona de captación entran en contacto con el agua (pozos sépticos, basureros, fertilizantes, estiércol y material vegetal en descomposición) [51].



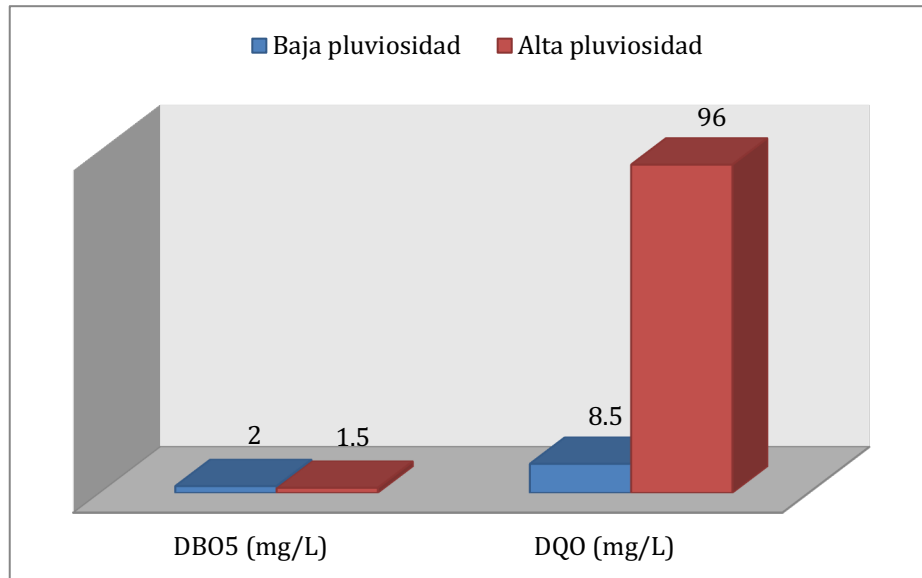
**Figura 10. Nitritos y Nitratos**

*Fuente: Elaboración Propia*

#### **4.2.7 Demanda biológica de oxígeno y Demanda química de oxígeno**

Los datos obtenidos en la figura 11 la DBO<sub>5</sub>, refleja que no hay nivel de contaminación tipo orgánico sobre el río Presidente, de modo que el contenido de oxígeno en el agua es mayor que la cantidad que necesitan las formas inferiores que viven a sus expensas, por esta razón el agua no entrará en putrefacción y asimismo la existencia de vida no se hará más complicada [52].

Respecto a la Demanda Química de Oxígeno establece la cantidad de oxígeno requerido para oxidar la materia orgánica en una muestra de agua, bajo ciertas circunstancias de agente oxidante, temperatura y tiempo [53]. Sin embargo, se observa que la muestra de invierno posee un rango medio de DQO, debido al ingreso de aguas residuales domésticas que llegan a la zona de captación, pero que posiblemente no causarán problemas en los procesos de potabilización.



**Figura 11. DBO5 y DQO**

*Fuente: Elaboración Propia*

#### 4.2.8 Sólidos Sedimentados

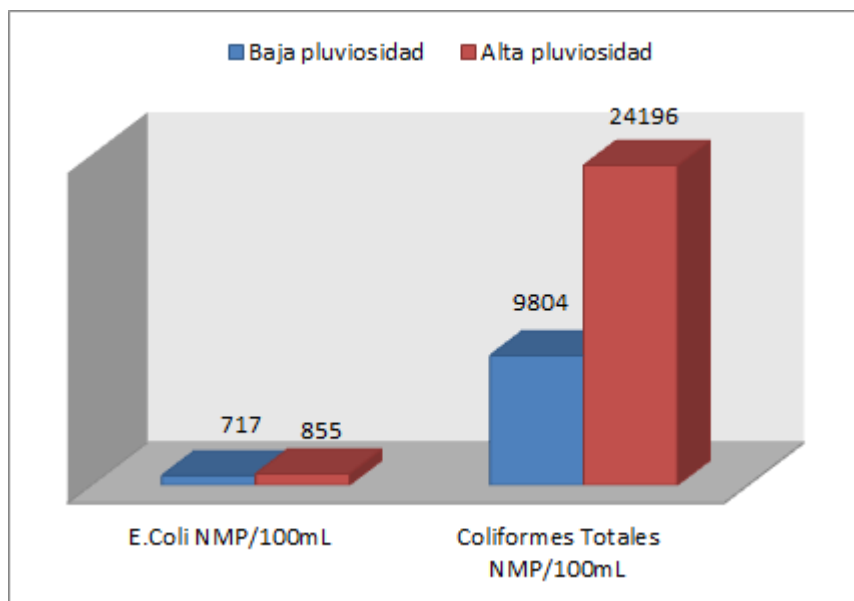
Los resultados de sólidos sedimentados no son muy variables en aguas del Río Presidente, debido a que este parámetro se encuentra en función de la naturaleza, la pluviosidad y la topografía en la zona de captación del Acueducto Aso Cruces.

Las aguas del Acueducto Asocruces no ocasionarán problemas al contener bajos rangos de material en suspensión (3,3 mg/L), pero que al momento de presentarse el aumento de estos sólidos los tanques destinados para el proceso de potabilización podrían colmatarse y causar más trabajo para los operadores de planta [55].

#### 4.2.9 *E. coli* y Coliformes totales

Las características microbiológicas encontradas en aguas del Río Presidente sobrepasan por gran cantidad el nivel establecido por la Resolución 2115 de 2007 de 0 NMP para Coliformes totales y *E. coli*, por lo tanto permite demostrar que el ingreso de agua a la bocatoma del Acueducto no es apta para consumo humano, dada que las consecuencias para la Población pueden ser graves posiblemente,

debido a que los microorganismos contenidos en el agua pueden causar enfermedades y originar molestias a los usuarios por la no adecuada presentación del agua; incluso algunas sustancias producidos por ellos son tóxicos en los seres humanos [56].



**Figura 12. E. Coli y Coliformes totales**

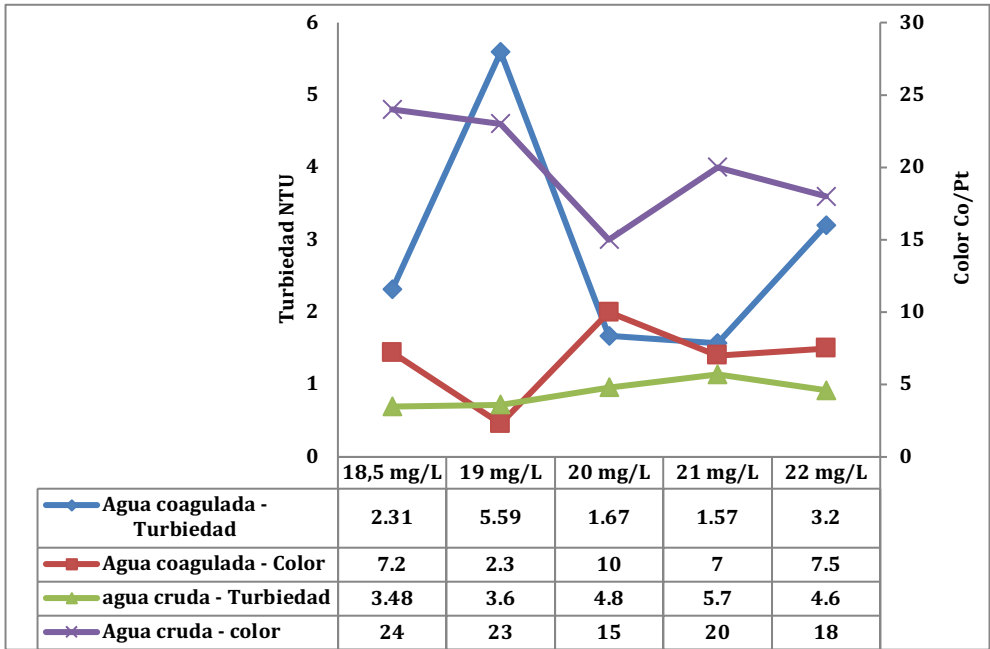
*Fuente: Elaboración Propia*

### 4.3 DETERMINACIÓN DE LOS PARÁMETROS DE TRATABILIDAD

Para el cumplimiento consecutivo de esta actividad se estudió el comportamiento de los cuatro coagulantes (sulfato de aluminio tipo A líquido y sólido, policloruro e hidroxiclorigenato de aluminio) con el fin de comprobar los resultados de algunos parámetros físico - químicos importantes en la calidad de agua, como color, turbiedad, pH, alcalinidad, conductividad, potencial, Redox y temperatura, siendo estos parámetros básicos dentro del proceso de prueba de jarras para coagulación / floculación, seguidamente se analizó cuál de las dosis escogidas es ideal tanto por su economía y rendimiento.

#### 4.3.1 Sulfato de Aluminio Tipo A líquido

En la figura 13 y 14 se observa la curva de variación de color y turbiedad aplicando diferentes concentraciones en época de baja y alta pluviosidad.

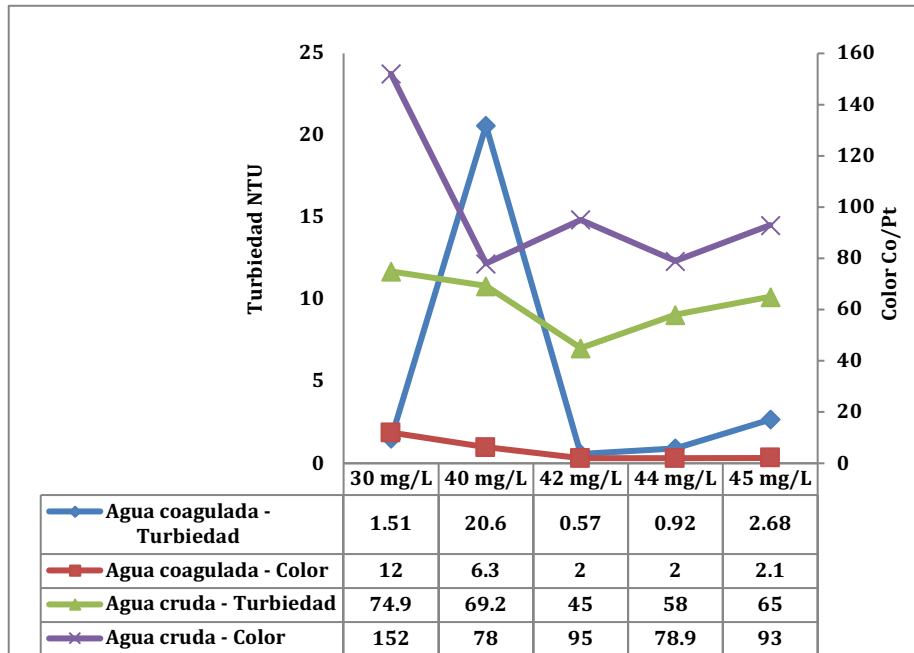


**Figura 13. Comportamiento variación de color y turbiedad en épocas de baja pluviosidad respecto a la concentración de coagulante**

*Fuente: Elaboración Propia*

Según el artículo 2 de la Resolución 2115 del 2007. Los criterios físicos de la calidad de agua potable no podrán sobrepasar los valores máximos aceptables, para turbidez > 2 NTU y color 15 Pt Co.

En la figura 13 se nota claramente que con una concentración entre 20 y 21 mg/L de sulfato de aluminio líquido, este logra cumplir con los valores admitidos de turbiedad y color (Ver anexo 3), no obstante, al entrar en funcionamiento la planta de tratamiento se tiene en cuenta el ahorro y economía de los productos, por esta razón se elegirá la concentración más baja, en este caso 20 mg/L.



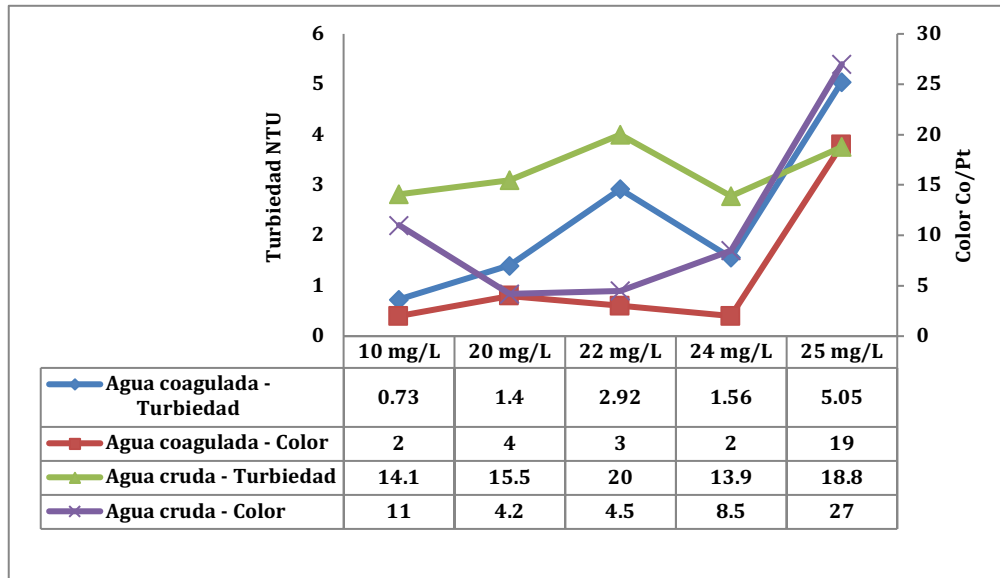
**Figura 14. Comportamiento variación de color y turbiedad en épocas de alta pluviosidad respecto a la concentración de coagulante**

*Fuente: Elaboración Propia*

En la figura 14 se demuestra que la dosis ideal con la que se obtuvo valores óptimos de color y turbiedad en alta pluviosidad es de 42 mg/L de sulfato de aluminio líquido, presentado valores de 0,57 NTU y 2 Pt/Co; de igual forma se tiene en cuenta el análisis de la gráfica anterior, en la cual existen dos concentraciones que cumplen con los parámetros de tratabilidad (Ver anexo 4), pero en donde al final se elige el ahorro y la economía del producto.

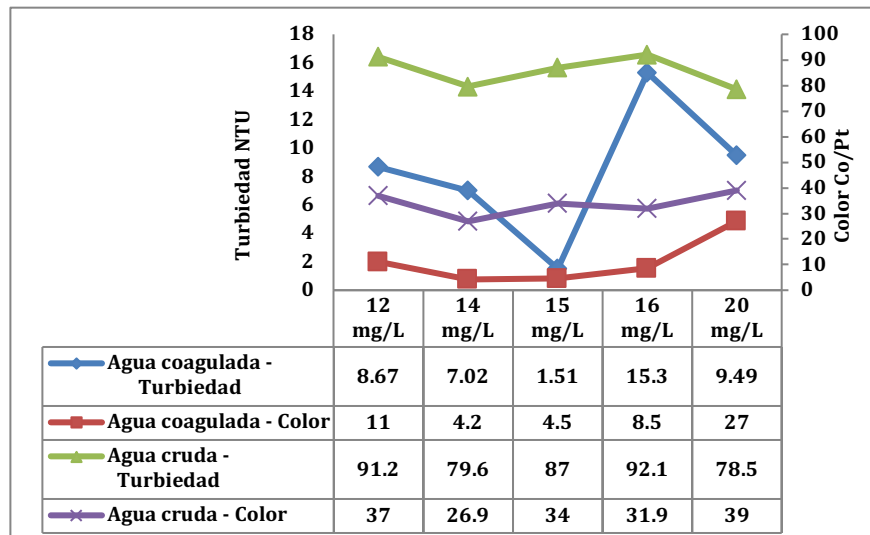
#### **4.3.2 Sulfato de aluminio tipo A granulado**

A continuación, en las figuras 15 y 16 se observa la curva de variación de color y turbiedad aplicando diferentes concentraciones en época de baja y alta pluviosidad.



**Figura 15. Comportamiento variación de color y turbiedad en épocas de baja pluviosidad respecto a la concentración de coagulante**  
*Fuente: Elaboración Propia*

En la figura 15 se evidencia que en época de baja pluviosidad existen dos concentraciones que cumplen con los parámetros de tratabilidad (Ver anexo 5), no obstante, se elige la concentración más baja (10 mg/L) por motivos del ahorro del producto utilizado.

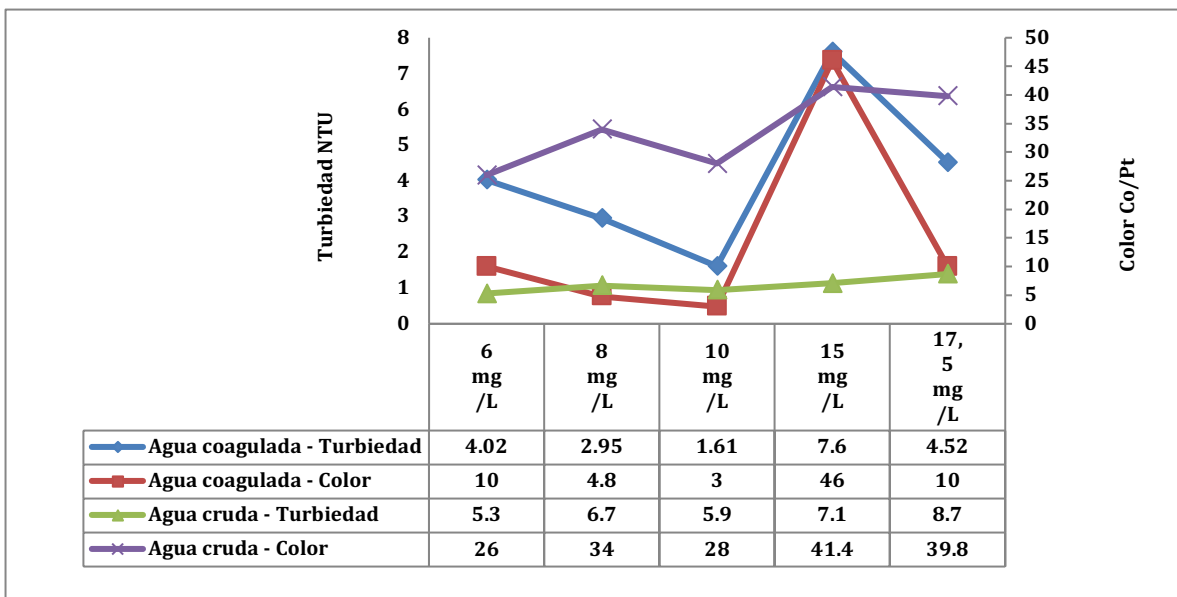


**Figura 16. Comportamiento variación de color y turbiedad en épocas de alta pluviosidad respecto a la concentración de coagulante**  
*Fuente: Elaboración Propia*

En la figura 16 se observa la concentración ideal para alta pluviosidad de 15 mg/L, logrando así obtener óptimas condiciones de turbiedad y color con sulfato de aluminio granulado (Ver anexo 6).

### 4.3.3 Policloruro de aluminio

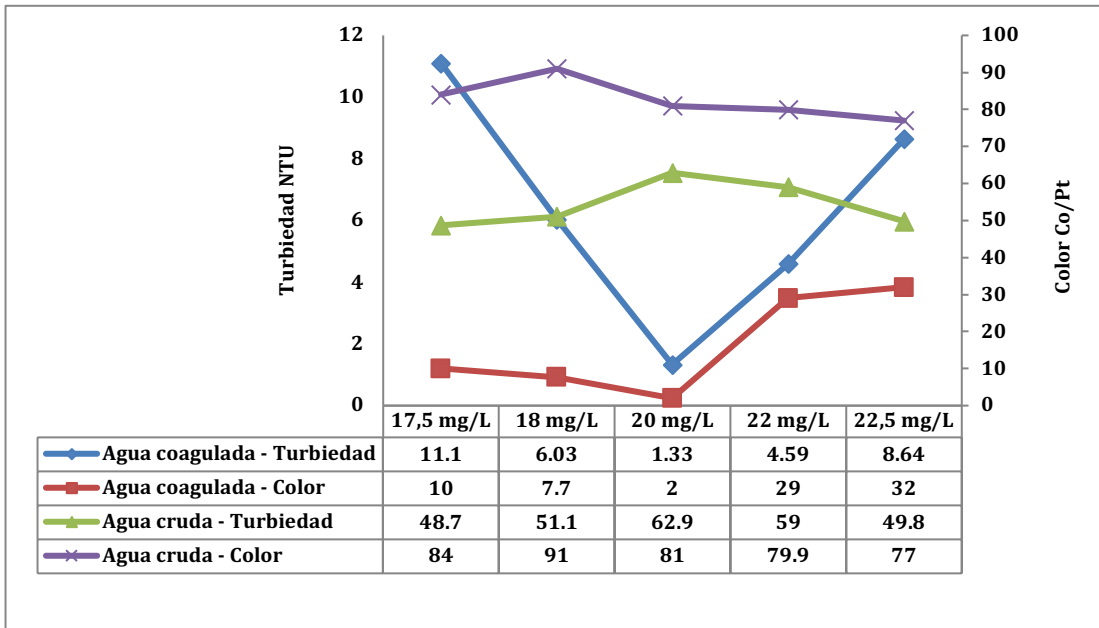
En la gráfica 17 y 18 se observa la curva de variación de color y turbiedad aplicando diferentes concentraciones en época de baja y alta pluviosidad.



**Figura 17. Comportamiento variación de color y turbiedad en épocas de baja pluviosidad respecto a la concentración de coagulante**

*Fuente: Elaboración Propia*

Teniendo en cuenta la figura 17 de sulfato de aluminio granulado se determinó que, al igual, que el policloruro de aluminio poseen valores muy similares de color y turbiedad en las dosis óptimas encontradas, para este caso la dosis que cumple con los rangos permitidos es la de 10 mg/L (Ver anexo 7).



**Figura 18. Comportamiento variación de color y turbiedad en épocas de alta pluviosidad respecto a la concentración de coagulante**

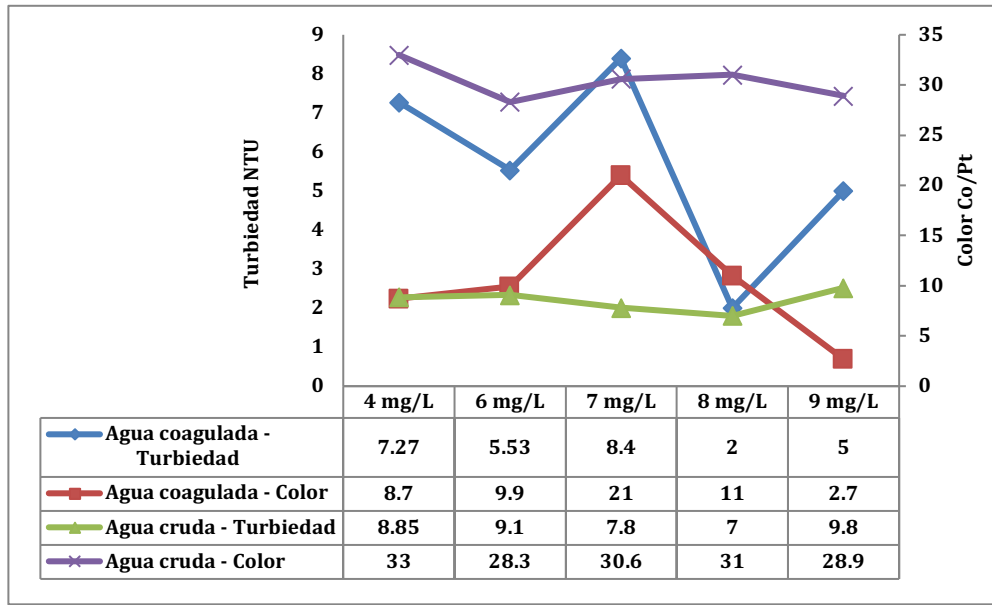
*Fuente: Elaboración Propia*

En la figura 18 los datos obtenidos en la prueba de jarras reflejan que el policloruro de aluminio actúa beneficiosamente en tiempo de alta pluviosidad arrojando valores de turbiedad 1,33 NTU y 2 Pt/Co aplicando una concentración de 20 mg/L (Ver anexo 8).

#### 4.3.4 Hidroxicloruro de aluminio

La grafica 19 y 20 se representa la curva de variación de color y turbiedad aplicando diferentes concentraciones en época de baja y alta pluviosidad.

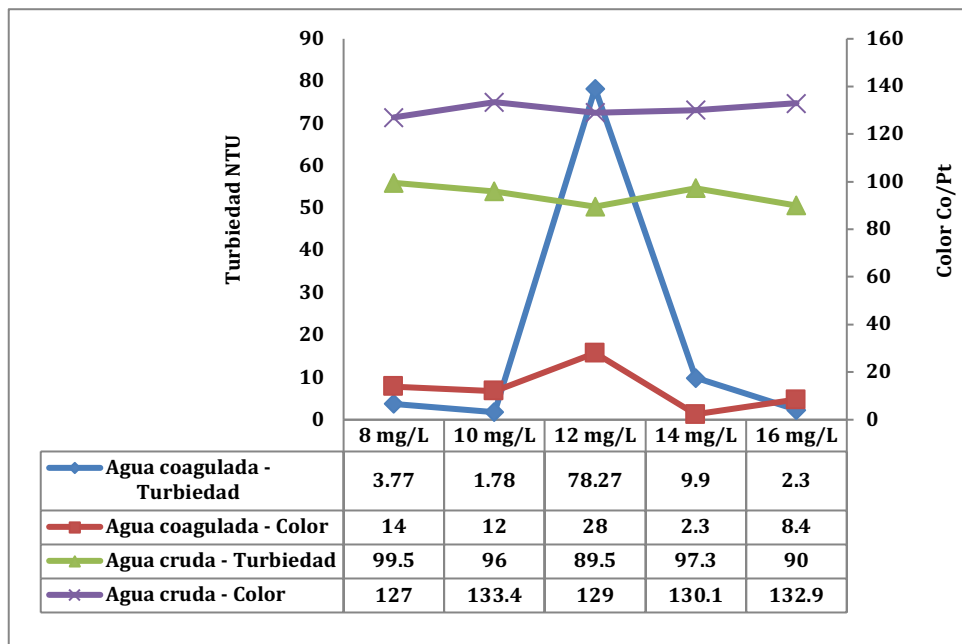




**Figura 19. Comportamiento variación de color y turbiedad en épocas de baja pluviosidad respecto a la concentración de coagulante**

*Fuente: Elaboración Propia*

Los resultados obtenidos en la figura 19 permiten observar que la concentración de 7 mg/L es la única que cumple con los valores permitidos en la resolución 2115 de 2007, turbidez 2 NTU y color 11 Pt/Co (Ver anexo 9).



**Figura 20. Comportamiento variación de color y turbiedad en épocas de alta pluviosidad respecto a la concentración de coagulante**

*Fuente: Elaboración Propia*

Teniendo en cuenta los datos obtenidos en la figura 20 el proceso de coagulación con hidroxicloriguro de aluminio se observa que la concentración que evidencia una dosis eficiente para turbiedad y color es la concentración de 10 mg/L, de modo que cumple con los rangos permitidos para tratabilidad del agua (Ver anexo 10).

Al observar el comportamiento de los resultados obtenidos en laboratorio por medio de prueba de jarras, fue evidente encontrar que no todos los valores de color y turbiedad estaban dentro de los límites máximos permisibles, indicando que en particular las concentraciones de los cuatro coagulantes aplicados al agua cruda del Acueducto Asocruces no fueron capaces de producir una rápida desestabilización de las partículas coloidales y crear un floc, esto debido a que solo existe una concentración que logre cumplir con lo requerido en este proceso de coagulación.

**Tabla 8. Eficiencia de color y turbiedad en los cuatro tipos de coagulantes para baja y alta pluviosidad respecto a la concentración de coagulante.**

Coagulante	Baja pluviosidad			Alta pluviosidad		
	Dosis óptima (mg/L)	Turbiedad (NTU)	Color (Pt/Co)	Dosis óptima (mg/L)	Turbiedad (NTU)	Color (Pt/Co)
Hidroxicloriguro de aluminio	8	2	11	10	1,78	2
Sulfato de aluminio tipo A líquido	20	1,67	10	42	0,57	2
Policloruro de aluminio	10	1,61	3	20	1,33	4,59
Sulfato de aluminio tipo A granular	10	0,73	2	15	1,51	4,5

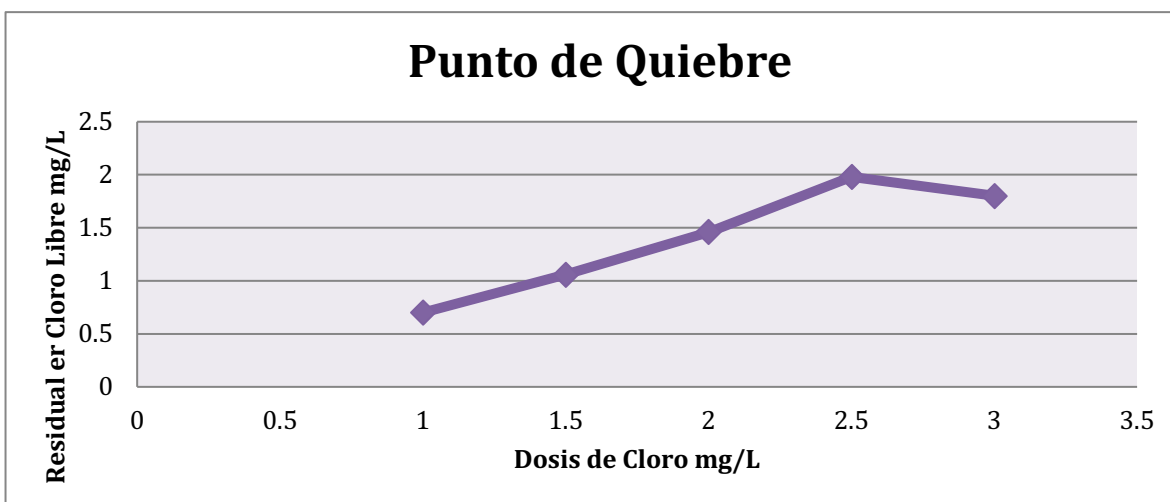
*Fuente. Elaboración propia*

De acuerdo a los datos presentados en la tabla 7, la eficiencia de turbiedad y color en cada uno de los coagulantes se encontraban dentro de los rangos permitidos para agua potable (Resolución 2115 del 2007). La intención de este proceso fue poder establecer que coagulante tendría mejores resultados de tratabilidad en el agua que abastece el Acueducto Asocruces, por consiguiente, el sulfato de aluminio

granular y el policloruro de aluminio obtuvieron valores similares de eficiencia, seguido del sulfato de aluminio líquido e hidroxiclóruo.

#### 4.4 DETERMINACIÓN DEL CLORO RESIDUAL Y DEMANDA

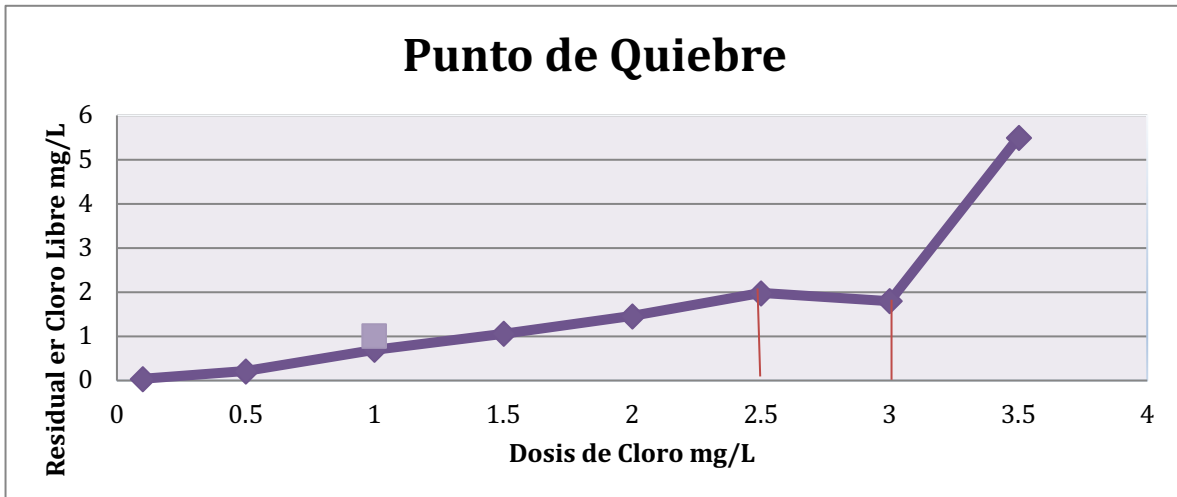
Siguiendo el paso a paso de la metodología propuesta se realizaron las pruebas para la medición de cloro residual con un inicio de 0,1 mg/L hasta 4,1 mg/L con intervalos de 0,1 mg/L y con un tiempo de 5 minutos, se midió el cloro residual por cada concentración agregada. Para realizar las gráficas de punto de quiebre donde se logró apreciar este valor, se hicieron dos gráficas donde sus datos variaron en los rangos de 0,1 hasta llegar a 3,0 mg/L con un intervalo de cinco en cinco mg/L y para la otra figura es de 1,0 hasta llegar a 3,5 mg/L con un intervalo igual a la anterior gráfica y sus resultados fueron los siguientes:



**Figura 21. Punto de quiebre**

*Fuente: Elaboración Propia*

<b>COLORO RESIDUAL TOTAL (mg/L)</b>	1	1,5	2	2,5	3
<b>COLORO RESIDUAL LIBRE (mg/L)</b>	0,7	1,06	1,46	1,98	1,8



**Figura 22. Punto de quiebre**

*Fuente: Elaboración Propia*

<b>CLORO RESIDUAL TOTAL (mg/L)</b>	0,1	0,5	1	1,5	2	2,5	3	3,5
<b>CLORO RESIDUAL LIBRE (mg/L)</b>	0,04	0,21	0,7	1,06	1,46	1,98	1,8	5,5

#### 4.5 DESINFECCIÓN

La desinfección tiene como objetivo eliminar y desactivar microbios patógenos, los desinfectantes actúan como oxidantes y pueden remover el color, sabor, oxidar el Fe y Mn, puede llegar a remover elementos biológicos, en cuanto al mejoramiento en el proceso de coagulación y filtración es eficiente. [58].

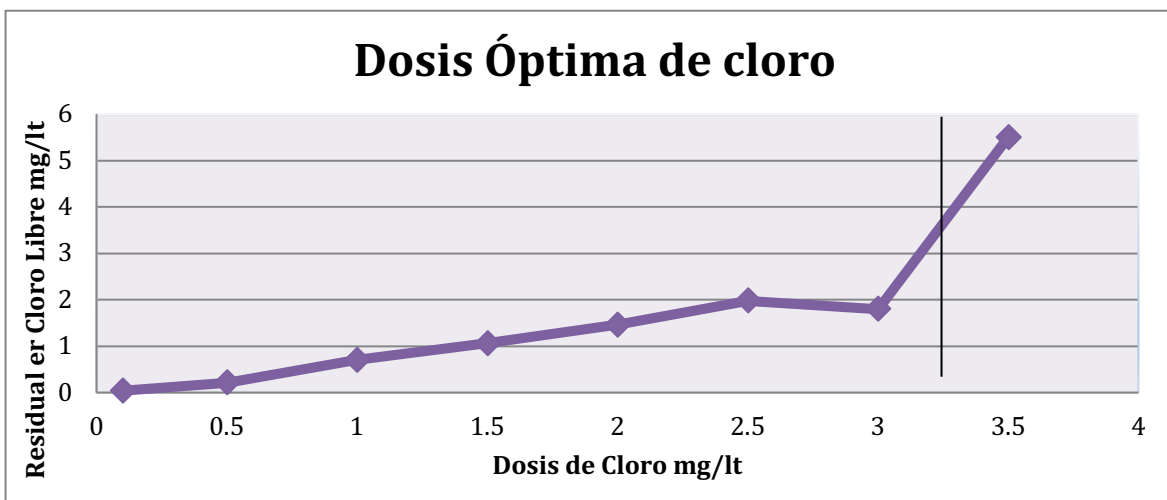
La organización mundial de salud determina: “El uso de productos químicos desinfectantes en el tratamiento del agua genera habitualmente subproductos. No obstante, los riesgos para la salud que ocasionan estos subproductos no limita la eficacia de la desinfección y el intento de controlar los subproductos que esta genera no debe poner en peligro este proceso” [10].

La normatividad ambiental colombiana expuesta en la resolución 2115 de 2007 la cual indica que el valor admisible del cloro residual libre en cualquier punto de la red de repartición de agua potable, deberá estar comprendido entre el rango de 0.3 y 2.0 mg/L.

De acuerdo a la gráfica de punto de quiebre se pudieron apreciar dos valores los cuales hacen referencia a los dos puntos de quiebre y son:

2,5 y 3,5 mg/L permitiendo encontrar una dosis óptima de cloro total agregado al agua coagulada y filtrada como resultado el valor es de 3,2 mg/L, cumpliendo con el rango permitido de cloro residual anteriormente mencionado en la resolución, (en

el anexo número 15 se puede apreciar todas las pruebas de cloro total y residual para este proceso) teniendo en cuenta que después de este valor los valores arrojan presencia de cloro residual libre, como se puede observar en la figura 23:



**Figura 23. Punto de quiebre**

*Fuente: Elaboración Propia*

#### **4.6 EVALUACIÓN DE LA EFICIENCIA TÉCNICA Y ECONÓMICA DEL PRODUCTO COAGULANTE Y DESINFECTANTE**

A continuación, se realiza una descripción de los diferentes coagulantes utilizados en el proceso de tratabilidad en el proyecto, presentando sus características químicas, físicas, ventajas, desventajas y costo para el proceso de potabilización de agua en el Distrito 3 del Municipio de Timbío.

##### **4.6.1 Sulfato de aluminio**

El sulfato de aluminio  $Al_2(SO_4)_3$  en solución, es un producto químico muy utilizado para procesos de potabilización de agua e industria. Principalmente se utiliza con el propósito de remover sólidos suspendidos mediante las técnicas de floculación. En el mercado se manejan dos tipos de sulfatos los cuales son el A y B, se diferencian en porcentaje de hierro y aluminio, color y material soluble [59].

##### **□ Ventajas y desventajas**

Es un coagulante más usado en el mercado, de bajo costo, el manejo es sencillo, con el pasar del tiempo no se altera su composición, por venir en solución es más

efectivo que el granular y no se perdería producto en el momento del proceso de potabilización [27].

Al no realizar una dosificación adecuada de este, se podría exceder su límite permisible establecido por la norma de calidad de agua potable. Su eficiencia depende mucho del agua cruda ya que en algunas ocasiones este producto necesita de un ayudante y esto genera más costos [27].

#### **4.6.2 Sulfato de aluminio granulado**

El Sulfato de Aluminio  $Al_2(SO_4)_3$  granular es una sal sólida de color blanco, es un coagulante y floculante a la vez, este agrupa los sólidos suspendidos en el agua, sedimenta, disminuye la carga bacteriana, color y sabor [60]- [61].

##### **□ Ventajas y desventajas**

Alta disponibilidad– Bajo costo lo que sería bueno para el acueducto de Las Cruces, ya que por pertenecer en un área rural y no cuenta con muchos recursos económicos– Maleabilidad en uso en diferentes tipos de agua.

Se debe hacer con anterioridad una homogeneización mediante agitación para evitar la sedimentación de sus gránulos, lo cual implica gastos de energía y tiempo. Cabe resaltar que ningún tipo de agitación hace que este quede completamente disuelto y que una parte del producto queda en el fondo de las canaletas, tanques, tuberías y esto hace genera obstaculización y gran cantidad de lodos con material de alúmina lo cual implica una desventaja para la nueva planta de tratamiento [60].

#### **4.6.3 Policloruro de aluminio**

Este coagulante  $Al_2(OH)_3Cl_3$  ha tenido un uso en la actualidad por su composición química ya que es capaz de remover material coloidal en suspensión y coloreada, para plantas potabilizadoras de agua, afluentes y tratamientos de aguas residuales, como reemplazo de los coagulantes convencionales [62].

##### **□ Ventajas y desventajas**

El PAC es muy versátil para manejar aguas con diferentes turbiedades, alcalinidad, contenido de materia orgánica y en comparación con el sulfato de aluminio presenta un mayor resultado en el proceso de coagulación. Su desempeño y capacidad es alta ya que cuenta con una carga catiónica, se recomienda trabajar este producto para aguas que son con alta carga contaminante y su mayor desventaja es su alto costo [62].

#### 4.6.4 Hidroxicloruro de aluminio

Este coagulante  $\text{Al}_2(\text{OH})_5\text{Cl}_2 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$  es una sal inorgánica de aluminio multinuclear es líquido transparente de color amarillo claro, levemente ácido, soluble en agua, de mayor rapidez y formación de flóculos con mayor celeridad de sedimentación, su poder clarificante puede llegar a trabajar altas concentraciones de turbiedad, el pH para su buen desempeño debe estar entre 5.0 y 9.0 [1].

##### □ **Ventajas y desventajas**

La mayor ventaja de este coagulante es su fácil dosificación y manejo ya que no deja residuos insolubles a diferencia de los coagulantes convencionales, ya que estos deben ser disueltos por lo que su presentación es granular y en la mayoría de los casos dejan residuos en los equipos de dosificación, su precio es alto [1].

#### 4.6.5 Tipos de cloro

Las formas para desinfectar el agua para consumo humano son varias y es importante tener en cuenta que con cualquiera de ellas vamos a tener ventajas e inconvenientes. El cloro en cualquiera de sus estados, es uno de los elementos más comunes para la desinfección de agua y puede funcionar en la desactivación de algunos microorganismos, produce subproductos que quedan en el agua tratada, comparativamente es económico, práctico y es efectivo al momento de su aplicación [63].

##### □ **Ventajas**

- Es su fuerza como desinfectante y oxidante, además su constancia como bactericida de amplio espectro ya que posee una acción desinfectante para muchos tipos de bacterias y microorganismos en general.
- Es el único desinfectante que tiene propiedades residuales que permanecen a lo largo del período, evitando una aparición de crecimiento microbiano y contaminación del agua tanto en la planta de tratamiento como hasta su punto final que es el consumidor.
- Eficaz frente a microorganismos patógenos que provocan enfermedades.
- Elimina bacterias, hongos y algas y también puede desactivar muchos virus.
- Tiene una buena acción a sabores y olores contaminantes del agua.
- Deshecha el amonio y otros compuestos nitrogenados que pueden interferir en la desinfección [63].

##### □ **Desventajas**

- Se puede señalar que por motivos de infraestructura y de instalaciones su costo puede ser elevado, sobre todo si se va a trabajar con el cloro gaseoso

ya que para su almacenamiento debe ser en cilindros y debe estar conectado a una bomba dosificadora, contar con un clorador y tener en cuenta que este proceso genera un consumo de energía en la planta.

- Al comparar el porcentaje concentración del hipoclorito de sodio y el granulado sabemos que es mejor escoger el granulado ya que su concentración está en 70% mientras que el otro está solo en el 14%.

#### Formas comerciales del cloro

- Cloro gaseoso.
- El hipoclorito de sodio o lejía
- El hipoclorito de calcio
- Electro cloración

La decisión para elegir un producto de estos dependerá de varios factores

- Cantidad necesaria de reactivo.
- Disponibilidad de abastecimiento.
- Habilidad de operación en cuanto a seguridad ya que la manipulación, el almacenamiento conlleva riesgos.
- Costo [63].

**Tabla 9.** Características de las formas diferentes del cloro

	Forma en que se presenta el producto	Contenido de cloro	Estabilidad en el tiempo	Seguridad
Cloro gaseoso	Gas licuado a presión	99 %	Muy buena, tener mucho cuidado con las fugas	Gas muy tóxico
Hipoclorito de sodio	Solución líquida amarilla	Máximo 15 %	Pérdida mensual del 2 al 4 %. Pérdida aún mayor si la temperatura supera los 30 °C.	Líquido corrosivo, contiene sosa.
Hipoclorito de calcio	Sólido Blanco	Del 60 al 70 %	Pérdida anual del 2 al 2,5 %	Corrosivo. Posible inflamación en caso de contacto con ciertos materiales.



Electrocloración Chlorung	Solución NaCl	De 1 a 3 g/L tras electrodiálisis	Muy grande como NaCl	
---------------------------	---------------	-----------------------------------	----------------------	--

**Fuente:** [64]

#### 4.7 ANÁLISIS DE COSTOS

En el análisis de consumo tanto para los coagulantes y desinfectantes, se llevó a cabo la evaluación técnica y económica del producto, siendo necesario determinar valores aproximados del consumo mensual y anual de los químicos requeridos en estos dos procesos, del mismo modo se recolectaron precios suministrados por tiendas distribuidoras de estos tipos de mercancía: Comerquiaguas del Municipio de Caldon, Quimpac en el kilómetro 13 vía Palmira, Productos químicos panamericanos en la vía Popayán – Cali kilómetro 28, adquiriendo datos confiables para realizar un buen manejo económico en la planta de tratamiento Las cruces (tabla 10, 11, 12).

**Tabla 10.** Cotización Quimicotienda Comerquiaguas S.A

Producto	Precio pesos/kg
Sulfato de aluminio Tipo A granulado	2190
Hipoclorito de calcio al 70% liquido	10399

**Fuente:** *Elaboración propia*

**Tabla 11.** Cotización Quimicotienda Productos químicos panamericanos (PQP)

Producto	Precio pesos/kg
Policloruro de aluminio	1574
Hidroxiclورو de aluminio	2011
Sulfato de aluminio Tipo A Líquido	1196
Sulfato de aluminio Tipo A granulado	1374

Hipoclorito de Calcio al 70 % granulado	9877
IBC – Cuadratainer	374000

*Fuente: Elaboración propia*

**Tabla 12.** Cotización Quimicotienda Quimpac

Producto	Precio pesos/kg
Policloruro de aluminio	3451
Hidroxiclورو de aluminio	3332
Sulfato de aluminio Tipo A Líquido	3213
Hipoclorito de Calcio Líquido	7854
Cloro gaseoso	10115

*Fuente: Elaboración propia*

Para el transporte por carretera de estos productos químicos se realizó una cotización por parte del dueño del vehículo con el fin de obtener precios según la distancia de las Químico tiendas (Quimpac, PQP y Comerquiaguas) hasta la planta de tratamiento del Acueducto Las Cruces, cumpliendo con lo estipulado por el **Decreto 1609 del 31 de julio de 2002**, “manejo y transporte terrestre automotor de mercancías peligrosas por carretera”, ya que diariamente circula por nuestras vías un torrente de materiales potencialmente peligrosos que, si no son manejados en forma adecuada, pueden producir efectos graves sobre el medio ambiente, las finanzas, la comunidad y el buen nombre de las empresas involucradas [65].

**Tabla 13.** Costos de transporte Químico tienda – Acueducto Asocruces.

TRANSPORTE	CAPACIDAD VEHÍCULO	PRECIO
QUIMPAC (Palmira)		850.000
		650.000

COMERQUIAGUAS (Caldono)	800 kg	
PQP		700.000

**Fuente:** Elaboración propia

Con las siguientes ecuaciones se calculó el consumo en kg para los cuatro tipos de coagulantes y desinfectantes aplicados en los procesos de potabilización al momento de elegir los precios se escoge el de menor valor teniendo en cuenta el ahorro y la economía de cada uno de los productos que se van a requerir para un mes de tratamiento de agua.

La concentración ideal y el precio que cada coagulante y desinfectante requiere para poner en marcha la planta potabilizadora del Acueducto Asocruces.

### Ecuación 1. Consumo en masa de reactivo al mes

$$\text{consumo} \left[ \frac{\text{kg}}{\text{mes}} \right] = \text{Dosificación} \left[ \frac{\text{mg}}{\text{L}} \right] \times \text{Caudal} \left[ \frac{\text{l}}{\text{sg}} \right] \times \left[ \frac{1 \text{ gr}}{1000 \text{ mg}} \right] \times \left[ \frac{1 \text{ kg}}{1000 \text{ gr}} \right] \times \left[ \frac{60 \text{ sg}}{1 \text{ min}} \right] \\ \times \left[ \frac{60 \text{ min}}{1 \text{ hora}} \right] \times \left[ \frac{24 \text{ horas}}{1 \text{ día}} \right] \times \left[ \frac{30 \text{ días}}{1 \text{ mes}} \right]$$

**Fuente:** Elaboración propia

El precio en kg de cada coagulante se calculó de la siguiente forma:

### Ecuación 2. Precio de dosificación mensual de coagulante

$$\text{Precio consumo/mes} = \left[ \frac{\text{consumo kg}}{\text{mes}} \right] \times \left[ \frac{\text{precio coagulante \$}}{\text{kg}} \right]$$

**Fuente:** Elaboración propia

En la **ecuación 2** se calculará el precio anual para cada uno de los coagulantes y desinfectantes aplicados anteriormente.

### Ecuación 3. Precio dosificación anual de coagulante y desinfectante

$$\text{Precio consumo/año} = \left[ \frac{\text{precio consumo}}{\text{mes}} \right] \times \left[ \frac{12 \text{ meses}}{1 \text{ año}} \right]$$

**Fuente:** Elaboración propia

En las siguientes tablas se relaciona la dosificación del coagulante y desinfectante, precio actual en kg y el valor del transporte hasta el Acueducto Asocruces.

**Tabla 14.** Costos de los productos coagulantes y desinfectantes

Coagulantes y desinfectantes	Época	Dosis óptima (mg/L)	Precio (pesos/kg)	Consumo (Kg/mes)	costos (pesos/mes)	costos (pesos/año)
Sulfato de aluminio líquido	Baja pluviosidad	20	1196	881	1.053,676	12.644,112
	Alta pluviosidad	42		1851	2.213,796	26.565,552
Sulfato de aluminio granulado	Baja pluviosidad	10	1800	441	605.934	7.271,208
	Alta pluviosidad	15		661	908.214	10.898,568
Policloruro de aluminio	Baja pluviosidad	10	1924	441	694.132	8.329,608
	Alta pluviosidad	20		881	1.386,694	16.640,328
Hidroxiclورو de aluminio	Baja pluviosidad	8	1320	353	709.883	8.518,596
	Alta pluviosidad	10		441	886.851	10.642,212
Hipoclorito de calcio granular al 70%	Alta y baja pluviosidad	2,24	9877	201	1.985,277	23.823,324
Hipoclorito de sodio líquido	Alta y baja pluviosidad	0,45	3.070	1007	3.091,990	37.097,990
Cloro gaseoso	Alta y baja pluviosidad	3,2	10.115	141	1.426,215	17.114,580

**Fuente:** Elaboración propia

Teniendo en cuenta la descripción general de los productos se vio necesario enfatizar el ahorro y la economía de cada uno de ellos, ya que es de vital importancia la sostenibilidad financiera del acueducto Asocruces, pero que de cierta manera al momento de su selección se eligió el que tiene mejor capacidad para desestabilizar y reducir los contaminantes disueltos en el agua, sus ventajas, su almacenamiento, sus bajos costos en la inversión inicial y el Consumo mensual del tratamiento químico (tabla 14), por ende el sulfato de aluminio tipo A granular y el hipoclorito de calcio al 70 % es el coagulante y desinfectante con que se va a dar inicio el proceso de potabilización de agua para el distrito 3 del Municipio de Timbio.

La siguiente tabla demuestra el costo inicial y mensual que requiere cada coagulante y desinfectante (Líquido, granular o gaseoso) para dar inicio al proceso de potabilización de agua, por consiguiente al momento de la selección se tuvo en cuenta los productos que obtuvieron menores gastos al inicio y al transcurso de este proceso.

**Tabla 15.** Inversión inicial en equipos y consumo mensual del tratamiento químico (Coagulante - Desinfectante) en el Acueducto Asocruces.

<b>Coagulante / Desinfectante</b>	<b>Inversión inicial c/u</b>	<b>Consumo mensual c/u</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>● Sulfato de aluminio liquido tipo A</li> <li>● Policloruro de aluminio</li> <li>● Hidroxiclورو de aluminio</li> <li>● Hipoclorito de sodio al 14%</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Bomba dosificadora= \$3.000.000 pesos</li> <li>- 2 cuadra trainer \$374.000 pesos c/u= \$748.000 pesos</li> </ul>	Dependiendo la época <ul style="list-style-type: none"> <li>- Tratamiento químico</li> </ul> (Coagulante – desinfectante) <ul style="list-style-type: none"> <li>- Mes de energía= \$10.000 pesos</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>● Sulfato de aluminio granulado tipo A</li> <li>● Hipoclorito de calcio al 70%</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 1 Bomba dosificadora= \$3.000.000 pesos</li> <li>- Tanque de preparación= \$150.000 pesos</li> </ul>	Dependiendo la época <ul style="list-style-type: none"> <li>- Tratamiento químico</li> </ul> (Coagulante – desinfectante) <ul style="list-style-type: none"> <li>- Mes de energía= \$10.000 pesos</li> </ul>

<ul style="list-style-type: none"> <li>● Cloro gaseoso</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 1 clorador = \$5.000.000 pesos</li> <li>- 1 Bomba dosificadora= \$2.000.000 pesos</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Desinfectante= 1.426,215</li> <li>- Mes de energía= \$100.000 pesos</li> </ul>
---	---	---

En la **tabla 15** se observa que los costos de los dos productos seleccionados para el proceso de potabilización como lo es el sulfato de aluminio granulado tipo A son mayores para los meses de marzo, abril, mayo, octubre, noviembre y diciembre donde la frecuencia de días con lluvia aumenta, a su vez la turbiedad y sólidos disueltos en el agua, mientras que para Hipoclorito de calcio su consumo será equivalente en ambas épocas del año.

**Tabla 16.** Representación costos teóricos del sulfato de aluminio granular e hipoclorito de calcio por año.

<b>Fecha</b>	<b>Época</b>	<b>Costo Coagulante</b>	<b>Costo desinfectante</b>
Enero, febrero, septiembre, junio, julio y agosto	Baja pluviosidad	605934	1985277
Marzo, abril, mayo, octubre, noviembre y diciembre	Alta pluviosidad	908214	
		1.514,146	1.985,277

En la siguiente tabla se puede observar las diferencias entre los cuatro coagulantes, se le da cada uno las características y se aprecian las ventajas y desventajas de cada uno.

**Tabla 17.** Información general de los productos coagulantes

<b>Coagulantes:</b>	<b>Policloruro</b>	<b>Hidróxido de aluminio</b>	<b>Sulfato de aluminio</b>	<b>Sulfato de aluminio</b>
<b>Características:</b>	<b>Líquido</b>	<b>Líquido</b>	<b>tipo a líquido</b>	<b>tipo a granulado</b>
<b>Efectos en la salud</b>	No son adversos	No son adversos	Enfermedades neurodegenerativas	Enfermedades neurodegenerativas
<b>Precio kg/mes</b>	\$ 1.924	\$ 1.320	\$ 1.196	\$ 1.800
<b>Color UPC</b>	2	2	2	4,5
<b>Turbiedad UNT</b>	1,33	1,78	0,57	1,51
<b>Eficiencia</b>	Excelente desempeño	Excelente desempeño	Buen desempeño	Buen desempeño
<b>Almacenamiento</b>	Cuadra tainer	Cuadra tainer	Cuadra tainer	Tarima maderacero
<b>Problemas por obstaculización</b>	Cumple	Cumple	No cumple	No cumple
<b>Manejo</b>	Versátil	Fácil	Fácil	Fácil
<b>aluminio residual</b>	Cumple	Cumple	No cumple	No cumple
<b>Uso comercial</b>	Si	Si	Si	Si

## **CAPÍTULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

### **5.1 CONCLUSIONES**

- La aplicación de la normatividad ambiental es un factor determinante para la toma de decisiones en cualquier proyecto, ya que con este instrumento se logró apreciar altos niveles tanto de coliformes totales como fecales, lo cual indica un estado lamentable del afluente, indicando así para la comunidad del Distrito 3 no es agua apta para consumo humano.
- Los ensayos realizados en laboratorio arrojaron un buen comportamiento con los coagulantes tanto convencionales como los de segunda generación, como mejor remoción ante color y turbiedad, fue el policloruro de Aluminio, ya que mantiene estos valores muy bajos y tiene un excelente desempeño.
- Por el tipo de agua que tiene la región, por el momento no es debido recomendar un coagulante de segunda generación, debido a que estos productos químicos son elegidos para cierto tipo de aguas con alta presencia de carga contaminante. Por lo anterior y teniendo en cuenta los resultados del Sulfato de Aluminio tipo A granulado y comparados con el policloruro de aluminio, cabe resaltar que el sulfato granulado obtiene valores muy similares al coagulante de segunda generación, por ende, este el coagulante con el que se dará inicio el funcionamiento de la nueva planta de tratamiento Asocruces.

### **5.2 RECOMENDACIONES**

- Al conocer las diferentes problemáticas que posee aguas arriba el Rio Presidente, se pide o se recomienda la socialización de este estudio a nivel de la Junta del Acueducto Asocruces, a la comunidad del Distrito 3 y a la población que vive aguas arriba de la bocatoma con el fin de que se tomen cartas en el asunto y se promueva jornadas pedagógicas programadas en temas ambientales de modo que se conviertan en los multiplicadores de los procesos ambientales orientados a la protección y manejo adecuado de este recurso natural.
- Se recomienda realizar siempre análisis de pruebas de jarras para verificar el correcto funcionamiento y dosificación del coagulante y desinfectante empleados en el proceso en la planta de tratamiento, puesto que, las características y condiciones del agua cruda son cambiantes, modificando el



cumplimiento de los parámetros determinantes del proceso de potabilización de agua.

- El estudio para la implementación de la alternativa propuesta queda abierto por si la el Acueducto Asocruces desea implementarla, siendo necesario realizar ensayos para ajustar las dosificaciones de los insumos, cuyos resultados no deben ser muy variables respecto a los encontrados en esta investigación; porque, las pruebas a nivel laboratorio dan información para las condiciones operativas óptimas en el proceso de tratamiento. Aunque, al trasladar la información a gran escala, no se logra reproducir los datos modificados por factores ambientales o condiciones hidráulicas, afectando la calidad del efluente.
- Realizar un continuo mantenimiento a los equipos y tuberías que conducen el agua tratada hasta las redes de distribución para garantizar un mayor grado de calidad en el agua.

## BIBLIOGRAFÍA

- [1] J. COGOLLO, “CLARIFICACIÓN DE AGUAS USANDO COAGULANTES POLIMERIZADOS: CASO DEL HIDROXICLORURO DE ALUMINIO,” *DYNA*, vol. 78, pp. 18–27, 2011.
- [2] COMISIÓN ECONÓMICA PARA AMÉRICA LATINA Y EL CARIBE CEPAL, *LA AGENDA 2030 Y LOS OBJETIVOS DE DESARROLLO SOSTENIBLE UNA OPORTUNIDAD PARA AMÉRICA LATINA Y EL CARIBE*. SANTIAGO: NACIONES UNIDAS, 2018.
- [3] C. Acosta, J. Benavides, and C. Sierra, “ANÁLISIS CUALITATIVO DEL DETERIORO DE LA CALIDAD DEL AGUA Y LA INFECCIÓN POR HELICOBACTER PYLORI EN UNA COMUNIDAD DE ALTO RIESGO DE CÁNCER DE ESTÓMAGO (CAUCA, COLOMBIA),” *salud Colect.*, pp. 575–590, 2014.
- [4] M. De Vivienda, “DOCUMENTO CONPES 3810 CONSEJO NACIONAL DE POLÍTICA ECONÓMICO Y SOCIAL REPÚBLICA DE COLOMBIA DEPARTAMENTO NACIONAL DE PLANEACIÓN.” CONSEJO NACIONAL DE POLÍTICA ECONÓMICA SOCIAL, Bogotá, pp. 1–46, 2014.
- [5] S. Smits, S. P. Tamayo, V. Ibarra, and J. Rojas, “GOBERNANZA Y SOSTENIBILIDAD DE LOS SISTEMAS DE AGUA POTABLE Y SANEAMIENTO RURALES EN COLOMBIA.” Banco Interamericano de Desarrollo (BID), Valle de Cauca y Caldas, pp. 1–155, 2012.
- [6] Hernández C., “Evaluación de la calidad del agua para consumo humano y propuesta de alternativas tendientes a su mejora, en la Comunidad de 4 Millas de Matina, Limón,” p. [130; 44], 2016.
- [7] J. Echeverría-Molina and S. Anaya-Morales, “El Derecho Humano Al Agua Potable En Colombia: Decisiones Del Estado Y De Los Particulares,” 2018.
- [8] A. C. L. NÚÑEZ y B. F. J. SABOGAL, “DIAGNÓSTICO DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE SAN ANTONIO- ASOCIACIÓN SUCUNETA,” *IOSR J. Econ. Financ.*, vol. 3, no. 1, p. 56, 2016.
- [9] E. Española, “PLAN DE ACCIÓN PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE LA AGENDA 2030. HACIA UNA ESTRATEGIA ESPAÑOLA DE DESARROLLO SOSTENIBLE.” Dirección General de Políticas de Desarrollo Sostenible Secretaría de Estado de Cooperación Internacional y para Iberoamérica y el Caribe Ministerio de Asuntos Exteriores, Unión Europea y Cooperación, Madrid, pp. 1–164, 2017.
- [10] P. Ap and L. A. T. Edici, “GUÍAS PARA LA CALIDAD DEL AGUA POTABLE.” Organización mundial de la salud (OMS), Ginebra, pp. 1–408, 2006.
- [11] “EL AGUA POTABLE Y EL SANEAMIENTO BÁSICO EN LOS PLANES DE DESARROLLO,” Valle de Cauca y Caldas, pp. 31–56.

- [12] H. Ramírez Arcila and J. Jhoan, Peralta, "Agentes Naturales Como Alternativa Para El Tratamiento Del Agua Agents As Natural Alternative for Water Treatment," *Rev. la Fac. Ciencias Básicas*, vol. 11, no. 2, pp. 136–153, 2015.
- [13] R. Solis Silvan, J. R. Laines Canepa, and J. R. Hernández Barajas, "MEZCLAS CON POTENCIAL COAGULANTE PARA CLARIFICAR AGUAS SUPERFICIALES," *Rev. Int. Contam. Ambient.*, vol. 28, no. 3, pp. 229–236, 2012.
- [14] I. Mendoza, N. Fernández, G. Ettiene, and A. Diaz, "USO DE LA MORINGA OLEIFERA COMO COAGULANTE EN LA POTABILIZACIÓN DE LAS AGUAS," *Sci. journal from Exp.*, vol. 8, no. August, pp. 235–242, 2000.
- [15] U. M. Manuela Beltrán Colombia Rodriguez, "Evaluación del proceso de la Coagulación de una planta potabilizadora," *Umbral Científico*, pp. 8–16, 2007.
- [16] J. C. Luján, "Un hidrogel de hidróxido de aluminio para eliminar el arsénico del agua," *Rev. Panamá. Salud Pública/Pan Am. J. Public Health.*, vol. 9, no. 5, pp. 302–305, 2001.
- [17] L. E. Gualdrón, "EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DE AGUA DE RÍOS DE COLOMBIA USANDO PARÁMETROS FÍSICO QUÍMICOS Y BIOLÓGICOS," *Dinámica Ambient.*, no. 1, pp. 83–102, 2016.
- [18] F. PERDOMO, M. CAPELLA, C. MORENO, and L. VARGAS, "CALIDAD DE AGUA PROGRAMA DE CAPACITACIÓN Y CERTIFICACIÓN DEL SECTOR." SERVICIO NACIONAL DE APRENDIZAJE -SENA, CALI, pp. 1–250, 1999.
- [19] F. Zapata, S. Acuña, V. Muñoz, V. Jimenez, and A. Mendoza, "CALIDAD DEL AGUA Y CARACTERÍSTICAS HABITACIONALES DE UN BARRIO DE BOGOTÁ," *Nova*, pp. 31–36, 2017.
- [20] J. Orellana, "CARACTERÍSTICAS DEL AGUA POTABLE," *ingeniería Sanitaria UTN-FRRO*, vol. unidad tem. Santa Fe, pp. 1–7, 2005.
- [21] S. de M. ambiente y R. N. Ambiente, "MANUAL DE AGUA POTABLE ALCANTARILLADO Y SANEAMIENTO OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO DE PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES MUNICIPALES: PROCESOS ANAEROBIOS." Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales Boulevard, TLALPAN, pp. 1–138, 2016.
- [22] J. Manuel and S. Calderón, "REGLAMENTO TÉCNICO DEL SECTOR DE AGUA POTABLE Y SANEAMIENTO BÁSICO TÍTULO C SISTEMAS DE POTABILIZACIÓN." Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial - República de Colombia, Bogotá, pp. 1–336, 2017.
- [23] M. A. Córdoba, V. Fernanda, D. Coco, and J. A. Basualdo, "AGUA Y SALUD HUMANA," *Rev. Quim. VIVA*, vol. 3, pp. 105–119, 2010.
- [24] L. Acevedo, "EVALUACIÓN DE PROCESOS DE DESINFECCIÓN (CLORO Y UV) EN SISTEMAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS SERVIDAS

DESCENTRALIZADAS (HUMEDALES CONSTRUIDOS),” universidad de concepción, 2015.

- [25] C. Barajas, and A. León, “DETERMINACIÓN DE LA DOSIS ÓPTIMA DE SULFATO DE ALUMINIO ( $Al_2(SO_4)_3 \cdot 18 H_2O$ ) EN EL PROCESO DE COAGULACIÓN – FLOCULACIÓN PARA EL TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE POR MEDIO DEL USO DE UNA RED NEURONAL ARTIFICIAL,” Universidad Santo Tomás, 2015.
- [26] M. Allca, N. Tapia, C. Villanueva, E. Guzmán, P. Muñoz, N. Borja, and H. Maldonado, “ESTUDIO DE LA COAGULACIÓN DE PARTÍCULAS COLOIDALES DEL Agl POR INFLUENCIA DEL QUITOSANO CON SULFATO DE ALUMINIO,” *Rev. Soc Quím Perú*, pp. 132–142, 2020.
- [27] N. Chulluncuy, “TRATAMIENTO DE AGUA PARA CONSUMO HUMANO,” *Ing. industrial*, vol. 29, pp. 153–170, 2011.
- [28] X. Bermúdez, M. Ramírez, and A. Moya, “ESTUDIO DEL PROCESO DE COAGULACIÓN- FLOCULACIÓN DE AGUAS RESIDUALES DE LA EMPRESA TEXTIL ‘DESEMBARCO DEL GRANMA’ A ESCALA DE LABORATORIO,” *Tecnol. Quím.*, vol. 29, pp. 64–73, 2009.
- [29] H. Restrepo, “EVALUACIÓN DEL PROCESO DE COAGULACIÓN – FLOCULACIÓN DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE,” Universidad Nacional de Colombia, 2009.
- [30] P. Vicente and M. W. Fred, “LA DESINFECCIÓN DEL AGUA A NIVEL CASERO EN ZONAS URBANAS MARGINALES Y RURALES.” Organización Panamericana de la Salud, (OPS), Washington,D.C., pp. 1–33, 1993.
- [31] C. Ritchter, *MANUAL DE DESINFECCIÓN DTIAPA C-5 EVALUACIÓN DE TRATAMIENTO DE PLANTAS DE AGUA*, TOMO I. Lima: CEPIS 1984.
- [32] C. RODRÍGUEZ, “USO Y CONTROL DEL PROCESO DE COAGULACIÓN EN PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE”, Universidad de Sucre,2008.
- [33] P. Catro and M. Pérez, “Estudio de calidad del agua suministrada a los habitantes de la vereda Palace alto por el acueducto veredal ambiental Palace municipio de Totoró -Cauca,” *tesis Univ. Univ. Auton. Popayán*, 2014.
- [34] D. Garzón, and A. López, “EVALUACIÓN DE LA SOSTENIBILIDAD DE LOS ECOSISTEMAS DE PRODUCCIÓN AGROPECUARIA DE TIMBÍO (CAUCA),” *tesis Univ. Del CAUCA. Timbío*, 2015.
- [35] A. Enríquez “CONSTRUCCIÓN PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE CONVENCIONAL PARA EL ACUEDUCTO LAS CRUCES DEL MUNICIPIO DE TIMBÍO,” Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial Tomo II Documento Técnico, pp. 1–39, 2017.

- [36] J. G. López, E. Martínez, G. Rey, and G. Tovar, "MANUAL DE INSTRUCCIONES PARA LA TOMA, PRESERVACIÓN Y TRANSPORTE DE MUESTRAS DE AGUA DE CONSUMO HUMANO PARA ANÁLISIS DE LABORATORIO." Instituto Nacional de Salud, Bogotá D.C., pp. 1–95, 2011.
- [37] M. D. E. Ambiente and V. Y. D. Territorial, "RESOLUCIÓN 2115 DE 2007." Ministro de Protección Social, Ministro de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, Bogotá D.C., pp. 1–23, 2007.
- [38] M. Domínguez, "OPTIMIZACIÓN DE LA COAGULACIÓN –FLOCULACIÓN EN LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA DE POTABLE DE LA SEDE RECREACIONAL CAMPOALEGRE -CAJASAN", Universidad Pontificia Bolivariana, 2010.
- [39] D. Castrillón, and M. Giraldo, "DETERMINACIÓN DE LAS DOSIS ÓPTIMAS DEL COAGULANTE SULFATO DE ALUMINIO GRANULADO TIPO B EN FUNCIÓN DE LA TURBIEDAD Y EL COLOR PARA LA POTABILIZACIÓN DEL AGUA EN LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE VILLA SANTANA," Universidad Tecnológica de Pereira, 2012.
- [40] C. Montoya, D. Loiza, P. Torres, C. Cruz, and J. Escobar, "EFECTO DEL INCREMENTO EN LA TURBIEDAD DEL AGUA CRUDA SOBRE LA EFICIENCIA DE PROCESOS CONVENCIONALES DE POTABILIZACIÓN," *Rev. EIA*, vol. 16, pp. 137–148, 2011.
- [41] M. Carpio, G. Coy, and M. Duque, "TURBIEDAD POR NEFELOMETRÍA (MÉTODO B)." Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial - República de Colombia, Bogotá D.C., pp. 1–9, 2007.
- [42] M. R. Martínez-Orjuela, J. Y. Mendoza-coronado, and B. E. Medrano-solís, "EVALUACIÓN DE LA TURBIEDAD COMO PARÁMETRO INDICADOR DEL TRATAMIENTO EN UNA PLANTA POTABILIZADORA MUNICIPAL," vol. 19, no. 1, pp. 15–24, 2020.
- [43] Olga Londoño, "CARACTERIZACIÓN DE PARÁMETROS MICROBIOLÓGICOS Y FISCOQUÍMICOS DEL SISTEMA PARA PRODUCIR AGUA DESIONIZADA TIPO II, EN UNA INDUSTRIA COSMÉTICA," UNIVERSIDAD MILITAR NUEVA GRANADA, 2013.
- [44] K. Bueno, P. Torres, and L. Delgado, "MONITOREO Y MEDICIÓN DEL AJUSTE DEL pH DEL AGUA TRATADA DEL RÍO CAUCA MEDIANTE ÍNDICES DE ESTABILIZACIÓN," *Rev. U.D.C.A Actual. y Divulg. Científica*, pp. 563–575, 2014.
- [45] C. Betancourt, and R. Suárez, "INFLUENCIA DE PROCESOS AUTÓCTONOS SOBRE LAS CARACTERÍSTICAS FISCOQUÍMICAS DEL EMBALSE PASO BONITO, CIENFUEGOS, CUBA," *Rev. Int.Contam. Ambient*, vol. 26, pp. 257–267, 2010.
- [46] Ecofluidos Ingenieros S.A., "ESTUDIO DE LA CALIDAD DE FUENTES UTILIZADAS PARA CONSUMO HUMANO Y PLAN DE MITIGACIÓN POR

- CONTAMINACIÓN POR USO DOMÉSTICO Y AGROQUÍMICOS EN APURÍMAC Y CUSCO.” Organización Mundial de la salud (OMS)-Organización Panamericana de la Salud (OPS), Cusco, pp. 1–105, 2012.
- [47] L. A. P. Adenda, “GUÍAS PARA LA CALIDAD DEL AGUA DE CONSUMO HUMANO.” Organización Mundial de la salud (OMS), Ginebra, pp. 1–636, 2011.
- [48] E. Pérez, “CONTROL DE CALIDAD EN AGUAS PARA CONSUMO EN LA REGIÓN OCCIDENTAL DE COSTA RICA,” *Tecnol. en Marcha*, vol. 29, pp. 3–14, 2016.
- [49] J. Rodríguez, “PARÁMETROS FISICOQUÍMICOS DE DUREZA TOTAL EN CALCIO Y MAGNESIO, pH, CONDUCTIVIDAD Y TEMPERATURA DEL AGUA POTABLE ANALIZADOS EN CONJUNTO CON LAS ASOCIACIONES ADMINISTRADORAS DEL ACUEDUCTO, (ASADAS), DE CADA DISTRITO DE GRECIA, CANTÓN DE ALAJUELA, NOVIEMBRE DE,” *Rev. Pensam. Actual*, vol. 9, no. 12, pp. 125–134, 2009.
- [50] S. Velasco, R. Salazar, and J. Ledesma, “COMPOSICIÓN Y ESTRUCTURA COMUNITARIA DE MACROINVERTEBRADOS Y PERIFITONES DEL RÍO EJIDO, POPAYÁN-CAUCA,” *Rev. Ciencias*, vol. 20, no. 2, pp. 11–25, 2016.
- [51] D. GONZÁLEZ, “PRESENCIA DE NITRITOS Y NITRATOS EN EL AGUA SUBTERRÁNEA DEL SECTOR NOROESTE DEL ÁREA METROPOLITANA DE MONTERREY Y SU RELACIÓN CON LA SALUD DE LOS CONSUMIDORES,” Universidad Autónoma de Nuevo León, 1994.
- [52] A. PÉREZ and A. ARQUES, “METODOLOGÍA PARA EL SEGUIMIENTO Y ANÁLISIS DE AGUAS RESIDUALES PROCEDENTES DE DISTINTOS ORÍGENES: CONTROL ANUAL Y TRIMESTRAL,” Universidad Politécnica Valencia, 2015
- [53] C. Rodríguez, “DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO POR REFLUJO CERRADO Y VOLUMETRÍA.” Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial - República de Colombia-Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales IDEAM, Bogotá D.C., pp. 1–11, 2007.
- [54] A. N. A. M. Hernández, “SULFATOS EN AGUA POR EL MÉTODO NEFELOMÉTRICO.” Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial - República de Colombia, pp. 1–9, 2007.
- [55] B. L. Guzmán, G. Nava, and P. Díaz, “LA CALIDAD DEL AGUA PARA CONSUMO HUMANO Y SU ASOCIACIÓN CON MORBILIDAD EN COLOMBIA, 2008-2012,” *Biomédica*, vol. 35, pp. 177–190, 2015.
- [56] O. Araque, *OPERACIÓN Y CONTROL DE SISTEMAS DE POTABILIZACIÓN DE AGUA*, Duchesne, C. Barranquilla: Acodal Seccional Caribe, Asociación de Ingeniería Ambiental y Sanitaria, 2018.
- [57] M. Ibarguen, “ESTABLECER LA DEMANDA DE CLORO EN EL ACUEDUCTO

TRIBUNAS CÓRCEGA DE LA CIUDAD DE PEREIRA.,” Universidad Tecnológica de Colombia, 2008.

- [58] M. Rodríguez, G. Rodríguez, G. Cerodes, and R. Sadic, “SUBPRODUCTOS DE LA DESINFECCIÓN DEL AGUA POTABLE:FORMACIÓN, ASPECTOS SANITARIOS Y REGLAMENTACIÓN ,” *Rev. Interciencia*, vol. 32, pp. 749–756, 2007
- [59] S. Velásquez and D. Vélez, “DISEÑO CONCEPTUAL DE UNA PLANTA PARA LA PRODUCCIÓN DE SULFATO DE ALUMINIO A PARTIR DE BAUXITA.” Universidad EAFIT, 2014.
- [60] G. Galindo, “DETERMINACIÓN DE LA DOSIS ÓPTIMA DE SULFATO DE ALUMINIO GRANULADO TIPO B EN LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE YURAJHUANCA -EMAPA PASCO.,” Universidad Nacional "Daniel Alcides Carrion", 2018
- [61] I. PÉREZ, “OPTIMIZACIÓN DE LA DOSIFICACIÓN DEL SULFATO DE ALUMINIO PARA EL TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE DEL DISTRITO DE VILCACOTO.,” Universidad Nacional del Centro del Perú, 2015
- [62] Sh. Sanchez, “TECNOLOGÍA PARA LA APLICACIÓN DEL POLICLORURO DE ALUMINIO EN PROCESOS DE AGUA.,” Universidad de Guayaquil, 2009
- [63] A. CHAUCACHICAIZA, “DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA AUTOMATIZADO PARA LA DOSIFICACIÓN DE CLORO EN EL TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE EN LA COMUNIDAD VICENTE DE LACAS.,” Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, 2012
- [64] A. MONTIEL, “LA DESINFECCIÓN DEL AGUA.” Organización Panamericana de la Salud, (OPS), Washington, D.C., pp. 1–15, 1999.
- [65] D. A. F. P. and P. Social, “DEPARTAMENTO ADMINISTRATIVO DE LA FUNCIÓN PÚBLICA DECRETO NÚMERO 1609 DE 2002,” vol. 2002, no. Julio 31. Ministro de Transporte, Bogotá D.C., pp. 1–25, 2002.

## **ANEXOS**

# Anexo 1. Análisis de agua cruda en alta pluviosidad.



ACUEDUCTO Y ALCANTARILLADO DE POPAYÁN S.A.E.S.P.  
NIT 891.500.117-1  
NUIR 1-19001000 -1 SSPD



F.CEP.073

## REPORTE DE RESULTADOS N° 0031

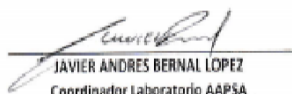
V. 1.0

EMPRESA:	Acueducto las Cruces
NIT:	817005300
DIRECCIÓN:	Vereda las Cruces
SOLICITADO POR:	Nohelia Mosquera
TELÉFONO:	N.E
CELULAR:	3188096120
E-mail:	nohelia.mosquera.v@uniatonoma.edu.co
ORDEN DE SERVICIO:	0037

FECHA DE MUESTREO:	2019-11-13
FECHA DE RECEPCIÓN:	2019-11-13
FECHA DE REPORTE:	2019-11-14
CODIGO DE MUESTRA:	AC0041
TIPO DE MUESTRA:	AGUA CRUDA
TIPO DE MUESTREO:	PUNTUAL
MUESTREO REALIZADO POR AAPS:	SI - NO X

REPORTE DE RESULTADOS							
ITEM	FECHA DE ANÁLISIS (AAAA-MM-DD)	PARÁMETRO	MÉTODO	TÉCNICA	LÍMITE DE CUANTIFICACIÓN DEL MÉTODO	AC0041	UNIDAD
						BOCATOMA HATO FRÍO	
1	2019-11-13	Cloruros	SM 4500 B	Volumétrica	4	< 4	mgCl/L
2	2019-11-13	Coliformes totales	SM 9223 B	Número mas Probable	<1	9804	NMP
3	2019-11-14	Demanda química de oxígeno	SM 5220 D	Espectofotométrico	N.E.	8,5	mg/L
4	2019-11-13	E. coli	SM 9223 B	Número mas Probable	<1	717	NMP
5	2019-11-14	Sulfatos	SM 4500 E	Nefelométrico	3	< 3,0	mgSO <sub>4</sub> /L

Observaciones: Método de Análisis aplicados según Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater  
Laboratorio Autorizado para la Realización de Análisis según Resolución N° 1615 del 15 de Mayo de 2015 Ministerio Tel: (28) 326408 FAX (2) 824 20 14 - 824 04 66 www.acueductopopayán.com.co

  
JAVIER ANDRÉS BERNAL LOPEZ  
Coordinador Laboratorio AAPSA  
PQ-4320





## Anexos 2. Análisis de agua cruda en baja pluviosidad



ACUEDUCTO Y ALCANTARILLADO DE POPAYÁN S.A E.S.P.  
 NIT 891.500.117-1  
 NUIR 1-19001000 -1 SSPD  
**REPORTE DE RESULTADOS N° 0267**



V. 2.0

EMPRESA:	Acueducto las Cruces
NIT:	817006300
DIRECCIÓN:	Timbio -Vereda las Cruces
SOLICITADO POR:	Nohelia Mosquera
TELÉFONO:	N.E.
CELULAR:	3188096120
E-mail:	nohelia.mosquera.v@uniatonoma.edu.co
ORDEN DE SERVICIO:	0306

FECHA DE MUESTREO:	2020-04-01*
FECHA DE RECEPCIÓN:	2020-04-01
FECHA DE REPORTE:	2020-04-06
CÓDIGO DE MUESTRA:	AC0300
TIPO DE MUESTRA:	AGUA CRUDA*
TIPO DE MUESTREO:	PUNTUAL*
MUESTREO REALIZADO POR	SI -
AAPSA:	NO X

REPORTE DE RESULTADOS							
ITEM	FECHA DE ANÁLISIS (AAAA-MM-DD)	PARÁMETRO	MÉTODO	TÉCNICA	UNIDAD	AC0300	DECRETO 1594 DE 1984 ART 38 AGUA NATURAL/CRUDA
						Bocatoma Vereda el Hato	
1	2020-04-02	Cloruros	SM 4500 B	Volumétrica	mg Cl/L	< 4	250
2	2020-04-01	Coliformes totales	SM 9223 B	Número mas Probable	NMP/100 mL	24196,0	20.000
3	2020-04-06	Demanda química de oxígeno	SM 5220 D	Espectofotométrico	mg O <sub>2</sub> /L	96,0	-
4	2020-04-02	Dureza total	SM 2340 C	Volumétrica	mg CaCO <sub>3</sub> /L	30,2	-
5	2020-04-01	E. coli	SM 9223 B	Número mas Probable	NMP/100 mL	855	2.000
6	2020-04-02	Nitratos	SM 4500 NO <sub>3</sub> B	Espectofotométrico	mg NO <sub>3</sub> /L	< 0,5	10
7	2020-04-06	Sulfatos	SM 4500 E	Nefelométrica	mg SO <sub>4</sub> /L	< 3	400

\*Datos suministrados por el cliente

Observaciones: Método de Análisis aplicados según Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater  
 Laboratorio Autorizado para la Realización de Análisis según Resolución N° 2625 del 27 de Septiembre de 2019 Ministerio de Salud y Protección Social Tel:  
 (28) 326408 FAX (2) 824 20 14 - 824 04 66 www.acueductopopayan.com.co  
 Resultados validos únicamente para la (s) muestras analizadas.

  
 JAVIER ANDRÉS BERNAL LOPEZ  
 Coordinador Laboratorio AAPSA  
 PQ-4320

### Anexo 3. Análisis de desinfección de agua



**ACUEDUCTO Y ALCANTARILLADO DE POPAYÁN S.A E.S.P.**  
 NIT 891.500.117-1  
 NUIR 1-19001000 -1 SSPD  
**REPORTE DE RESULTADOS N° 0530**



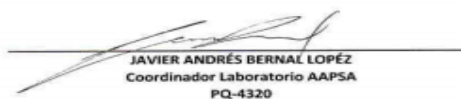
EMPRESA:	Acueducto Las Cruces- Timbio
NIT:	817.006.300
DIRECCIÓN:	Vereda Las Cruces
SOLICITADO POR:	Nohelia Mosquera
TELÉFONO:	N.E.
CELULAR:	3188096120
E-mail:	nohelia_mosquera.v@uniautonomia.edu.co
ORDEN DE SERVICIO:	0555

FECHA DE MUESTREO:	2020-09-21*
FECHA DE RECEPCIÓN:	2020-09-21
FECHA DE REPORTE:	2020-09-29
SITIO DE MUESTREO:	Veredada el Hato-Sotara
TIPO DE MUESTRA:	AGUA TRATADA*
TIPO DE MUESTREO:	PUNTUAL*
MUESTREO REALIZADO POR	SI -
AAPSA:	NO X

REPORTE DE RESULTADOS							
ITEM	FECHA DE ANÁLISIS (AAAA-MM-DD)	PARÁMETRO	MÉTODO	TÉCNICA	UNIDAD	AT0579	RESOLUCIÓN 2115 DE 2007 AGUA TRATADA
						Rio presidente Vereda el Hato	
1	2020-09-21	Coliformes totales	SM 9223 B	Número mas Probable	NMP/100 mL	<1	0
2	2020-09-21	E. coli	SM 9223 B	Número mas Probable	NMP/100 mL	<1	0

\*Datos suministrados por el cliente

**Observaciones: Método de Análisis aplicados según Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater**  
 Laboratorio Autorizado para la Realización de Análisis según Resolución N° 2625 del 27 de Septiembre de 2019 Ministerio de Salud y Protección Social Tel: (28) 326408 FAX (2) 824 20 14 - 824 04 66 www.acueductopopayan.com.co  
 Resultados validos únicamente para la (s) muestras analizadas.

  
**JAVIER ANDRÉS BERNAL LOPEZ**  
 Coordinador Laboratorio AAPSA  
 PQ-4320

Calle 3 No 4 - 29  
 Conmutador: (28) 321000 FAX: 24 20 14 - 24 04 66 - 31 81 02  
 www.acueductopopayan.com.co e-mail: aadepop@emtel.net.co

Anexos 4. Resultados en laboratorio para el Sulfato de aluminio liquido baja pluviosidad

PARAMETROS	CONCENTRACIONES mg/L										MÁXIMO PERMISIBLE
	12,5	15	17,5	18	18,5	19	20	21	22	23	RESOLUCIÓN 2115/2007
COLOR Unidades de platino Cobalto (UPC)	14	14	13	2,3	7,2	2,3	10	7	7,5	5	15 UPC
pH	7,066	7,4	6,89	7,277	6,791	7,062	6,844	6,845	7,172	7,417	6 hasta 9
POTENCIAL REDOX Mili voltios (mV)	2,1	-17,9	12,3	- 4,1	61,1	1,8	14,6	8	-4,6	-16,9	650 mV
Temperatura C°	23,2	23	23,6	22,4	22,9	22,5	23	23,7	23,7	24,0	40°
ALCALINIDAD CaCO <sub>3</sub>	48,8	48,8	48,8	36,6	24,4	36,6	36,6	24,4	24,4	48,8	200 mg/L
CONDUCTIVIDAD μS/cm	160,2	83,5	90,9	184	18,3	150,4	105,6	86	209	155,9	1000 μS/cm.
TURBIDEZ Unidades Nefelométricas de turbiedad (UNT)	2,92	2,18	2,04	0,88	2,31	5,59	1,67	1,57	3,2	2,13	2 UNT

Fuente: Elaboración Propia

Anexos 5. Resultados en laboratorio para el Sulfato de aluminio liquido alta pluviosidad

PARAMETROS	CONCENTRACIONES mg/L										MÁXIMO PERMISIBLE
	27	27,5	30	40	42	44	45	46	48	50	RESOLUCIÓN 2115/2007
COLOR Unidades de platino Cobalto (UPC)	11	2	12	6,3	2	2	2,1	30	56	77	15 UPC
pH	7,369	6,95	6,904	6,959	6,656	6,690	7,077	6,672	6,665	6,818	6 hasta 9
POTENCIAL REDOX Mili voltios (mV)	-14,5	8,5	12,8	13,0	22,7	25,7	8,5	28,8	31,1	15,6	650 mV
Temperatura C°	21,6	22,4	21,8	20,6	20,9	20,8	20,3	20,6	20,7	20,5	40°
ALCALINIDAD CaCO <sub>3</sub>	24,4	24,4	36,6	24,4	12,1	24,4	36,6	12,2	24,4	36,6	200 mg/L
CONDUCTIVIDAD μS/cm	151	173	171	134	133	136	134	137	139	140	1000 μS/cm.
TURBIDEZ Unidades Nefelométricas de turbiedad (UNT)	2,26	1,45	1,51	20,6	0,57	0,92	2,68	20,6	15,3	20,5	2 UNT

Fuente: Elaboración Propia

Anexos 6. Resultados en laboratorio para el Sulfato granulado baja pluviosidad

PARAMETROS	CONCENTRACIONES mg/L										MÁXIMO PERMISIBLE
	10	22	24	25	26	28	30	35	40	45	RESOLUCIÓN 2115/2007
	2	3	2	19	2	2	47	91	98	98	15 UPC
pH	6,85	6,99	7,03	6,631	3	7,038	6,410	6,204	6,393	6,181	6 hasta 9
POTENCIAL REDOX Mili voltios (mV)	52,9	5,3	3,5	31,4	7,06	4,5	39,5	51,4	47,0	53,4	650 mV
Temperatura C°	21,9	23,0	22,8	22,8	22,7	22,8	22,9	23,0	22,7	22,9	40°
ALCALINIDAD CaCO3	36,6	24,4	24,4	12,2	36,6	24,4	12,2	12,2	12,2	24,4	200 mg/L
CONDUCTIVIDAD mS microSiemens	123,8	71	62	157	66	66	151	154	169	164	1000 µS/cm.
TURBIDEZ Unidades Nefelométricas de turbiedad (UNT)	0,73	2,92	1,56	5,05	2,5	1,78	15,1	20,7	20,8	22,6	2 UNT

Fuente: Elaboración Propia

Anexos 7. Resultados en laboratorio para el Sulfato granulado alta pluviosidad

PARAMETROS	CONCENTRACIONES mg/L										MÁXIMO PERMISIBLE
	10	12	14	15	16	20	22	24	25	30	
COLOR Unidades de platino Cobalto (UPC)	57	11	4,2	4,5	8,5	27	36	51	28	106	15 UPC
pH	7,272	7,14	7,03	6,736	6,939	6,743	6,721	6,523	6,812	7,077	6 hasta 9
POTENCIAL REDOX Mili voltios (mV)	-12,9	-3,3	4,6	20,1	4,6	21,6	20,1	33,1	11,6	-11,9	650 mV
Temperatura C°	22,3	23,4	23,5	22,8	23,7	22,1	20,5	21,0	19,9	21,1	40°
ALCALINIDAD CaCO3	48,8	24,4	36,6	12,2	24,4	24,4	36,6	24,4	36,6	24,4	200 mg/L
CONDUCTIVIDAD µS/cm	165	124	126	141	125	127	127	125	137	141	1000 µS/cm.
TURBIDEZ Unidades Nefelométricas de turbiedad (UNT)	15,67	8,67	7,02	1,51	15,3	9,49	10,12	14,17	8,06	25,77	2 UNT

Fuente: Elaboración Propia

Anexos 8. Resultados en laboratorio para el Pac baja pluviosidad

PARAMETROS	CONCENTRACIONES mg/L										MÁXIMO PERMISIBLE
	4	5	6	8	10	15	17,5	20	22,5	25	RESOLUCIÓN 2115/2007
COLOR Unidades de platino Cobalto (UPC)	10	30	10	4,8	3	46	10	30	32	31	15 UPC
pH	7,649	7,14	7,442	7,505	7,608	7,14	5,393	7,178	7,421	7,525	6 hasta 9
POTENCIAL REDOX Mili voltios (mV)	- 7,5	41,8	- 26,1	- 23,0	- 23,9	57,9	102,7	- 1,0	-18,6	- 20,2	650 mV
Temperatura C°	15,9	22,6	17,0	17,8	22,9	22,6	22,0	22,0	22,1	22,2	40 °
ALCALINIDAD CaCO3	36,6	24,4	36,6	36,6	36,6	61	24,4	36,6	24,4	36,3	200 mg/L
CONDUCTIVIDAD µS/cm	142	79	141	153	0,61	106	229	194	189	187	1000 µS/cm.
TURBIDEZ Unidades Nefelométricas de turbiedad (UNT)	4,99	6,38	4,02	2,95	1,61	7,6	4,52	7,85	8,64	6,12	2 UNT

Fuente: Elaboración Propia Anexos 9. Resultados en laboratorio para el Pac alta pluviosidad

PARAMETROS	CONCENTRACIONES mg/L										MÁXIMO PERMISIBLE
	15	16	17,5	18	20	22	22,5	24	25	26	RESOLUCIÓN 2115/2007
COLOR Unidades de platino Cobalto (UPC)	79	13	10	7,7	2	29	32	31	80	29	15 UPC
pH	7,545	7,421	5,393	7,21	7,249	7,517	7,421	7,355	7,105	7,379	6 hasta 9
POTENCIAL REDOX Mili voltios (mV)	-24,3	-20,6	102,7	- 19,0	- 8,2	- 20,9	- 18,6	-14,9	3,7	- 12,7	650 mV
Temperatura C°	20,4	23,3	22,0	23,8	20,9	23,5	22,1	23,4	21,0	23,4	40 °
ALCALINIDAD CaCO3	36,6	48,8	24,4	48,8	24,4	36,6	24,4	48,8	24,4	24,4	200 mg/L
CONDUCTIVIDAD µS/cm	65	175	229	119	128	176	189	174	127	174	1000 µS/cm.
TURBIDEZ Unidades Nefelométricas de turbiedad (UNT)	24	3,65	11,1	6,03	1,33	4,59	8,64	6,58	21,1	4,93	2 UNT

Fuente: Elaboración Propia

Anexos 10. Resultados en laboratorio para el Hidroxicloruro baja pluviosidad

PARAMETROS	CONCENTRACIONES mg/L										MÁXIMO PERMISIBLE
	4	6	7	8	9	30	35	40	45	50	RESOLUCIÓN 2115/2007
COLOR Unidades de platino Cobalto (UPC)	8,7	9,9	21	11	2,7	18	77,6	17	19	8,6	15 UPC
pH	7,647	7,77	7,578	7,588	7,581	7,384	7,405	7,409	7,507	7,557	6 hasta 9
POTENCIAL REDOX Mili voltios (mV)	-30,1	-34,0	-27,5	-28,5	-27,9	-18,3	-17,6	-17,7	-23,4	-25,9	650 mV
Temperatura C°	8,8	15,2	22,8	22,8	22,8	21,8	22,8	22,4	22,5	22,2	40°
ALCALINIDAD CaCO <sub>3</sub>	36,6	36,6	36,6	36,6	36,6	36,6	48,8	48,8	36,6	36,6	200 mg/L
CONDUCTIVIDAD μS/cm	144	191	59	60	61	68	77,6	64,5	64,5	63	1000 μS/cm.
TURBIDEZ Unidades Nefelométricas de turbiedad (UNT)	7,27	5,53	8,4	2,01	5	5,65	4,7	5,36	5,36	5,96	2 UNT

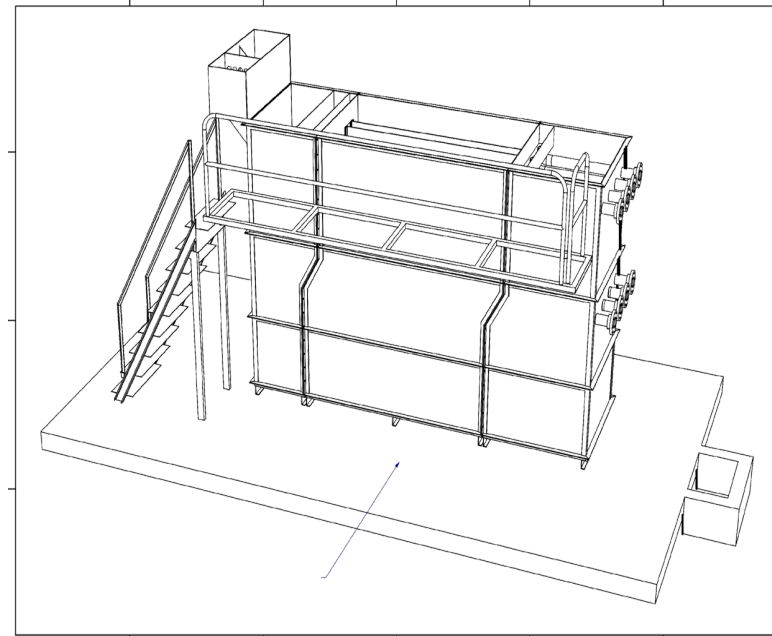
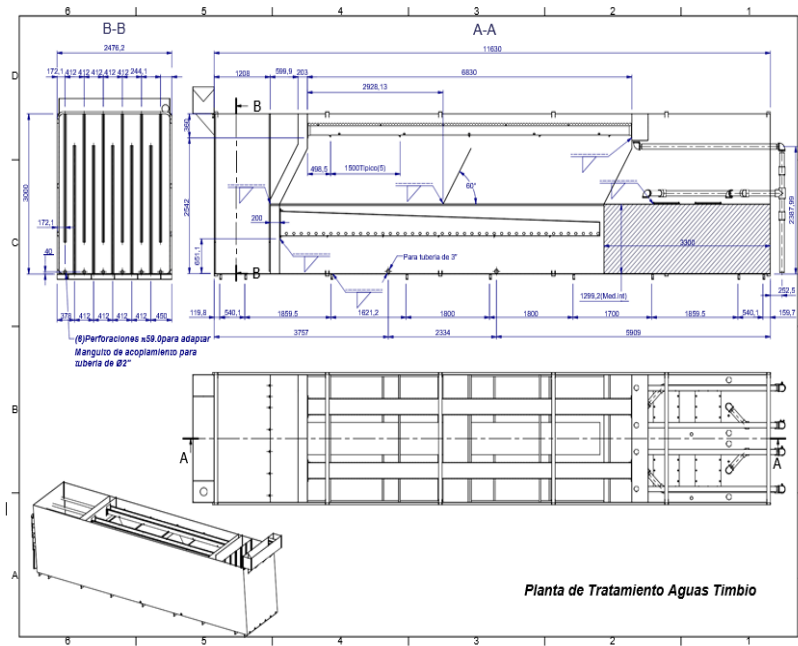
Fuente: Elaboración Propia

Anexos 11. Resultados en laboratorio para el Hidroxicloruro alta pluviosidad

PARAMETROS	CONCENTRACIONES mg/L										MÁXIMO PERMISIBLE
	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	RESOLUCIÓN 2115/2007
COLOR Unidades de platino Cobalto (UPC)	93	97	97	14	2	28	47	8,4	32	96	15 UPC
pH	6,84	6,63	6,69	8,89	7,052	6,87	6,87	6,98	7,0	7,05	6 hasta 9
POTENCIAL REDOX Mili voltios (mV)	61,2	70,4	68,1	56,2	-1,6	56,0	56,2	46,9	49,0	48,7	650 mV
Temperatura C°	23,6	23,1	23,5	24,0	22,4	23,7	23,7	24,0	23,8	23,8	40°
ALCALINIDAD CaCO <sub>3</sub>	48,8	36,6	36,6	36,6	24,4	36,6	48,8	48,8	48,8	36,6	200 mg/L
CONDUCTIVIDAD μS/cm	62	72	65	62	56,7	62	62	61	63	64	1000 μS/cm.
TURBIDEZ Unidades Nefelométricas de turbiedad (UNT)	18,8	20,7	7,3	3,77	1,78	78,27	9,9	2,3	3,91	19,6	2 UNT

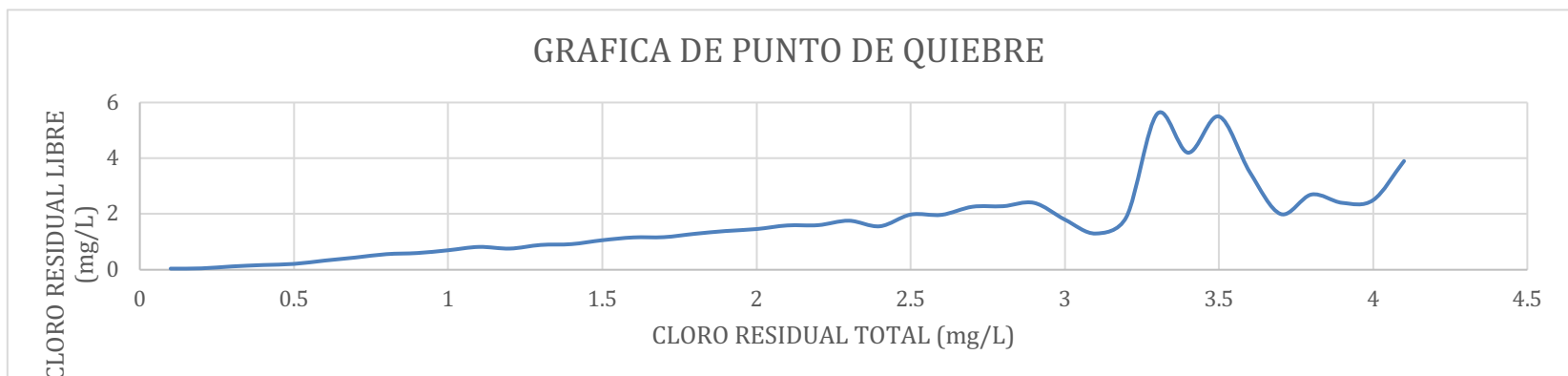
Fuente: Elaboración Propia

## Anexos 12. Planos de diseño de planta de tratamiento de agua potable



**Fuente:** Acueducto las cruces

Anexos 13. Gráfica de punto de quiebre



**Fuente:** Elaboración propia

**CLORO RESIDUAL TOTAL (mg/L)**

0,1 0,2 0,3 0,4 0,5 0,6 0,7 0,8 0,9 1 1,1 1,2 1,3 1,4 1,5 1,6 1,7 1,8  
 1,9 2,0 2,1 2,2 2,3 2,4 2,5 2,6 2,7 2,8 2,9 3,0 3,1 3,2 3,3 3,4 3,5 3,6  
 3,7 3,8 3,9 4,0 4,1.

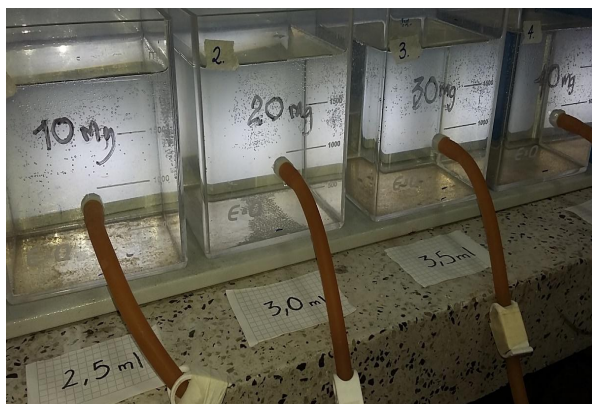
**CLORO RESIDUAL LIBRE (mg/L)**

0,04 0,05 0,12 0,17 0,21 0,33 0,44 0,56 0,6 0,7 0,82 0,76 0,89 0,92 1,06 1,16 1,17 1,29  
 1,39 1,46 1,59 1,6 1,76 1,56 1,98 1,97 2,26 2,28 2,4 1,8 1,3 1,9 5,6 4,2 5,5 3,5  
 2,0 2,7 2,4 2,5 3,0.



## REGISTRO FOTOGRÁFICO

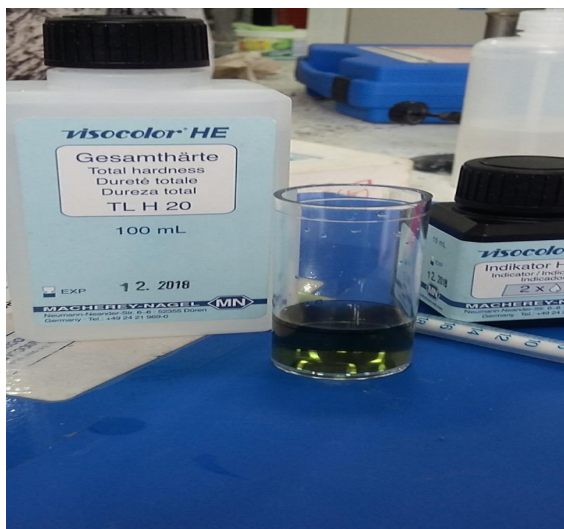
Anexo 14. Registro fotográfico de medición de color con el espectrofotómetro y proceso de coagulación con sus respectivos coagulantes.



Anexo 15. Registro fotográfico del medidor de turbiedad y pH.



Anexo 16. Registro fotográfico de Medición de alcalinidad nula y DBO5.



Anexo 17. Registro fotográfico de la recolección de la muestra de agua cruda y medición de cloro residual.



Anexo 18. Registro fotográfico - Bocatoma y tanque de almacenamiento del Acueducto Las Cruces.



Anexo 19. Registro fotográfico –Filtración al vacío y preparación de coagulantes.

