

**DETERMINACIÓN DE LA DOSIFICACIÓN ÓPTIMA DE COAGULANTE PARA EL  
MEJORAMIENTO DE LA CALIDAD DEL AGUA POTABLE EN LA EMPRESA  
EMCODAZZI E.S.P**



**MARIA CAMILA NORIEGA GONZALEZ**

**UNIVERSIDAD DE PAMPLONA**

**FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA**

**PROGRAMA DE INGENIERÍA QUÍMICA**

**PAMPLONA- NORTE DE SANTANDER**

**2021**

**DETERMINACIÓN DE LA DOSIFICACIÓN ÓPTIMA DE COAGULANTE PARA EL  
MEJORAMIENTO DE LA CALIDAD DEL AGUA POTABLE EN LA EMPRESA  
EMCODAZZI E.S.P**

**MARIA CAMILA NORIEGA GONZALEZ**

Trabajo de Grado Para Optar al Título De Ingeniero Químico

**Director**

**DEISSY LORENA RESTREPO**

**Ingeniera Química**

**UNIVERSIDAD DE PAMPLONA**

**FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA**

**PROGRAMA DE INGENIERÍA QUÍMICA**

**PAMPLONA- NORTE DE SANTANDER**

**2021**

**Nota de aceptación**

---

---

---

---

---

**Director****Deissy Lorena Restrepo****Título: Ingeniera Química**

---

**Firma de Jurado 1**

---

**Firma de Jurado 2**

---

## Dedicatoria

*Dedico este logro con todo el amor a mis padres y a mis hermanas por haberme forjado como la persona que soy en la actualidad, por el apoyo incondicional que me han brindado y sobre todo por el gran esfuerzo realizado durante mi formación profesional como Ingeniera Química.*

*También quiero dedicar este triunfo a mi novio y a mis amigos, que estuvieron alentándome e incitándome a que siguiera por el buen camino y no rendirme ante cualquier circunstancia presentada.*

*Este título aparte de llevar mi nombre, también lleva el de ustedes por todo el apoyo y amor que me han regalado, muchas gracias.*

## **Agradecimientos**

Principalmente agradecerle a Dios por permitir que alcanzará un logro más en mi vida, por nunca desampararme en este proceso y sobre todo por regalarme las fuerzas y sabiduría para continuar por este camino.

Agradezco a mi familia, en especial a mis padres Edimer Noriega y Gertrudis González, por enseñarme a no rendirme y sobre todo por apoyarme incondicionalmente hasta alcanzar mis sueños, muchísimas gracias porque sé que no fue un trayecto fácil, pero siempre dieron lo mejor y estuvieron dispuestos a entregar todo para poder continuar con mi proceso.

Expreso mis mayores agradecimientos a mi tutor Deissy Restrepo, por su colaboración para el desarrollo del proyecto y sobre todo por brindar y compartir sus conocimientos durante mi formación académica.

Muchas gracias al programa de Ingeniería Química de la Universidad de Pamplona por abrirme sus puertas para así mismo poder realizar mis metas, a los docentes del programa por brindarme sus conocimientos e impulsar mi formación como futuro Ingeniero Químico.

Agradezco a la empresa de Servicios Públicos EMCODAZZI ESP, por permitirme llevar a cabo este proyecto en su Planta de Tratamiento de Agua Potable, también agradecer al Área Operativa de la PTAP, especialmente a la jefa Diana Molina por brindarme sus conocimientos y sobre todo por su colaboración y orientación para el desarrollo del mismo.

## Tabla de contenido

|                                                                          |           |
|--------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>Capítulo I.....</b>                                                   | <b>14</b> |
| <b>1 Descripción general .....</b>                                       | <b>14</b> |
| 1.1 Planteamiento del problema y justificación .....                     | 14        |
| 1.2 Delimitación .....                                                   | 16        |
| 1.2.1 <i>Objetivo General</i> .....                                      | 16        |
| 1.2.2 <i>Objetivos Específicos</i> .....                                 | 16        |
| <b>Capítulo II.....</b>                                                  | <b>17</b> |
| <b>2 Marco referencial .....</b>                                         | <b>17</b> |
| 2.1 Introducción .....                                                   | 17        |
| 2.2 Marco teórico .....                                                  | 18        |
| 2.2.1 <i>Concepto y propiedades del Agua</i> .....                       | 18        |
| 2.2.2 <i>Agua potable</i> .....                                          | 18        |
| 2.2.3 <i>Calidad del agua</i> .....                                      | 19        |
| 2.2.4 <i>Coagulante</i> .....                                            | 23        |
| 2.2.5 <i>Ensayo de Jarras (JARTEST)</i> .....                            | 26        |
| 2.3 Estado del arte .....                                                | 31        |
| 2.4 Zona delimitación del proyecto .....                                 | 32        |
| 2.4.1 <i>Ubicación de la Planta de tratamiento de Agua Potable</i> ..... | 32        |
| 2.4.2 <i>Funcionamiento de la Planta de tratamiento EMCODAZZI</i> .....  | 33        |
| <b>Capítulo III.....</b>                                                 | <b>41</b> |
| <b>3 Metodología .....</b>                                               | <b>41</b> |
| 3.1 Etapa 1. Diagnóstico de la planta de potabilización .....            | 43        |
| 3.2 Etapa 2. Toma de muestras y caracterización del agua cruda. ....     | 43        |
| 3.2.1 <i>Determinación de la turbiedad</i> .....                         | 43        |
| 3.2.2 <i>Determinación del color del agua</i> .....                      | 45        |

|                    |                                                                        |           |
|--------------------|------------------------------------------------------------------------|-----------|
| 3.2.3              | <i>Determinación potencial del Hidrogeno (pH)</i> .....                | 46        |
| 3.3                | Etapa 3. Ensayo de jarras .....                                        | 47        |
| 3.3.1              | <i>Solución de coagulante al 1%</i> .....                              | 47        |
| 3.3.2              | <i>Procedimiento para determinar dosis optima de coagulante</i> .....  | 47        |
| 3.4                | Etapa 4. Análisis e interpretación de resultados.....                  | 50        |
| 3.4.1              | <i>Dosificación en la planta de tratamiento de agua potable.</i> ..... | 50        |
| <b>Capitulo IV</b> | .....                                                                  | <b>51</b> |
| <b>4</b>           | <b>Resultados y análisis</b> .....                                     | <b>51</b> |
| 4.1                | Determinación de la dosis optima de coagulante .....                   | 51        |
| 4.1.1              | <i>Turbiedades bajas</i> .....                                         | 51        |
| 4.1.2              | <i>Turbiedades medias</i> .....                                        | 59        |
| 4.1.3              | <i>Turbiedades altas</i> .....                                         | 67        |
| 4.2                | Discusión de resultados.....                                           | 78        |
| 4.3                | Aplicación de dosis óptima encontrada en la PTAP.....                  | 78        |
| <b>Capitulo V</b>  | .....                                                                  | <b>81</b> |
| <b>5</b>           | <b>Conclusiones</b> .....                                              | <b>80</b> |
| <b>6</b>           | <b>Referencias</b> .....                                               | <b>81</b> |
| <b>ANEXOS</b>      | .....                                                                  | <b>84</b> |

### Índice de tablas

|                                                                                                                               |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Tabla 1.</b> Características físicas y químicas del agua .....                                                             | 18 |
| <b>Tabla 2.</b> Características físicas del agua para consumo humano .....                                                    | 19 |
| <b>Tabla 3.</b> Características químicas que tiene efecto adverso en la salud humana .....                                    | 20 |
| <b>Tabla 4.</b> Características Químicas que tienen implicaciones sobre la salud humana.....                                  | 21 |
| <b>Tabla 5.</b> Características químicas que tienen mayores consecuencias económicas e indirectas sobre la salud humana ..... | 22 |
| <b>Tabla 6.</b> Índice de Willcomb.....                                                                                       | 29 |
| <b>Tabla 7.</b> Prueba de Jarra variando cantidad de coagulante para una turbiedad de 45,5 NTU...52                           |    |
| <b>Tabla 8.</b> Prueba de Jarra variando cantidad de coagulante para una turbiedad de 100 NTU....53                           |    |
| <b>Tabla 9.</b> Porcentaje de remoción de turbiedades bajas.....                                                              | 55 |
| <b>Tabla 10.</b> Porcentaje de remoción del color para turbiedades bajas .....                                                | 57 |
| <b>Tabla 11.</b> Prueba de Jarra variando cantidad de coagulante para una turbiedad de 220 NTU..59                            |    |
| <b>Tabla 12.</b> Prueba de Jarra variando cantidad de coagulante para una turbiedad de 290 NTU..60                            |    |
| <b>Tabla 13.</b> Prueba de Jarra variando cantidad de coagulante para una turbiedad de 340 NTU..61                            |    |
| <b>Tabla 14.</b> Prueba de Jarra variando cantidad de coagulante para una turbiedad de 422 NTU..62                            |    |
| <b>Tabla 15.</b> Porcentaje de remoción de turbiedades medias .....                                                           | 63 |
| <b>Tabla 16.</b> Porcentaje de remoción del color para turbiedades medias.....                                                | 65 |
| <b>Tabla 17.</b> Prueba de Jarra variando cantidad de coagulante para una turbiedad de 512 NTU..68                            |    |
| <b>Tabla 18.</b> Prueba de Jarra variando cantidad de coagulante para una turbiedad de 690 NTU..69                            |    |
| <b>Tabla 19.</b> Prueba de Jarra variando cantidad de coagulante para una turbiedad de 780 NTU..70                            |    |
| <b>Tabla 20.</b> Prueba de Jarra variando cantidad de coagulante para una turbiedad de 845 NTU..71                            |    |

|                                                                                                  |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Tabla 21.</b> Prueba de Jarra variando cantidad de coagulante para una turbiedad de 966 NTU.. | 72 |
| <b>Tabla 22.</b> Porcentaje de remoción de turbiedades altas .....                               | 73 |
| <b>Tabla 23.</b> Porcentaje de remoción del color para turbiedades altas .....                   | 76 |
| <b>Tabla 24.</b> Optimización de la dosificación de coagulante para la PTAP.....                 | 79 |

## Índice de figuras

|                                                                                                         |    |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Figura 1.</b> Índice de Willcomb.....                                                                | 29 |
| <b>Figura 2.</b> Ubicación satelital de la Planta de tratamiento de agua potable .....                  | 32 |
| <b>Figura 3.</b> Planta de tratamiento de agua potable .....                                            | 33 |
| <b>Figura 4.</b> Plano de la PTAP.....                                                                  | 34 |
| <b>Figura 5.</b> Fuente de abastecimiento (Bocatoma).....                                               | 35 |
| <b>Figura 6.</b> Desarenador .....                                                                      | 36 |
| <b>Figura 7.</b> Canaleta Parshall .....                                                                | 37 |
| <b>Figura 8.</b> Unidad de Flocladores.....                                                             | 38 |
| <b>Figura 9.</b> Unidad de Sedimentador .....                                                           | 39 |
| <b>Figura 10.</b> Unidad de Filtros .....                                                               | 40 |
| <b>Figura 11.</b> Metodología aplicada en el proyecto.....                                              | 42 |
| <b>Figura 12.</b> Equipo HI93703.....                                                                   | 44 |
| <b>Figura 13.</b> Equipo Checker HI727 .....                                                            | 45 |
| <b>Figura 14.</b> Equipo HI98127.....                                                                   | 46 |
| <b>Figura 15.</b> Muestras de agua cruda .....                                                          | 48 |
| <b>Figura 16.</b> Ensayo de Jarras.....                                                                 | 49 |
| <b>Figura 17.</b> Agua tratada sedimentada.....                                                         | 50 |
| <b>Figura 18.</b> Análisis comparativo del porcentaje de remoción para turbiedades bajas .....          | 56 |
| <b>Figura 19.</b> Análisis comparativo del porcentaje de remoción de color para turbiedades bajas ..... | 58 |
| <b>Figura 20.</b> Análisis comparativo del porcentaje de remoción para turbiedades medias.....          | 64 |

|                                                                                                           |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Figura 21.</b> <i>Análisis comparativo del porcentaje de remoción de color para turbiedades medias</i> |    |
| .....                                                                                                     | 67 |
| <b>Figura 22.</b> <i>Análisis comparativo del porcentaje de remoción para turbiedades altas</i>           | 75 |
| <b>Figura 23.</b> <i>Análisis comparativo del porcentaje de remoción de color para turbiedades altas</i>  | 77 |

### **Índice de anexos**

|                                                                                                                                                                  |    |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Anexo 1.</b> Resultados del SIVICAP para el año 2019 .....                                                                                                    | 84 |
| <b>Anexo 2.</b> Resultados del SIVICAP para el año 2020.....                                                                                                     | 85 |
| <b>Anexo 3.</b> Análisis fisicoquímicos y microbiológicos de la fuente de abastecimiento por parte de laboratorio acreditado en el mes Febrero y Marzo 2021..... | 86 |
| <b>Anexo 4.</b> Análisis fisicoquímicos y microbiológicos de punto de muestreo por parte de laboratorio acreditado en el mes Febrero y Marzo 2021.....           | 88 |
| <b>Anexo 5.</b> Ficha técnica del Policloruro de Aluminio .....                                                                                                  | 90 |

## **Resumen**

El objetivo principal del proyecto fue comparar las ventajas y la efectividad del PAC-122 en contraste con el PAC-006 en el proceso de coagulación de la Planta de Tratamiento de agua Potable Emcodazzi y así mismo se evaluó el comportamiento de estos dos coagulantes para la optimización de la potabilización.

La investigación se llevó a cabo con el estudio de los parámetros fisicoquímicos (Turbiedad, color y pH) y el diseño experimental que se implementó para el desarrollo del proyecto se encuentra relacionado con el ensayo de jarras el cual consiste en un análisis comparativo de los parámetros fisicoquímicos del agua cruda con respecto a los finales de agua tratada, para así mismo, seleccionar el producto con mejor desempeño.

Los resultados demuestran que para las turbiedades de ingreso a la Planta de Tratamiento el coagulante óptimo con mejores porcentajes de remoción de turbiedad y color fue el PAC-122, lo cual presento un mejor comportamiento disminuyendo los parámetros evaluados hasta alcanzar los valores máximos aceptables por la normativa.

## **Capítulo 1**

### **1 Descripción general**

#### **1.1 Planteamiento del problema y justificación**

La potabilización del agua es objeto de importantes estudios sobre calidad, eficiencia y bajos costos operacionales, donde el objetivo principal es encontrar soluciones a diferentes problemáticas tales como la contaminación de fuentes hídricas entre otras. La turbiedad y el color del agua son principalmente causados por partículas muy pequeñas, llamadas partículas coloidales, las cuales permanecen en suspensión en el agua por tiempo prolongado y pueden atravesar un medio filtrante muy fino (Cerón, 2016).

El proceso de potabilización del agua, en la planta de tratamiento de Agustín Codazzi, pasa por cinco etapas: Captación, floculación, sedimentación, filtración y desinfección. El agua que ingresa es considerada de buena calidad de acuerdo a los análisis que se le realizan, además, no existe ninguna fuente de contaminación próxima tales como fábricas o cultivos cerca de la fuente de abastecimiento, sin embargo, en épocas de lluvia el color y turbiedad del agua son los parámetros más afectados.

En la etapa de floculación se aplica el coagulante Policloruro de Aluminio, este ayuda a la disminución de los parámetros tales como turbiedad y color. En el caso de la PTAP Emcodazzi, no se cuenta con un manejo óptimo del químico para el tratamiento del agua, en unas ocasiones utilizan más coagulante del necesario, provocando una sobredosificación o en otras, al dosificar menos de lo necesario, no se obtiene una buena operación de coagulación, y se obtiene bajas

remociones de turbiedad y color, lo cual conlleva al incumplimiento de los objetivos de calidad del agua.

La empresa EMCODAZZI realiza un control mensual de los análisis fisicoquímicos para evaluar si se están cumpliendo con los parámetros exigidos en la resolución 2115 de 2007; estos análisis son reportados en la plataforma SUI (Sistema Único de Información de Servicios Públicos Domiciliario) realizados por un laboratorio acreditado de parte de la empresa prestadora, y en el SIVICAP (Sistema de Información de la Vigilancia de la Calidad del Agua para Consumo Humano) realizado por la Autoridad Sanitaria con el objetivo de evaluar el nivel de riesgo que se encuentra la empresa.

Según lo reportado para el año 2019 y 2020 (**Anexo 1; Anexo 2**) se refleja que la empresa se encuentra en un nivel de riesgo bajo. Los resultados obtenidos por el SIVICAP manifiestan que en épocas de lluvias se obtuvieron valores del IRCA por encima de 5%, exigiendo mejoramiento en el proceso para alcanzar lo requerido por la normativa vigente.

Finalmente, este trabajo se desarrolla con el propósito de mejorar la calidad del agua en la PTAP, disminuyendo principalmente la turbiedad y el color con el fin de conseguir un agua más clarificada y apta para el consumo humano. En el proyecto se evaluará las características de remoción del PAC-122 y el PAC006, para encontrar el que más favorezca el crecimiento de los flóculos desestabilizados en la etapa de coagulación y lograr una sedimentación eficiente.

## **1.2 Delimitación**

### **1.2.1 *Objetivo General***

Evaluar el comportamiento de los coagulantes PAC-122 y PAC-006 para encontrar la dosis óptima, que contribuya al mejoramiento de la calidad del agua en la planta de tratamiento Emcodazzi ESP.

### **1.2.2 *Objetivos Específicos***

Realizar caracterizaciones fisicoquímicas de las muestras de agua cruda y posteriormente tratadas con el fin de determinar el porcentaje de remoción durante el estudio en las pruebas de jarras.

Encontrar la dosis óptima de coagulante aplicado para turbiedades bajas, medias y altas teniendo en cuenta porcentajes de remoción por turbiedad, color y formación del flocs.

Optimizar el proceso de dosificación de coagulante en la planta de tratamiento de agua, Emcodazzi para mejorar la calidad del agua para el consumo humano.

## **Capítulo II**

### **2 Marco referencial**

#### **2.1 Introducción**

Las comunidades colombianas se enfrentan hoy al reto de mejorar sus sistemas de potabilización de agua acorde con el Decreto 475 de 1998, donde se expiden normas técnicas de calidad del agua potable, el Decreto 1575 de 2007, en el cual se establece un sistema para la protección y control de la calidad del agua para el consumo humano, así mismo la resolución 2115 de 2007, por medio de la cual se señalan características, instrumentos básicos y frecuencias del sistema de control y vigilancia para la calidad del agua de consumo humano.

La fuente de abastecimiento de la Planta de tratamiento de Agua Potable, EMCODAZZI proveniente del Rio Magiriaimo, es considerada de buena calidad por las bajas contaminaciones que esta presenta. Sin embargo, en épocas de lluvias el agua potable no está cumpliendo con algunos parámetros designado por las normativas vigentes.

El objetivo del proyecto es determinar la dosificación del coagulante utilizado en la empresa, teniendo como finalidad encontrar la cantidad óptima y aplicarla en el proceso para cumplir con los parámetros como turbiedad y color, mejorando la calidad del agua que se brinda a la comunidad de Agustín Codazzi, Cesar.

Para el desarrollo del proyecto se tuvo en cuenta la temporada de lluvia en los meses de febrero hasta mayo, se realizaron estudios de las muestras provenientes del rio y por medio de un ensayo de jarras se determinó la dosificación para las diferentes turbiedades que se pueden presentar en la PTAP y sus respectivas caracterizaciones fisicoquímicas.

## 2.2 Marco teórico

### 2.2.1 Concepto y propiedades del Agua

El agua es una sustancia que se compone por dos átomos de hidrogeno enlazados covalentemente a un átomo de oxígeno. El agua se localiza principalmente en los océanos donde se concentra alrededor de 96,5% del agua total, los glaciares y casquetes polares poseen el 1,74%, los depósitos subterráneos, los permafrost y los glaciares continentales suponen el 1,72% y el restante 0,04% el cual se reparte en orden decreciente entre lagos, humedad del suelo, atmosfera, embalses, ríos y seres vivos (Vásconez, 2013).

El agua posee propiedades físicas y químicas totalmente diferentes a otros líquidos, a continuación, se encontrarán las características del agua en la **Tabla 1**.

**Tabla 1.** Características físicas y químicas del agua

| Características       | Indicador                      |
|-----------------------|--------------------------------|
| Color                 | Inodoro                        |
| Olor                  | Inodoro                        |
| Punto de ebullición   | 100°C a 1.013hPa               |
| Punto de fusión       | 0°C                            |
| Densidad              | 1g/mL a 20°C                   |
| Viscosidad cinemática | 0.952mm <sup>2</sup> /S a 20°C |

*Fuente: (Roth GmbH, 2021)*

### 2.2.2 Agua potable

Se considera agua potable toda agua natural o de tratamiento que cumpla con todas las normativas de calidad establecida para tal fin, basada en estudios epidemiológicos, toxicológicos y consideraciones estéticas. El agua apta para consumo humano se produce a partir del tratamiento del agua que proviene de la fuente de abastecimiento, ya sea aguas superficiales, subterráneas, atmosféricas, océanos, glaciares, lagunas, mares, entre otros.

Para establecer una fuente de agua como potable es indispensable conocer cada una de las características físicas, químicas y microbiológicas del agua, con el fin de determinar en qué condiciones se encuentra, esto se realiza debido a la amplia gama de contaminantes, materia orgánica y sustancias químicas presentes en los cuerpos de agua.

### 2.2.3 *Calidad del agua*

Las comunidades colombianas se enfrentan hoy al reto de mejorar sus sistemas de potabilización de agua acorde con el decreto 1575, el cual establece los lineamientos de potabilización e indicadores de producción. La resolución 2115 de 2007 establece los valores máximos aceptables de calidad que debe cumplir el agua para el consumo humano con respecto a las características químicas, físicas y microbiológicas, instrumentos básicos y frecuencias del sistema de control y vigilancia para la calidad del agua para su consumo.

#### 2.2.3.1 **Características físicas y químicas del agua para consumo humano**

La resolución 2115 de 2007 detalla las características fisicoquímicas del agua especificadas en los artículos mencionados a continuación (*Ministerio de la Protección Social, Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, 2007*):

**ARTICULO 2°. Características Físicas.** “*El agua para consumo humano no podrá sobrepasar los valores máximos aceptables para cada una de las características físicas que se señalan a continuación.*”

**Tabla 2.** *Características físicas del agua para consumo humano*

| Características físicas | Expresadas como                   | Valor máximo aceptable |
|-------------------------|-----------------------------------|------------------------|
| Color                   | Unidades de Platino Cobalto (UPC) | 15                     |

|              |                                            |           |
|--------------|--------------------------------------------|-----------|
| Olor y sabor | Aceptable o no aceptable                   | Aceptable |
| Turbiedad    | Unidades Nefelométricas de turbiedad (NTU) | 2         |

*Fuente: (Ministerio de la Protección Social, Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, 2007)*

**ARTICULO 4° “Potencial De Hidrógeno.** El valor para el potencial de hidrógeno pH del agua para consumo humano, deberá estar comprendido entre 6,5 y 9,0”.

**ARTICULO 5° “Características químicas de sustancias que tienen Reconocido efecto adverso en la salud humana.** Las características químicas del agua para consumo humano de los elementos, compuestos químicos y mezclas de compuestos químicos diferentes a los plaguicidas y otras sustancias que al sobrepasar los valores máximos aceptables tienen reconocido efecto adverso en la salud humana, deben enmarcarse dentro de los valores máximos aceptables que se señalan a continuación:”

**Tabla 3.** Características químicas que tiene efecto adverso en la salud humana

| Elementos, compuestos químicos y mezclas de compuestos químicos diferentes a los plaguicidas y otras sustancias | Expresados como | Valor máximo aceptable (mg/L) |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------|-------------------------------|
| Antimonio                                                                                                       | Sb              | 0.02                          |
| Arsénico                                                                                                        | As              | 0.01                          |
| Bario                                                                                                           | Ba              | 0.7                           |
| Cadmio                                                                                                          | Cd              | 0.003                         |
| Cianuro libre y disuelto                                                                                        | CN <sup>-</sup> | 0.05                          |
| Cobre                                                                                                           | Cu              | 1                             |

|                                             |      |       |
|---------------------------------------------|------|-------|
| Cromo total                                 | Cr   | 0.05  |
| Mercurio                                    | Hg   | 0.001 |
| Níquel                                      | Ni   | 0.02  |
| Plomo                                       | Pb   | 0.01  |
| Selenio                                     | Se   | 0.01  |
| Trihalometanos totales                      | THMs | 0.2   |
| Hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAP) | HAP  | 0.01  |

*Fuente: (Ministerio de la Protección Social, Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, 2007)*

**ARTICULO 6° “Características químicas de sustancias que tienen Implicaciones sobre la salud humana.** Las características químicas del agua para consumo humano en relación con los elementos, compuestos químicos y mezclas de compuestos químicos que tienen implicaciones sobre la salud humana se señalan en el siguiente cuadro:

**Tabla 4.** Características Químicas que tienen implicaciones sobre la salud humana

| <b>Elementos, compuestos químicos y mezclas de compuestos químicos que tienen implicaciones sobre la salud humana</b> | <b>Expresados como</b>       | <b>Valor máximo aceptable (mg/L)</b> |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------|--------------------------------------|
| Carbono Orgánico total                                                                                                | COT                          | 5.0                                  |
| Nitritos                                                                                                              | NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> | 0.1                                  |
| Nitratos                                                                                                              | NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> | 10                                   |
| Fluoruros                                                                                                             | F <sup>-</sup>               | 1.0                                  |

*Fuente: (Ministerio de la Protección Social, Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, 2007)*

**ARTÍCULO 7º “Características Químicas Que Tienen Consecuencias Económicas e Indirectas Sobre La Salud Humana.** Las características químicas del agua para consumo humano en relación con los elementos y compuestos químicos que tienen consecuencias económicas e indirectas sobre la salud se señalan a continuación”:

**Tabla 5.** Características químicas que tienen mayores consecuencias económicas e indirectas sobre la salud humana

| Elementos y compuestos químicos que tienen implicaciones de tipo económico | Expresadas como               | Valor máximo aceptable (mg/L) |
|----------------------------------------------------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|
| Calcio                                                                     | Ca                            | 60                            |
| Alcalinidad total                                                          | CaCO <sub>3</sub>             | 200                           |
| Cloruros                                                                   | Cl <sup>-</sup>               | 250                           |
| Aluminio                                                                   | Al <sup>3+</sup>              | 0.2                           |
| Dureza total                                                               | CaCO <sub>3</sub>             | 300                           |
| Hierro total                                                               | Fe                            | 0.3                           |
| Magnesio                                                                   | Mg                            | 36                            |
| Manganeso                                                                  | Mn                            | 0.1                           |
| Molibdeno                                                                  | Mo                            | 0.07                          |
| Sulfatos                                                                   | SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> | 250                           |
| Zinc                                                                       | Zn                            | 3                             |
| Fosfatos                                                                   | PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> | 0.5                           |

*Fuente: (Ministerio de la Protección Social, Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, 2007)*

En la red de distribución del sistema de suministro de agua la empresa prestadora del servicio de acueducto, debe practicar como mínimo los siguientes análisis físico– químicos: pH,

color, olor, sustancias flotantes, turbiedad, nitritos, cloruros, sulfatos, hierro total, dureza total y cloro residual libre, el cual se encuentra entre sus responsabilidades establecidos por el decreto 1575 de 2007 (Social, 2007)

#### **2.2.4 Coagulante**

Es un proceso de desestabilización química de las partículas coloidales que se producen al neutralizar las fuerzas que los mantienen separados, por medio de la adición de los coagulantes químicos y la aplicación de la energía de mezclado. Esto sucede ya que las sustancias químicas anulan las cargas eléctricas de la superficie del coloide permitiendo que las partículas se aglomeren formando así los flóculos (Ojeda, 2012).

El proceso de la coagulación principalmente se usa para (Restrepo, 2009):

- Remoción de la turbiedad orgánica o inorgánica que no se puede sedimentar rápidamente
- Remoción de color verdadero y aparente
- Eliminación de bacterias, virus y organismos patógenos susceptibles de ser separados por coagulación
- Eliminación de sustancias productoras de sabor y olor, en algunos casos de precipitado químicos suspendidos entre otros.

##### **2.2.4.1 Partículas en suspensión**

Las partículas en suspensión de una fuente de agua superficial provienen de la erosión de suelos, de la disolución de sustancias minerales y de la descomposición de sustancias orgánicas. En general la turbiedad del agua es causado por las partículas de materias inorgánicas (arcillas,

partículas de lo), y el color está formado por las partículas de materias orgánicas e hidróxidos de metal.

Las características de las partículas en suspensión son (Andía, 2000):

- **Los Coloides:** Son suspensiones estables, por lo que es imposible su sedimentación natural, son sustancias responsables de la turbiedad y del color del agua. Los sistemas coloidales presentan una superficie de contacto inmersa entre la fase sólida y la fase líquida.
- **Afinidad de las Partículas Coloidales por el Agua:** Las partículas coloidales se caracterizan por ser hidrófilas (afinidad por el agua) e hidrófobos (rechazan el agua). Las primeras se dispersan espontáneamente dentro del agua y son rodeados de moléculas de agua que previenen todo contacto posterior entre estas partículas; las partículas hidrofóbicas no son rodeados de moléculas de agua, su dispersión dentro del agua no es espontáneo por lo que requiere de la ayuda de medios químicos y físicos. La carga eléctrica y la capa de agua que rodean las partículas hidrófilas, tienden a desplazar las partículas unas de otras y, en consecuencia, los estabiliza dentro de la solución.
- **Carga Eléctrica y Doble Capa:** Dentro del Agua Superficial, las partículas coloidales, son las causantes de la turbiedad y del color por lo que el tratamiento del agua está orientado a la remoción de las partículas; estas poseen normalmente una carga eléctrica negativa situado sobre su superficie. Las cargas primarias, atraen los iones positivos del agua, los cuales se adhieren fuertemente a las partículas y atraen a su alrededor iones negativos acompañados de una débil cantidad de iones positivos.

#### 2.2.4.2 Clasificación de coagulación

Se presentan dos tipos básicos de coagulación: adsorción y barrido.

1. *Coagulación Por Adsorción:* Se presenta cuando el agua posee una alta concentración de partículas al estado coloidal, cuando el coagulante es adicionado al agua turbia los productos solubles de los coagulantes son absorbidas por los coloides y forman los flóculos en forma casi instantánea (Sierra & Guatame, 2016).

2. *Coagulación por Barrido:* Este tipo de coagulación se presenta cuando el agua es clara (presenta baja turbiedad) y la cantidad de partículas coloides es pequeña; en este caso las partículas son entrampadas al producirse una sobresaturación de precipitado del coagulante (Sierra & Guatame, 2016).

#### 2.2.4.3 Tipos de coagulantes

A nivel industrial los coagulantes más utilizados son las sales de Aluminio y de Hierro; cuando se adiciona estas sales al agua se producen una serie de reacciones complejas, pues los productos de hidrólisis son más eficaces que los iones mismos, estas sales reaccionan con la alcalinidad del agua y producen los hidróxidos de aluminio o hierro que son insolubles y forman los precipitados.

En la planta de tratamiento de agua potable EMCODAZZI, el coagulante utilizado es el Policloruro de Aluminio comúnmente conocido como PAC-122. Este es un coagulante inorgánico líquido, indicado principalmente para remover materia coloreada y coloidal que se encuentran en suspensión en sistemas acuosos, plantas potabilizadoras de agua, afluentes y plantas de tratamiento de efluentes líquidos industriales, como reemplazo de sulfato de aluminio, cloruro férrico y otras sales inorgánicas. El PAC, incluye una serie de productos que varían en el grado de su

neutralización ácida, y polimerización, normalmente, los productos disponibles tienen una basicidad que varía desde 0-70% (Oré, 2014) .

Sin embargo, hay una cierta relación entre la turbidez del agua bruta y la dosis de coagulante, la cantidad exacta se debe determinar mediante ensayos de Jarras (JarTest) para evitar sobredosificaciones que rompan la adsorción superficial. La cantidad del coagulante a utilizar tiene influencia directa en la eficiencia de la coagulación, así (Vásconez, 2013):

- Poca cantidad del coagulante, no neutraliza totalmente la carga de la partícula, la formación de los microflóculos es muy escaso, por lo tanto la turbiedad residual es elevada.
- Alta cantidad de coagulante produce la inversión de la carga de la partícula, conduce a la formación de gran cantidad de microflóculos con tamaños muy pequeños cuyas velocidades de sedimentación son bajas, por lo tanto, la turbiedad residual es igualmente elevada.

### **2.2.5 Ensayo de Jarras (JARTEST)**

El ensayo de jarras es uno de los más importantes en el control del proceso de coagulación química de aguas, es la prueba más representativa para determinar el comportamiento de los coagulantes y floculantes, este ensayo permite simular a pequeña escala el proceso de coagulación que se lleva a cabo en la Planta de Tratamiento con el fin de determinar el tipo de coagulante más efectivo y de realizar una evaluación de la dosis optima del coagulante.

La dosis óptima de un “jar-test” es una dosis que servirá para ir ajustando el proceso, lograr el funcionamiento óptimo y el rendimiento máximo. Esta dosis es la cantidad de coagulante a adicionar durante el proceso de potabilización del agua, el cual debe ser determinada con anterioridad, está dependerá principalmente del grado de turbidez que presente el agua a tratar.

También es considerada como el volumen indicado de coagulante a una concentración determinada con la cual se logrará conseguir la formación de flóculos con mayor compactación y velocidad de sedimentación, lo que a su vez permitirá obtener un mayor porcentaje de reducción de la turbidez (Barajas et al., 2015). Por medio de la prueba de jarras se tendrá en cuenta los siguientes parámetros a evaluar:

#### **2.2.5.1 Turbiedad**

La turbiedad o turbidez es una expresión de la propiedad o efecto óptico causado por la dispersión o interferencia de los rayos luminosos que pasan a través de una muestra de agua; en otras palabras, es la propiedad óptica de una suspensión que hace que la luz sea reemitida y no transmitida a través de la suspensión. La turbiedad en un agua puede ser ocasionada por una gran variedad de materiales en suspensión que varían en tamaño, desde dispersiones coloidales hasta partículas gruesas, entre otras arcillas, limo, materia orgánica e inorgánica finamente dividida, organismos planctónicos y microorganismos. Cuanto mayor sea la cantidad de luz dispersada, mayor será la turbiedad (Rodríguez, 2008).

La determinación de turbiedad es de gran importancia en aguas para consumo humano y en una gran cantidad de industrias procesadoras de alimentos y bebidas. Los valores de turbidez sirven para determinar el grado de tratamiento requerido por una fuente de agua cruda, su filtrabilidad y consecuentemente, la tasa de filtración, así como para determinar la potabilidad del agua (Cerón, 2016).

#### **2.2.5.2 Color**

Las causas más comunes del color del agua son la presencia de hierro y manganeso coloidal o en disolución; el contacto del agua con desechos orgánicos, hojas, madera, raíces, etc., en

diferentes estados de descomposición y la presencia de taninos, ácido húmico y algunos residuos industriales. Dos tipos de color se reconocen en el agua: el color verdadero, o sea el color de la muestra una vez que su turbiedad ha sido removida, y el color aparente que incluye no solamente el color de las sustancias en disolución y coloidales sino también el color debido al material suspendido.

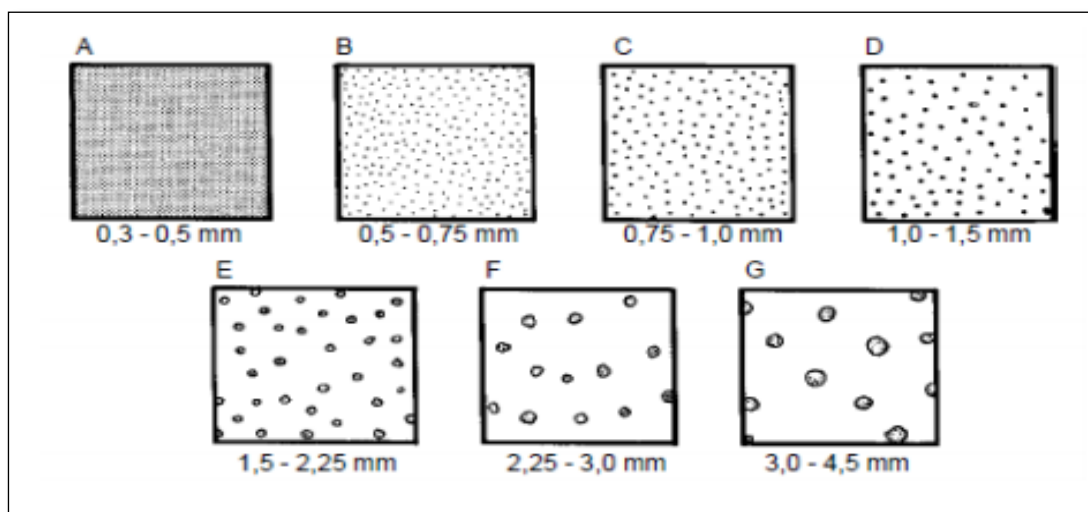
La determinación del color es importante para evaluar las características del agua, la fuente del color y la eficiencia del proceso usado para su remoción; cualquier grado de color es objetable por parte del consumidor, es por tanto, un objetivo esencial del tratamiento (Cerón, 2016).

#### **2.2.5.3 pH**

El pH es en realidad una medición de la cantidad relativa de iones de hidrógeno e hidróxido en el agua. Se considera que el pH ideal de aguas crudas y tratadas debe estar comprendido entre 6.5 y 9.0. Por lo general este rango permite controlar sus efectos en el comportamiento de otros constituyentes del agua, el pH tiene una gran influencia en la coagulación (Galindo Yantas, 2018). Es el parámetro en el que especialmente se destaca, puesto que se tiene que controlar el proceso, ya que afecta la solubilidad de los precipitados que son formados por el Aluminio, además del tiempo requerido para la formación del flóculo y la carga sobre las partículas coloidales (Dominguez A, 2010).

#### **2.2.5.4 Tamaño del Flóculo: Índice de Willcomb**

Consiste en observar la forma como se desarrolla el floc en cada una de las jarras, escogiendo aquella que produzca el floc más grande, de mayor velocidad de asentamiento aparente, y que deje ver el agua más cristalina entre las partículas coaguladas, Willcomb clasifica los flóculos por su tamaño, tal como se indica en la **Figura 1**.

**Figura 1.** Índice de Willcomb

Fuente: (Giordani et al., 2008)

La comparación de los tamaños del floc no es fácil. Algunos prefieren estimarlo de forma cualitativa, como se describe en la **Tabla 6**.

**Tabla 6.** Índice de Willcomb

| Número del índice | Descripción | Observación                                     |
|-------------------|-------------|-------------------------------------------------|
| 0                 | No visible  | Ningún signo de aglutinación                    |
| 2                 | Visible     | Floc muy pequeño, casi imperceptible            |
| 4                 | Disperso    | Floc bueno, sedimenta muy lentamente            |
| 6                 | Claro       | Floc bueno, precipita con lentitud              |
| 8                 | Bueno       | Floc bueno, que se deposita fácil pero no total |
| 10                | Excelente   | Floc muy bueno, que se deposita total           |

Fuente: (Giordani et al., 2008)

### 2.2.5.5 Ecuaciones para el porcentaje de remoción y aplicación del coagulante

Encontrado los parámetros mencionados por el “jar-test”, se puede conocer la cantidad de remoción de turbidez y color por medio de las ecuaciones 1 y 2, esto se realiza para concretar cual prueba se ajusta más al proceso comparándolo con el porcentaje de remoción obtenido de cada jarra.

*Ecuación 1. Remoción de turbidez*

$$\% \text{ Remoción} = \frac{\text{Turbidez inicial} - \text{Turbidez final}}{\text{Turbidez inicial}} * 100$$

*Ecuación 2. Remoción de color*

$$\% \text{ Remoción} = \frac{\text{Color inicial} - \text{Color final}}{\text{Color inicial}} * 100$$

Teniendo la dosis óptima de cada prueba se realiza un escalonamiento de la dosis del coagulante a la planta de tratamiento de agua potable aplicando la **ecuación 3**.

*Ecuación 3. Optimización de dosificación de coagulante*

$$\text{Volumen (mL)} = \frac{Q * D_{opt} * T}{1000 * \rho}$$

Donde:

*Volumen:* Volumen del coagulante aplicado en un determinado tiempo [mL]

*Q:* Caudal de tratamiento de entrada en la planta [L/seg]

Para la PTAP el caudal de tratamiento de entrada a la planta otorgado por la autoridad ambiental es de 171 L/seg.

*Dopt*: Dosis optima del coagulante obtenida de la prueba de jarras [mg/L]

*T*: Tiempo [5 seg]

$\rho$ : Densidad del coagulante [PAC-122: 1.29 g/mL; PAC-006: 1.25 g/mL]

## 2.3 Estado del arte

En el estudio: *Síntesis de un polímero inorgánico de aluminio y su uso para clarificación de agua* (Romero et al., 2007). Se presenta la síntesis de un polímero catiónico (policloruro de aluminio) tipo  $[Al_{13}O_4(OH)_{24}(H_2O)_{12}]^{7+}$ , a partir de cloruro de aluminio, con el propósito de evaluar su eficiencia como coagulante en el tratamiento de agua que realiza una empresa hidrológica local, de las pruebas realizadas se llevaron a cabo con diferentes intervalos de pH. Para un pH 4,50 y a partir del policloruro de aluminio, se obtuvo una mejor aplicación para el tratamiento de floculación del agua, se observaron resultados aceptables para la normativa nacional en los parámetros turbiedad, color, pH y aluminio residual, con dosis de 25 a 45 ppm.

En vista de la importancia que tiene el agua para el desarrollo de la vida en general en el planeta y con el propósito de contribuir a la solución de enormes problemas ambientales en el ámbito del agua para consumo humano, se llevó a cabo el estudio de la *Evaluación del uso del policloruro de aluminio en conjunto con sulfato de aluminio en el proceso de coagulación de una planta de potabilización de agua en el estado Carabobo* (Alvarado et al., s. f.). El objetivo de esta investigación fue la implementación del coagulante policloruro de aluminio en conjunto con sulfato de aluminio líquido para mejorar el proceso de potabilización de agua y así cumplir con la normativa vigente. Para determinar las condiciones iniciales de operación de la planta, se realizó la recopilación de datos en el proceso, como las propiedades físico-químicas del agua, y

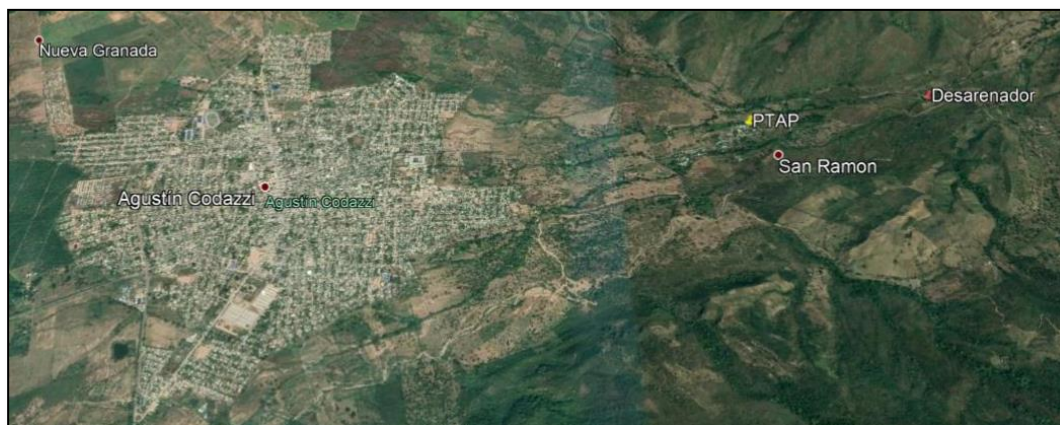
adicionalmente se determinó la eficiencia del proceso de coagulación. Del trabajo se concluyó que la dosis de policloruro de aluminio más adecuada cuando se utiliza solo en el proceso de coagulación fue de 20 mg/L. Se comprobó que el policloruro de aluminio supera en eficiencia al sulfato de aluminio líquido, aunque el costo del PAC supera el costo del sulfato de aluminio, los beneficios estimados durante la implementación del PAC como coagulante son superiores a las combinaciones realizadas, y a la condición actual.

## 2.4 Zona delimitación del proyecto

### 2.4.1 Ubicación de la Planta de tratamiento de Agua Potable

La planta de tratamiento de agua potable Emcodazzi E.S.P se encuentra ubicada vía San Ramon, con latitud  $10^{\circ}2'23.43''N$

**Figura 2.** Ubicación satelital de la Planta de tratamiento de agua potable



Fuente: Google Earth PRO

**Figura 3.** Planta de tratamiento de agua potable

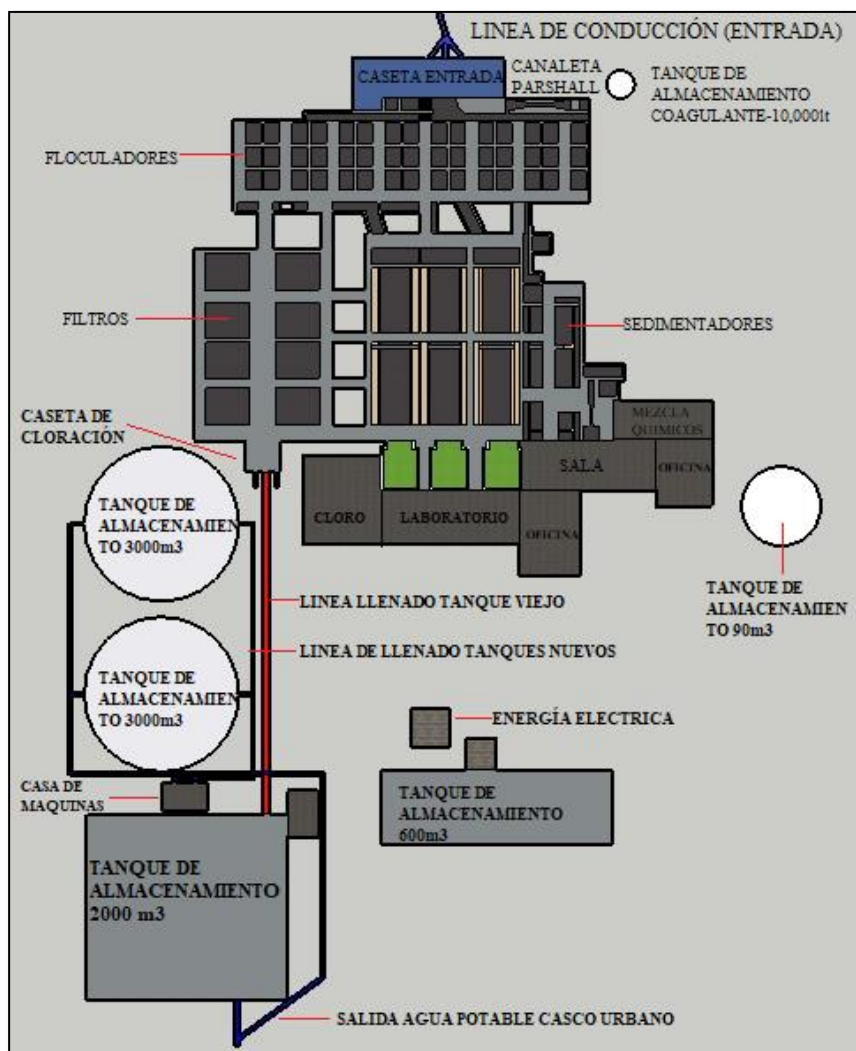


*Fuente: Propia*

#### **2.4.2 Funcionamiento de la Planta de tratamiento EMCODAZZI**

La planta de tratamiento de agua potable fue diseñada con una capacidad de 400 L/s, es de tipo convencional cuenta con un desarenador, casa de control, canaleta Parshall, coagulación, 5 cuerpos de Floculadores tipo Alabama, 4 sedimentadores, 8 Filtros y la etapa de desinfección como se describe en la **Figura 4**.

**Figura 4. Plano de la PTAP**



*Fuente: Propia*

A continuación se detalla cada etapa presente en la Planta de tratamiento de Agua Potable, desde la fuente de abastecimiento hasta la etapa de desinfección

#### 2.4.2.1 Fuente de abastecimiento

La fuente de abastecimiento del sistema de acueducto, conocido como la Bocatoma comprende no solo el punto de captación sino toda el área de la cuenca aferente; esta corresponde

a la cuenca del río Magiriaimo. Sus dimensiones son 13.20 metros de ancho, 1.5 metros de alto en lateral izquierdo, y en lateral derecho es de 0.60 metros; y 0.50 metros de ancho en su cresta. Un canal en concreto de admisión lateral, sus medidas son: 4.3 metros de largo, 1.20 metros de ancho y 0.70 metros de profundidad.

**Figura 5.** Fuente de abastecimiento (Bocatoma)



*Fuente: Propia*

#### **2.4.2.2 Aducción**

La aducción del sistema se encuentra constituida por dos partes, la primera desde la bocatoma hasta el desarenador y la segunda desde el desarenador hasta la planta de tratamiento. De la cámara de captación hasta el desarenador, el agua cruda es transportada a través de una tubería de 32 pulgadas en Polietileno de alta densidad ya que es un material altamente resistente, duradero y flexible.

### 2.4.2.3 Desarenador

El sistema cuenta con un desarenador tipo convencional semienterrado en concreto, el cual contiene dos módulos de 4.80 x 5.10 m. (área 49.0 m<sup>2</sup>). Se trata de una estructura destinada para el atrape de la arena que viene de la fuente de abastecimiento, esto ocurre principalmente por método gravitacional, garantizando un flujo lento que permita la disposición de los materiales en el fondo. Cuentan además con compuertas y estructura de exceso para el control del caudal que debe ingresar a la planta.

**Figura 6.** Desarenador



*Fuente: Propia*

### 2.4.2.4 Canaleta Parshall

Se cuenta con una Canaleta Parshall, esta ayuda a cuantificar el caudal de admisión a la planta, posee un ancho de 12''. En esta estructura se mide el caudal de ingreso que proviene de la bocatoma.

**Figura 7.** Canaleta Parshall



*Fuente: Propia*

#### **2.4.2.5 Floculadores**

En esta unidad se lleva a cabo la floculación (agrupar los sólidos suspendidos formando un floc) en mezcla lenta, proporcionada hidráulicamente por los diferentes compartimentos que conforman el floculador. En la planta se encuentran cinco (5) cuerpos de floculadores, cada uno conformado por 9 módulos. Las dimensiones de cada módulo son de 2.80m x 2.20 m.

**Figura 8.** *Unidad de Floculadores*



*Fuente: Propia*

#### **2.4.2.6 Sedimentador**

El sedimentador se usa para la retención de sólidos suspendidos (floc formado en la unidad anterior) por efecto gravitacional, es la unidad siguiente al floculador y su efectividad depende de los factores hidráulicos como la calidad del floc formado, distribución, velocidad de entrada y salida del agua. Cada sedimentador tiene dimensiones de 16m x 4.0 m.

**Figura 9.** *Unidad de Sedimentador*



*Fuente: Propia*

#### **2.4.2.7 Filtración**

Este procedimiento consiste en presionar el agua a través de un cuerpo poroso y permeable, que a su paso abandona las sustancias en suspensión y amenora su contenido en bacterias y de materias en disolución. En la planta hay ocho (8) filtros rápidos con lecho de grava, arena y antracita, apoyados sobre falsos fondos Leopold, cada filtro es de 4.0x4.0 m para un área superficial de 16.0 m<sup>2</sup>.

**Figura 10.** Unidad de Filtros



*Fuente: Propia*

#### **2.4.2.8 Desinfección**

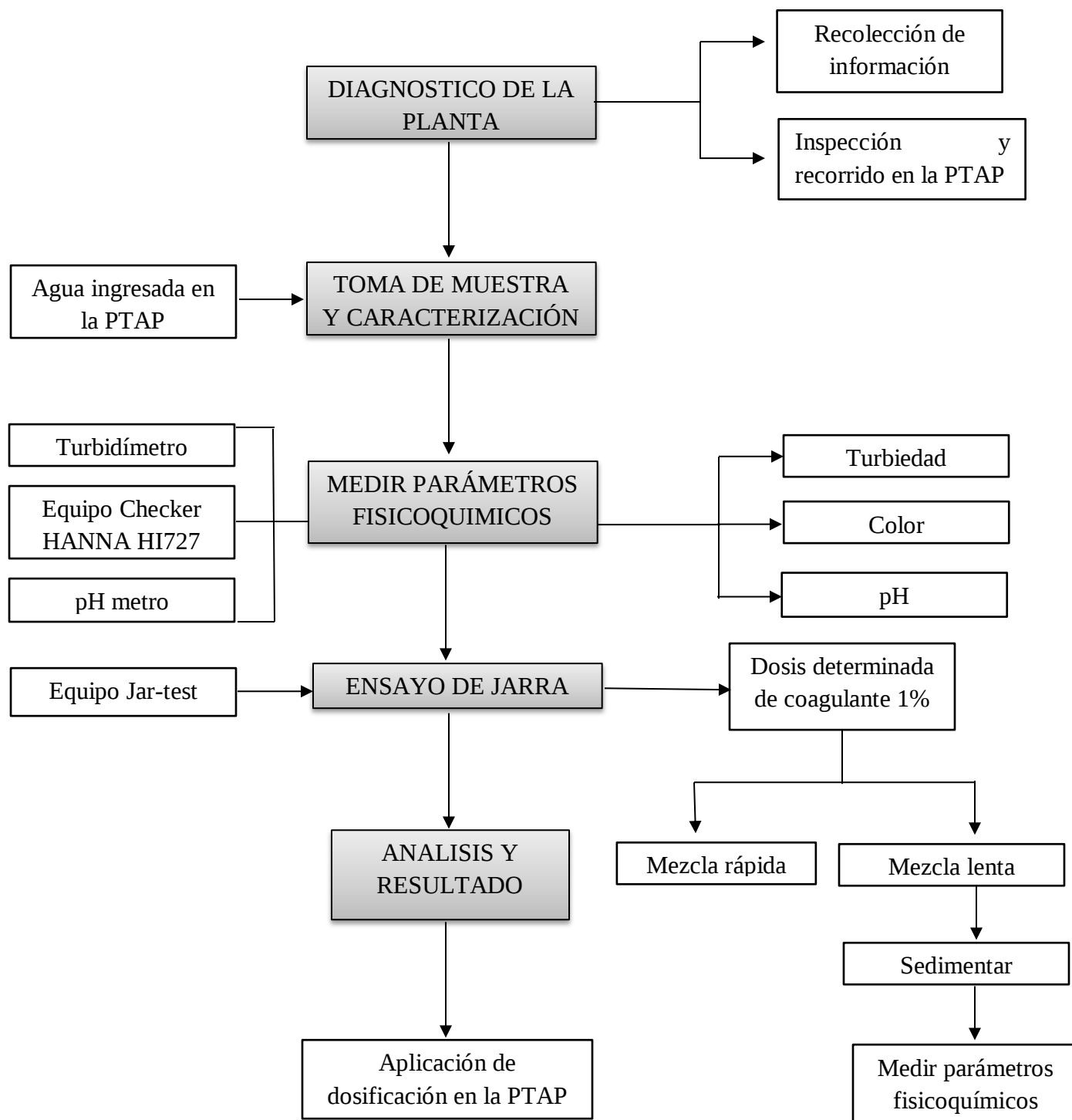
La desinfección del agua se logra con la aplicación de cloro gaseoso por medio de clorador de tipo de solución al vacío, en el que el gas (cloro) se succiona por medio de un inyector (Venturi) para mezclarlo con el agua proveniente del sistema de bombeo de los equipos de respaldo, con la finalidad de eliminar los microorganismos patógenos contenidos en el agua, que no han sido eliminados en las fases iniciales del tratamiento. En la planta se aplica cloro gaseoso utilizando un cilindro de 1.000 Kg, en promedio se aplica 100 Lb/día de cloro gaseoso (1.6 mg/L).

## Capítulo III

### 3 Metodología

El estudio se empezó a partir de un diagnóstico general de la PTAP, posteriormente, se realizaron caracterizaciones físicoquímicas del agua cruda y tratada a través de ensayos de jarras, y por último, se elaboró un análisis e interpretación de los resultados obtenidos para su siguiente aplicación en la planta de tratamiento de agua potable con el fin de mejorar la calidad del agua, como se describe en la **Figura 11**. Las caracterizaciones realizadas en el proyecto se llevaron a cabo con los equipos de HANNA el cual se explicaran los diferentes en cada etapa.

**Figura 11.** Metodología aplicada en el proyecto.



### **3.1 Etapa 1. Diagnóstico de la planta de potabilización**

Por medio de una inspección y recorrido en la planta de tratamiento de agua potable se conoció la secuencia del proceso, la importancia de cada una de las etapas que lo conforman, los turnos que se laboran para la obtención del agua potable y se identificó las condiciones de operación, ubicación y funcionamiento de cada uno de los equipos empleados en el tratamiento. Además, para determinar las condiciones iniciales de operación se realizó la recopilación de datos como las propiedades físico-químicas realizadas anteriormente para el agua cruda proveniente de la fuente de abastecimiento (Rio Magiriaimo) y algunas caracterizaciones físico-químicas del agua potable de los puntos de muestreo de la empresa Emcodazzi (**Anexo 3; Anexo 4**).

### **3.2 Etapa 2. Toma de muestras y caracterización del agua cruda.**

Se realizaron tomas de muestras diarias de agua cruda proveniente de la bocatoma en temporada de lluvias desde el mes de febrero hasta mayo, y se almacenaron en recipientes plásticos, se procedió a sus respectivos análisis físico-químicos antes de ser empleados en la prueba de jarras.

En los días que no se presentaron lluvias, se simuló el proceso de agua cruda con arena para así mismo generar turbiedades medias y altas.

#### **3.2.1 Determinación de la turbiedad**

La turbidez es la medida del grado en el cual el agua pierde su transparencia debido a la presencia de partículas en suspensión. Cuantos más sólidos en suspensión haya en el agua, más sucia parecerá ésta y más alta será la turbidez.

##### **3.2.1.1 Procedimiento y manejo del turbidímetro**

El equipo HI93703 es un medidor de turbidez de alta exactitud, utilizado para determinar la turbidez del agua y las aguas residuales tanto en el campo como en el laboratorio. Cumple requisitos del método ISO 7027 para mediciones de turbidez (*Turbidímetro portátil (0,00 a 1000 FTU)*, s. f.). Se debe cuidar que los envases de vidrio que contienen las muestras estén completamente limpios y libres de huellas dactilares o suciedad, tanto externa como internamente, limpiar con papel antes de hacer cada medición.

**Figura 12.** Equipo HI93703



*Fuente: Propia*

Para la lectura de las muestras, se enciende el turbidímetro y se dispone primero a la medición de la muestra en blanco (muestra de agua destilada, para asegurar que el equipo se encuentra calibrado), se hunde el botón READ para empezar su respectiva lectura. Cuando se encuentre en 0.00 NTU se dispone a realizar la lectura de la muestra de interés; en caso de que la

muestra en Blanco no se encuentre en 0.00 se recomienda limpiar adecuadamente la celda y repetir la lectura. El valor máximo calculado por el equipo HI93703 es de 1000 NTU.

### **3.2.2 Determinación del color del agua**

El equipo de referencia Checker HANNA HI727 es un medidor de bolsillo digital el cual tiene como objetivo realizar test de color del agua. El equipo cuenta con dos cubetas o celdas y es apto para tener un estimado del color presente en la muestra de interés. Este proceso cuenta con medidas precisas y sencillas (*Checker Color del Agua (0 a 500 PCU)*, s. f.).

**Figura 13.** Equipo Checker HI727



*Fuente: Propia*

#### **3.2.2.1 Procedimiento y manejo del HI727**

El medidor digital es muy sencillo de utilizar y posee una muestra directa en la pantalla del valor del color para la muestra de agua de interés. El valor máximo de lectura del HI727 es hasta

500 PCU y cuenta con dos (2) celdas, la primera que es la muestra en blanco y la segunda la muestra de interés.

El equipo tiene un solo botón, al encender mostrara un “C1” haciendo referencia a la primera muestras, después de realizar su lectura arrojan un “C2” se introduce la segunda muestra. Finalmente, el medidor digital mostrará el valor del color del agua de interés.

### **3.2.3 Determinación potencial del Hidrogeno (pH)**

El pH se define como el logaritmo del inverso de la concentración de iones de hidrógeno y representa el grado de alcalinidad o acidez de una solución. El uso del equipo es bastante sencillo y preciso, cuenta con un botón de encendido, luego se coloca el pHmetro en la muestra de interés. Este equipo HANNA HI98127 arrojará el pH de la muestra y la temperatura de la misma (*Tester de pH / Temperatura, s. f.*).

**Figura 14.** Equipo HI98127



*Fuente: (Tester de pH / Temperatura, s. f.)*

### **3.3 Etapa 3. Ensayo de jarras**

#### **3.3.1 *Solución de coagulante al 1%***

Para la preparación se tuvo en cuenta la densidad de los coagulantes a utilizar que es de 1.29 g/mL PAC-122 y 1.25 g/mL PAC-006, para la solución se toman aproximadamente 0.77 mL y 0.8 mL respectivamente del químico y se añade a un balón aforado de 100 mL, donde se enrasa con agua destilada. Esta solución tiene una duración de 5 días o hasta que se consuma por completo y se prepara una nueva solución con el mismo procedimiento.

La ventaja de tomar un litro de muestra es que cada mililitro de solución de coagulante al 1% serán 10 ppm (mg/L) cuando se adicionen en la jarras.

#### **3.3.2 *Procedimiento para determinar dosis optima de coagulante***

En estas pruebas se trabaja con dos tipos de coagulante pertenecientes a las sales de aluminio (Policloruro de Aluminio y PAC 006)

Se empezó con la medición de los parámetros de pH, color, y turbiedad de la muestra cruda. Seguidamente, en cuatro vasos precipitados de 1000 mL se adicionó 1 litro de la muestra de agua cruda.

**Figura 15.** Muestras de agua cruda



*Fuente: Propia*

Una vez encendido el equipo *Jartest*, se realiza el montaje del equipo con las muestras a evaluar, el procedimiento dispone de dos tiempos de retención., la primera Mezcla rápida, tiene por objeto dispersar la totalidad del coagulante dentro del volumen del agua a tratar donde se dispone a una agitación de 100 rpm en un tiempo de 2 minutos, transcurrido el tiempo, se continúa con la Mezcla lenta, donde tiene por objeto desarrollar los microflóculos en un tiempo de 20 minutos a 40 rpm.

**Figura 16.** *Ensayo de Jarras*



*Fuente: propia*

En el primer tiempo, se empieza trabajando con el PAC-122 y se adiciona el coagulante en forma creciente y simultáneamente en todos los vasos, este proceso es importante realizarlo al mismo tiempo para las diferentes muestras, ya que se compara cual dosis es la más óptima en cuanto a la formación de los flóculos y remoción de turbidez. Transcurrido los 2 minutos, se emplea la mezcla lenta y terminado su tiempo se retira los agitadores y se deja en reposo por 20 minutos.

**Figura 17.** Agua tratada sedimentada



*Fuente: Propia*

Finalmente, al terminar el tiempo de sedimentación, se tomó una muestra de cada jarra y se determinaron las caracterizaciones físico-químicas, como son pH, color y turbiedad.

Este procedimiento se realizó por triplicado para cada muestra y se repitió para el PAC-006. Una vez obtenido los resultados de todos los ensayos, se escogió el coagulante óptimo con mayor remoción en los parámetros de color y turbiedad.

### **3.4 Etapa 4. Análisis e interpretación de resultados**

#### **3.4.1 Dosificación en planta de tratamiento de agua potable.**

Una vez establecida la dosis óptima del coagulante más efectivo en el proceso de coagulación, se procedió a la optimización de la dosificación del coagulante, con el fin de ser empleado en la planta de tratamiento de agua potable. Por último, se redactó el documento final con sus respectivos análisis de los ensayos durante el tiempo del proyecto.

## Capítulo IV

### 4 Resultados y análisis

En esta sección se realiza la comparación de dos (2) coagulantes y la dosis del coagulante que presente mejores resultados en cuanto a los parámetros fisicoquímicos, en el proceso de clarificación de las muestras del agua cruda del Rio Magiriaimo obtenidas en épocas de lluvias.

En el desarrollo experimental los ensayos se realizaron por triplicado para cada muestra evaluada en el test de jarra, con el fin de obtener una mayor precisión de la dosis óptima de los diferentes coagulantes estimados en el proyecto.

#### 4.1 Determinación de la dosis optima de coagulante

Para evaluar la dosis óptima de coagulante se realizaron ensayos previos en los cuales se establecieron condiciones de gradientes y tiempos de mezcla rápida, mezcla lenta y sedimentación. Además, las muestras evaluadas son de turbiedades clasificadas como bajas, medias y altas obtenidas por época de lluvia, la aplicación de la dosis se añadió de forma creciente para cada uno de los ensayos generales.

##### 4.1.1 *Turbiedades bajas*

Son aquellas muestras de agua cruda fácil de tratar y requiere poca cantidad de coagulante para su tratamiento. Como se había expresado la ventaja de tomar un litro de muestra es que cada mililitro de solución de coagulante al 1% será 10ppm cuando se adicionan en cada jarra. En la **Tabla 7** y **Tabla 8** se encuentran los resultados obtenidos de cada ensayo.

**Tabla 7.** Prueba de Jarra variando cantidad de coagulante para una turbiedad de 45.5 NTU

| Prueba<br>N° 1                                                                                                                                                                                | CONDICIONES PRUEBA DE JARRAS       |                                   |                                  | TIPO DE COAGULANTE     |         | CARACTERISTICAS DEL AGUA CRUDA                                                                                       |         |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------|-----------------------------------|----------------------------------|------------------------|---------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------|
|                                                                                                                                                                                               | Mezcla rápida:<br><br>100 rpm-2min | Mezcla lenta:<br><br>40 rpm-20min | Sedimentación:<br><br>0rpm-20min | PAC-122<br><br>PAC-006 |         | <div>MUESTRA</div> <div>pH: 8.43</div> <div>Color: 120</div> <div>Turbiedad: 45.5</div> <div>Temperatura: 26.5</div> |         |
|                                                                                                                                                                                               |                                    |                                   |                                  |                        |         |                                                                                                                      |         |
|                                                                                                                                                                                               | Prueba de Jarras                   | Agua sedimentada                  |                                  |                        |         |                                                                                                                      |         |
| Jarra<br>N°                                                                                                                                                                                   | Dosis de coagulante (mg/L)         | Color (UPC)                       |                                  | Turbiedad (NTU)        |         | pH                                                                                                                   |         |
|                                                                                                                                                                                               |                                    | PAC-122                           | PAC-006                          | PAC-122                | PAC-006 | PAC-122                                                                                                              | PAC-006 |
| 1                                                                                                                                                                                             | 5                                  | 60                                | 60                               | 33.14                  | 38      | 7.98                                                                                                                 | 8.03    |
| 2                                                                                                                                                                                             | 8                                  | 20                                | 25                               | 9.37                   | 15.8    | 7.85                                                                                                                 | 7.76    |
| 3                                                                                                                                                                                             | 10                                 | 15                                | 15                               | 0.67                   | 7.65    | 7.71                                                                                                                 | 7.43    |
| 4                                                                                                                                                                                             | 15                                 | 15                                | 5                                | 1.46                   | 0.5     | 7.75                                                                                                                 | 7.89    |
| <b>Observaciones:</b> La dosis óptima aplicada para las características de entrada del agua es de 10 ppm, el flocs formado en esta prueba según el índice de Willcomb se clasifica “Visible”. |                                    |                                   |                                  |                        |         |                                                                                                                      |         |

Fuente: Propia

**Tabla 8.** Prueba de Jarra variando cantidad de coagulante para una turbiedad de 100 NTU

| Prueba<br>N° 2                                                                                                                                                                                               | CONDICIONES PRUEBA DE JARRAS       |                                   |                                 | TIPO DE COAGULANTE     |         | CARACTERISTICAS DEL AGUA CRUDA                                                                                    |          |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------|-----------------------------------|---------------------------------|------------------------|---------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------|
|                                                                                                                                                                                                              | Mezcla rápida:<br><br>100 rpm-2min | Mezcla lenta:<br><br>40 rpm-20min | Sedimentación<br><br>0rpm-20min | PAC-122<br><br>PAC-006 |         | <div>MUESTRA</div> <div>pH: 7.87</div> <div>Color: 325</div> <div>Turbiedad: 100</div> <div>Temperatura: 25</div> |          |
|                                                                                                                                                                                                              |                                    |                                   |                                 |                        |         |                                                                                                                   |          |
|                                                                                                                                                                                                              | Prueba de Jarras                   | Agua sedimentada                  |                                 |                        |         |                                                                                                                   |          |
| Jarra<br>N°                                                                                                                                                                                                  | Dosis de coagulante (mg/L)         | Color (UPC)                       |                                 | Turbiedad (NTU)        |         | pH                                                                                                                |          |
|                                                                                                                                                                                                              |                                    | PAC -122                          | PAC-006                         | PAC-122                | PAC-006 | PAC-122                                                                                                           | PAC -006 |
| 1                                                                                                                                                                                                            | 5                                  | 25                                | 70                              | 45                     | 65.9    | 7.7                                                                                                               | 7.65     |
| 2                                                                                                                                                                                                            | 10                                 | 15                                | 20                              | 8.25                   | 27.34   | 7.65                                                                                                              | 7.57     |
| 3                                                                                                                                                                                                            | 15                                 | 0                                 | 10                              | 2                      | 6.3     | 7.54                                                                                                              | 7.45     |
| 4                                                                                                                                                                                                            | 20                                 | 0                                 | 10                              | 2.1                    | 2.72    | 7.6                                                                                                               | 7.51     |
| <div>Observaciones:</div> <div>La dosis óptima aplicada para las características de entrada del agua es de 15 ppm el flocs formado en esta prueba según el índice de Willcomb se clasifica “Disperso”.</div> |                                    |                                   |                                 |                        |         |                                                                                                                   |          |

Fuente: Propia

Se observa que el coagulante PAC-122 en cualquiera de las dosis aplicadas para turbiedades bajas presento un mejor comportamiento y a su vez logro la disminución de los parámetros evaluados de acuerdo con la normativa vigente. Bajo estas condiciones, para turbiedades de 45.5 NTU se obtuvo una dosis óptima de 10 ppm de coagulante y para turbiedades de 100 NTU la mejor dosificación fue de 15 ppm, presentando una mejor eficiencia en el proceso y mayor remoción de las partículas coloidales, ya a partir de ese punto una mayor dosificación de

coagulante no mejoraría los resultados significativamente. En el caso del PAC-006 se requiere una mayor cantidad de coagulante para remover los parámetros de interés, generando así, un mayor gasto del químico en la PTAP y por ende se tiene más gastos económicos.

El tamaño del flocs formado para ambos coagulantes utilizado en el proceso para una turbiedad de 45.5 NTU, fueron similares, clasificados según el Índice de Willcomb (**Tabla 6**) como categoría o índice 2 “*Visible*”, el floculo formado era pequeño y en este ensayo se obtuvo una mayor sedimentación de los flóculos con el PAC-122. Para turbiedades de 100 NTU, el tamaño del flocs formado se clasificó de tipo 4 “*Disperso*”, el flóculo se encontraba bien formado, aunque requería de más tiempo para sedimentar.

#### 4.1.1.1 Porcentaje de remoción de turbiedades bajas

En la **Figura 18** se determina la eficiencia de remoción de turbiedad de acuerdo a la dosis del PAC-122 y PAC-006 para las diferentes turbiedades reportadas en agua cruda entrante, este porcentaje de remoción se obtuvo de la **ecuación 1**.

Aplicando la ecuación para el primer ensayo de 5 ppm del coagulante PAC-122 y PAC-006 respectivamente, se obtiene la **Tabla 9** de la siguiente manera:

$$\% \text{ Remoción turbiedad} = \frac{45.5 - 33.14}{45.5} * 100 = 25.67\%$$

$$\% \text{ Remoción turbiedad} = \frac{45.5 - 36.7}{45.5} * 100 = 19.34\%$$

Este procedimiento se aplica para cada una de las turbiedades obtenidas después de la clarificación del agua en cada ensayo de jarra, con el fin de determinar el porcentaje de remoción

y además se compara cuál de los dos coagulantes posee un mayor comportamiento en cuanto al parámetro evaluado.

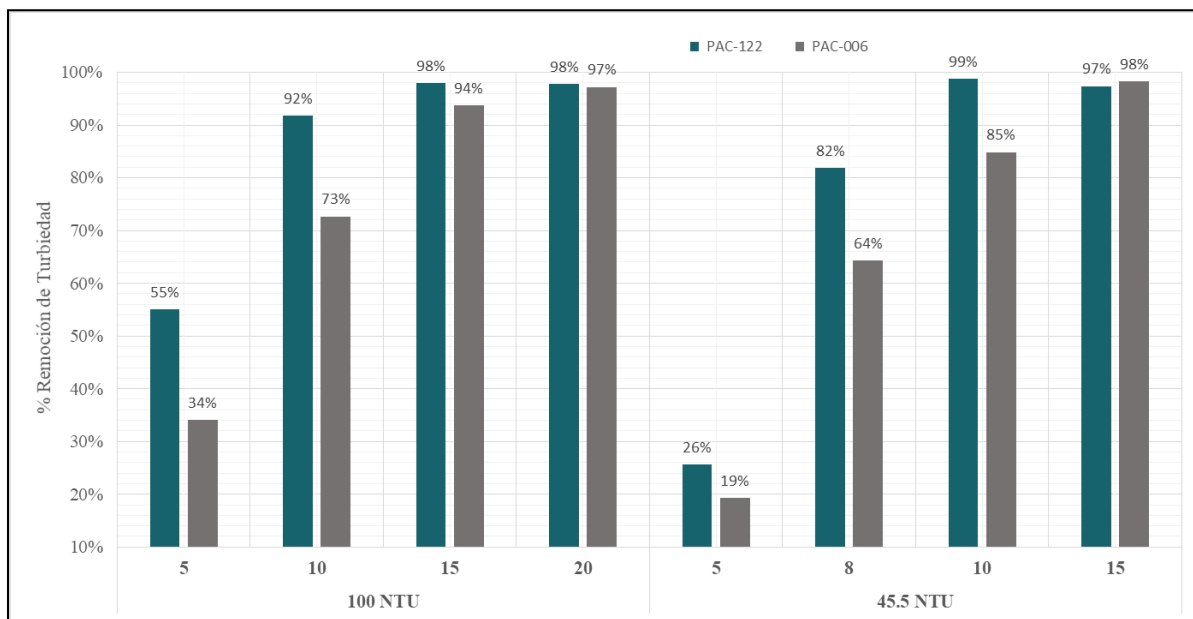
**Tabla 9.** Porcentaje de remoción de turbiedades bajas

| <b>PORCENTAJE DE REMOCIÓN DE TURBIEDAD</b> |                 |                                     |                |                |
|--------------------------------------------|-----------------|-------------------------------------|----------------|----------------|
| <b>TURBIEDAD</b>                           | <b>JARRA N°</b> | <b>DOSIS<br/>APLICADA<br/>(ppm)</b> | <b>PAC-122</b> | <b>PAC-006</b> |
| 45.5 NTU                                   | 1               | 5                                   | 25.67          | 19.34          |
|                                            | 2               | 8                                   | 81.87          | 64.33          |
|                                            | 3               | 10                                  | 98.81          | 84.86          |
|                                            | 4               | 15                                  | 97.36          | 98.24          |
| 100 NTU                                    | 1               | 5                                   | 55.00          | 34.10          |
|                                            | 2               | 10                                  | 91.75          | 72.66          |
|                                            | 3               | 15                                  | 98.00          | 93.70          |
|                                            | 4               | 20                                  | 97.84          | 97.20          |

*Fuente: Propia*

A partir de cada ensayo se puede observar que el coagulante con mayor desestabilización de partículas coloidales y con un mejor comportamiento en cuanto a remoción de turbiedad es el PAC-122, obteniendo una remoción para la dosis óptima del 98.81% más efectiva en comparación con el PAC-006.

**Figura 18.** Análisis comparativo del porcentaje de remoción para turbiedades bajas



*Fuente: Propia*

Para turbiedades bajas se detalla que en todas las dosificaciones aplicadas el PAC-122 logro la mayor remoción de la turbiedad en una cantidad de dosis menor que la presentada por el PAC-006, este coagulante demostró ser más efectivo ya que en la mayoría de sus resultados se la disminución de este parámetros en casi totalidad.

#### 4.1.1.2 Porcentaje de remoción de color para turbiedades bajas

En la **figura 19** se especifica la eficiencia de remoción del color de acuerdo a la dosis aplicada del PAC-122 y PAC-006 para las características del agua cruda entrante de cada ensayo, este porcentaje de remoción se obtuvo de la **ecuación 2**.

Aplicando la ecuación para el primer ensayo de 5 ppm del coagulante PAC-122 y PAC-006 respectivamente, se construye la **Tabla 10** de la siguiente manera:

$$\% \text{ Remoción color} = \frac{120 - 60}{120} * 100 = 50\%$$

$$\% \text{ Remoción color} = \frac{120 - 60}{120} * 100 = 50\%$$

Este procedimiento se aplica para cada parámetro de color obtenido después de la clarificación del agua cruda en cada prueba de jarras, además se determina cuál de los dos coagulante posee un mayor comportamiento en cuanto al parámetro evaluado.

**Tabla 10.** Porcentaje de remoción del color para turbiedades bajas

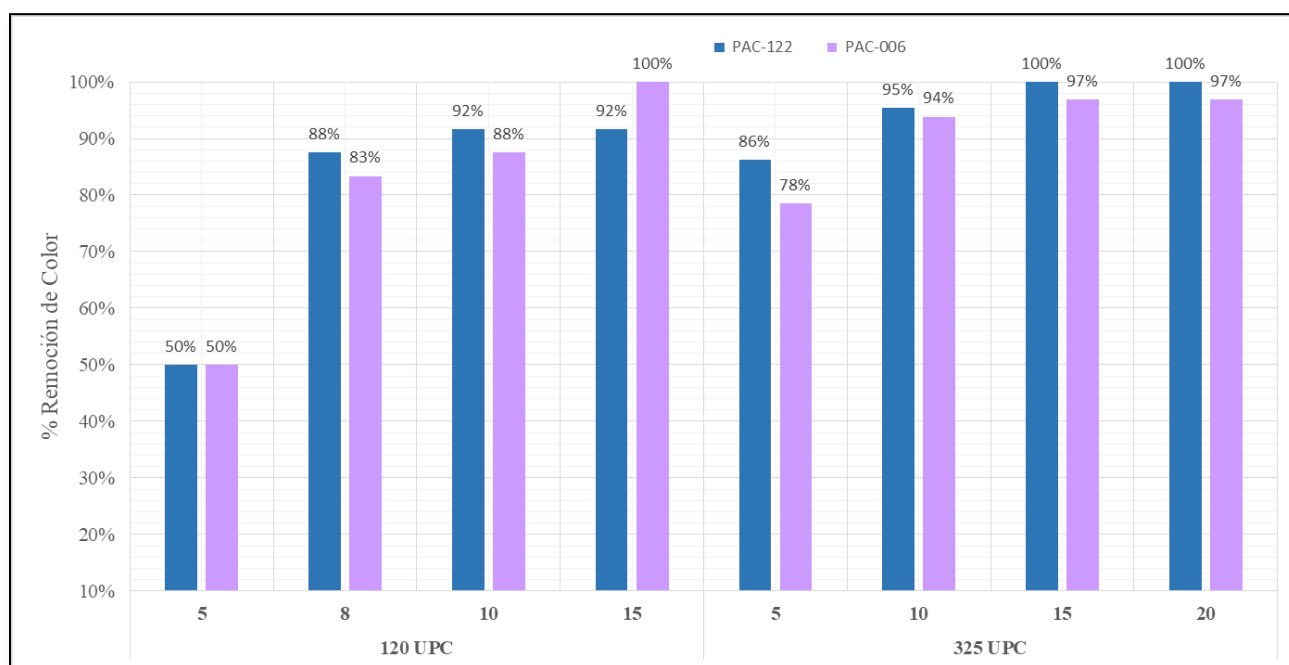
| PORCENTAJE DE REMOCIÓN DE COLOR |          |                   |         |         |
|---------------------------------|----------|-------------------|---------|---------|
| COLOR                           | JARRA N° | DOSIS             | PAC-122 | PAC-006 |
|                                 |          | APLICADA<br>(ppm) |         |         |
| 120 UPC                         | 1        | 5                 | 50.00   | 50.00   |
|                                 | 2        | 8                 | 87.50   | 83.33   |
|                                 | 3        | 10                | 91.67   | 87.50   |
|                                 | 4        | 15                | 91.67   | 100.00  |
| 325 UPC                         | 1        | 5                 | 86.15   | 78.46   |

|   |    |        |       |
|---|----|--------|-------|
| 2 | 10 | 95.38  | 93.85 |
| 3 | 15 | 100.00 | 96.92 |
| 4 | 20 | 100.00 | 96.92 |

*Fuente: Propia*

Como se observa en el caso de los coagulantes utilizados, las dos últimas dosis aplicadas en cada ensayo cumplen con el valor mínimo establecido del color para el agua potable, consignados en la normativa. Sin embargo, los resultados con mayor porcentaje de remoción fue el PAC-122, el coagulante logró remover en totalidad este parámetro evaluado.

**Figura 19.** Análisis comparativo del porcentaje de remoción de color para turbiedades bajas



*Fuente: Propia*

Se realiza un análisis comparativo de los dos coagulantes según el porcentaje de remoción que presento cada uno, se observa que en todos los ensayos el PAC-122 obtiene mejor comportamiento con respecto al PAC-006. Para la dosis óptima encontrada del mejor coagulante se presentó una remoción del 92% y 100% para cada prueba, logrando así, que para turbiedades bajas se cumpla con la normativa estipulada.

#### 4.1.2 Turbiedades medias

Son consideradas turbiedades medias aquellas que se encuentran por encima de 200 NTU hasta 400 NTU donde se requiere una cantidad moderada y adecuada de coagulante para que se presente su respectivo tratamiento y así cumplir con los criterios establecidos. A continuación se presentan los ensayos realizados para estas turbiedades

**Tabla 11.** Prueba de Jarra variando cantidad de coagulante para una turbiedad de 220 NTU

| Prueba<br>N° 3   | CONDICIONES PRUEBA DE JARRAS   |                               |                              | TIPO DE COAGULANTE | CARACTERISTICAS DEL AGUA CRUDA |         |          |
|------------------|--------------------------------|-------------------------------|------------------------------|--------------------|--------------------------------|---------|----------|
|                  | Mezcla rápida:<br>100 rpm-2min | Mezcla lenta:<br>40 rpm-20min | Sedimentación:<br>0rpm-20min | PAC-122<br>PAC-006 |                                |         |          |
|                  |                                |                               |                              |                    |                                |         |          |
| Prueba de Jarras |                                |                               | Agua sedimentada             |                    |                                |         |          |
| Jarra<br>N°      | Dosis de coagulante (mg/L)     | Color (UPC)                   |                              | Turbiedad (NTU)    |                                | pH      |          |
|                  |                                | PAC -122                      | PAC-006                      | PAC-122            | PAC-006                        | PAC-122 | PAC -006 |
| 1                | 10                             | 325                           | 300                          | 132                | 150                            | 7.53    | 7.58     |
| 2                | 15                             | 275                           | 225                          | 82.68              | 95                             | 7.49    | 7.4      |
| 3                | 25                             | 10                            | 30                           | 1.32               | 12.55                          | 7.42    | 7.4      |

**MUESTRA**

**pH: 7.65**

**Color: >500**

**Turbiedad: 220**

#### MUESTRA

pH: 7.65

Color: >500

Turbiedad: 220

|                                                                                                                                                                                                         |    |    |    |      |      |      |      |                          |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|----|----|------|------|------|------|--------------------------|
| 4                                                                                                                                                                                                       | 30 | 10 | 15 | 1.82 | 7.45 | 7.38 | 7.43 | <b>Temperatura: 25.8</b> |
| <b>Observaciones:</b> La dosis óptima aplicada para las características de entrada del agua es de 25 ppm el flocs formado en esta prueba según el índice de Willcomb se clasifica “ <i>Excelente</i> ”. |    |    |    |      |      |      |      |                          |

Fuente: Propia

**Tabla 12.** Prueba de Jarra variando cantidad de coagulante para una turbiedad de 290 NTU

| Prueba<br>N° 4 | CONDICIONES PRUEBA DE JARRAS   |                               |                              | TIPO DE COAGULANTE     | CARACTERISTICAS DEL AGUA CRUDA                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |  |  |
|----------------|--------------------------------|-------------------------------|------------------------------|------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--|--|
|                | Mezcla rápida:<br>100 rpm-2min | Mezcla lenta:<br>40 rpm-20min | Sedimentación:<br>0rpm-20min | PAC-122<br><br>PAC-006 | <u>MUESTRA</u><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br>< |  |  |

Fuente: Propia

**Tabla 13.** Prueba de Jarra variando cantidad de coagulante para una turbiedad de 340 NTU

| Prueba<br>N° 5                                                                                                                                                                                 | CONDICIONES PRUEBA DE JARRAS   |                               |                              | TIPO DE COAGULANTE |         | CARACTERISTICAS DEL AGUA CRUDA                                                      |          |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------|-------------------------------|------------------------------|--------------------|---------|-------------------------------------------------------------------------------------|----------|
|                                                                                                                                                                                                | Mezcla rápida:<br>100 rpm-2min | Mezcla lenta:<br>40 rpm-20min | Sedimentación:<br>0rpm-20min | PAC-122            | PAC-006 | <u>MUESTRA</u><br><br>pH: 7.6<br>Color: >500<br>Turbiedad: 340<br>Temperatura: 23.6 |          |
|                                                                                                                                                                                                |                                |                               |                              |                    |         |                                                                                     |          |
| Prueba de Jarras                                                                                                                                                                               | Agua sedimentada               |                               |                              |                    |         |                                                                                     |          |
| Jarra<br>N°                                                                                                                                                                                    | Dosis de coagulante (mg/L)     | Color (UPC)                   |                              | Turbiedad (NTU)    |         | pH                                                                                  |          |
|                                                                                                                                                                                                |                                | PAC -122                      | PAC -006                     | PAC-122            | PAC-006 | PAC-122                                                                             | PAC -006 |
| 1                                                                                                                                                                                              | 25                             | 10                            | 15                           | 2.14               | 7.96    | 7.58                                                                                | 7.6      |
| 2                                                                                                                                                                                              | 30                             | 0                             | 15                           | 0                  | 5.19    | 7.53                                                                                | 7.56     |
| 3                                                                                                                                                                                              | 35                             | 0                             | 0                            | 0.77               | 0.98    | 7.55                                                                                | 7.5      |
| 4                                                                                                                                                                                              | 40                             | 0                             | 0                            | 0.3                | 1.32    | 7.5                                                                                 | 7.52     |
| <b>Observaciones:</b> La dosis óptima aplicada para las características de entrada del agua es de 30 ppm el flocs formado en esta prueba según el índice de Willcomb se clasifica “Excelente”. |                                |                               |                              |                    |         |                                                                                     |          |

Fuente: Propia

**Tabla 14.** Prueba de Jarra variando cantidad de coagulante para una turbiedad de 422 NTU

| Prueba<br>N° 6                                                                                                                                                                          | CONDICIONES PRUEBA DE JARRAS   |                               |                              | TIPO DE COAGULANTE |         | CARACTERISTICAS DEL AGUA CRUDA                                                                                         |          |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------|-------------------------------|------------------------------|--------------------|---------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------|
|                                                                                                                                                                                         | Mezcla rápida:<br>100 rpm-2min | Mezcla lenta:<br>40 rpm-20min | Sedimentación:<br>0rpm-20min | PAC-122<br>PAC-006 |         | <div>MUESTRA</div> <div>pH: 7.6</div> <div>Color: &gt;500</div> <div>Turbiedad: 422</div> <div>Temperatura: 29.7</div> |          |
|                                                                                                                                                                                         |                                |                               |                              |                    |         |                                                                                                                        |          |
|                                                                                                                                                                                         | Prueba de Jarras               | Agua sedimentada              |                              |                    |         |                                                                                                                        |          |
| Jarra<br>N°                                                                                                                                                                             | Dosis de coagulante (mg/L)     | Color (UPC)                   |                              | Turbiedad (NTU)    |         | pH                                                                                                                     |          |
|                                                                                                                                                                                         |                                | PAC -122                      | PAC-006                      | PAC -122           | PAC-006 | PAC-122                                                                                                                | PAC -006 |
| 1                                                                                                                                                                                       | 30                             | 5                             | 20                           | 1.84               | 2.01    | 7.55                                                                                                                   | 7.58     |
| 2                                                                                                                                                                                       | 32                             | 0                             | 10                           | 1.29               | 1.6     | 7.52                                                                                                                   | 7.55     |
| 3                                                                                                                                                                                       | 40                             | 5                             | 15                           | 3.27               | 1.32    | 7.46                                                                                                                   | 7.52     |
| 4                                                                                                                                                                                       | 45                             | 5                             | 15                           | 5.43               | 3.55    | 7.43                                                                                                                   | 7.5      |
| Observaciones: La dosis óptima aplicada para las características de entrada del agua es de 32 ppm el flocs formado en esta prueba según el índice de Willcomb se clasifica “Excelente”. |                                |                               |                              |                    |         |                                                                                                                        |          |

Fuente: Propia

En los ensayos de jarras realizados para turbiedades de 220 NTU (**Tabla 11**) 290 NTU (**Tabla 12**), 340 NTU (**Tabla 13**), y 422 NTU (**Tabla 14**), se observa que el coagulante PAC-122 ofrece mejores resultados en cualquiera de las dosis aplicadas, cumpliendo así con los criterios exigidos por la normativa establecida. Bajo estas condiciones, se clasifica como dosis óptima 25 ppm para turbiedades de 220 NTU y 290 NTU, 30 ppm, 32 ppm para las turbiedades de 340 NTU y 422 NTU respectivamente, ya partir de ese punto de dosificación, una mayor dosis de coagulante no mejoraría los resultados significativamente en las pruebas.

El tamaño del flocs formado para todos los ensayos a turbiedades medias tuvieron un comportamiento similar, clasificados según el **Índice de Willcomb** de tipo 10 “*Excelente*”, el flóculo se encontraba bien formado, sedimentó con mayor facilidad obteniendo una formación de lodo resultante más compacta.

#### 4.1.2.1 Porcentaje de remoción de turbiedades medias

A continuación se presenta la eficiencia de remoción de turbiedad de acuerdo a la dosis de los coagulantes aplicado, el porcentaje de remoción se obtuvo de la **ecuación 1**. Como se detalla en la **Tabla 15**.

**Tabla 15.** Porcentaje de remoción de turbiedades medias

| PORCENTAJE DE REMOCIÓN DE TURBIEDAD |          |                            |         |         |
|-------------------------------------|----------|----------------------------|---------|---------|
| TURBIEDAD                           | JARRA N° | DOSIS<br>APLICADA<br>(ppm) | PAC-122 | PAC-006 |
| 220 NTU                             | 1        | 10                         | 40.00   | 31.82   |
|                                     | 2        | 15                         | 62.42   | 56.82   |
|                                     | 3        | 25                         | 99.40   | 94.30   |
|                                     | 4        | 30                         | 99.17   | 96.61   |
| 290 NTU                             | 1        | 10                         | 72.61   | 62.76   |
|                                     | 2        | 15                         | 99.52   | 90.10   |
|                                     | 3        | 25                         | 99.83   | 97.16   |
|                                     | 4        | 30                         | 99.60   | 98.66   |
| 340 NTU                             | 1        | 25                         | 99.37   | 97.66   |
|                                     | 2        | 30                         | 100.00  | 98.47   |
|                                     | 3        | 35                         | 99.77   | 99.71   |
|                                     | 4        | 40                         | 99.91   | 99.61   |

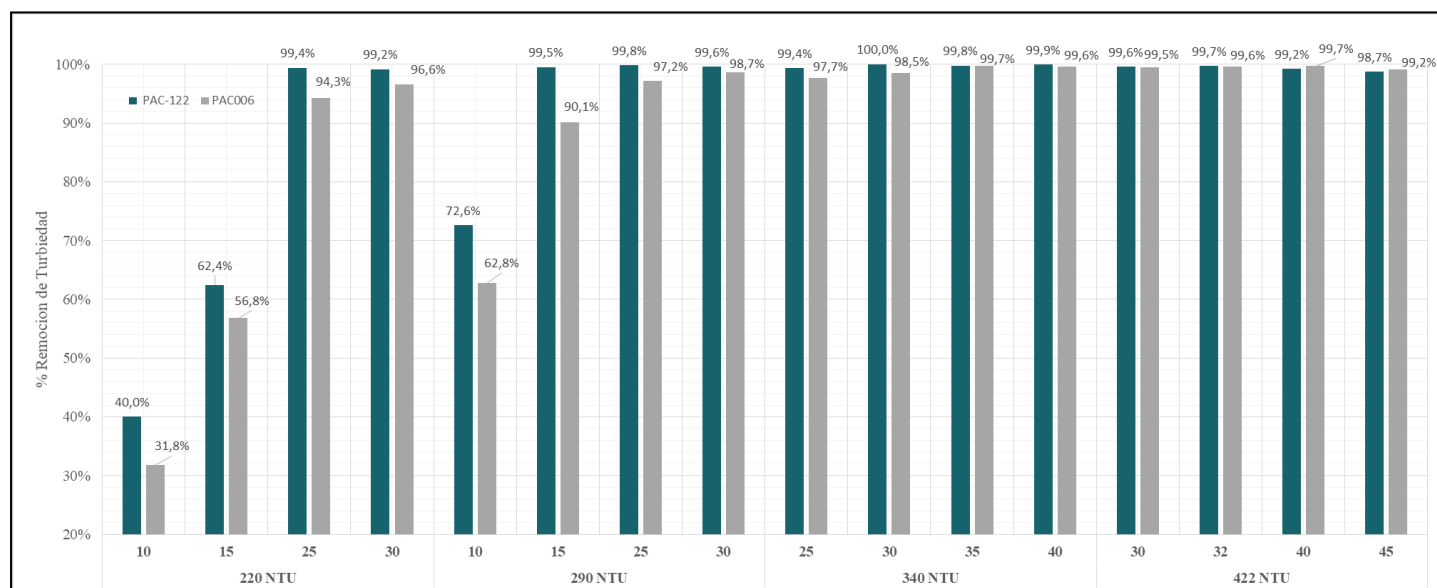
|         |   |    |       |       |
|---------|---|----|-------|-------|
| 422 NTU | 1 | 30 | 99.56 | 99.52 |
|         | 2 | 32 | 99.69 | 99.62 |
|         | 3 | 40 | 99.23 | 99.69 |
|         | 4 | 45 | 98.71 | 99.16 |

*Fuente: Propia*

La cantidad de remoción obtenida por los ensayos demuestra que ambos coagulantes son aptos para su aplicación en la PTAP. Sin embargo, con el PAC-122 se obtienen mayor porcentaje de remoción por encima del 98% en las pruebas realizadas, además este coagulante alcanza a remover de manera satisfactoria los parámetros en menor una menor dosificación que el PAC-006.

En la **Figura 20** se realiza un análisis comparativo del porcentaje de remoción obtenido para turbiedades medias, se obtiene de forma general la eficiencia de remoción de las diferentes turbiedades.

**Figura 20.** Análisis comparativo del porcentaje de remoción para turbiedades medias



*Fuente: Propia*

Para turbiedades medias se observa que en todas las dosificaciones aplicadas el PAC-122 logro mayor remoción de turbiedad, alcanzando en la mayoría de los ensayos la remoción total de este parámetro. El PAC-122 demostró ser muy efectivo para su aplicación en turbiedades medias, generando un impacto de mejora a la calidad del agua.

El PAC-006 también logro la remoción de este parámetro, con resultados del 99%, sin embargo, para obtener mejores resultados del coagulante se requiere de una mayor dosificación lo cual genera un mayor consumo del químico.

#### 4.1.2.2 Porcentaje de remoción de color para turbiedades medias

En la siguiente figura y tabla se observa la eficiencia de remoción del color de acuerdo a la dosis aplicada del PAC-122 y PAC-006 para las características del agua cruda entrante, el porcentaje de remoción se obtuvo de la Ecuación 2. Como se describe a continuación.

**Tabla 16.** Porcentaje de remoción del color para turbiedades medias

| PORCENTAJE DE REMOCIÓN DE COLOR |          |                            |         |         |
|---------------------------------|----------|----------------------------|---------|---------|
| TURBIEDAD                       | JARRA N° | DOSIS<br>APLICADA<br>(ppm) | PAC-122 | PAC-006 |
| 220 NTU<br>>500 UPC             | 1        | 10                         | 35.00   | 40.00   |
|                                 | 2        | 15                         | 45.00   | 55.00   |
|                                 | 3        | 25                         | 98.00   | 94.00   |
|                                 | 4        | 30                         | 98.00   | 97.00   |
| 290 NTU<br>>500 UPC             | 1        | 10                         | 93.00   | 92.00   |
|                                 | 2        | 15                         | 98.00   | 96.00   |
|                                 | 3        | 25                         | 100.00  | 97.00   |

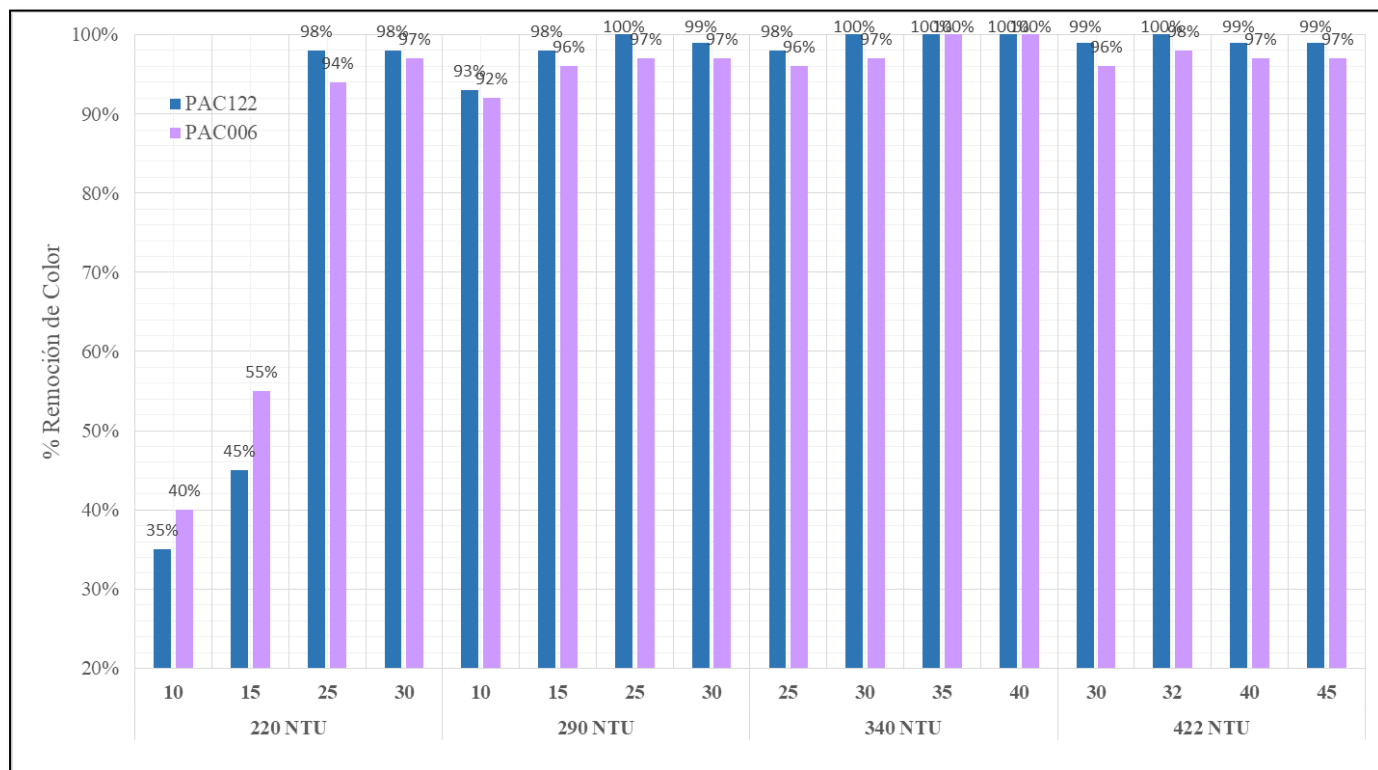
|          |   |    |        |        |
|----------|---|----|--------|--------|
|          | 4 | 30 | 99.00  | 97.00  |
|          | 1 | 25 | 98.00  | 96.00  |
| 340 NTU  | 2 | 30 | 100.00 | 97.00  |
| >500 UPC | 3 | 35 | 100.00 | 100.00 |
|          | 4 | 40 | 100.00 | 100.00 |
|          | 1 | 30 | 99.00  | 96.00  |
| 422 NTU  | 2 | 32 | 100.00 | 98.00  |
| >500 UPC | 3 | 40 | 99.00  | 97.00  |
|          | 4 | 45 | 99.00  | 97.00  |

*Fuente: Propia*

Como se especifica en los ensayos realizados, las diferentes dosis aplicadas cumplen con el valor mínimo establecido para color en agua potable consignados en la resolución. El coagulante con mejor comportamiento de remoción fue el PAC-122, sin embargo, se puede analizar que el PAC-006 presento un comportamiento similar al porcentaje de remoción del PAC-122.

En la **Figura 21** se presenta el análisis comparativo del porcentaje de remoción obtenido del color, esto se realiza con la finalidad de estudiar cuál de los coagulantes obtuvo un mejor comportamiento.

**Figura 21.** Análisis comparativo del porcentaje de remoción de color para turbiedades medias



*Fuente: Propia*

Las pruebas realizadas para las diferentes turbiedades medias detallan un buen comportamiento en cuanto la remoción del color, alcanzando en la mayoría de los ensayos resultados por encima del 99%. Ambos coagulantes evaluados lograron una excelente remoción de color, sin embargo, para el PAC-122 se requiere de una menor cantidad de dosificación para cumplir con estos criterios.

#### **4.1.3 Turbiedades altas**

Son consideradas turbiedades altas aquellas que se encuentran por encima de 500 NTU donde se requiere una mayor cantidad de coagulante ya que esta suele ser más difícil de tratar y

lograr cumplir con los parámetros exigidos, como se presenta a continuación para cada ensayo realizado.

**Tabla 17.** Prueba de Jarra variando cantidad de coagulante para una turbiedad de 512 NTU

| Prueba<br>N° 7                                                                                                                                                                                 | CONDICIONES PRUEBA DE JARRAS     |                               |                              | TIPO DE<br>COAGULAN<br>TE | CARACTERISTICAS<br>DEL AGUA CRUDA                                                                                       |      |      |             |             |             |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------|-------------------------------|------------------------------|---------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|------|-------------|-------------|-------------|
|                                                                                                                                                                                                | Mezcla rápida:<br>100 rpm-2min   | Mezcla lenta:<br>40 rpm-20min | Sedimentación:<br>0rpm-20min | PAC-122<br>PAC-006        | <div>MUESTRA</div> <div>pH: 7.55</div> <div>Color: &gt;500</div> <div>Turbiedad: 512</div> <div>Temperatura: 23,1</div> |      |      |             |             |             |
|                                                                                                                                                                                                |                                  |                               |                              |                           |                                                                                                                         |      |      |             |             |             |
| Prueba de<br>Jarras                                                                                                                                                                            | Agua sedimentada                 |                               |                              |                           |                                                                                                                         |      |      |             |             |             |
| Jarra<br>N°                                                                                                                                                                                    | Dosis de<br>coagulante<br>(mg/L) | Color (UPC)                   |                              | Turbiedad<br>(NTU)        |                                                                                                                         |      |      | pH          |             |             |
|                                                                                                                                                                                                |                                  | PAC<br>-122                   | PAC-<br>006                  | PAC-<br>122               |                                                                                                                         |      |      | PAC-<br>006 | PAC-<br>122 | PAC<br>-006 |
| 1                                                                                                                                                                                              | 30                               | 15                            | 15                           | 4.24                      | 6.75                                                                                                                    | 7.52 | 7.53 |             |             |             |
| 2                                                                                                                                                                                              | 35                               | 5                             | 15                           | 3.15                      | 4.21                                                                                                                    | 7.5  | 7.48 |             |             |             |
| 3                                                                                                                                                                                              | 40                               | 0                             | 5                            | 1.42                      | 2.15                                                                                                                    | 7.45 | 7.45 |             |             |             |
| 4                                                                                                                                                                                              | 45                               | 0                             | 5                            | 1.78                      | 2.98                                                                                                                    | 7.4  | 7.43 |             |             |             |
| <b>Observaciones:</b> La dosis óptima aplicada para las características de entrada del agua es de 40 ppm el flocs formado en esta prueba según el índice de Willcomb se clasifica “Excelente”. |                                  |                               |                              |                           |                                                                                                                         |      |      |             |             |             |

**MUESTRA**

**pH: 7.55**

**Color: >500**

**Turbiedad: 512**

**Temperatura: 23,1**

*Fuente: Propia*

**Tabla 18.** Prueba de Jarra variando cantidad de coagulante para una turbiedad de 690 NTU

| Prueba<br>N° 8                                                                                                                                                                                 | CONDICIONES PRUEBA DE JARRAS          |                                   |                                  | TIPO DE<br>COAGULA<br>NTE | CARACTERISTICAS<br>DEL AGUA CRUDA                                                                                   |             |             |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------|-----------------------------------|----------------------------------|---------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------|-------------|
|                                                                                                                                                                                                | Mezcla<br>rápida:<br><br>100 rpm-2min | Mezcla lenta:<br><br>40 rpm-20min | Sedimentación:<br><br>0rpm-20min | PAC-122<br><br>PAC-006    | <div><u>MUESTRA</u><br/><br/>pH: 7.5<br/><br/>Color: &gt;500<br/><br/>Turbiedad: 690<br/><br/>Temperatura: 26</div> |             |             |
|                                                                                                                                                                                                |                                       |                                   |                                  |                           |                                                                                                                     |             |             |
| Prueba de<br>Jarras                                                                                                                                                                            | Agua sedimentada                      |                                   |                                  |                           |                                                                                                                     |             |             |
| Jarra<br>N°                                                                                                                                                                                    | Dosis de<br>coagulante<br>(mg/L)      | Color (UPC)                       |                                  | Turbiedad<br>(NTU)        |                                                                                                                     | pH          |             |
|                                                                                                                                                                                                |                                       | PAC<br>-122                       | PAC-<br>006                      | PAC-<br>122               | PAC-<br>006                                                                                                         | PAC<br>-122 | PAC<br>-006 |
| 1                                                                                                                                                                                              | 35                                    | 15                                | 15                               | 3.51                      | 5.82                                                                                                                | 7.5         | 7.49        |
| 2                                                                                                                                                                                              | 40                                    | 5                                 | 10                               | 2.94                      | 3.45                                                                                                                | 7.48        | 7.45        |
| 3                                                                                                                                                                                              | 45                                    | 0                                 | 5                                | 1.32                      | 2.3                                                                                                                 | 7.43        | 7.4         |
| 4                                                                                                                                                                                              | 48                                    | 0                                 | 0                                | 1.76                      | 0.56                                                                                                                | 7.4         | 7.38        |
| <b>Observaciones:</b> La dosis óptima aplicada para las características de entrada del agua es de 45 ppm el flocs formado en esta prueba según el índice de Willcomb se clasifica “Excelente”. |                                       |                                   |                                  |                           |                                                                                                                     |             |             |

Fuente: Propia

**Tabla 19.** Prueba de Jarra variando cantidad de coagulante para una turbiedad de 780 NTU

| Prueba<br>N° 9                                                                                                                                                                                 | CONDICIONES PRUEBA DE JARRAS          |                                   |                                  | TIPO DE<br>COAGULA<br>NTE | CARACTERISTICAS<br>DEL AGUA CRUDA                                                                                                |             |             |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------|-----------------------------------|----------------------------------|---------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------|-------------|
|                                                                                                                                                                                                | Mezcla<br>rápida:<br><br>100 rpm-2min | Mezcla lenta:<br><br>40 rpm-20min | Sedimentación:<br><br>0rpm-20min | PAC-122<br><br>PAC-006    | <div> <div>MUESTRA</div> <div> <p>pH: 7.5</p> <p>Color: &gt;500</p> <p>Turbiedad: 780</p> <p>Temperatura: 25.5</p> </div> </div> |             |             |
|                                                                                                                                                                                                |                                       |                                   |                                  |                           |                                                                                                                                  |             |             |
|                                                                                                                                                                                                | Prueba de<br>Jarras                   | Agua sedimentada                  |                                  |                           |                                                                                                                                  |             |             |
| Jarra<br>N°                                                                                                                                                                                    | Dosis de<br>coagulante<br>(mg/L)      | Color (UPC)                       |                                  | Turbiedad<br>(NTU)        |                                                                                                                                  | pH          |             |
|                                                                                                                                                                                                |                                       | PAC<br>-122                       | PAC-<br>006                      | PAC-<br>122               | PAC-<br>006                                                                                                                      | PAC<br>-122 | PAC<br>-006 |
| 1                                                                                                                                                                                              | 40                                    | 0                                 | 10                               | 4.5                       | 7.65                                                                                                                             | 7.45        | 7.47        |
| 2                                                                                                                                                                                              | 45                                    | 0                                 | 5                                | 1.9                       | 5.3                                                                                                                              | 7.4         | 7.43        |
| 3                                                                                                                                                                                              | 48                                    | 0                                 | 0                                | 1.45                      | 1.68                                                                                                                             | 7.42        | 7.4         |
| 4                                                                                                                                                                                              | 50                                    | 5                                 | 0                                | 2.63                      | 1.72                                                                                                                             | 7.4         | 7.38        |
| <b>Observaciones:</b> La dosis óptima aplicada para las características de entrada del agua es de 48 ppm el flocs formado en esta prueba según el índice de Willcomb se clasifica “Excelente”. |                                       |                                   |                                  |                           |                                                                                                                                  |             |             |

Fuente: Propia

**Tabla 20.** Prueba de Jarra variando cantidad de coagulante para una turbiedad de 845 NTU

| Prueba<br>N° 10 | CONDICIONES PRUEBA DE JARRAS       |                                   |                                  | TIPO DE COAGULANTE     |  | CARACTERISTICAS DEL AGUA CRUDA                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |  |
|-----------------|------------------------------------|-----------------------------------|----------------------------------|------------------------|--|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--|
|                 | Mezcla rápida:<br><br>100 rpm-2min | Mezcla lenta:<br><br>40 rpm-20min | Sedimentación:<br><br>0rpm-20min | PAC-122<br><br>PAC-006 |  | <u>MUESTRA</u><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br> |  |

Fuente: Propia

**Tabla 21.** Prueba de Jarra variando cantidad de coagulante para una turbiedad de 966 NTU

| Prueba<br>N° 11 | CONDICIONES PRUEBA DE JARRAS       |                                   |                                  |  | TIPO DE COAGULANTE     |  | CARACTERISTICAS DEL AGUA CRUDA                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |  |
|-----------------|------------------------------------|-----------------------------------|----------------------------------|--|------------------------|--|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--|
|                 | Mezcla rápida:<br><br>100 rpm-2min | Mezcla lenta:<br><br>40 rpm-20min | Sedimentación:<br><br>0rpm-20min |  | PAC-122<br><br>PAC-006 |  | <u>MUESTRA</u><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br><br>< |  |

Fuente: Propia

En los ensayos de jarras realizados para turbiedades altas de 512 NTU (**Tabla 17**), 690 NTU (**Tabla 18**) y 780 NTU (**Tabla 19**), se observa que el coagulante PAC-122 ofrece mejores resultados en cualquiera de las dosis aplicadas en cuanto a turbiedad y color, comparándolo con el PAC-006 cumpliendo así con la normativa establecida. Para turbiedades de 845 NTU (**Tabla 20**) y 966 NTU (**Tabla 21**) se contempla que el coagulante no está alcanzando los parámetros de turbiedad permitidos y la cantidad utilizada para el tratamiento del agua de entrada es bastante

alto. Sin embargo, para los ensayos realizados si se encontró una dosis óptima de coagulante que son 50 ppm y 55 ppm respectivamente. Ya a partir de este punto, una mayor dosificación de coagulante no mejoraría los resultados en las pruebas.

El tamaño del flocs formado para todos los ensayos a turbiedades altas de 512 NTU, 690 NTU y 780 NTU, son clasificadas según el **Índice de Willcomb** de tipo 10 “*Excelente*”, el flóculo se encontraba bien formado, sedimentó con mayor facilidad obteniendo como resultado agua más cristalina. Para turbiedades de 845 NTU y 966 NTU, desde que se formó el primer flocs se percibió que sedimenta con lentitud y además no se realizaba en su totalidad, sin embargo, el floculo se podía analizar con facilidad.

#### 4.1.3.1 Porcentaje de remoción de turbiedades altas

El porcentaje de remoción se obtuvo de la **ecuación 1**, este procedimiento se aplicó para cada uno de los ensayos realizados después de la clarificación del agua con el fin de determinar cual obtuvo una mayor remoción de los parámetros evaluados como se describe en la **Tabla 22**.

**Tabla 22.** Porcentaje de remoción de turbiedades altas

| PORCENTAJE DE REMOCIÓN DE TURBIEDAD |          |                            |         |         |
|-------------------------------------|----------|----------------------------|---------|---------|
| TURBIEDAD                           | JARRA N° | DOSIS<br>APLICADA<br>(ppm) | PAC-122 | PAC-006 |
| 512 NTU                             | 1        | 30                         | 99.17   | 98.68   |
|                                     | 2        | 35                         | 99.38   | 99.18   |
|                                     | 3        | 40                         | 99.72   | 99.58   |
|                                     | 4        | 45                         | 99.65   | 99.42   |
| 690 NTU                             | 1        | 35                         | 99.49   | 99.16   |

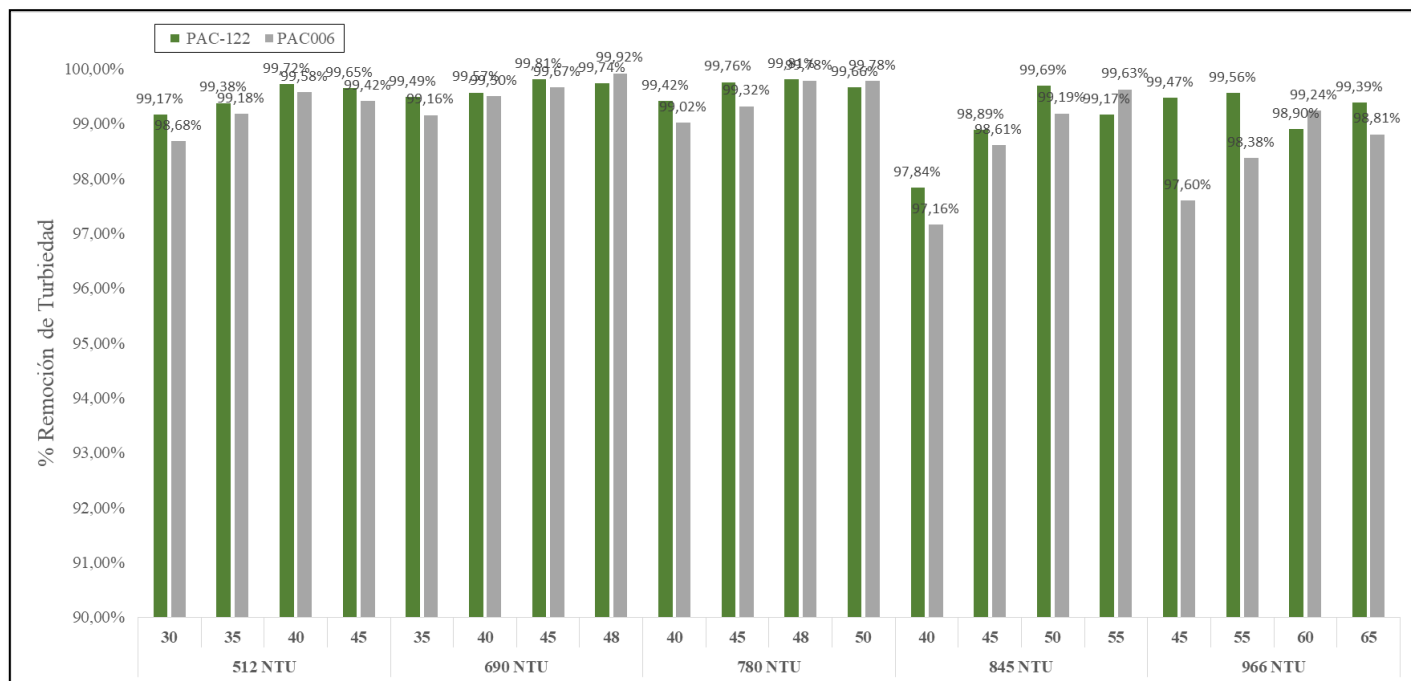
|         |   |    |       |       |
|---------|---|----|-------|-------|
|         | 2 | 40 | 99.57 | 99.50 |
|         | 3 | 45 | 99.81 | 99.67 |
|         | 4 | 48 | 99.74 | 99.92 |
| 780 NTU | 1 | 40 | 99.42 | 99.02 |
|         | 2 | 45 | 99.76 | 99.32 |
|         | 3 | 48 | 99.81 | 99.78 |
|         | 4 | 50 | 99.66 | 99.78 |
| 845 NTU | 1 | 40 | 97.84 | 97.16 |
|         | 2 | 45 | 98.89 | 98.61 |
|         | 3 | 50 | 99.69 | 99.19 |
|         | 4 | 55 | 99.17 | 99.63 |
| 966 NTU | 1 | 45 | 99.47 | 97.60 |
|         | 2 | 55 | 99.56 | 98.38 |
|         | 3 | 60 | 98.90 | 99.24 |
|         | 4 | 65 | 99.39 | 98.81 |

*Fuente: Propia*

En los ensayos realizados el coagulante que más porcentaje de remoción presento fue el PAC-122, indicando así que para turbiedades altas, el coagulante óptimo para aplicar en el proceso de tratamiento de agua potable seria el PAC-122, logrando en sus dosis óptimas encontradas remoción hasta el 99%.

En la **Figura 22** se observa la eficiencia de remoción de turbiedad de acuerdo a la dosis del PAC-122 y PAC-006 para las diferentes turbiedades de agua cruda entrante.

**Figura 22.** Análisis comparativo del porcentaje de remoción para turbiedades altas



Fuente: Propia

Se detalla que en todos los ensayos realizados ambos coagulantes presentaron porcentajes de remoción altas por encima del 98%, lo cual es de gran importancia a nivel industrial ya que se logra cumplir con los parámetros establecidos. Sin embargo, para turbiedades por encima de 800 NTU ningún coagulante logró la disminución de este parámetro según lo estipulado por la normativa.

#### 4.1.3.2 Porcentaje de remoción de color para turbiedades medias

En la **Tabla 23** se encuentra la eficiencia de remoción del color de acuerdo a la dosis aplicada del PAC-122 y PAC-006 para las características del agua cruda entrante, este porcentaje de remoción se obtuvo de la **ecuación 2**.

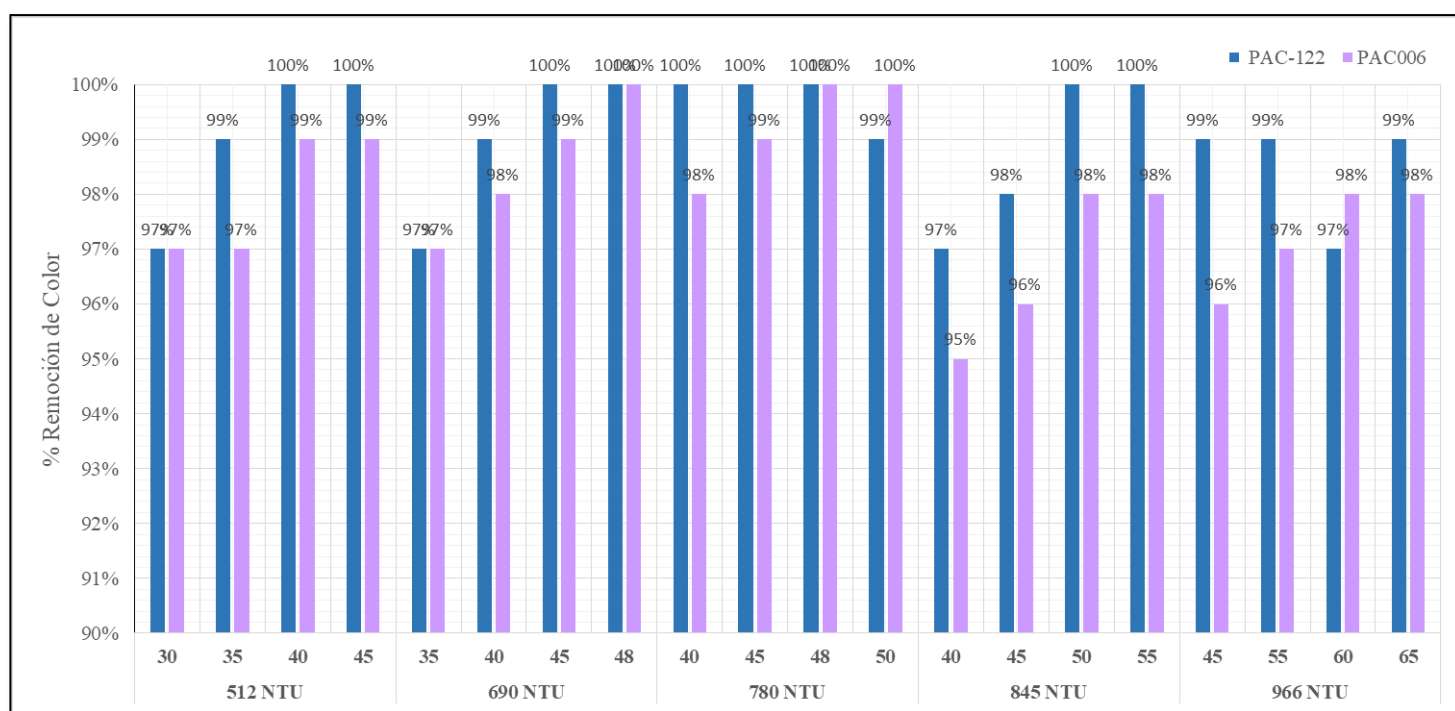
**Tabla 23.** Porcentaje de remoción del color para turbiedades altas

| <b>PORCENTAJE DE REMOCIÓN DE COLOR</b> |                 |                                     |                |                |
|----------------------------------------|-----------------|-------------------------------------|----------------|----------------|
| <b>TURBIEDAD</b>                       | <b>JARRA N°</b> | <b>DOSIS<br/>APLICADA<br/>(ppm)</b> | <b>PAC-122</b> | <b>PAC-006</b> |
| 512 NTU<br>>500 UPC                    | 1               | 30                                  | 97.00          | 97.00          |
|                                        | 2               | 35                                  | 99.00          | 97.00          |
|                                        | 3               | 40                                  | 100.00         | 99.00          |
|                                        | 4               | 45                                  | 100.00         | 99.00          |
| 690 NTU<br>>500 UPC                    | 1               | 35                                  | 97.00          | 97.00          |
|                                        | 2               | 40                                  | 99.00          | 98.00          |
|                                        | 3               | 45                                  | 100.00         | 99.00          |
|                                        | 4               | 48                                  | 100.00         | 100.00         |
| 780 NTU<br>>500 UPC                    | 1               | 40                                  | 100.00         | 98.00          |
|                                        | 2               | 45                                  | 100.00         | 99.00          |
|                                        | 3               | 48                                  | 100.00         | 100.00         |
|                                        | 4               | 50                                  | 99.00          | 100.00         |
| 845 NTU<br>>500 UPC                    | 1               | 40                                  | 97.00          | 95.00          |
|                                        | 2               | 45                                  | 98.00          | 96.00          |
|                                        | 3               | 50                                  | 100.00         | 98.00          |
|                                        | 4               | 55                                  | 100.00         | 98.00          |
| 966 NTU<br>>500 UPC                    | 1               | 45                                  | 99.00          | 96.00          |
|                                        | 2               | 55                                  | 99.00          | 97.00          |
|                                        | 3               | 60                                  | 97.00          | 98.00          |
|                                        | 4               | 65                                  | 99.00          | 98.00          |

Fuente: Propia

En los ensayos realizados con color mayor a 500 UPC, las diferentes dosis aplicadas cumplen con el valor máximo consignados en la resolución, además, se logra la reducción de este parámetros con valores por encima del 98%, en la **Figura 23** se encuentra el análisis comparativo de las diferentes turbiedades evaluadas

**Figura 23.** Análisis comparativo del porcentaje de remoción de color para turbiedades altas



*Fuente: Propia*

Los resultados finales obtenidos en cuanto la remoción de color para turbiedades altas detallan de que ambos coagulantes son aptos para su aplicación en la PTAP, el cual se obtienen porcentajes de remoción por encima del 97%, no obstante, el mejor coagulante que requiere una menor cantidad para el cumplimiento de este parámetro en totalidad seria el PAC-122, ya que en la dosis óptima encontrada reduce este parámetro en su totalidad, dejando así un agua más clarificada.

## **4.2 Discusión de resultados**

La dosis de coagulante es un parámetro crítico, si éste se adiciona por debajo de la cantidad requerida no se neutralizan totalmente las cargas de las partículas, la formación de microflócs es escasa y la turbiedad del agua tratada es elevada, si se adiciona exceso de coagulante, se produce la inversión de las cargas de las partículas y formación de gran cantidad de microflócs con tamaños muy pequeños, velocidades de sedimentación muy bajas y la turbiedad del agua tratada es elevada.

Así que la tendencia que existe en el aumento de la turbidez final en la última jarra o en algunas de las jarras siguientes de la dosis óptima, se debe al adicionar más cantidad de coagulante produciendo una inversión de carga de la partícula como ya se mencionó

Ambos coagulantes presentaron excelentes resultados para la remoción de turbiedad y color, sin embargo, el coagulante que tiene un mejor comportamiento y además alcanza la reducción de los parámetros en menor consumo del químico, es el PAC-122, también presenta la ventaja que no requiere de un ajuste de pH para su uso ya que en todas los ensayos realizados este se encontraba en el rango estipulado por la normativa.

## **4.3 Aplicación de dosis óptima encontrada en la PTAP**

La clarificación es un proceso fundamental en el tratamiento de aguas, ya que su correcto funcionamiento va a depender en gran medida de remover las impurezas presentes en el agua cruda. Una vez recopilado los resultados obtenidos de cada ensayo de jarras se procede al escalonamiento y optimización de la dosificación del coagulante óptimo para el Tratamiento del Agua Potable.

En las pruebas realizadas el coagulante que presento mejor comportamiento fue el PAC-122 se esperaba obtener mayor porcentaje de remoción del mismo por la cantidad de alúmina presente, ya que es mayor comparada con el PAC-006 generando así, que el coagulante sea más eficaz para las diferentes turbiedades presentadas en temporadas de lluvias.

A continuación se aplica la **ecuación 3**, para encontrar el volumen de coagulante que debe ser aplicado al caudal de ingreso en la PTAP como se detalla en la **Tabla 24**. Se empezó con turbiedad de 45.5 NTU donde se obtiene que:

$$Volumen (mL) = \frac{171 L/seg * 10ppm * 5 seg}{1000 * 1.29 g/mL} = 6.63 mL$$

**Tabla 24.** Optimización de la dosificación de coagulante para la PTAP

| OPTIMIZACIÓN DE LA DOSIFICACIÓN DE COAGULANTE |                    |                                                |
|-----------------------------------------------|--------------------|------------------------------------------------|
| TURBIEDAD                                     | DOSIS ÓPTIMA (ppm) | VOLUMEN APLICADO DE COAGULANTE EN LA PTAP (mL) |
| 45.5                                          | 10                 | 6.63                                           |
| 100                                           | 15                 | 9.94                                           |
| 220                                           | 25                 | 16.57                                          |
| 290                                           | 25                 | 16.57                                          |
| 340                                           | 30                 | 19.88                                          |
| 422                                           | 32                 | 21.21                                          |
| 512                                           | 40                 | 26.51                                          |
| 690                                           | 45                 | 29.83                                          |
| 780                                           | 48                 | 31.81                                          |
| 845                                           | 50                 | 33.15                                          |
| 966                                           | 55                 | 36.45                                          |

## **Capítulo V**

### **5 Conclusiones**

La mejor alternativa de los dos coagulantes evaluados en el proyecto es el PAC-122 ya que consigue un buen porcentaje de eliminación de turbidez y remoción de color, pero además genera un menor gasto de coagulante removiendo en totalidad los parámetros de interés.

Se concluye que para las diferentes turbiedades evaluadas en el proyecto a partir de una concentración óptima encontrada de coagulante, el resultado obtenido no mejora o incluso aumenta la turbidez final, esto se debe a que ya existe una sobredosificación, el cual es posible que se produzca un cambio de carga de la partícula lo que impide así la formación de los flóculos evitando una mayor remoción.

Todas las turbiedades finales determinadas por el ensayo de jarras cumplieron con los parámetros establecidos por la resolución 2115 de 2007. Sin embargo, para turbiedades encima de 800 NTU el coagulante no disminuye en totalidad la turbidez, pero si se observa un cumplimiento en cuanto el color. No obstante, se espera que la siguiente unidad logre la disminución de la turbidez hasta alcanzar el máximo valor permisible.

Cuanto más se aplique cantidad de coagulante dosificado, mayor cantidad de lodo se genera debido a que se produce un mayor número de flóculos y de pequeño tamaño, siendo más dificultosa la sedimentación y dejando una capa de fango con mayor espesor.

## 6 Referencias

Alvarado, C., Pérez, H., & Saba, C. (s. f.). Evaluación del uso del Policloruro de Aluminio en conjunto con Sulfato de Aluminio en el proceso de Coagulación de una Planta de Potabilización de agua en el estado Carabobo. 10(1).

Andía, Y. (2000). Tratamiento de agua coagulación y floculación. Sedapal, 1-44.  
[http://www.sedapal.com.pe/c/document\\_library/get\\_file?uuid=2792d3e3-59b7-4b9e-ae55-56209841d9b8&groupId=10154](http://www.sedapal.com.pe/c/document_library/get_file?uuid=2792d3e3-59b7-4b9e-ae55-56209841d9b8&groupId=10154)

Barajas, C. L., Andrea, G., León, J., Universidad, L., & Tomás, S. (2015). Determinación De La Dosis Óptima De Sulfato De Aluminio En El Proceso De Coagulación. 2, 102.  
<https://repository.usta.edu.co/bitstream/handle/11634/2916/Barajasclaudia2015.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Cerón, V. (2016). Estudio para la determinación y dosificación óptima de coagulantes en el proceso de clarificación de Aguas Crudas en la Potabilización de aguas de la empresa EMPOOBANDO E.SP. 1-114.

Checker Color del Agua (0 a 500 PCU). (s. f.). Recuperado 30 de junio de 2021, de  
[https://www.hannainst.es/parametros/4153-checker-color-del-agua-0-a-500-pcu.html?search\\_query=checker&results=138](https://www.hannainst.es/parametros/4153-checker-color-del-agua-0-a-500-pcu.html?search_query=checker&results=138)

Dominguez A, M. F. (2010). Optimización de la coagulación – floculación en la planta de tratamiento de agua potable de la sede recreacional CAMPOALEGRE. 22.  
[https://repository.upb.edu.co/bitstream/handle/20.500.11912/848/digital\\_19174.pdf?se](https://repository.upb.edu.co/bitstream/handle/20.500.11912/848/digital_19174.pdf?se)

Galindo Yantas, G. (2018). Determinación de la dosis óptima de sulfato de aluminio granulado tipo b en la planta de tratamiento de agua potable Yurajhuanca – Emapa Pasco. Repositorio.Undac.Edu.Pe. <http://repositorio.undac.edu.pe/handle/undac/347>

Giordani, S., Gonzáles, L., & Morales, A. (2008). Factibilidad del uso de polímeros para la clarificación del agua potable en la ciudad de Mérida. *Creando*, 0(0), 97-107-107.

Ministerio de la Protección Social, Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. (2007, junio 22). [https://www.minambiente.gov.co/images/GestionIntegraldelRecursoHidrico/pdf/Legislaación\\_del\\_agua/Resolución\\_2115.pdf](https://www.minambiente.gov.co/images/GestionIntegraldelRecursoHidrico/pdf/Legislaación_del_agua/Resolución_2115.pdf)

Ojeda, L. (2012). Determinación de la eficiencia de las características coagulantes y floculantes del *Tropaeolum Tuberosum* en el tratamiento de agua cruda de la planta de Puengasí de la EPMAPS. <http://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/13682/1/UPS-ST002964.pdf>

Oré, L. (2014). Evaluación de la eficiencia del floculante de sulfato de aluminio y polifloc (policloruro de aluminio) empleado en la depuración de aguas con baja turbiedad en la planta de tratamiento de agua potable Quicapata-Ayacucho. 139.

Restrepo, H. A. (2009). Evaluación del Proceso de Coagulación-Floculación de una Planta de Tratamiento de Agua Potable. Universidad Nacional de Colombia, Tratamiento de Aguas, 1-107.

Rodriguez, C. (2008). Uso y control del proceso de Coagulación en Plantas de Tratamiento de Agua Potable. 69-73.

Romero, C., Solórzano, R., Abreu, O., Brizuela, L., & Pérez, Z. (2007). Synthesis of an aluminum inorganic polymer and its use for water clarification. *Revista de Ingeniería UC*, 14(3), 16-23.

Roth GmbH, C. (2021). SECCIÓN 1: Identificación de la sustancia o la mezcla y de la sociedad o la empresa 1.1 Identificador del producto Identificación de la sustancia Agua ROTISOLV® HPLC Gradient Grade. [www.carlroth.de](http://www.carlroth.de)

Sierra, I., & Guatame, V. (2016). Análisis comparativo del Policloruro de Aluminio y Sulfato de Aluminio líquido para la optimización del proceso de coagulación en la Planta de Tratamiento de Agua Potable FRANCISCO WIESNER. *Journal of Chemical Information and Modeling*, 53(9), 1689-1699.

Social, M. de protección. (2007). Ministerio de la Protección Social.

Tester de pH / Temperatura. (s. f.). Recuperado 30 de junio de 2021, de [https://www.hannainst.es/parametros/4674-tester-de-ph-temperatura.html#/452-resolucion-0\\_1](https://www.hannainst.es/parametros/4674-tester-de-ph-temperatura.html#/452-resolucion-0_1)

Turbidímetro portátil (0,00 a 1000 FTU). (s. f.). Recuperado 30 de junio de 2021, de [https://www.hannainst.es/parametros/5397-turbidimetro-portatil-000-a-1000-ftu.html#/531-suministro-con\\_cubetas](https://www.hannainst.es/parametros/5397-turbidimetro-portatil-000-a-1000-ftu.html#/531-suministro-con_cubetas)

Vásconez, D. (2013). Reducción del nivel de sólidos suspendidos del agua de trolavado en la etapa de filtración.

## ANEXOS

### *Anexo 1. Resultados del SIVICAP para el año 2019*



**LA SUSCRITA AUTORIDAD SANITARIA (DEPARTAMENTAL O DISTRITAL O MUNICIPAL O CATEGORÍA ESPECIAL, 1, 2 Y 3) DE  
CERTIFICA QUE:**

Los resultados obtenidos de los análisis del agua para consumo humano, realizados al municipio Agustín Codazzi, durante los meses del año 2019, y de conformidad con los artículos 24, 25, 26 y 27 de la Resolución 2115 de 2007, son los referidos en la siguiente tabla:

Resultados obtenidos de los análisis del agua para consumo humano realizados a través de la vigilancia sanitaria al municipio ( Agustín Codazzi )

| Mes        | No. De muestras analizadas (SIVICAP) | IRCA (%) (SIVICAP) | NIVEL DE RIESGO (SIVICAP)  |
|------------|--------------------------------------|--------------------|----------------------------|
| Enero      | 1                                    | 100,00             | INVIABLE<br>SANITARIAMENTE |
| Febrero    | 1                                    | 0,00               | SIN RIESGO                 |
| Marzo      | 1                                    | 0,00               | SIN RIESGO                 |
| Abril      | 1                                    | 37,50              | ALTO                       |
| Mayo       | 2                                    | 0,00               | SIN RIESGO                 |
| Junio      | 1                                    | 0,00               | SIN RIESGO                 |
| Julio      | 5                                    | 22,22              | MEDIO                      |
| Agosto     | 3                                    | 0,00               | SIN RIESGO                 |
| Septiembre | 2                                    | 0,00               | SIN RIESGO                 |
| Octubre    | 5                                    | 0,00               | SIN RIESGO                 |
| Noviembre  | 3                                    | 0,00               | SIN RIESGO                 |
| Diciembre  | 3                                    | 0,00               | SIN RIESGO                 |

*Anexo 2. Resultados del SIVICAP para el año 2020.*



**INFORME DE RESULTADOS DEL IRCA MENSUAL POR MUNICIPIO  
(Decreto 1575/2007)**

| Año  | Código Dpto. | Departamento | Código Mpio. | Municipio       | Mes         | Muestras analizadas en el municipio | Promedio de parámetros analizados en el municipio | IRCA municipal | Nivel riesgo municipal | Muestras analizadas área urbana | Promedio de parámetros analizados área urbana | IRCA municipal área urbana | Nivel riesgo área urbana |
|------|--------------|--------------|--------------|-----------------|-------------|-------------------------------------|---------------------------------------------------|----------------|------------------------|---------------------------------|-----------------------------------------------|----------------------------|--------------------------|
| 2020 | 20           | CESAR        | 20013        | AGUSTIN CODAZZI | ENERO       | 3                                   | 10                                                | 45,8333        | Riesgo Alto            | 5                               | 10                                            | 27,5                       | Riesgo Medio             |
| 2020 | 20           | CESAR        | 20013        | AGUSTIN CODAZZI | FEBRE RO    | 4                                   | 16                                                | 0              | Sin Riesgo             | 6                               | 16                                            | 0                          | Sin Riesgo               |
| 2020 | 20           | CESAR        | 20013        | AGUSTIN CODAZZI | MARZO       | 4                                   | 10                                                | 0              | Sin Riesgo             | 4                               | 10                                            | 0                          | Sin Riesgo               |
| 2020 | 20           | CESAR        | 20013        | AGUSTIN CODAZZI | JULIO       | 2                                   | 16                                                | 0              | Sin Riesgo             | 2                               | 16                                            | 0                          | Sin Riesgo               |
| 2020 | 20           | CESAR        | 20013        | AGUSTIN CODAZZI | AGOST O     | 4                                   | 30                                                | 0              | Sin Riesgo             | 4                               | 30                                            | 0                          | Sin Riesgo               |
| 2020 | 20           | CESAR        | 20013        | AGUSTIN CODAZZI | SEPTIE MBRE | 3                                   | 27                                                | 6,135          | Riesgo Bajo            | 3                               | 27                                            | 6,135                      | Riesgo Bajo              |
| 2020 | 20           | CESAR        | 20013        | AGUSTIN CODAZZI | OCTUB RE    | 4                                   | 27                                                | 13,8037        | Riesgo Bajo            | 4                               | 27                                            | 13,8037                    | Riesgo Bajo              |
| 2020 | 20           | CESAR        | 20013        | AGUSTIN CODAZZI | NOVIE MBRE  | 5                                   | 40                                                | 3,681          | Sin Riesgo             | 5                               | 40                                            | 3,681                      | Sin Riesgo               |
| 2020 | 20           | CESAR        | 20013        | AGUSTIN CODAZZI | DICIEM BRE  | 5                                   | 64                                                | 11,3863        | Riesgo Bajo            | 5                               | 64                                            | 11,3863                    | Riesgo Bajo              |

**Anexo 3. Análisis fisicoquímicos y microbiológicos de la fuente de abastecimiento por parte de laboratorio acreditado en el mes Febrero y Marzo 2021.**

|  <b>Nancy Flórez García S.A.S.</b><br>Confiable en toda prueba<br>NIT: 824.005.599-0 |                                                    |  <b>IDEAM</b><br>INSTITUTO DE METEOROLOGÍA<br>Y CLIMATOLOGÍA<br>DE COLOMBIA |                |                      |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------|----------------------|
| COD: RO-104 Ver: 08 del 17 de Agosto de 2018                                                                                                                          |                                                    |                                                                                                                                                                |                |                      |
| <b>CERTIFICADO DE ANALISIS</b><br>N° 40590                                                                                                                            |                                                    |                                                                                                                                                                |                |                      |
| <b>INFORMACIÓN DEL CLIENTE</b>                                                                                                                                        |                                                    |                                                                                                                                                                |                |                      |
| EMPRESA :                                                                                                                                                             | EMPRESA DE SERVICIO DE AGUSTIN CODAZZI - EMCODAZZI | NIT :                                                                                                                                                          | 800118095      |                      |
| DIRECCIÓN :                                                                                                                                                           | CODAZZI                                            | CIUDAD :                                                                                                                                                       | CODAZZI        |                      |
| CONTACTO :                                                                                                                                                            | DIANA CAROLINA MOLINA ORTIZ                        | TELÉFONO :                                                                                                                                                     | 3186700249     |                      |
| CARGO :                                                                                                                                                               | MICROBIOLOGA                                       |                                                                                                                                                                |                |                      |
| <b>INFORMACIÓN DE LA MUESTRA</b>                                                                                                                                      |                                                    | <b>INFORMACIÓN DEL MUESTREO</b>                                                                                                                                |                |                      |
| NOMBRE :                                                                                                                                                              | AGUA SUPERFICIAL                                   | HORA MUESTRA :                                                                                                                                                 | 08:00          |                      |
| LUGAR DE MUESTREO :                                                                                                                                                   | EMCODAZZI                                          | MUESTREO :                                                                                                                                                     | 2021/02/18     |                      |
| PUNTO DE MUESTREO :                                                                                                                                                   | RIO MAGIRIAIMO                                     | RECEPCIÓN :                                                                                                                                                    | 2021/02/18     |                      |
| TIPO DE MUESTRA :                                                                                                                                                     | SIMPLE                                             | INICIO ENSAYOS :                                                                                                                                               | 2021/02/18     |                      |
| PLAN DE MUESTREO :                                                                                                                                                    | N.S                                                | FINAL ENSAYOS :                                                                                                                                                | 2021/03/05     |                      |
| PROC. DE MUESTREO :                                                                                                                                                   | N.S                                                | INFORME :                                                                                                                                                      | 2021/03/08     |                      |
|                                                                                                                                                                       | CODIGO : 210265815                                 |                                                                                                                                                                |                |                      |
|                                                                                                                                                                       | LOTE : N.A                                         |                                                                                                                                                                |                |                      |
|                                                                                                                                                                       | REGISTRO INVIMA : N.A                              |                                                                                                                                                                |                |                      |
| <b>Fisicoquímico</b>                                                                                                                                                  |                                                    |                                                                                                                                                                |                |                      |
| ANÁLISIS                                                                                                                                                              | MÉTODO - TÉCNICA                                   | LCH                                                                                                                                                            | FECHA ANÁLISIS | RESULTADO            |
| Amoníaco mg NH <sub>3</sub> /L **                                                                                                                                     | SM 4500-NH <sub>3</sub> B,C - Titulométrico        | 0,608                                                                                                                                                          | 2021/02/18     | <0,608               |
| Cloruro Total mg/L (S)                                                                                                                                                | ASTM D7511 -                                       | 0,01                                                                                                                                                           | 2021/03/05     | <0,01                |
| Cloruros mg Cl/L (A)                                                                                                                                                  | SM 4500-Cl B - Argentométrico                      | 2,00                                                                                                                                                           | 2021/02/23     | <2,00                |
| Color Real UPC (A)                                                                                                                                                    | SM 2120 C - Fotométrico                            | 5,00                                                                                                                                                           | 2021/02/18     | 5,53                 |
| Conductividad µS/cm (A)                                                                                                                                               | SM 2510 B - Electrométrica                         | -                                                                                                                                                              | 2021/02/18     | 254,0                |
| Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO <sub>5</sub> ) mg O <sub>2</sub> /L (A)                                                                                            | SM 5210 B / EPA 360.3 - Incubación 5 días          | 2,00                                                                                                                                                           | 2021/02/18     | <2,00                |
| Demanda Química de Oxígeno (DQO) mg O <sub>2</sub> /L (A)                                                                                                             | SM 5220 C - Reflujo cerrado - Volumétrico          | 20,0                                                                                                                                                           | 2021/02/24     | <20,0                |
| Dureza Total mg CaCO <sub>3</sub> /L (A)                                                                                                                              | SM 2340 C - Volumétrico - EDTA                     | 0,500                                                                                                                                                          | 2021/02/20     | 118                  |
| Fenoles Totales mg/L (A)                                                                                                                                              | SM 5530 B,D - Fotométrico Directo                  | 0,050                                                                                                                                                          | 2021/02/20     | <0,050               |
| Fluoruros mg F-/L (A)                                                                                                                                                 | SM 4110-B - Cromatografía Iónica                   | 0,100                                                                                                                                                          | 2021/03/04     | 0,1                  |
| Fósforo Soluble mg/L                                                                                                                                                  | SM 4500-P B,E - Fotométrico                        | 0,050                                                                                                                                                          | 2021/02/23     | 0,050                |
| Hierro mg/L (A)                                                                                                                                                       | SM 3030 K / SM 3111 B - Espectrométrico            | 0,1000                                                                                                                                                         | 2021/02/25     | <0,1000              |
| Manganeso mg/L (A)                                                                                                                                                    | SM 3030 K / SM 3111 B - Espectrométrico            | 0,1000                                                                                                                                                         | 2021/02/25     | <0,1000              |
| Nitratos mg NO <sub>3</sub> /L (A)                                                                                                                                    | J Radier, 9 Ed. 2011 - Fotométrico                 | 0,886                                                                                                                                                          | 2021/02/18     | <0,886               |
| Nitritos mg NO <sub>2</sub> /L (A)                                                                                                                                    | SM 4500-NO <sub>2</sub> B - Fotométrico            | 0,020                                                                                                                                                          | 2021/02/18     | <0,020               |
| pH (22,0 °C) U de jet                                                                                                                                                 | SM 4500-H+ B - Electrométrica                      | -                                                                                                                                                              | 2021/02/18     | 8,40                 |
| Sodio mg Na/L (A)                                                                                                                                                     | SM 3030 K / SM 3503-Na B - Espectrométrico         | 1,0000                                                                                                                                                         | 2021/03/03     | 8,5390               |
| Sólidos Totales mg/L (A)                                                                                                                                              | SM 2540 B - Gravimétrico                           | 10,0                                                                                                                                                           | 2021/02/24     | 152                  |
| Sulfatos mg SO <sub>4</sub> /L (A)                                                                                                                                    | SM 4500-SO <sub>4</sub> E - Turbidimétrico         | 10,0                                                                                                                                                           | 2021/02/24     | 18,5                 |
| Temperatura °C                                                                                                                                                        | SM 2550 B - Electrométrica                         | -                                                                                                                                                              | 2021/02/18     | 22,0                 |
| Turbiedad NTU (A)                                                                                                                                                     | SM 2130 B - Nefelométrico                          | 0,500                                                                                                                                                          | 2021/02/18     | 4,10                 |
| <b>Microbiológico</b>                                                                                                                                                 |                                                    |                                                                                                                                                                |                |                      |
| ANÁLISIS                                                                                                                                                              | MÉTODO - TÉCNICA                                   | LCH                                                                                                                                                            | FECHA ANÁLISIS | RESULTADO            |
| Coliformes Totales NMP/100 mL (A)                                                                                                                                     | SM 9221 B - Número más probable                    | 1,8                                                                                                                                                            | 2021/02/18     | 110x10 <sup>-2</sup> |
| Escherichia Coli NMP/100 mL                                                                                                                                           | SM 9221 E - Número más probable                    | 1,8                                                                                                                                                            | 2021/02/18     | 14x10 <sup>-2</sup>  |



**Nancy Flórez García S.A.S**

Confiable en todas las pruebas

Nº: 894.005.589-0



COD: RO-104 Ver. 08 del 17 de Agosto de 2018

# CERTIFICADO DE ANALISIS

Nº 41244

## INFORMACIÓN DEL CLIENTE

EMPRESA : EMPRESA DE SERVICIO DE AGUSTIN CODAZZI - EMCODAZZI  
DIRECCIÓN : CODAZZI  
CONTACTO : DIANA CAROLINA MOLINA ORTIZ  
CARGO : MICROBIOLOGA

NIT : 800118095  
CIUDAD : CODAZZI  
TELÉFONO : 3186700249

## INFORMACIÓN DE LA MUESTRA

NOMBRE : AGUA SUPERFICIAL  
LUGAR DE MUESTREO : EMCODAZZI  
PUNTO DE MUESTREO : RIO MAGIRIAIMO  
TIPO DE MUESTRA : SIMPLE  
PLAN DE MUESTREO : N.S  
PROC. DE MUESTREO : N.S

CODIGO : 210366616  
LOTE : N.A  
REGISTRO INVIMA : N.A

HORA MUESTRA : 10:30  
MUESTREO : 2021/03/17  
RECEPCIÓN : 2021/03/17  
INICIO ENSAYOS : 2021/03/17  
FINAL ENSAYOS : 2021/03/31  
INFORME : 2021/03/31

| Fisicoquímico                                    |                                            |        |                |                      |
|--------------------------------------------------|--------------------------------------------|--------|----------------|----------------------|
| ANÁLISIS                                         | MÉTODO - TÉCNICA                           | LCM    | FECHA ANALISIS | RESULTADO            |
| Amoníaco mg NH3/L. **                            | SM 4500-NH3 B,C - Titulométrica            | 0,608  | 2021/03/23     | <0,608               |
| Cloruro Total mg/L (S)                           | ASTM D7511 -                               | 0,01   | 2021/03/30     | <0,01                |
| Cloruros mg Cl/L (A)                             | SM 4500-Cl B - Argentométrica              | 2,00   | 2021/03/20     | <2,00                |
| Color Real UPC - (A)                             | SM 2120 C - Fotométrico                    | 5,00   | 2021/03/20     | 29,7                 |
| Conductividad µS/cm (A)                          | SM 2510 B - Electrométrica                 | -      | 2021/03/23     | 260,0                |
| Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5) mg O2/L (A) | SM 5210 B / EPA 360.3 - Incubación 5 días  | 2,00   | 2021/03/17     | <2,00                |
| Demanda Química de Oxígeno (DQO) mg O2/L (A)     | SM 5220 C - Reflujo cerrado - Volumétrica  | 20,0   | 2021/03/18     | <20,0                |
| Dureza Total mg CaCO3/L (A)                      | SM 2340 C - Volumétrica - EDTA             | 0,500  | 2021/03/20     | 125                  |
| Ferrosos Totales mg/L (A)                        | SM 5530 B,D - Fotométrico Directo          | 0,050  | 2021/03/23     | 0,061                |
| Fluoruros mg F-/L (A)                            | SM 4110-B - Cromatografía Iónica           | 0,100  | 2021/03/30     | 0,247                |
| Fósforo Soluble mg/L                             | SM 4500-P B,E - Fotométrico                | 0,050  | 2021/03/19     | 0,089                |
| Hierro mg/L (A)                                  | SM 3030 K / SM 3111 B - Espectrométrica    | 0,1000 | 2021/03/26     | 0,1042               |
| Manganeso mg/L (A)                               | SM 3030 K / SM 3111 B - Espectrométrica    | 0,1000 | 2021/03/17     | <0,1000              |
| Nitratos mg NO3/L (A)                            | J Radier, 9 Ed. 2011 - Fotométrico         | 0,886  | 2021/03/17     | 2,55                 |
| Nitritos mg NO2/L (A)                            | SM 4500-NO2 B - Fotométrico                | 0,020  | 2021/03/17     | 0,068                |
| pH (25,3 °C) U de pH                             | SM 4500-H+ B - Electrométrica              | -      | 2021/03/17     | 8,78                 |
| Sodio mg Na/L (A)                                | SM 3030 K / SM 3500-Na B - Espectrométrica | 1,0000 | 2021/03/18     | 10,2194              |
| Sólidos Totales mg/L (A)                         | SM 2540 B - Gravimétrica                   | 10,0   | 2021/03/18     | 159                  |
| Sulfatos mg SO4/L (A)                            | SM 4500-SO4 E - Turbidimétrica             | 10,0   | 2021/03/18     | 24,0                 |
| Temperatura °C                                   | SM 2550 B - Electrométrica                 | -      | 2021/03/17     | 21,3                 |
| Turbiedad NTU (A)                                | SM 2130 B - Nefelométrica                  | 0,500  | 2021/03/17     | 2,21                 |
| Microbiológico                                   |                                            |        |                |                      |
| ANÁLISIS                                         | MÉTODO - TÉCNICA                           | LCM    | FECHA ANALISIS | RESULTADO            |
| Coliformes Totales NMP/100 mL (A)                | SM 9221 B - Número más probable            | 1,8    | 2021/03/17     | 240x10 <sup>-1</sup> |
| Escherichia Coli NMP/100 mL                      | SM 9221 E - Número más probable            | 1,8    | 2021/03/17     | 31x10 <sup>-1</sup>  |

**Anexo 4. Análisis fisicoquímicos y microbiológicos de punto de muestreo por parte de laboratorio acreditado en el mes Febrero y Marzo 2021.**

**Laboratorios**  
**Nancy Flórez García S.A.S**  
Confidencial a toda prueba  
Nº: 824.005.588-0

COD: RO-104 Ver: 08 del 17 de Agosto de 2018

**CERTIFICADO DE ANALISIS**  
Nº 40299

**INFORMACIÓN DEL CLIENTE**  
EMPRESA : EMPRESA DE SERVICIO DE AGUSTIN CODAZZI - EMCODAZZI  
DIRECCIÓN : CODAZZI  
CONTACTO : DIANA CAROLINA MOLINA ORTIZ  
CARGO : MICROBIOLOGA

**INFORMACIÓN DE LA MUESTRA**  
NOMBRE : AGUA POTABLE  
LUGAR DE MUESTREO : EMCODAZZI  
PUNTO DE MUESTREO : ITAGRO  
TIPO DE MUESTRA : SIMPLE  
PLAN DE MUESTREO : N.S  
PROC. DE MUESTREO : N.S

NIT : 800118095  
CIUDAD : CODAZZI  
TELÉFONO : 3186700249

HORA MUESTRA : 09:00  
MUESTREO : 2021/02/10  
RECEPCIÓN : 2021/02/10  
INICIO ENSAYOS : 2021/02/10  
FINAL ENSAYOS : 2021/02/26  
INFORME : 2021/02/27

**Fisicoquímico**

| ANÁLISIS                                   | MÉTODO - TÉCNICA                        | LCM    | FECHA ANÁLISIS | ESPECIFICACIÓN | RESULTADO |
|--------------------------------------------|-----------------------------------------|--------|----------------|----------------|-----------|
| Alcalinidad Total mg CaCO <sub>3</sub> /L  | SM 2320 B - Volumétrico                 | 0,500  | 2021/02/10     | 200            | 111       |
| Cloro Libre Residual mg Cl <sub>2</sub> /L | HACH DPD - Fotométrico                  | -      | 2021/02/10     | 0,3-2,0        | 0,56      |
| Cloruros mg Cl/L                           | SM 4500-Cl B - Argentamétrico           | 2,00   | 2021/02/12     | 250            | 2,61      |
| Color Aparente UPC                         | AQM 114421 - Comparación visual         | 5,00   | 2021/02/10     | 15             | <5,00     |
| Dureza Total mg CaCO <sub>3</sub> /L       | SM 2340 C - Volumétrico - EDTA          | 0,500  | 2021/02/13     | 300            | 122       |
| Hierro mg/L                                | SM 3030 K / SM 3111 B - Espectrométrica | 0,1000 | 2021/02/25     | 0,3            | <0,1000   |
| Nitros mg NO <sub>2</sub> /L               | SM 4500-NO <sub>2</sub> B - Fotométrico | 0,020  | 2021/02/10     | 0,1            | <0,020    |
| pH (24,1 °C) U de pH                       | SM 4500-H+ B - Electrométrico           | -      | 2021/02/10     | 6,5-9,0        | 8,13      |
| Temperatura °C                             | SM 2550 B - Electrométrico              | -      | 2021/02/10     | N.R            | 24,1      |
| Turbiedad NTU                              | SM 2130 B - Nefelométrico               | 0,500  | 2021/02/10     | 2              | <0,500    |

**Microbiológico**

| ANÁLISIS                     | MÉTODO - TÉCNICA                    | LCM | FECHA ANÁLISIS | ESPECIFICACIÓN | RESULTADO |
|------------------------------|-------------------------------------|-----|----------------|----------------|-----------|
| Coliformes Totales UFC/100mL | SM 9222 B - Filtración por Membrana | 1   | 2021/02/10     | 0              | <1        |
| Escherichia coli UFC/100 mL  | SM 9222 D - Filtración por Membrana | 1   | 2021/02/10     | 0              | <1        |



**Laboratorios**  
**Nancy Flórez García S.A.S**

Confiable en toda prueba  
Nº 824.005.588-0



COD: RO-104 Ver: 08 del 17 de Agosto de 2018

**CERTIFICADO DE ANALISIS**

Nº 41244

**INFORMACIÓN DEL CLIENTE**

EMPRESA : EMPRESA DE SERVICIO DE AGUSTIN CODAZZI - EMCODAZZI  
DIRECCIÓN : CODAZZI  
CONTACTO : DIANA CAROLINA MOLINA ORTIZ  
CARGO : MICROBIOLOGA

NIT : 800118095  
CIUDAD : CODAZZI  
TELÉFONO : 3186700249

**INFORMACIÓN DE LA MUESTRA**

NOMBRE : AGUA SUPERFICIAL  
LUGAR DE MUESTREO : EMCODAZZI  
PUNTO DE MUESTREO : RIO MAGIERAIMO  
TIPO DE MUESTRA : SIMPLE  
PLAN DE MUESTREO : N.S  
PROC. DE MUESTREO : N.S

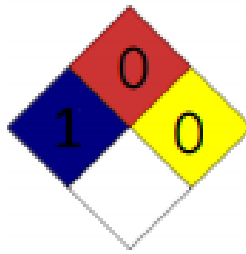
CODIGO : 210366616  
LOTE : N.A  
REGISTRO INVIMA : N.A

HORA MUESTRA : 10:30  
MUESTREO : 2021/03/17  
RECEPCIÓN : 2021/03/17  
INICIO ENSAYOS : 2021/03/17  
FINAL ENSAYOS : 2021/03/31  
INFORME : 2021/03/31

| Fisicoquímico                                    |                                            |        |                   |                      |
|--------------------------------------------------|--------------------------------------------|--------|-------------------|----------------------|
| ANÁLISIS                                         | MÉTODO - TÉCNICA                           | LCM    | FECHA<br>ANÁLISIS | RESULTADO            |
| Amoníaco mg N/C/L **                             | SM 4500-NH3 B,C - Titulométrico            | 0,608  | 2021/03/23        | <0,608               |
| Cloruro Total mg/L (S)                           | ASTM D7511 -                               | 0,01   | 2021/03/30        | <0,01                |
| Cloruros mg Cl/L (A)                             | SM 4500-Cl B - Argentométrico              | 2,00   | 2021/03/20        | <2,00                |
| Color Real UPC (A)                               | SM 2120 C - Potométrico                    | 5,00   | 2021/03/20        | 29,7                 |
| Conductividad µS/cm (A)                          | SM 2510 B - Electrométrica                 | -      | 2021/03/23        | 260,0                |
| Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5) mg O2/L (A) | SM 5210 B / EPA 360.3 - Incubación 5 días  | 2,00   | 2021/03/17        | <2,00                |
| Demanda Química de Oxígeno (DQO) mg O2/L (A)     | SM 5220 C - Reflujo cerrado - Volumétrico  | 20,0   | 2021/03/18        | <20,0                |
| Dureza Total mg CaCO3/L (A)                      | SM 2340 C - Volumétrica - EDTA             | 0,500  | 2021/03/20        | 125                  |
| Fenoles Totales mg/L (A)                         | SM 5530 B,D - Potométrico Directo          | 0,050  | 2021/03/23        | 0,061                |
| Fluoruros mg F-/L (A)                            | SM 4110-B - Cromatografía iónica           | 0,100  | 2021/03/20        | 0,247                |
| Fósforo Soluble mg/L                             | SM 4500-P B,E - Potométrico                | 0,050  | 2021/03/19        | 0,089                |
| Hierro mg/L (A)                                  | SM 3030 K / SM 3111 B - Espectrométrico    | 0,1000 | 2021/03/26        | 0,1042               |
| Manganeso mg/L (A)                               | SM 3030 K / SM 3111 B - Espectrométrico    | 0,1000 | 2021/03/17        | <0,1000              |
| Nitrato mg NO3/L (A)                             | J Rodier, 9 Ed. 2011 - Potométrico         | 0,886  | 2021/03/17        | 2,55                 |
| Nitrito mg NO2/L (A)                             | SM 4500-NO2 B - Potométrico                | 0,020  | 2021/03/17        | 0,068                |
| pH (21,3 °C) U de pH                             | SM 4500-H+ B - Electrométrica              | -      | 2021/03/17        | 8,78                 |
| Sodio mg Na/L (A)                                | SM 3030 K / SM 3500-Na B - Espectrométrico | 1,0000 | 2021/03/18        | 10,2194              |
| Sólidos Totales mg/L (A)                         | SM 2540 B - Gravimétrico                   | 10,0   | 2021/03/18        | 159                  |
| Sulfato mg SO4/L (A)                             | SM 4500-SO4 E - Turbidimétrico             | 10,0   | 2021/03/18        | 24,0                 |
| Temperatura °C                                   | SM 2550 B - Electrométrica                 | -      | 2021/03/17        | 23,3                 |
| Turbiedad NTU (A)                                | SM 2130 B - Nefelométrico                  | 0,500  | 2021/03/17        | 2,21                 |
| Microbiológico                                   |                                            |        |                   |                      |
| ANÁLISIS                                         | MÉTODO - TÉCNICA                           | LCM    | FECHA<br>ANÁLISIS | RESULTADO            |
| Coliformes Totales NMP/100 mL (A)                | SM 9221 B - Número más probable            | 1,8    | 2021/03/17        | 240x10 <sup>-1</sup> |
| Escherichia Coli NMP/100 mL                      | SM 9221 E - Número más probable            | 1,8    | 2021/03/17        | 31x10 <sup>-1</sup>  |

## Anexo 5. Ficha técnica del Policloruro de Aluminio

|                                                                                   |                                                      |                       |
|-----------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------|-----------------------|
|  | <b>FICHA TECNICA</b><br><b>CÓDIGO FT – 5PAC</b>      | <b>VERSIÓN: 01</b>    |
|                                                                                   | <b>RESPONSABLES</b><br><b>COORDINADOR DE CALIDAD</b> | <b>PÁGINAS 1 DE 1</b> |

| <b>FICHA TECNICA</b><br><b>POLICLORURO DE ALUMINIO LIQUIDO, PAC</b>               |                                                                                                                                                          |
|-----------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>IDENTIFICACIÓN U.N</b><br><b>3264</b>                                          | <b>IDENTIFICACIÓN NFPA 704</b><br><br>INFLAMABILIDAD<br>(COLOR ROJO)<br><br>SALUD<br>(COLOR AZUL)<br><br>REACTIVIDAD<br>(COLOR AMARILLO)<br><br>ESPECIAL |
| <b>CAS. 1327 – 41 – 9</b>                                                         |                                                                        |
|  |                                                                                                                                                          |

### 1. IDENTIFICACIÓN:

NOMBRE COMERCIAL: Policloruro de Aluminio, PAC

### 2. DESCRIPCIÓN:

El polidloruro de aluminio (PAC) es una sal de alta basicidad con base en anión cloruro. Se diferencia del hidroxiclорuro de aluminio (ACH) porque presenta especies polinucleares del metal convirtiéndolo en un coagulante de alto desempeño, con excelentes propiedades para el tratamiento de aguas con dificultades especiales y generando bajo volumen de lodos, pues trabaja bien con poco suministro de alúmina.

Para mayor información del producto, remítase a la hoja de seguridad HS-5PAC

### 3. ESPECIFICACIONES:

| PARÁMETRO                        | ESPECIFICACIÓN |
|----------------------------------|----------------|
| % Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 10.5 ± 0.5     |
| Relación de Basicidad:           | 70% min        |
| pH a 25 °C                       | 2.5 ± 0.3      |
| Densidad ( 20 °C )               | 1.23 ± 0.03    |