

**EVALUACIÓN DE LA UTILIZACIÓN DEL ALGINATO DE SODIO EN EL  
TRATAMIENTO DEL AGUA DE RETROLAVADO PARA LA EMPRESA  
EMSERTENJO ESP EN EL MUNICIPIO DE TENJO CUNDINAMARCA.**

**BRAYAN STEVEN DÍAZ GUTIÉRREZ  
JUAN PABLO POLANIA BARRETO**

**Proyecto integral de grado para optar al título de  
INGENIERO QUÍMICO**

**Director, Diana Marcela Cuesta Parra**

**FUNDACIÓN UNIVERSIDAD DE AMÉRICA  
FACULTAD DE INGENIERÍAS  
PROGRAMA DE INGENIERÍA QUÍMICA  
BOGOTA D.C.**

**2021**

NOTA DE ACEPTACIÓN:

---

---

---

---

---

---

---

---

Firma del jurado  
Nombre: Felipe Correa Mahecha

---

Firma del jurado  
Nombre: Juan Camilo Gómez Caipa

## DIRECTIVOS DE LA UNIVERSIDAD

Presidente de la Universidad y Rector del Claustro.  
**Dr. Mario Posada García-Peña**

Consejero Institucional  
**Dr. Luis Jaime Posada García-Peña**

Vicerrectora Académica y de Investigaciones  
**Dra. Alexandra Mejía Guzmán**

Vicerrector Administrativo y Financiero  
**Dr. Ricardo Alfonso Peñaranda Castro**

Secretario General  
**Dr. José Luis Macías Rodríguez**

Decano de la Facultad de Ingenierías  
**Ing. Julio César Fuentes Arismendi**

Director Programa de Ingeniería Química  
**Ing. Nubia Liliana Becerra Ospina**

Las directivas de la Universidad de América, los jurados calificadores y el cuerpo docente no son responsables de los criterios e ideas expuestas en el presente documento. Estos corresponden únicamente a los autores.

## DEDICATORIA

Dedico este proyecto en especial a mi madre por siempre apoyarme en cada momento de mi vida y a pesar de las adversidades pudimos salir juntos adelante. A mi familia, por su apoyo y compañía a lo largo de esta carrera, por la culminación de una grandiosa carrera, gracias.

Brayan Steven Díaz Gutiérrez

Este es un homenaje principal para Dios por todas las bendiciones que ha estado acompañándome durante mi vida y para mis cuatro queridos ángeles que han estado acompañándome Nohora Cristina Barreto (mi madre), Josué Fernando Barreto (tío) y Josué Barreto Monroy (abuelo) y Ermilda Barrios (Abuelita-paterna) Quiero darle mis mayores agradamientos a mi papa y abuela-materna por todo su cariño que me ha otorgado las mejores oportunidades, por todos sus esfuerzos personales que han hecho por mi durante toda mi vida, por su gran amor y dedicación y ensañarme los valores más y dentro de ellos el valor de la vida. Quiero agradecer a toda mi familia huilense (tías, tíos y primas paternas) que me han dado su mano incondicional y siempre ayudándome de forma directa e indirecta, también a mi familia quindiana (hermanos de mi abuelita) y un homenaje a mi tío Balseir Antonio Guzmán de compartir con él ante los encuentros familiares realizados en el Quindío. A mi tío (el hermano menor por parte de mi mama) por corregirnos nuestra rabieta a mí y a mi primo, por ella educación que nos dio mediante el ejemplo, a mi primo considerado como mi hermano debido a que siempre ha estado conmigo en todo momento que lo llegue a necesitar. A mi novia que ha llegado a mi vida a ser mi mejor amiga, mi cómplice y mi todo que siempre me da buenos consejos para ser cada día mejor, por darme sus mejores sonrisas, alegrías, cariño y amor en todo momento, además quiero agradecer a su hermosa familia que se ha convertido a su vez en mi familia por su aceptación como un hijo más. y agradecer a todas las personas con las que he compartido en familia por enseñarme buenas frases y valores de responsabilidad y orden. Quiero dar mis sinceros agradecimientos a la profesora Diana Marcela Cuesta por ser nuestra directora y encaminarnos a desarrollar el proyecto de grado dentro de la Fundación Universidad de América y estar dispuesta a resolver

positivamente en todas las inquietudes a lo largo del desarrollo del proyecto. A mis amigos de Universidad, de juegos y de colegio por darme muchos momentos divertidos por las buenas risas, momentos felices, me alegra mucho haberlos conocido en mi vida en los que he vivido con ellos momentos felices como viajes inigualables. Deseándole a ellos muchos éxitos en todo lo que hagan y bendiciones en sus caminos y en especial a mi compañero de tesis Brayan Steven Díaz por esta travesía de proyecto de grado debido a que nos ha tocado pasar momentos difíciles debido a la pandemia del COVID 19, que se ha podido desarrollar en armonía y a todas las personas que han estado presente en mi vida, muchas gracias por todo.

Juan Pablo Polania Barreto

## **AGRADECIMIENTOS**

Los autores expresan agradecimientos especiales a:

A la directora del proyecto, Diana Marcela Cuesta Parra por orientarnos, aportarnos su conocimiento y apoyarnos durante el desarrollo de este proyecto.

Al Ingeniero Ambiental Julián Reinaldo Sánchez Calle, por su acompañamiento, tiempo y apoyo en la realización del proyecto.

Al personal del laboratorio Hidrolab Ltda., por su amable atención y ayuda.

## TABLA DE CONTENIDO

|   |    |
|---|----|
| RESUMEN   | 16 |
| INTRODUCCIÓN  | 18 |
| OBJETIVOS   | 20 |
| 1. FUNDAMENTO TEÓRICO   | 21 |
| 1.1 Fuentes hídricas  | 21 |
| 1.2 Tratamiento de agua potable                               | 24 |
| 1.2.1 <i>Pretratamiento</i>                                   | 25 |
| 1.2.2 <i>Aireación</i>  | 29 |
| 1.2.3 <i>Coagulación-Floculación</i>                          | 30 |
| 1.2.4 <i>Filtración</i>                                       | 36 |
| 1.2.5 <i>Desinfección</i>                                     | 40 |
| 1.3 Tanque de retrolavado                                     | 41 |
| 1.4 Coagulante natural  | 43 |
| 1.4.2 <i>Propiedades Fisicoquímicas del Alginato de sodio</i> | 51 |
| 1.5 Normatividad  | 54 |
| PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA                                    | 57 |
| 2. METODOLOGÍA  | 59 |
| 2.1 Objetivo 1  | 59 |
| 2.2 Objetivo 2  | 61 |
| 2.3 Objetivo 3  | 66 |
| 2.3.1 <i>Capex</i>  | 67 |
| 2.3.2. <i>Opex</i>  | 68 |
| 3. RESULTADOS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS                        | 69 |

|   |     |
|---|-----|
| 3.1 Estado actual del proceso de generación de aguas de retrolavado   | 69  |
| 3.1.1 <i>Demografía</i>   | 69  |
| 3.1.2 <i>Proceso de potabilización</i>  | 74  |
| 3.1.4 <i>Proceso de retrolavado</i>   | 88  |
| 3.1.5 <i>Caracterización agua de retrolavado</i>  | 98  |
| 3.1.6 <i>Análisis de Resultados Agua cruda del laboratorio HIDROLAB. LTDA</i>                                     | 101 |
| 3.1.7 <i>Comparativa con la normatividad</i>  | 103 |
| 3.2 Determinar las características fisicoquímicas del agua de retrolavado con la aplicación del alginato de sodio | 106 |
| 3.2.1 <i>Pre-experimentación</i>  | 107 |
| 3.2.2 <i>Determinación de pH de trabajo para el coagulante</i>  | 109 |
| 3.2.3 <i>Determinación de dosis de coagulante con pH establecido</i>  | 118 |
| 3.2.4 <i>Influencia de los factores</i>   | 129 |
| 3.2.5 <i>Balance de materia para neutralización del ácido sulfúrico</i>   | 131 |
| 3.2.5 <i>Diseño de experimentos</i>   | 140 |
| 3.2.6 <i>Análisis de calidad del agua tratada</i>   | 160 |
| 3.2.7 <i>Comparación de la propuesta de mejora con respecto a otros coagulantes</i>                               | 170 |
| 4 COSTOS DE IMPLEMENTACION DEL TRATAMIENTO SELECCIONADO   | 176 |
| 4.1 Situación financiera actual   | 176 |
| 4.1.1 <i>Cálculo de OPEX</i>  | 176 |
| 4.1.2 <i>Flujo de caja actual</i>   | 179 |
| 4.2 Situación financiera con la propuesta de mejora   | 181 |
| 4.2.1 <i>Cálculo del CAPEX</i>  | 181 |
| 4.2.2 <i>Cálculo de OPEX</i>  | 182 |
| 4.2.3 <i>Flujo de caja con la propuesta de mejora</i>   | 186 |

|  |     |
|--|-----|
| 4.2.4 Precio por metro cubico de agua tratada                            | 187 |
| 4.3 Comparación costos totales   | 188 |
| 4.4 Establecer propuesta de mejora en condiciones de uso potable         | 189 |
| 4.5 Establecer propuesta de mejora en condiciones de reuso               | 190 |
| 4.6 Análisis comparativo de los costos del proceso                       | 192 |
| 4.6.1 Costos del proceso para vertimientos                               | 192 |
| 4.6.2 Costos del proceso para potabilización                             | 194 |
| 4.6.3 Análisis comparativo de los costos de vertimiento y potabilización | 196 |
| 5. CONCLUSIONES  | 198 |
| BIBLIOGRAFIA   | 200 |
| ANEXOS   | 210 |

## LISTA DE FIGURAS

|  |     |
|--|-----|
| <b>Figura 1.</b> Ciclo hidrológico del agua  | 24  |
| <b>Figura 2.</b> Método de Aireación para el tratamiento de agua.  | 29  |
| <b>Figura 3.</b> Representación de la estabilidad de los coloides presentes en el agua                                 | 31  |
| <b>Figura 4.</b> Tanque de sedimentador simple   | 36  |
| <b>Figura 5.</b> Filtro rápido de arena abierto convencional   | 38  |
| <b>Figura 6.</b> Filtro lento de arena abierto convencional  | 39  |
| <b>Figura 7.</b> Filtro rápido de arena abierto compacta   | 40  |
| <b>Figura 8.</b> Operación en tanque de retrolavado  | 42  |
| <b>Figura 9.</b> Estructura química de Alginato de Sodio   | 44  |
| <b>Figura 10.</b> Modelo “Caja de huevo”   | 45  |
| <b>Figura 11.</b> Producción de Alginato de sodio  | 49  |
| <b>Figura 12.</b> Esquema de procedimiento realizado en las instalaciones del laboratorio de la universidad de América | 63  |
| <b>Figura 13.</b> Diseño de experimentos nivel 2 factorial 3   | 64  |
| <b>Figura 14.</b> Mapa geográfico de Tenjo, Cundinamarca   | 70  |
| <b>Figura 15.</b> Mapa Hidrográfico de Tenjo Cundinamarca  | 71  |
| <b>Figura 16.</b> Localización planta de tratamiento de agua Emser Tenjo e.s.p   | 73  |
| <b>Figura 17.</b> Desarrollo de la planta de tratamiento Emser Tenjo e.s.p   | 74  |
| <b>Figura 18.</b> Planta de tratamiento de aguas de retrolavado  | 91  |
| <b>Figura 19.</b> Plano de la cámara de homogenización   | 92  |
| <b>Figura 20.</b> Plano de la cámara de homogenización   | 93  |
| <b>Figura 21.</b> Plano del tanque de retrolavado  | 94  |
| <b>Figura 22.</b> Plano del sistema de filtración  | 95  |
| <b>Figura 23.</b> Soporte metálico para la geomembrana   | 96  |
| <b>Figura 24.</b> Geomembrana desgastada   | 97  |
| <b>Figura 25.</b> Plano de la cámara de almacenamiento   | 98  |
| <b>Figura 26.</b> Cámara de homogenización   | 99  |
| <b>Figura 27.</b> Envases suministrados por Hidrolab para sus pruebas fisicoquímicas                                   | 100 |
| <b>Figura 28.</b> Galones de polipropileno   | 101 |

|   |     |
|---|-----|
| <b>Figura 29.</b> Barrido espectral de la muestra de agua de retrolavado sin tratar   | 107 |
| <b>Figura 30.</b> Turbidez vs pH a determinar   | 113 |
| <b>Figura 31.</b> Porcentaje de remoción de turbidez vs pH                            | 114 |
| <b>Figura 32.</b> Absorbancia vs pH a determinar                                      | 117 |
| <b>Figura 33.</b> Porcentaje de remoción de color vs pH a determinar                  | 118 |
| <b>Figura 34.</b> Resultados promedio de la turbidez respecto a la dosis y el pH      | 121 |
| <b>Figura 35.</b> diagrama de caja de los porcentajes de remoción de la turbidez      | 123 |
| <b>Figura 36.</b> Porcentaje de Remoción de turbidez respecto a la dosis y el pH      | 124 |
| <b>Figura 37.</b> diagrama de caja de la remoción de color                            | 127 |
| <b>Figura 38.</b> Resultados de remoción de color respecto a la dosis y el pH         | 128 |
| <b>Figura 39.</b> Porcentaje de remoción de color respecto a la dosis y el pH         | 129 |
| <b>Figura 40.</b> Diagrama general del tratamiento de agua de retrolavado             | 135 |
| <b>Figura 41.</b> Procesos para el desarrollo de la propuesta de mejora               | 136 |
| <b>Figura 42.</b> probabilidad de residuo en la remoción de turbidez                  | 144 |
| <b>Figura 43.</b> Probabilidad de residuo en la remoción de turbidez                  | 145 |
| <b>Figura 44.</b> Caja de porcentaje remoción de turbidez y pH; Dosis de coagulante   | 147 |
| <b>Figura 45.</b> Caja de porcentaje de Remoción de Color y pH; Dosis de coagulante   | 149 |
| <b>Figura 46.</b> Caja de Residuos y orden de observación en el %remoción de turbidez | 151 |
| <b>Figura 47.</b> Caja de Residuos y orden de observación en el % remoción de color   | 153 |
| <b>Figura 48.</b> Caja de remoción de turbidez  | 154 |
| <b>Figura 49.</b> Caja de remoción de color   | 155 |
| <b>Figura 50.</b> Flujo de caja actual  | 179 |
| <b>Figura 51.</b> Flujo de caja con la propuesta de mejora                            | 187 |

## LISTA DE TABLAS

|   |     |
|---|-----|
| Tabla 1. Composición química de agua subterránea  | 21  |
| Tabla 2. Clasificación de desbastes industriales  | 26  |
| Tabla 3. Clasificación de tamiz industriales  | 27  |
| Tabla 4. Clasificación y tipos de desarenadores industriales  | 28  |
| Tabla 5. Clasificación del agua según su comportamiento en la coagulación   | 34  |
| Tabla 6. Operación para el proceso de comercialización del alginato   | 47  |
| Tabla 7. Clasificación industrial de alginatos.   | 50  |
| Tabla 8. Propiedades Fisicoquímicas del Alginato de sodio   | 52  |
| Tabla 9. Parámetros, unidades y valores límites máximos permisibles para el tratamiento de agua potable dictados por la resolución 2115 de 2007 | 54  |
| Tabla 10. Propiedades Fisicoquímicas del Alginato de sodio  | 56  |
| Tabla 11 Equipos de inversion Capexdio  | 67  |
| Tabla 12. Gastos de funcionamiento actuales Opex  | 68  |
| Tabla 13. Uso de las concesiones subterráneas en Cundinamarca   | 72  |
| Tabla 14. Descripción de los pozos profundos  | 75  |
| Tabla 15. Procedimiento para el tratamiento de agua en el municipio de Tenjo  | 78  |
| Tabla 16. Reporte de resultados de agua potable de febrero de 2021 del laboratorio H2O ES VIDA S.A.S  | 87  |
| Tabla 17. Procedimiento para el tratamiento de agua en el municipio de Tenjo  | 89  |
| Tabla 18. Resultados fisicoquímicos del agua de retrolavado sin tratar  | 101 |
| Tabla 19. Comparación resultados agua de retrolavado sin tratar con normatividad  | 103 |
| Tabla 20. Factores constantes para el tratamiento de agua de retrolavado  | 106 |
| Tabla 21. Resultado de volumen a utilizar según la concentración  | 109 |
| Tabla 22. Resultado de la variación de pH para agua de retrolavado  | 109 |
| Tabla 23. Resultados de remoción de turbidez para muestras con distinto pH  | 111 |
| Tabla 24. Colores dentro del espectro visible   | 115 |
| Tabla 25. Resultados de remoción de color para muestras con distinto pH   | 116 |
| Tabla 26. Antecedentes respecto al tratamiento de aguas con alginato de sodio   | 119 |
| Tabla 27. Remoción de turbidez para cada experimento  | 120 |

|  |     |
|--|-----|
| Tabla 28. Promedio de resultados de remoción de turbidez final   | 121 |
| Tabla 29. Porcentaje de remoción de turbidez   | 122 |
| Tabla 30. Remoción de color para cada experimento  | 125 |
| Tabla 31. Promedio de resultados de remoción de color  | 126 |
| Tabla 32. Porcentaje de remoción de color  | 126 |
| Tabla 33. Características químicas y físicas de los compuestos   | 132 |
| Tabla 34. Balance de masa  | 139 |
| Tabla 35. Factores que influyen en el coagulante   | 140 |
| <i>Tabla 36. Diseño experimental evaluación del agente coagulante natural alginato de sodio para la remoción de turbidez</i> | 141 |
| Tabla 37. Diseño experimental evaluación del agente coagulante natural alginato de sodio para la remoción del color          | 142 |
| Tabla 38. Pruebas de igualdad de varianza para la Turbidez   | 146 |
| Tabla 39. Pruebas de igualdad de varianza para el Color  | 148 |
| Tabla 40. Estadístico de Durbin-Watson para la remoción de Turbidez  | 150 |
| Tabla 41. Estadístico de Durbin-Watson para la remoción de Color   | 152 |
| <i>Tabla 42. Análisis estadístico para la remoción de turbidez mediante ANOVA</i>  | 156 |
| Tabla 43. Análisis estadístico para la remoción de turbidez mediante prueba de Kruskal-Wallis mediante STATA                 | 157 |
| Tabla 44. Análisis estadístico para la remoción de color mediante ANOVA  | 157 |
| Tabla 45. Análisis estadístico para la remoción de color mediante prueba de Kruskal-Wallis mediante STATA                    | 158 |
| Tabla 46. Prueba estadística de tukey entre la concentración de pH y Dosis de coagulante para la remoción de turbidez        | 159 |
| Tabla 47. Prueba estadística de tukey entre la concentración de pH y Dosis de coagulante para la remoción de color           | 160 |
| Tabla 48. Resultados fisicoquímicos del agua de retrolavado sin tratar   | 161 |
| Tabla 49. Comparación resultados agua de retrolavado tratada con normatividad  | 162 |
| Tabla 50. Porcentaje de remoción de los parámetros evaluados   | 164 |
| Tabla 51. Análisis agua tratada para vertimiento   | 165 |
| Tabla 52. Análisis agua tratada para potabilización  | 168 |

|  |     |
|--|-----|
| Tabla 53. Ventajas y desventajas del uso de coagulantes inorgánicos                        | 170 |
| Tabla 54. Actividad de coagulantes naturales para uso residual                             | 173 |
| Tabla 55. Actividad de coagulantes naturales para uso de agua potable                      | 174 |
| Tabla 56. Implementación Opex actual   | 177 |
| Tabla 57. Costo de inversión para la propuesta de mejora                                   | 182 |
| Tabla 58. Consumo de energía   | 183 |
| Tabla 59. Implementación Opex para la mejora   | 184 |
| Tabla 60. Comparación costos actuales y costos de implementación de la propuesta de mejora | 188 |
| Tabla 61. Gastos actuales de operación y mantenimiento                                     | 189 |
| Tabla 62. Gastos actuales de operación y mantenimiento                                     | 191 |
| Tabla 63. Costos de inversión para vertimientos  | 193 |
| Tabla 64. Costos de inversión para potabilización  | 195 |
| Tabla 65. Comparación de los costos de inversión de potabilización y vertimiento           | 196 |
| Tabla 66. Costo por metro cubico diario para diferentes usos                               | 196 |

## RESUMEN

El documento se centró en la evaluación de la actividad de un agente coagulante natural (Alginato de Sodio) para el tratamiento de aguas de retrolavado de la PTAP del municipio de Tenjo, Cundinamarca. Actualmente la planta de tratamiento cuenta con una capacidad de tratamiento de 79 lps de agua cruda, donde el 3% corresponde al agua de retrolavado, la cual es utilizada para el lavado de los filtros de las plantas, removiendo partículas sedimentables compuestas por minerales de Hierro, Magnesio, calcio, Antracita y lodos provenientes de los pozos de captación. Inicialmente el documento empezó con un análisis del estado actual de la PTAP, soportado con información secundaria suministrada por la empresa de EMSERTENJO E.S.P., junto con un análisis fisicoquímico del agua de retrolavado contando con el apoyo del laboratorio HIDROLAB S.A. para conocer las condiciones actuales del agua de retrolavado. Seguidamente las pruebas experimentales fueron realizadas en los laboratorios de la Fundación Universidad de América, se ejecutaron pruebas de Ph, determinando así que el Alginato de Sodio remueve mayor grado de sólidos suspendidos a pH ácidos entre 1 y 3, posteriormente se ajustó el pH de las muestras a tratar con ácido sulfúrico 97%, empleando concentraciones de Alginato de Sodio de 35mg/L, 45mg/L y 55mg/L según lo recomendado por trabajos previos, donde se estableció que el Alginato de Sodio remueve mayor grado de sólidos suspendidos a una concentración de 55mg/L y un pH de 1, obteniendo un porcentaje de remoción de turbidez del 97,98%. Las muestras evaluadas a estas condiciones fueron llevadas nuevamente a los laboratorios de HIDROLAB S.A. para sus pruebas fisicoquímicas, en donde los resultados fueron comparados con los límites máximos establecidos por la resolución número 2115 de 2007 del Ministerio de la Protección Social, Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, en el cual se observó que el agua cumplía con todos los parámetros evaluados excepto con el pH, debido a las condiciones ácidas en las que se empleó el coagulante natural, para ello se procedió a realizar un respectivo balance de materia para neutralizar el ácido sulfúrico con hidróxido de sodio 1M, aumentando el pH del agua tratada a condiciones permisibles por la ley.

Finalmente, se evaluaron los costos de inversión de la propuesta de mejora con el coagulante natural, donde se tomaron en cuenta los costos actuales en el tratamiento de agua de retrolavado y los costos futuros con la implementación de la propuesta de mejora, en el cual se evaluaron indicadores como la Tasa Interna de Oportunidad (TIO), el valor presente (VP) y el costo anual uniforme equivalente (CAUE), en donde se determinó que la propuesta de mejora representa la inversión de nuevas materias primas, junto con equipos de laboratorio, teniendo así un costo por metro cúbico de agua de retrolavado tratada con el Alginato de Sodio de alrededor de 1'022.701 \$/dia pesos colombianos en 193 m<sup>3</sup> de agua tratada .

**Palabras Clave:** Aguas retrolavado, agua cruda, tratamiento agua potable, reducción contaminante, sedimentación, coagulación y alginato sodio.

## INTRODUCCIÓN

El entorno ambiental y la destrucción de cuerpos de agua ha suscitado una creciente preocupación mundial, en donde se evidencia el incremento en el uso de agua potable ya sea para uso doméstico o industrial, parte de esto es debido al crecimiento de la población mundial, la cual requiere de este recurso hídrico en diferentes ámbitos de su vida cotidiana, así mismo, «en la sociedad actual la gran mayoría de los productos que se utilizan son desechados y en algunas ocasiones tienen una disposición final inadecuada generando y afectando otro tipo de recursos como el agua. Estos desperdicios son dispuestos en fuentes hídricas las cuales sirven de abastecimiento para poblaciones y asentamientos humanos. En consecuencia, el proceso de potabilización se vuelve esencial para resolver los problemas de mala calidad del líquido consumido que afecta los niveles de salud humana y de calidad de vida.» [1]

Debido al impacto ambiental se llega a la necesidad de crear métodos y avances en la ciencia para el tratamiento del agua, donde una técnica convencional es la coagulación, la cual consiste en la desestabilización de partículas sólidas, que posteriormente se agrupan generando flóculos, que evidencian una separación de fases [2]. En la industria se pueden encontrar diferentes coagulantes de tipo sintético o natural en los cuales (autor menciona que) «los coagulantes comunes como el sulfato de aluminio hoy en día se ve cuestionado debido a las dificultades técnicas para poder mantener el pH óptimo de coagulación, dado a esto se suma el posible brote de enfermedades neurodegenerativas. Esto quiere decir que, si el pH no está en el intervalo adecuado siendo este de 6,5 a 8,0, el proceso de clarificación vendría a ser pobre, lo que implicaría que el aluminio tienda a solubilizarse ocasionando problemas en los valores de turbiedad.» [2]

En el presente documento se estudió la aplicación de un coagulante natural (Alginato de Sodio) extraído de las algas pardas, para el tratamiento de aguas resultantes del proceso de retrolavado en la planta de tratamiento de agua potable del municipio de Tenjo, Cundinamarca; donde estas aguas de retrolavado fueron enviadas a las instalaciones de un laboratorio certificado para sus respectivas pruebas fisicoquímicas y así evaluar las condiciones actuales del agua, evaluando los factores a evaluar con la aplicación de este

coagulante, así mismo se realizó una búsqueda bibliográfica relacionada con los diferentes tratamientos de agua con alginato de sodio para partir de una dosis de referencia la cual fue evaluada en el agua de retrolavado producida en la planta de tratamiento de agua potable del municipio de Tenjo Cundinamarca, ya determinadas las mejores condiciones de tratamiento con el alginato de sodio, estas aguas tratadas fueron enviadas nuevamente a las instalaciones de un laboratorio certificado, en donde sus resultados fueron comparados con la normatividad para finalmente evaluar los porcentajes de remoción del coagulante natural y si esta cumple con los valores máximos permisibles por la ley.

Así mismo este documento llevo a cabo un desarrollo de los costos para la implementación de la propuesta de mejora con alginato de sodio, teniendo en cuenta las condiciones de tratamiento que necesita el agua de retrolavado, tales como la adquisición de equipos, materias primas y mano de obra, donde esta evaluación financiera se dividió en dos secciones, la primera es la evaluación de costos de adquisición de equipos y la segunda los costos de operación, así como materias primas y los costos de mano de obra. Seguido a esto se realizó un comparativo de costos entre la realización de un proceso de vertimiento o de potabilización, teniendo en cuenta los factores evaluados y que estos cumplan con la normatividad ambiental.

Finalmente, esta propuesta busca encontrar una alternativa para el tratamiento de aguas a través de un coagulante natural, observando la viabilidad de reemplazar los coagulantes sintéticos ya establecidos en el mercado y que tienen cierta repercusión en la salud humana. Aparte de esto también se busca encontrar la opción de darle un tratamiento al agua de retrolavado producida por la PTAP, ya que es una gran cantidad de agua que no cuenta con ningún uso, la cual con la aplicación de un debido tratamiento se puede potabilizar para mejorar el abastecimiento del municipio y disminuir el impacto ambiental.

La empresa EMSERTENJO E.S.P. la cual es encargada del tratamiento de agua potable y residual, así mismo de contar con el servicio de basuras y alcantarillado, manifestó su interés en la reutilización de esta agua residual proveniente de los tanques de filtración.

## **OBJETIVOS**

### **OBJETIVO GENERAL**

Desarrollar una propuesta para mejorar la unidad de tratamiento de aguas de retrolavado procedente de la planta de tratamiento de agua potable de la empresa EMSERTENJO ESP, en el municipio de Tenjo Cundinamarca.

### **OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Identificar el estado actual del proceso de generación de aguas de retrolavado procedentes de la planta de tratamiento de agua potable.
- Determinar las características fisicoquímicas que presenta el agua de retrolavado con la aplicación del floculante seleccionado mediante una prueba experimental.
- Determinar el costo de implementación del método de tratamiento seleccionado.

## 1. FUNDAMENTO TEÓRICO

### 1.1 Fuentes hídricas

Se reconoce el agua por ser un recurso imprescindible para la vida humana y para la supervivencia de los ecosistemas, donde el “2,5% del agua de la Tierra se compone de ríos, mares, lagunas, entre otro y la otra parte se concentra en mayor parte congelada como lo son glaciares” [4]. No obstante, es un recurso ilimitado y vulnerable procedente del mal gasto, conciencia y contaminación.

Colombia se encuentra dentro de los países en el mundo que cuenta con un gran abastecimiento de fuentes hídricas, según la FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura) “Colombia es el séptimo país con más recursos hídricos en el mundo, después de Brasil, Rusia y China” [5], esto debido a su posición geográfica, en relación con el origen del agua para consumo.

Los orígenes de las fuentes hídricas en Colombia se encuentran principalmente en los páramos, donde se forman lagunas, charcos y espacios con musgos que actúan como verdaderas esponjas. Por eso, por la altura a la que se encuentran y por ser tan húmedos, son los lugares ideales para el origen del agua. Al bajar desde allí, se forman las quebradas y los ríos de agua dulce.” [5]

De igual manera también se encuentran las aguas subterráneas, las cuales también se consideran como origen de fuentes hídricas; que a diferencia de los páramos estos cuentan con una protección ambiental más rigurosa, ya que “el deterioro de su calidad es más peligroso que el de aguas superficiales, ya que es más difícil de detectar y se reconoce tardíamente, cuando ya hay daños y víctimas.” [6] Así como los ríos y quebradas, las aguas subterráneas pertenecen al ciclo hidrológico en el cual, a través de los tiempos y debido a “particularidades propias de los medios naturales, permeables y porosos de sedimentos y rocas fracturadas”, se originaron las reservas de este recurso hídrico.

La composición de aguas subterráneas varía su composición según su localización y condiciones subterráneas de esta, donde se encuentran presentes las siguientes sustancias:

**Tabla 1.**

*Composición química de agua subterránea*

| Composición                               |          | Nombre químico         | Fórmula química |
|---|----------|------------------------|-----------------|
| Constituyentes mayoritarios fundamentales | Aniones  | Aniones de Bicarbonato | $HCO_3^-$       |
|   |          | Tetróxido de carbono   | $CO_4^-$        |
|   |          | Cloro                  | $Cl^-$          |
|   |          | Sulfatos               | $SO_4^-$        |
|   |          | Nitratos               | $NO_3^-$        |
|   | Cationes | Calcio                 | $Ca^{2+}$       |
|   |          | Magnesio               | $Mg^{2+}$       |
|   |          | Sodio                  | $Na^+$          |
|   |          | Potasio                | $K^+$           |
|   |          | amonio                 | $NH_4^-$        |
| contribuyentes minoritarios o secundario  | Aniones  | Flúor                  | $F^-$           |
|   |          | Azufre                 | $S^-$           |
|   |          | Yodo                   | $I^-$           |
|   |          | Bromo                  | $Br^-$          |

**Tabla 1.** (Continuación)

|  |          |           |             |
|--|----------|-----------|-------------|
|  |          | Tiol      | $SH^-$      |
|  |          | fosfatos  | $PQ_4^{2-}$ |
|  | Cationes | Manganeso | $Mn^{2+}$   |
|  |          | Hierro    | $Fe^{2+}$   |
|  |          | Litio     | $Li^+$      |
|  |          | Zinc      | $Zn^{2+}$   |
|  |          | Estroncio | $Sr^{2+}$   |

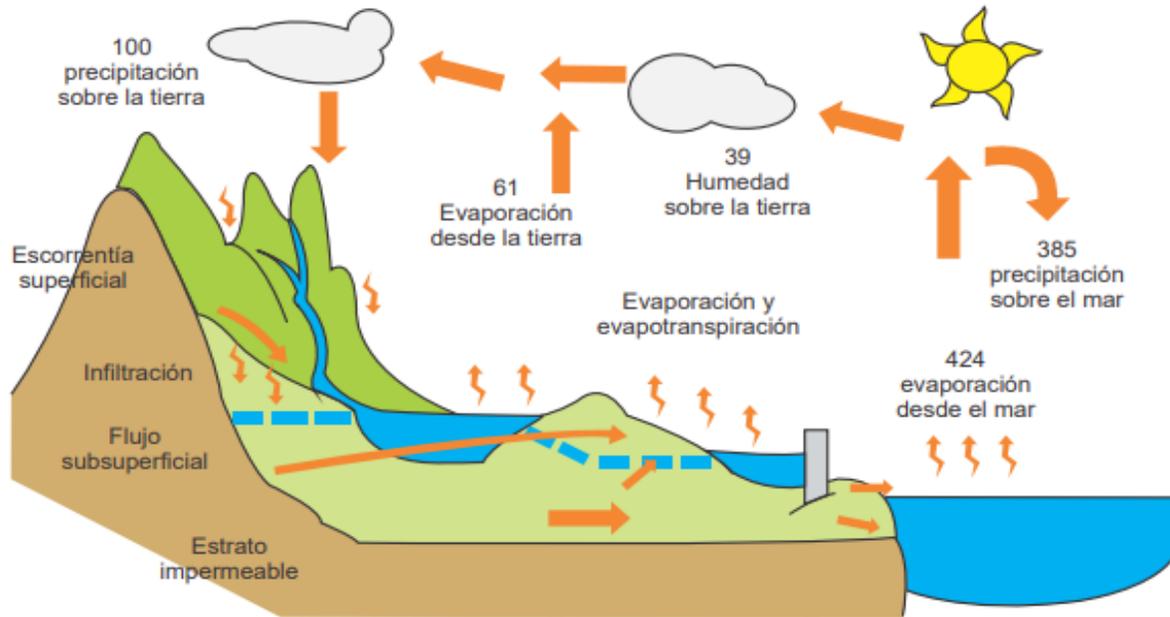
**Nota.** Principales constituyentes químicos presentes en agua subterráneas naturales Tomado de: “La composición de las aguas subterráneas naturales conceptos elementales. Disponible: [https://aguas.igme.es/igme/publica/libro43/pdf/lib43/1\\_1.pdf](https://aguas.igme.es/igme/publica/libro43/pdf/lib43/1_1.pdf).

En el agua natural dulce o agua cruda, estos constituyentes aparecen por lo general en forma iónica, constituyentes a sales casi totalmente disociadas, que con menor frecuencia se presentan en forma molecular, parcialmente disociadas o como iones complejos de sustancias orgánicas o inorgánicas.

Estas aguas superficiales, subterráneas, atmosféricas o recuperadas se determinarán a partir de un ciclo hidrológico en el que están presentes los tres estados de agregación de la materia sólido, líquido y gaseoso, el cual está representado por cinco etapas importantes, evaporación, condensación, precipitación, escorrentía y transporte [8]. Todo este ciclo tiene como una sola finalidad satisfacer a los seres humanos por medio del consumo y además teniendo en cuenta que el ser humano puede volver a utilizarla para evitar escasez, sin embargo, estas aguas reutilizables tendrán usos particulares (domésticos, ganaderos, agrícolas e industriales.)

**Figura 1.**

*Ciclo hidrológico del agua*



**Nota.** La figura representa el ciclo Hidrológico del agua con sus diferentes etapas. Tomado de: Manual de toma de muestras para la toma, preservación y transporte de muestras de agua de consumo humano para análisis de laboratorio. Disponible: <https://www.ins.gov.co/sivicap/Documentacin%20SIVICAP/2011%20Manual%20toma%20de%20muestras%20agua.pdf>

## 1.2 Tratamiento de agua potable

A través de los siglos los seres humanos han desarrollado distintos métodos para potabilizar el agua del día a día, provenientes de diferentes fuentes naturales acuíferas, aunque ha sido siempre un reto conducirla a los hogares, sin embargo, aún sigue habiendo poblaciones del planeta tierra que no les es posible abastecerse de agua potable debido a problemas sociales, económicos y regionales.

Teniendo en cuenta la importancia de abastecer continuamente a los seres vivos de esta fuente hídrica, una planta de tratamiento de agua potable es el conjunto de operaciones unitarias, así como conjuntos de sistemas que conllevan a distintos tipos de elementos

esenciales y vitales para el ser humano, el cual se procederá a un pretratamiento, decantación, filtración, coagulación-floculación y desinfección para eliminar distintos tipos de compuestos contaminantes indeseables en el agua, incluso su tratamiento dependerá de su naturaleza dinámica, interacción entre distintos procesos y los cambios que le ocurran al agua cruda [9]. Además, al momento de trabajar en estas operaciones ocurrirán ciertos tipos de variables que siempre se tendrán en cuenta al momento de operar, tales como el personal operacional, la tasa de flujo, concentraciones de la calidad del agua y temperatura ya que estas variables son imprevistas y no son controlables [10]. Estas variables influyen y alteran en cuanto a la calidad del agua. Ya que esta abastece a las poblaciones cercanas para que cumplan con los estatutos normativos correspondientes al nivel nacional e internacional.

### **1.2.1 Pretratamiento**

Se entiende por pretratamiento que es la «Operación física/mecánica y química que tiene como finalidad tratar el agua cruda captada, procedentes de fuentes superficiales, subterráneas y naturales, para la eliminación de sólidos orgánicos e inorgánicos flotantes presente en ella mediante desbaste, tamices, microtamices, trampas de grasas y desarenadores para evitar problemas posteriores en las bombas durante la potabilización del agua» [11].

Esta operación depende en cuanto a la calidad y procedencia que presente el agua captada, ya que estas aguas presentan materiales pesados debido a su naturaleza y en cuanto a la finalidad con el que se tenga que tratar el agua, ya que puede ser para potabilización y reutilización, esto implicaría costos y manejo del tratamiento.

En casos especiales donde se presentan metales pesados en el agua, suele tratarse con operaciones oxidantes de cloración para impedir obstrucciones y erosiones.

1.2.1.a. Desbaste. Se le reconoce por ser «Operación unitaria física empleada para la retención y eliminación de sustancias extremadamente voluminosas tales como basuras que intervienen en la captación del agua en la planta de tratamiento de agua, por lo general son empleados distintos tipos de rejillas o barros dependiendo el tamaño de los sólidos.» [12] Los desbastes más comunes son:

**Tabla 2.**

*Clasificación de desbastes industriales*

|                                |              |          |
|--------------------------------|--------------|----------|
| <b>Inclinación</b>             | Horizontales |          |
|                                | verticales   |          |
|                                | Inclinadas   |          |
| <b>Separación entre barras</b> | Finas        | < 1,5 cm |
|                                | Medias       | 1,5-5cm  |
|                                | Gruesas      | 5-15 cm  |
| <b>Tipo de limpieza</b>        | Manual       |          |
|                                | Automática   |          |

**Nota.** La tabla representa la clasificación de desbaste en función a los criterios de inclinación, Separación de barras y el tipo de limpieza. Tomado de: Desbaste y tamizado Requisitos. F. Pérez de la Cruz and M. Urrea Mallebrera, “Tema 5 Desbaste y tamizado,” *J. Chem. Inf. Model.*, vol. 5, p. 28, 2013. Disponible: [https://ocw.bib.upct.es/pluginfile.php/6017/mod\\_resource/content/1/Tema\\_05\\_DESBASTE\\_Y\\_TAMIZADO.pdf](https://ocw.bib.upct.es/pluginfile.php/6017/mod_resource/content/1/Tema_05_DESBASTE_Y_TAMIZADO.pdf).

1.2.1.b. Tamices. Es una Operación empleada en numerosas áreas industriales como lo son la construcción, la ganadería y el tratamiento de aguas, que tienen la disposición de separar partículas sólidas de tamaños micro y macro de acuerdo a los sólidos que lleguen al pretratamiento, llegando a ser más efectivos y limpios al momento de remover impurezas que los desbaste, alrededor del 30% [13] su clasificación se elige de acuerdo a los criterios del tamiz:

**Tabla 3.**

*Clasificación de tamiz industriales*

|                         |                         |              |                             |
|-------------------------|-------------------------|--------------|-----------------------------|
| <b>Dimensión</b>        | Microtamizado           | >0,2mm       |                             |
|                         | Microtamizado           | <100 micras  |                             |
| <b>Tipos de tamices</b> | Macrotamices rotatorios | 0,3 y 3,0 mm |                             |
|                         | Autolimpieza            | estáticos    | Inclinación entre 65° y 45° |
|                         |                         | rotativos    | 0,2-2,0 mm                  |
|                         | Tamices deslizantes     | 0,2- 3,0 mm  |                             |

**Nota.** La tabla representa la clasificación de tamiz en función a los criterios. Tomado de: Desbaste y tamizado Requisitos. P. G. Repiso, “Tratamiento de aguas residuales mixtas para una población superior a 100.000 habitantes equivalentes,” pp. 1–139, 2010, Disponible:<https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099.1/12844/Mem%C3%B2ria.pdf?sequence=4&isAllowed=y>

**1.2.1.c.** Desaceitado y desengranado. Proceso industrial empleado en plantas de tratamiento de aguas residuales e industriales por su potencial de atrapar todo tipo de aceites, grasas y espumas presentes en el agua mediante trampas, estos diseños de dispersión de sólido-sólido (desaceitado) y sólido-líquido (desengrase). [14] Es una de las más sencillas para su limpieza ya que la remoción de estos líquidos se da mediante la diferencia de densidades aplicando la ley de Arquímedes.

1.2.1.d Desarenado. Equipo especial empleado para sedimentar sólidos granulométricos suspendidos del agua, procedente de la captación tales como arcillas, arena, grava, limos y entre otros, en general se remueven partículas cuyos diámetros son mayores a 200 micras, [15] para lograr mayor eficiencia de separación de partículas mediante gravedad, el cual esta operación física sedimentable es muy empleada tanto en plantas de tratamiento de agua potable y residuales, logrando evitar obstrucciones en canales y bombas donde se transporta el agua a tratar.

**Tabla 4.**

*Clasificación y tipos de desarenadores industriales*

|                                    |                                       |                             |
|------------------------------------|---------------------------------------|-----------------------------|
| <b>Operación</b>                   | Desarenadores de lavado continuo      |                             |
|                                    | Desarenadores de lavado discontinuos. |                             |
| <b>Velocidad de escurrimiento.</b> | Baja velocidad:<br>Velocidad < 1 m/s  | Velocidad de escurrimiento. |
|                                    | Alta velocidad:<br>Velocidad > 1 m/s  | Velocidad > 1 m/s           |
| <b>Disposición</b>                 | En serie                              |                             |
|                                    | En paralelo                           |                             |
| <b>Tipos</b>                       | Desarenador convencional              |                             |
|                                    | Desarenador Dufour.                   |                             |

**Nota.** La tabla representa la clasificación y tipos de desarenadores en función a los criterios. Tomado de: A. F. C. Cárdenas, M. A. O. Calderón, and O. V. V. R. Muñoz, “Evaluación del Sistema de Lavado de los Desarenadores Convencional y Dufour Mediante el Cálculo de Volumen Muerto a Través de Modelos Hidráulicos,” Universidad Cooperativa de Colombia, 2019.

### 1.2.2 Aireación

La aireación es un proceso normalmente utilizado en el tratamiento de aguas, este proceso se lleva a cabo, cuando el agua entra en contacto con el aire con el propósito primordial de incrementar su contenido de oxígeno [16], posteriormente a este proceso y al tener un mayor contenido de oxígeno en el agua; “se eliminan las sustancias volátiles, como el sulfuro de hidrógeno y el metano, que afectan el sabor y el olor; se reduce el contenido de dióxido de carbono del agua, y se oxidan los minerales disueltos, como el hierro y el manganeso, para que formen precipitados, que se pueden retirar por decantación y filtración.” [16]

#### Figura 2.

*Método de Aireación para el tratamiento de agua.*



**Nota.** La figura representa el tratamiento del agua sin tratamiento a través de un sistema de aireación para oxigenar el agua y eliminar compuestos indeseados. Tomado de: “Tratamiento de emergencia de agua potable en el lugar de consumo”. Disponible: <http://bvspers.paho.org/share/ETRAS/AyS/texcom/desastres/opsguia5.pdf>.

Durante el proceso de aireación, «el oxígeno convierte los compuestos ferrosos y manganesos disueltos. En hidróxidos férricos y mangánicos insolubles. Sin embargo, la formación de estos precipitados por medio de la aireación, no son fáciles de retirar cuando el agua contiene materia orgánica.» [17]

El proceso se realiza principalmente para aguas, las cuales no tienen acceso a fuentes de oxígeno, tales como estanques, lagos o aguas subterráneas que debido a las condiciones en las que se encuentran, necesitan con más razón ser tratadas con este proceso.

### **1.2.3 Coagulación-Floculación**

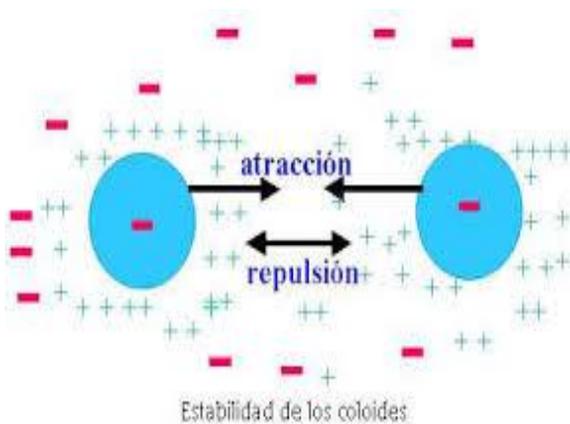
El método de coagulación-floculación es un proceso de tratamiento de aguas tanto residuales como de agua potable, este es un proceso por el cual «las partículas se aglutinan en pequeñas masas, con peso específico superior al del agua, llamadas flóculos. Dicho proceso se usa para lograr la remoción de turbiedad orgánica o inorgánica, la remoción de color verdadero y aparente, eliminación de sustancias productoras de sabor, olor en algunos casos y de precipitados químicos suspendidos, eliminación de bacterias virus y organismos patógenos susceptibles a ser separados.» [18]

Dentro de los desafíos en el tratamiento de aguas, se encuentra la eliminación de coloides presentes en el agua, ya que debido a su tamaño no son lo suficientemente grandes para ser retirados por filtración y de igual manera estos cuentan con la presencia de cargas eléctricas en su superficie, lo cual dificulta su remoción; estos coloides en primera instancia cuentan con tamaños entre 10 a 100 nm [19], en los que pueden ser materia orgánica como microorganismos o materia inorgánica como las arcillas, a parte, la mayoría de los coloides “están cargados negativamente, por lo que en agua son estables debido a la repulsión electrostática entre estas partículas invisibles. Esta repulsión sobrepasa las fuerzas de atracción de Van der Waals, por lo que no se aglomeran y, por lo tanto, no precipitan” [18] Es por ello que a través de un proceso de coagulación-floculación se neutraliza la carga eléctrica del coloide anulando las fuerzas electrostáticas repulsivas [18], (como se ilustra en la Figura 3); normalmente esta

neutralización se realiza usando coagulantes sintéticos como las “sales de aluminio o hierro; de forma que los cationes trivalentes de aluminio o hierro neutralizan las cargas eléctricas negativas que suelen rodear a las partículas coloidales dispersas en el agua.” [18]

**Figura 3.**

*Representación de la estabilidad de los coloides presentes en el agua*



**Nota.** La figura representa la inestabilización de las cargas eléctricas de los coloides presentes en el agua. Tomado de: Y. Lorenzo-Acosta, “Estado del arte del tratamiento de aguas por coagulación-floculación,” ICIDCA Sobre los Deriv. la Caña Azúcar, vol. 40, no. 2, pp. 10–17, 2006.

El proceso de coagulación-floculación se clasifican en diferentes etapas de manera que posteriormente a la aplicación del coagulante, el choque de los coloides se aglutina formando coágulos, haciendo estos visibles a simple vista, así sucesivamente hasta que los coágulos forman flóculos, clarificando el agua tratada; las etapas del proceso de coagulación se clasifican en: [18]

- 1ra Etapa: Hidrólisis de los coagulantes y desestabilización de las partículas existentes en la suspensión.
- 2da Etapa: Precipitación y formación de componentes químicos que se polimerizan.
- 3ra Etapa: Adsorción de las cadenas poliméricas en la superficie de los coloides.
- 4ta Etapa: Adsorción mutua entre los coloides.
- 5ta Etapa: Acción de barrido.

Cuando se agrega un coagulante al agua, este se hidroliza y puede producir la desestabilización de las partículas por simple adsorción [18], normalmente con cargas positivas en las capas con cargas negativas que poseen los coloides en su superficie, específicamente dos capas lo cual explica la dificultad para ser desestabilizadas.

Dentro de los desafíos en el tratamiento de aguas, se encuentra la eliminación de coloides presentes en el agua, debido a su tamaño entre 10 a 100 nm [19] estos en ocasiones no son totalmente retirados por filtración, necesitando una actividad química para desestabilizar sus cargas eléctricas superficiales, estos se componen de materia orgánica como microorganismos o materia inorgánica como las arcillas. Donde su comportamiento electrostático “están cargados negativamente, por lo que en agua son estables debido a la repulsión electrostática entre estas partículas invisibles. Esta repulsión sobrepasa las fuerzas de atracción de Van der Waals, por lo que no se aglomeran y, por lo tanto, no precipitan” [18]. Es por ello que nace el proceso de coagulación-floculación donde se encarga de neutralizar la carga eléctrica del coloide anulando las fuerzas electrostáticas repulsivas, (como se ilustra en la Figura 3); normalmente esta neutralización se realiza usando coagulantes sintéticos como las “sales de aluminio o hierro; de forma que los cationes trivalentes de aluminio o hierro neutralizan las cargas eléctricas negativas que suelen rodear a las partículas coloidales dispersas en el agua” [18] .

- Sílice activada: Este fue el primer floculante utilizado en el tratamiento de aguas y sigue siendo el que mejores resultados puede dar cuando se emplean sales de

aluminio. Consiste en una solución de ácido polisilícico ( $H_2SiO_3$ )<sub>4</sub>, procedente de una polimerización controlada del silicato de sodio ( $NaSiO_2$ ) en medio ácido [18]. Aunque una de sus mayores desventajas es que este presenta una gran inestabilidad.

- Arcillas: Bentonitas, caolinitas son añadidas como lechadas para aumentar frecuencia de colisiones y aumentar el peso en el floculo [18].
- Polímeros orgánicos naturales: Este tipo de coagulante es extraído de fuentes orgánicas como el almidón presente en cortezas vegetales o semillas.
- Polímeros orgánicos sintéticos: Estos a diferencia de los polímeros orgánicos son obtenidos en laboratorios o industrias [20], normalmente de derivados del petróleo o el carbón; la característica que presentan es que se conforman de un alto peso molecular [18], lo cual favorece el aglutinamiento de coágulos.
- Polímeros no iónicos: Estos tipos de coagulantes se les confiere el término de polielectrolito, este “es utilizado para referirse a aquellos polímeros que poseen muchas cargas en su estructura, es decir, se refiere a los polímeros catiónicos y aniónicos” [21]; los polímeros más utilizados en la industria son las poliacrilamidas, estas son empleadas en la “clarificación y deshidratación de lodos, incrementan la resistencia del floculo y frecuentemente se utilizan también como ayudantes de filtración en línea” [18].
- Polímeros aniónicos: Este tipo de polímero denominado polielectrolito, presenta características, como lo es su carga negativa y por “la coexistencia de grupos ionizados negativamente que permiten la adsorción como lo son los carboxílicos o los sulfúricos” [18].
- Polímeros catiónicos: Estos al igual que los polímeros aniónicos son polielectrolitos, aunque estos están cargados positivamente debido a que “poseen en sus largas cadenas una carga eléctrica positiva, debido a grupos aminos, amonio cuaternario, capaz de remover la turbidez y el color, acondicionador de lodos” [18].

**Tabla 5.***Clasificación del agua según su comportamiento en la coagulación*

| <b>Tipo de Agua</b>  | <b>Tipo de Coagulación</b>  | <b>Requerimiento</b>   |
|--|---|--|
| Presencia de pequeñas cantidades de sólidos coloidales, baja alcalinidad   | Creación de sedimentos. Floc de barrido.  | Aplicación de grandes dosificaciones de coagulantes. Agregar alcalinidad o partículas o ambas  |
| Presencia de pequeñas cantidades de sólidos coloidales, alta alcalinidad   | Creación de sedimentos. Floc de barrido.  | Grandes dosificaciones de coagulantes. Agregar sólidos.  |
| Presencia de grandes cantidades de sólidos coloidales, pequeña alcalinidad | Se realiza una adsorción con respecto a los polímeros con característica metálica positivos, en la zona superficial de los sólidos coloidales. (pH 4-7) | Dosificación de agente coagulantes aumenta con aglomeración de sólidos, adición de alcalinidad |
| Presencia de grandes cantidades de sólidos coloidales, grande alcalinidad  | Se realiza un proceso de adsorción de polímeros con característica metálica positivos y sedimentación de hidróxidos (pH>7)                              | Dosificación de agente coagulante aumenta con aglomeración de sólidos                          |

**Nota.** La tabla muestra como es el comportamiento y cómo reacciona el agua al aplicar un coagulante y que requerimiento son necesarios. Tomado de: H. Ramírez Arcila and J. Jaramillo Peralta, "Agentes Naturales como Alternativa para el Tratamiento del Agua," *Rev. Fac. Ciencias Básicas*, vol. 11, no. 2, p. 136, 2016, doi: 10.18359/rfcb.1303.

1.2.3.a Sedimentación. Es la operación física gravitacional importante en las plantas de potabilización de agua y residuales, que rige la ley de Stokes, el cual “señala que todos los sólidos sedimentan con mayor facilidad cuanto más es su diámetro, su peso específico con relación con el del líquido, y cuanto más pequeño es la viscosidad del mismo” [22], en el que se separa el sólido con peso específico, el descende dentro del fluido gracias a la gravedad, estos sólidos adherentes poseen características de tener densidades mayores con respecto al agua, donde las partículas sólidas que más se separan son lodos y partículas floculadas.

Sin embargo, este proceso no actúa completo en una planta de tratamiento sin tener posteriormente una floculación y coagulación. Si este proceso no se tiene en cuenta durante los procesos de potabilización y de aguas residuales, afectara el color y turbiedad del agua tratada. Dependiendo de su uso en la planta de tratamiento, dependerá su funcionamiento, debido a que en ambas se separarán o eliminarán materiales orgánicos o inorgánicos.

## Figura 4.

### *Tanque de sedimentador simple*



**Nota.** La figura representa un simple tanque de sedimentador simple. Tomado de: “Gestión de agua y saneamiento sostenible Sedimentación”. Disponible: <https://sswm.info/es/gass-perspective-es/tecnologias-de-agua-y-saneamiento/tecnologias-de-abastecimiento-de-agua/sedimentaci%C3%B3n->

En la industria existen dos tipos de sedimentación, Sedimentación de partículas simples y Sedimentación de partículas aglomeradas, estos dos tipos de sedimentadores dependen con acuerdo a como las partículas se aglomeran o si están presentes en bajas concentraciones, por lo general en “las sedimentaciones simples se remueven partículas de tamaño (arena 0.015 a 0.15 cm de  $\varnothing$ ) sin adición de coagulante y floculante mientras que la sedimentación de partículas aglomeradas es de mayor tamaño y se facilita su remoción.” [23]

### **1.2.4 Filtración**

Este proceso empezó en Escocia en 1804 en el que se creó el primer filtro de arena, luego vino en 1829 la compañía del río Támesis en Londres, donde se crearon los filtros

de arena lentos de arena y procedente en 1892, se probaron la eficiencia para control biológico de la epidemia de cólera ocurrida en Hamburgo [23].

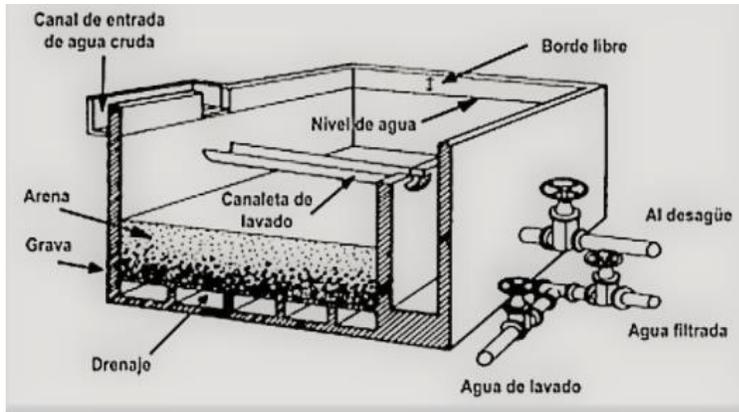
En la cual, se reconoció por ser un proceso que da accionamientos de las áreas en el cual son extraídos agentes físicos, químicos y biológicos, como los organismos patógenos (bacterias, virus o protozoos) y de tamaños grandes como los flóculos, mediante el uso de porosidades en los filtradores, estos evitan que no ocurran interferencias de turbiedad u otras perturbaciones de caracterizaciones físicas o químicas en el agua antes de proceder al proceso de desinfección.

En las empresas de tratamiento de agua, el filtro más utilizado es el de arena, este se caracteriza por ser un modelo asequible, sencillo y con gran porcentaje de efectividad en la separación de partículas coloidales y sedimentos, evitando que el agua presente turbiedad, gracias al uso de este filtro no se utilizara productos químicos y en cuanto a su flujo se manejara pequeño o mediano para abastecer agua clarificada a la comunidad.

Estas filtraciones industriales suelen emplearse en dos distintas “zonas dependiendo del volumen de las partículas a tratar entre los poros, estos son la filtración en superficie y filtración en volumen o en profundidad” [24].

**Figura 5.**

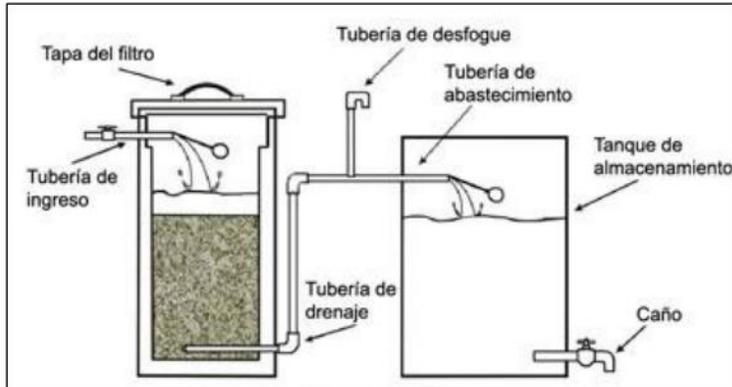
*Filtro rápido de arena abierto convencional*



**Nota.** La figura representa filtro de arena en una planta convencional. Tomado de: “Gestión de agua y saneamiento sostenible Filtración rápida de arena”. Disponible: <https://sswm.info/es/gass-perspective-es/tecnologias-de-agua-y-saneamiento/tecnologias-de-abastecimiento-de-agua/filtraci%C3%B3n-r%C3%A1pida-de-arena>

**Figura 6.**

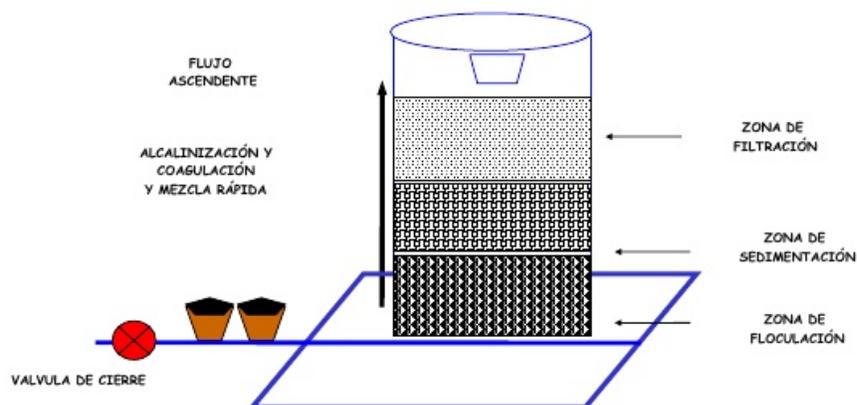
Filtro lento de arena abierto convencional



**Nota.** La figura representa un filtro de arena lento en una planta convencional. Tomado de: “IMPLEMENTACIÓN DE PLANTA A ESCALA PARA TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE CON FINES ACADÉMICOS PARA EL LABORATORIO DE INGENIERIA CIVIL DE LA UNIVERSIDAD PILOTO DE COLOMBIA.”. <http://repository.unipiloto.edu.co/bitstream/handle/20.500.12277/4933/00003849.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

**Figura 7.**

*Filtro rápido de arena abierto compacta*



**Nota.** La figura representa filtro de arena en una planta compacta. Tomado de: “PLANTA DE TRATAMIENTO MODULAR”. <https://spenagroup.com/tag/planta-de-tratamiento-de-agua/>

### 1.2.5 Desinfección

«Según un estudio realizado por la revista *life* citan que el tratamiento de desinfección de agua potable en países desarrollados, alrededor del 50% corresponde al aumento de la expectativa de vida por los procesos de filtración y desinfección con agua durante el siglo XX. Además, acuerdan que los procesos de filtración y cloración del agua como “probablemente el más significativo progreso de salud pública del milenio» [25]. El proceso de desinfección ha evitado grandes enfermedades a nivel nacional e internacional provocados por microorganismos maliciosos o patógenos presentes en el agua, este proceso comprende la eliminación o su esterilización de estos patógenos pero lo único que se conserva son las esporas, el componente más importante en la actualidad y más empleado es la cloración encontrado en distintos estados de la materia (gas, líquido y sólido), pero también son implementando componentes químicos como ozono, hipoclorito y permanganato potásico [26] productos que han servido para la desinfección en las plantas de potabilización de agua durante varias décadas. Este será la última

etapa en el proceso de potabilización de agua para que los habitantes que se abastecen de estas plantas obtengan un producto sin ningún riesgo en contra de la salud y puedan hacerle su debido uso. En este proceso se ven afectados distintos tipos de variables importantes para lograr una desinfección adecuada como:

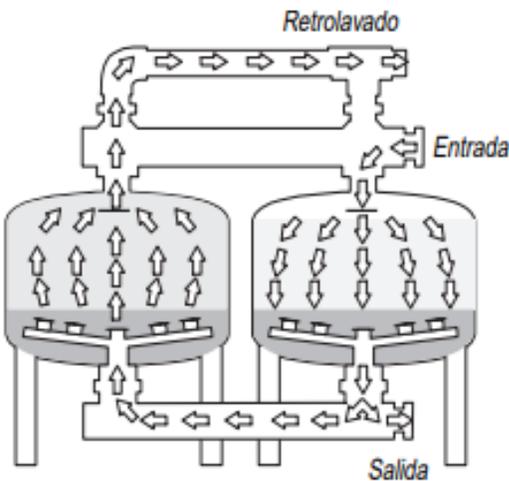
- pH que presente el agua durante el proceso
- La naturaleza en el cual este ingresa a la planta
- La temperatura a la cual se va regular el proceso
- Los distintos tipos de desinfectantes aplicados
- Tiempo de retención en los tanques que se empleen
- Variedad de patógenos presentes

### **1.3 Tanque de retrolavado**

Estructura construida en fibra de vidrio, acero al carbón, galvanizado y otros materiales industrialmente para evitar todo tipo de corrosión y distintos tipos de presiones o flujos, el cual se emplea para almacenar grandes o pequeñas capacidades de agua proveniente de la limpieza de los filtros de arena que presenta compuesto de arena media, arena fina y antracita, el cual esta agua cumple con la función de remover los lodos acumulados que está presente en los filtros de arenas en los tratamientos primarios de la planta de tratamiento de agua. La capacidad volumétrica del tanque dependerá de la calidad del agua cruda procedente de donde se extrae el agua de la planta de potabilización.

## Figura 8.

### Operación en tanque de retrolavado



**Nota.** La figura representa tanque de retrolavado. Tomado de: "FILTROS DE GRAVA Y ARENA VERTICALES Manual de Instalación y Operación". <https://d2zm9amfddap0m.cloudfront.net/media/resources/Media%20Book%20Spanish.pdf>

En cuanto a su funcionamiento este tiene que tener en cuenta distintos tipos de variables que pueda influir en su almacenamiento, que son los flujos variantes de entrada a la planta, el agua con el que se le da limpieza a los filtros dentro del tanque y su mantenimiento. El cual la presente agua se le da una disposición final adecuada para volver a recircular en la planta de tratamiento de agua, dentro de esta agua de retrolavado se encuentran aspectos tales como se alta turbidez y un color naranja-rojizo, ya que este se dispone de sólidos suspendidos como barro y entre otros componentes sólidos (antracita).

Los periodos de retrolavado dependerán en cuanto al agua que esté captando la empresa y en cuanto a su calidad, "por lo general este proceso de drenado y de

almacenamiento cumplen períodos entre 24 y 72 horas, ya que este facilita la limpieza del agua y las partículas coloidales descienden por gravitación” [27].

#### **1.4 Coagulante natural**

Actualmente en los procesos de clarificación de aguas, se han empezado a sustituir los coagulantes sintéticos como el sulfato de aluminio, “el cual presenta muy buenos resultados en cuanto a la remoción de contaminantes, sin embargo, el impacto económico y medioambiental debido a su uso es muy alto, Además, su uso genera grandes cantidades de lodos de desecho, los cuales son difíciles de tratar” [28], por otra parte, los lodos generados en estos procesos no generan ningún valor agregado a los cultivos y las concentraciones de aluminio que quedan en el agua pueden llegar a afectar la salud humana.

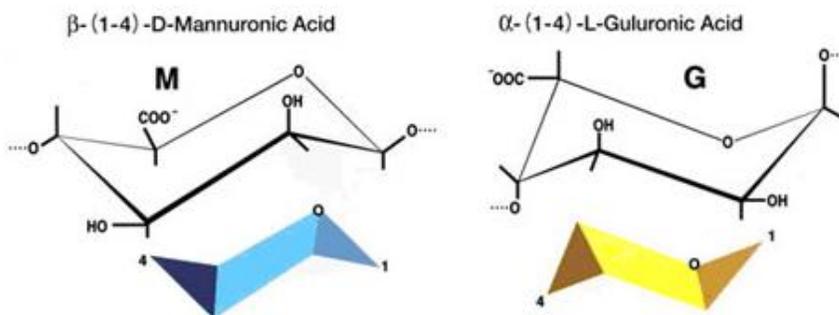
Por este motivo se han desarrollado nuevos métodos para la clarificación de aguas, buscando como objetivo nuevos coagulantes con mejores o iguales capacidades de sedimentación como sus antecesores los coagulantes sintéticos y que no contengan un impacto al medio ambiente o a la salud de los seres vivos. Por esta razón se han acudido a coagulantes naturales los cuales son producidos en su mayoría por algas marinas y plantas; quienes han demostrado resultados benéficos, tales como su óptimo desempeño de sedimentación y su fácil descomposición, a parte “estos polímeros naturales son complejos en su composición química, están constituidos principalmente por varios tipos de polisacáridos y proteínas. Algunos de ellos tienen propiedades coagulantes o floculantes y en muchos lugares son usados en forma empírica para aclarar el agua turbia con resultados satisfactorios.” [27]

El alginato de sodio es un polisacárido obtenido de algas marrones o pardas, principalmente de tres especies de algas marrones. Estas incluyen “*Laminaria hyperborea*, *Ascophyllum nodosum* procedente de norte de Europa, *Macrocystis Pyrifera* procedente de USA, *Durvillaea* en Australia y Chile, y *Sargassum* y *Turbinaria* en la India, Filipinas y otros países tropicales y celular como lo son *Azotobacter vinelandii* y numerosas especies de *Pseudomonas* encargados en producir material polimérico exocelular que se parece al alginato “ [29]

Este biopolímero industrial con gran presencia de polisacáridos provenientes de algas pardas marinas localizadas en suelos marinos junto a las rocas y lugares donde no hay gran presencia de olas marinas, donde más se encuentra es en suelos americanos. [30] Gracias a sus investigaciones precedentes, este no es considerado como tóxico gracias a su composición y los usos en la parte alimenticia no ha causado ningún daño al ser humano directamente. Este coagulante natural ayudará a la formación de flóculos de sólidos para la remoción de sólidos lodosos, provocando que los microfloculos accionados por un coagulante aumenten, haciéndolos sedimentar de manera más efectiva.

**Figura 9.**

*Estructura química de Alginato de Sodio*



**Nota.** Estructura química del alginato de sodio que consiste en  $\alpha$ -l-gulurónico residuos de ácido gluconericos (bloques G) y residuos de ácido  $\beta$ -d-manurónico (bloques M), así como segmentos alternados entre sí de ácidos gulurónicos y manurónicos alternados. [18] tomado de: xIRO Alginate Industry Co., Ltd. <https://www.iroalginate.com/sp/alginate.htm>.

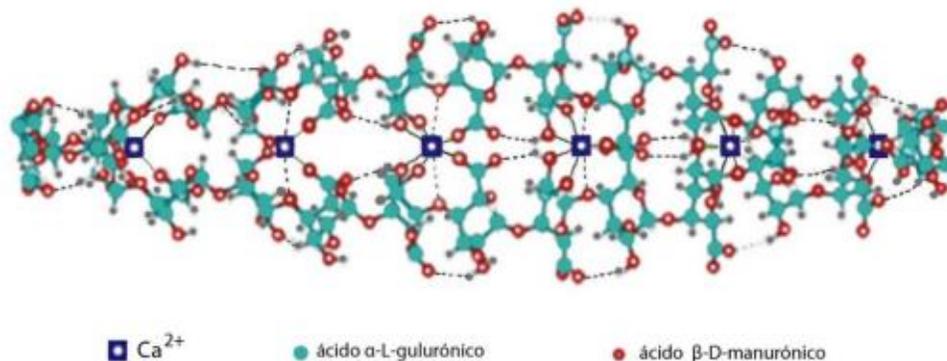
En cuanto a su estructura química los alginatos son polímeros lineales (polielectrolito aniónico cargados negativamente) compuesto por ácido  $\beta$ -D-manurónico (M) y 1,4 residuos de ácido  $\alpha$ -L-gulurónico (G) organizados en patrones de bloques homogéneos (poli-G, poli-M) o heterogéneos (MG). [31]. Estas secuencias se encuentran de manera «mónadas, díadas y tríadas en el que se registrarán por anillos de azúcar rígidos

compuestos por seis miembros y su rotación se encontrará condicionada aledaña al enlace glucosídico logrando que las paredes que posee el alginato sea rígidas.

La rigidez presentada en las paredes depende de las cadenas en que se desarrollen, en el presentarán repulsión electrostática entre los grupos cargados de la cadena del biopolímero. En el que será mayor de acuerdo al orden  $MG < MM < GG$ . [32] En cuanto a las diferencias entre las moléculas la M se caracteriza por ser blanda y elástica, en cuanto a la G tenderán a la formación de geles y tener característica de ser dura y quebradiza. La secuencia que desempeña cada bloque dependen en cuanto a su fabricación, tipo de alga, estación en que se reproducen, periodo del año en el que se cosechan, climatología y su región.

### Figura 10.

*Modelo “Caja de huevo”*



**Nota.** Descripción del modelo de caja de huevo como el alginato se puede observar en una tercera dimensión. tomado de: [33] G. C. A.- Romero, A. L.- Malo, and E. Palou, “Propiedades del alginato y aplicaciones en alimentos,” *J. Anxiety Disord.*, vol. 14, no. 6, pp. 549–562, 2000, doi: 10.1016/s0887-6185(00)00049-9.]

En cuanto al modelo que describe más al alginato de sodio es el modelo de huevo al momento en el que este tiene la importancia de formar bucles y cavidades por dos cadenas poliméricas adyacentes que contienen bloques GG en una conformación helicoidal [33], para la formación más importante de formar geles y estabilizar

emulsiones en presencia de ciertos “cationes metálicos, entre los cationes divalentes más destacados  $\text{Ca}^{+2}$  y además este, está unido a otras uniones como grupos carboxílicos y oxígenos negativos logrando una estructura que se describe convencionalmente llamado el modelo de "caja de huevos" (modelo de gelificación) propuesto por Grant y colaboradores” [34].

En cuanto a su importancia industrial y su descubrimiento del alginato de sodio se le otorga a un químico inglés E. C. C. Stanford en la ciudad de Inglaterra mientras hacía un estudio sobre las algas en las costas escocesas investigando sobre ventajas que llegan a darnos las algas marinas. Durante dicha explicación encontró que cuando se realiza la «digestión de frondas de las algas con carbonato sódico descubrió una masa gelatinosa que se evapora a sequedad el cual le dio el nombre a algina (ácido o compuesto algínicos), por el cual está formado por componentes como  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Sr}^{2+}$  y  $\text{Ba}^{2+}$ . En cuanto a su comercialización se empezó en 1929 por la compañía Kelco en California. Más tarde, alrededor de 1934 su escala mayor en Gran Bretaña y después de la segunda guerra mundial surgió en países como lo son Francia, Noruega y Japón.» [35].

En cuanto a su comercialización industrial el alginato de sodio se divide en tres fases que son la pre-extracción, neutralización y purificación, en el cual está varía según el tipo de alga que se esté empleando o si es por medio de las bacterias presentes, ya que por medio bacteriano este toma distintos tipos de método para la obtención de alginato de sodio mediante reactores Batch o continuos para su fermentación mediante la adición de isopropanol, agregado de EDTA (ácido etilendiaminotetraacético) o adiciones de isopropanol o  $\text{CaCl}_2$ .

En cuanto al desarrollo industrial del alginato, este se encuentra en los distintos tipos de arrecifes en el cual se tiene que tener en cuenta la geografía y la climatología que presente el agua, este se lleva a cabo mediante la recolección mecánica o manual, en el cual la mecánica trata mediante la implementación de barcos marinos en el que se tiene en cuenta la profundidad en la cual presente el tipo de alga con barras de cortes o con cortadoras de succión o también se pueden recolectar mediante la mano arrancándolas

dependiendo el comportamiento que esté tomando las costas del mar o estén arrastradas a las orillas de las costas de donde se encuentre. Además, todos estos procesos cumplen la misma ruta que tiene en cuenta la producción del ácido algínico, alginato de sodio (Na-alginato), alginato de potasio (K-alginato), alginato de amonio (NH<sub>4</sub>-alginato), alginato de magnesio (Mg-alginato), alginato de calcio (Ca-alginato) y alginato de propilenglicol (PGA).

Una vez obtenida la materia prima (alga marina parda), su extracción será transformar las sales presentes de alginato en sal de sodio, diluir en agua y quitar todos los residuos de algas por medio de la filtración” [34]. Donde el proceso se realiza de la siguiente manera:

**Tabla 6.**

*Operación para el proceso de comercialización del alginato*

| <b>Etapas</b> | <b>Proceso</b>                        | <b>Descripción</b>   |
|---------------|---------------------------------------|--|
| 1             | Extracción                            | Materia prima (alga marina parda).   |
| 2             | Limpieza                              | Impurezas.   |
| 3             | Trituración                           | Obtención de pureza el ácido algínico.   |
| 4             | Hidratación                           | Formalaldehído al 0,1% para prevenir pigmentos y aumentar el rendimiento del alginato.   |
| 5             | Dilución y agitación                  | Ambiente de pH 4 (normalmente ácido clorhídrico (HCl) o cloruro de calcio (CaCl) a 0,1-0,2 M) o en otros casos alcohol para reducir todos los iones presentes contrarios (Ca <sup>2+</sup> , Na <sup>+</sup> , Mg <sup>2+</sup> , Sr <sup>2+</sup> , etc)[37]. |
| 6             | Alcalinización                        | Alza de pH a una concentración de 9-10 con una solución alcalina (normalmente carbonato de sodio (Na) o hidróxido de sodio (NaOH)) a una temperatura de 60-80 °C. [34]   |
| 7             | Centrifugación intensiva y filtración | Obtener un alginato de sodio soluble en soluciones acuosas   |

**Tabla 6.** (Continuación)

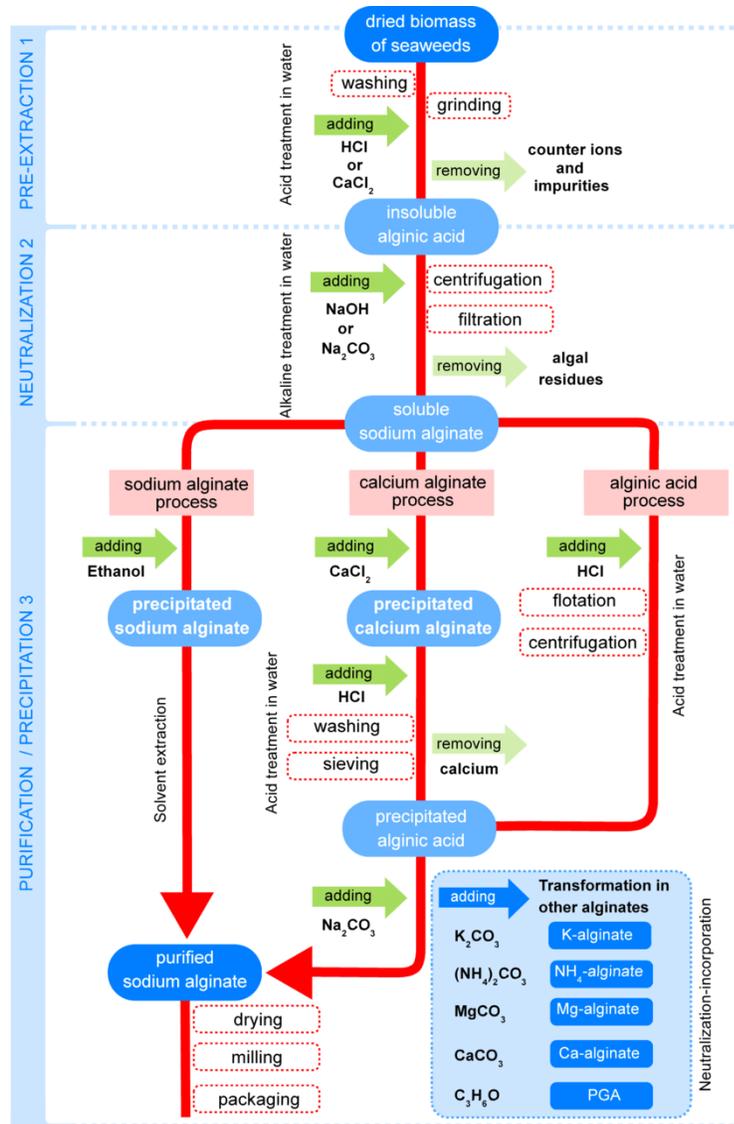
|   |                           |  |
|---|---------------------------|--|
| 8 | Purificación o extracción | La solución del alginato de sodio soluble en soluciones acuosas se precipita en alginato de sodio mediante la adición de alcohol ( $C_2H_6O$ ), alginato de calcio o ácido algínico mediante la adición de ( $CaCl_2$ ) y (HCl). |
| 9 | Distribución              | Producto para comercialización.  |

**Nota.** Pasos para el proceso de la fabricación del alginato de sodio.

Gráficamente el proceso se realiza a continuación:

**Figura 11.**

*Producción de Alginato de sodio*



**Nota.** Esquematización detallada del proceso industrial como se lleva a cabo la producción del alginato de sodio desde su pre-extracción hasta su purificación. tomado de: [34] B. H. A. Rehm and M. F. Moradali, *Alginates and Their Biomedical Applications*, vol. 11. 2018.

Llegando a su utilidad en tratamiento de agua, alimentos y biotecnología este se ha basado por su propiedad hidrocoloide; en el cual la industria de los hidrocoloides de macroalgas es una industria en rápido crecimiento, con un aumento anual de la producción mundial del 2-3% [38] en el que se han basado en la renovación de productos convencionales por naturales, sustitución de solventes convencionales (inorgánicos), producción de subproductos siguiendo un concepto de biorrefinería y producción de extractos biodegradables. Los métodos de extracción en la investigación de hidrocoloides de macroalgas son: la extracción “asistida por enzimas (EAE), la extracción asistida por ultrasonidos (UAE), la extracción asistida por microondas (MAE), la extracción con fluidos supercríticos (SFE), la extracción a ultra alta presión (UPE) extracción con fluidos presurizados (PFE), extracción con líquidos presurizados (PLE) y procesos de auto hidrólisis” [39]. En lo que significa hidrocoloide la cualidad de poder hidratarse o reaccionar los polisacáridos marinos con el contacto del agua.

En el que sus principales propiedades se destacan en: [33]

- Creación de geles
- Retención de agua
- Espesante al entrar en contacto con el agua
- Formación de películas

**Tabla 7.**

*Clasificación industrial de alginatos*

| <b>Presencia de las unidades M y G en la cadena.</b> |   |
|--|---|
| <b>G</b>   | Propiedad de tener un alginato más fuerte |
| <b>M</b>   | Gel más débil                             |

**Tabla 7.** (Continuación)

| <b>Tipo de alga.</b>                        |  |   |
|---|--|---|
| <b>Macrocystis</b>                          | Alginato de viscosidad media, o de alta viscosidad | Procedimiento de extracción cuidadoso   |
| <b>Sargassum</b>                            | producto de baja viscosidad                        | Materia prima de último recurso.  |
| <b>Laminaria</b>                            | Gel de fuerza suave a media                        | Crece en localidades rocosas expuestas a las olas y está bien adaptado a esto debido a su estípite flexible (tallo) y hojas divididas, cosechado mecánicamente. |
| <b>Laminaria hyperborea y la Durvillaea</b> | Geles fuertes.                                     | Factor limitante es suficiente luz para el crecimiento. Tiene un estipe fuerte y la planta se mantiene erguido en el agua y forma “bosques laminarianos”.       |

**Nota.** La tabla muestra la clasificación de la producción de la gama de alginatos que son ofrecidos con diferentes viscosidades. Tomado de: D. J. McHugh, *Seaweeds uses as Human Foods*, no. 441. 2003.

#### **1.4.2 Propiedades Fisicoquímicas del Alginato de sodio**

Presentado las gamas de alginato, sus características fisicoquímicas serán las siguientes:

**Tabla 8.***Propiedades Fisicoquímicas del Alginato de sodio*

|                   |                        |   |
|-------------------|------------------------|---|
| Fórmula molecular |                        | $C_6H_7O_6Na$   |
| Estabilidad       | Soluciones de alginato | Las sales del ácido algínico son solubles en agua en presencia de los siguientes metales como $Na^+$ , $K^+$ , $Mg^{+2}$ , $Fe^{+2}$ , debido a que son polímeros polipróticos; También, en cargas monovalentes y divalentes como arcillas, amonio también la de las aminas y bases orgánicas y su éster de propilenglicol para la formación de geles insolubles. |
|                   | Alginatos sólidos      | Todo producto de procedencia de algínicos comercial (con propiedades de ácido algínico y sus sales) se diferencian del porcentaje de polimerización, es decir a partir de la suma de todas las unidades monoméricas presente de los ácidos urónicos procedente de la cadena polimérica.   |
| Solubilidad:      | Factores físicos       | La solubilización es influenciada tanto por el tamaño como por la forma de las partículas. Presentado que las partículas con mayor tamaño es más simple dispersar y suspender, teniendo baja velocidad de hidratación. También este factor depende de la naturaleza de las soluciones presente en el agua a tratar.   |
|                   | Factores químicos      | La solubilización de estos productos en agua se ve afectada en presencia de otros compuestos debido a que compiten químicamente por la hidratación del alginato. En el que es mejor recomendar agregar primero el alginato para que este se hidrate y se disuelva para luego agregar compuestos químicos que ayuden en la solubilidad.                            |

**Tabla 8.** (Continuación)

|             |                |  |
|-------------|----------------|--|
| Viscosidad: | Peso molecular | Cuanto mayor es el peso molecular del alginato, más viscosas resultan sus soluciones. En el que comercialmente se ofrecen los productos con viscosidades de rango entre 10-1000 mPa.s.   |
|             | Concentración  | Grados de viscosidad (alto, medio y bajo).   |
|             | pH             | Soluciones de alginato de sodio es poco independiente en cuanto a la concentración del pH mostrando valores cerca a la neutralidad (pH 6-8), de acuerdo al impacto generado por los grupos carboxilos cargados negativamente (COO <sup>-</sup> ). En cuanto el pH se encuentra por debajo de 4-5 la viscosidad se inclina a aumentar por la disminución de la solubilidad del ácido algínico libre, en el que este gel precipita a un pH entre 3-3,5. En relación con el uso alimenticio se emplea el alginato a un pH entre 4-10. |
|             | Temperatura    | La viscosidad disminuye aproximadamente 2,5% por cada grado de incremento en la temperatura sufriendo en cuanto más alta la temperatura ocurre despolimerización.  |
|             | Fuerza iónica  | La viscosidad de las soluciones de alginato de sodio se ve afectada levemente por añadir sales de cationes monovalentes. En cambio, al estar en contacto con iones de metales polivalentes, como es el ión Ca <sup>++</sup> , la viscosidad es directamente proporcional al aumento de esta concentración al aumentar.   |

**Nota.** Descripción de propiedades fisicoquímica basado en: [41] M. CCAMERCCOA PÉREZ and Y. M. PUMATANCA PACHAO, “EVALUACIÓN DE ALGINATO DE SODIO COMO COADYUVANTE EN LA FLOCULACIÓN PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS,” UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN AGUSTÍN DE AREQUIPA, 2018.

## 1.5 Normatividad

Debido al aumento en la población colombiana y la demanda de implementar sistemas de calidad en productos de consumo humano, se empezaron a establecer parámetros y normativas para el tratamiento de aguas, específicamente el tratamiento de agua potable, donde se estableció el **Resolución 2115 de 2007** del Ministerio de la Protección Social, Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial; “Este decreto describe que el agua potable o agua para consumo humano, es aquella que por cumplir las características físicas, químicas y microbiológicas, reglamentadas en las normas de calidad de agua en Colombia, es apta para consumo humano” [42]. Para el caso de la potabilización del agua de retrolavado se necesita comparar los resultados con la resolución 2115 de 2007 ya que esta normativa describe detalladamente los parámetros más importantes a tener en cuenta para el consumo humano.

**Tabla 9.**

*Parámetros, unidades y valores límites máximos permisibles para el tratamiento de agua potable dictados por la resolución 2115 de 2007*

| Parámetro                          | Unidad de Medida    | Valor límite máximo permisible |
|------------------------------------|---------------------|--------------------------------|
| <b>Físico</b>                      |                     |                                |
| <b>pH</b>                          | Unidad de pH        | 6,5-9,0                        |
| <b>Color aparente</b>              | Pt-Co (UPC)         | 15                             |
| <b>Turbidez</b>                    | NTU                 | 2                              |
| <b>Sólidos suspendidos totales</b> | mg/L                | No especificado                |
| <b>Conductividad</b>               | us/cm               | 1000                           |
| <b>Microbiológicos</b>             |                     |                                |
| <b>Coliformes termotolerantes</b>  | UFC/cm <sup>3</sup> | 0                              |

**Tabla 9.** (Continuación)

| <b>Metales</b>  |                     |                 |
|---|---------------------|-----------------|
| <b>Hierro</b>   | mg Fe/L             | 0,3             |
| <b>Otros</b>  |                     |                 |
| <b>Demanda Bioquímica de oxígeno 5 días (DBO<sub>5</sub>)</b> | mgO <sub>2</sub> /L | No especificado |
| <b>Demanda química de oxígeno (DQO)</b>                       | mgO <sub>2</sub> /L | No especificado |

**Nota.** los valores límites máximos permisibles de parámetros fisicoquímicos como Solidos suspendidos totales, DBO<sub>5</sub> y DQO no se especifican en esta resolución y ninguna otra ley para el tratamiento de agua potable. Tomado de: Ministerio de la Protección Social, Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial

El **Decreto 3930 de 2010** del Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial; Este decreto “tiene por objeto establecer las disposiciones relacionadas con los usos del recurso hídrico, el Ordenamiento del Recurso Hídrico y los vertimientos al recurso hídrico, al suelo y a los alcantarillados” [43].

**RESOLUCIÓN 631 DE 2015** del Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial; «en el que tiene por objetivo establecer los valores límites máximos permisibles en los vertimientos puntuales a cuerpos de aguas superficiales y a los sistemas de alcantarillado público» [44].

**Tabla 10.**

*Parámetros, unidades y valores límites máximos dictados por la resolución 631 de 2015*

| <b>Parámetro</b>                                   | <b>Unidad de Medida</b> | <b>Valor límite máximo permisible</b> |
|--|-------------------------|---------------------------------------|
| <b>Físico</b>                                      |                         |                                       |
| <b>pH</b>  | Unidad de pH            | 6,0-9,0                               |
| <b>Color aparente</b>                              | Pt-Co (UPC)             | Análisis y Reporte                    |
| <b>Turbidez</b>                                    | NTU                     | No especificado                       |
| <b>Sólidos suspendidos totales</b>                 | mg/L                    | 5                                     |
| <b>Conductividad</b>                               | us/cm                   | No especificado                       |
| <b>Microbiológicos</b>                             |                         |                                       |
| <b>Coliformes termotolerantes</b>                  | UFC/cm <sup>3</sup>     | No especificado                       |
| <b>Metales</b>                                     |                         |                                       |
| <b>Hierro</b>                                      | mg Fe/L                 | 3                                     |
| <b>Otros</b>                                       |                         |                                       |
| <b>Demanda Bioquímica de oxígeno 5 días (DBO5)</b> | mgO <sub>2</sub> /L     | 8000                                  |
| <b>Demanda química de oxígeno (DQO)</b>            | mgO <sub>2</sub> /L     | 2000                                  |

**Nota.** los valores límites máximos permisibles de parámetros fisicoquímicos como Color aparente, turbidez, conductividad, y Coliformes termotolerantes no se especifican en esta resolución para vertimientos de agua residual. Tomado de: Ministerio de la Protección Social, Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial

## PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

«EMSERTENJO SA ESP es una empresa pública del municipio de Tenjo dedicada a brindar su servicio de acueducto y alcantarillado a toda la comunidad tenjana, esta empresa cuenta con una planta de tratamiento de agua potable ubicada en la zona alta de la cabecera municipal en el sector de Churuguaco alto por la vía “subida a los tanques”. La planta de tratamiento de agua cuenta con 4 plantas a saber: 3 plantas de tipo compacto, con una capacidad promedio de tratamiento de 18 lps y una planta tipo convencional con una capacidad promedio de tratamiento de 25 lps; sin embargo, actualmente la planta cuenta con una capacidad instalada de tratamiento de agua del orden de 76 lps, lo que corresponde a la demanda de los usuarios del municipio.» [3]

El agua cruda extraída de los pozos subterráneos en el municipio de Tenjo para su potabilización atraviesa por los siguientes procesos de tratamiento:

1. Captación
2. Aireación
3. Filtración
4. desinfección.

Así mismo la planta de tratamiento cuenta con una unidad de depuración para aguas de retrolavado provenientes de las 4 plantas de tratamiento de agua potable, la cual cuenta con:

1. cámara de homogeneización.
2. tanque de retrolavado.
3. sistema de filtración
4. tanque de almacenamiento

Inicialmente el agua de retrolavado llega a la cámara de homogeneización, posteriormente está es conducida al tanque de retrolavado esperando su sedimentación sin la aplicación de productos químico, se mantiene en reposo durante 12 horas, los siguientes pasos son la coagulación y la filtración rápida a través de una geomembrana. Durante este paso se dosifica un coagulante (sal metálica con base anión cloruro), para que el clarificado sea enviado al tanque de almacenamiento, donde se reintegran al proceso de potabilización. El problema es la saturación del sistema de filtración debido a que los lodos del proceso de coagulación no son sedimentados previamente.

Actualmente la unidad de tratamiento de aguas de retrolavado se encuentra inactiva hace más de un año, por lo cual la empresa está perdiendo 193 metros cúbicos diarios de agua de retrolavado lo equivalente a 2,23 lps, un valor significativo en comparación con la capacidad total de la producción de alrededor 3% de desperdicios de agua." [3] Es por esto que nace la necesidad de desarrollar una propuesta de mejora a través de la evaluación del alginato de sodio para así determinar la eficiencia de remoción de compuestos presentes en el agua de retrolavado.

## **2. METODOLOGÍA**

En el presente capítulo se dan a conocer las principales características de los procedimientos realizados para el cumplimiento de los objetivos establecidos, en el cual se dieron a conocer la recolección de información respecto a la planta de tratamiento de agua potable de Tenjo, así como el agua de retrolavado, las pruebas de laboratorio y los costos de implementación del proyecto.

### **2.1. Objetivo 1**

Inicialmente se realizó una consulta de información secundaria entregada por la empresa EMSERTENJO E.S.P., donde se incluyen los análisis de agua potabilizada, ubicación geográfica de los puntos de captación, planos de infraestructura, diseños de las unidades de tratamiento, informes de calidad del agua y funcionamiento de cada una de las unidades de tratamiento de la PTAP. Asimismo, se realizó una visita de diagnóstico a las unidades de tratamiento de agua potable y la unidad de depuración de agua de retrolavado con el fin de corroborar la información encontrada en los documentos suministrados por la planta.

Posteriormente se tomó una muestra de agua de retrolavado en la entrada de la cámara de homogenización, la prueba se extrajo siguiendo los parámetros establecidos a través de una técnica de muestreo simple con 2 réplicas, esta se estableció mediante una búsqueda bibliográfica en trabajos de grado y artículos con base en el tratamiento de aguas, determinando la técnica de toma de muestra más recurrente para las condiciones a las que se encuentra el agua de retrolavado, esto debido a que la composición del agua cambia a través del tiempo, ya que está se encuentra en un estado de sedimentación.

Seguidamente estas muestras fueron llevadas a las instalaciones del laboratorio del HIDROLAB COLOMBIA LTDA. donde se realizaron los análisis (Turbiedad, sólidos suspendidos totales, Conductividad, Coliformes, Color Aparente, DQO, DBO, Hierro y pH), en donde cada una de las pruebas se realizó con un método específico; Para hallar el grado de turbidez se implementó el método de turbidez por nefelometría (SM 2130 B), «el equipo empleado en esta determinación consiste en un nefelómetro con una fuente

de luz para iluminar la muestra y uno o varios detectores fotoeléctricos con un dispositivo de lectura exterior para indicar la intensidad de la luz dispersada a 90° de la dirección del haz de luz incidente. Este método se basa en la comparación entre la intensidad de la luz dispersada por la muestra bajo condiciones definidas y la intensidad de luz dispersada por una suspensión de referencia bajo las mismas condiciones; a mayor dispersión de luz corresponde una mayor turbiedad. Las lecturas son realizadas empleando un turbidímetro calibrado con una suspensión de referencia de formacina preparada bajo condiciones específicas». [45]

Para hallar el grado de sólidos suspendidos se determinó a través del secado de sólidos suspendidos a 103-105°C por el método gravimétrico estándar (SM 2540 D), posteriormente para la hallar la conductividad se realizó un análisis por el método de determinación directa por sonda (SM 2510 B). Donde «La medida física realizada en el laboratorio en la determinación de conductividad corresponde a la conductancia G (S), definida como el recíproco de la resistencia R (ohm). La conductancia de una solución se mide entre dos electrodos químicamente inertes y espacialmente fijados. G es directamente proporcional al área de superficie del electrodo A en cm<sup>2</sup>, e inversamente proporcional a la distancia entre los electrodos L, en cm.» [46].

Seguidamente, para determinar los coliformes presentes en el agua, «La prueba de sustrato enzimático utiliza sustratos hidrolizables para la detección simultánea de bacterias, coliformes totales y enzimas de Escherichia coli (SM 9223 B). Cuando se usa la técnica de la enzima, el grupo coliforme total se define como todas las bacterias que poseen la enzima B-D-galactosidasa, que escinde el sustrato cromogénico, dando como resultado la liberación del cromógeno. Escherichia coli se define como una bacteria que da una respuesta coliforme total positiva y que posee la enzima glucuronidasa, que escinde un sustrato fluorogénico, dando como resultado la liberación del fluorógeno. La prueba se puede utilizar en un formato de múltiples tubos o múltiples pocillos.» [47].

Así mismo para hallar el color aparente, este se realizó con el método espectrofotométrico o método de longitud de onda simple (SM 2120 B), la demanda química de oxígeno (DQO) se utilizó el método de demanda química de oxígeno por reflujo cerrado (SM 5220 D) «Los métodos de reflujo cerrado son más económicos en el

uso de reactivos de sales metálicas y generan cantidades más pequeñas de residuos peligrosos, pero requieren la homogeneización de muestras que contienen sólidos en suspensión para obtener resultados reproducibles.» [48] y para hallar la demanda biológica de oxígeno (DBO) se utilizó el método electrodo de membrana (SM 5210 B). Para la determinación de hierro (SM 3120 B) se utilizó el método para la determinación de metales en agua mediante ICP-AES o denominado espectroscopia de emisión atómica de plasma acoplado inductivamente. Finalmente, para la evaluación del pH, se llevó a cabo en el momento de la extracción de la muestra, esto con el fin de tener mayor precisión en la toma de datos, a parte el principio básico de la medida electrométrica del pH (SM 4500-H B) es la determinación de la actividad de los iones hidrogeno con medidas potenciométricas mediante un electrodo estándar de hidrógeno y un electrodo de referencia en este caso con un electrodo de vidrio (pH-metro).

Con los datos obtenidos de las instalaciones del laboratorio HIDROLAB COLOMBIA LTDA. (Anexo A) se procedió a realizar un análisis al agua de retrolavado en cuanto a su composición, sus características y seguidamente una comparación con la normatividad vigente, la Resolución 2115 de 2007 del Ministerio de Salud y El Decreto número 3930 de 2010 del Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, esto para comparar qué aspectos del agua analizada sobrepasan los valores máximos permisibles establecidos por la normatividad Colombiana.

## **2.2 Objetivo 2**

En el cumplimiento del segundo objetivo y conocidos los resultados del análisis de aguas suministradas por el laboratorio HIDROLAB COLOMBIA LTDA se procedió a tomar alrededor de 37 litros de agua de retrolavado en galones de polipropileno, esto para no afectar las propiedades fisicoquímicas de esta, las muestras fueron llevadas a las instalaciones de los laboratorios de la Universidad de América, en donde se contó con la disponibilidad de un pH metro (Jenway®), turbidímetro (Turbiquant 1100 IR®), test de jarras (F6- 300T®), balanza analítica (PCE-LS®) y espectrofotómetro de barrido espectral (GENESYS 30®).

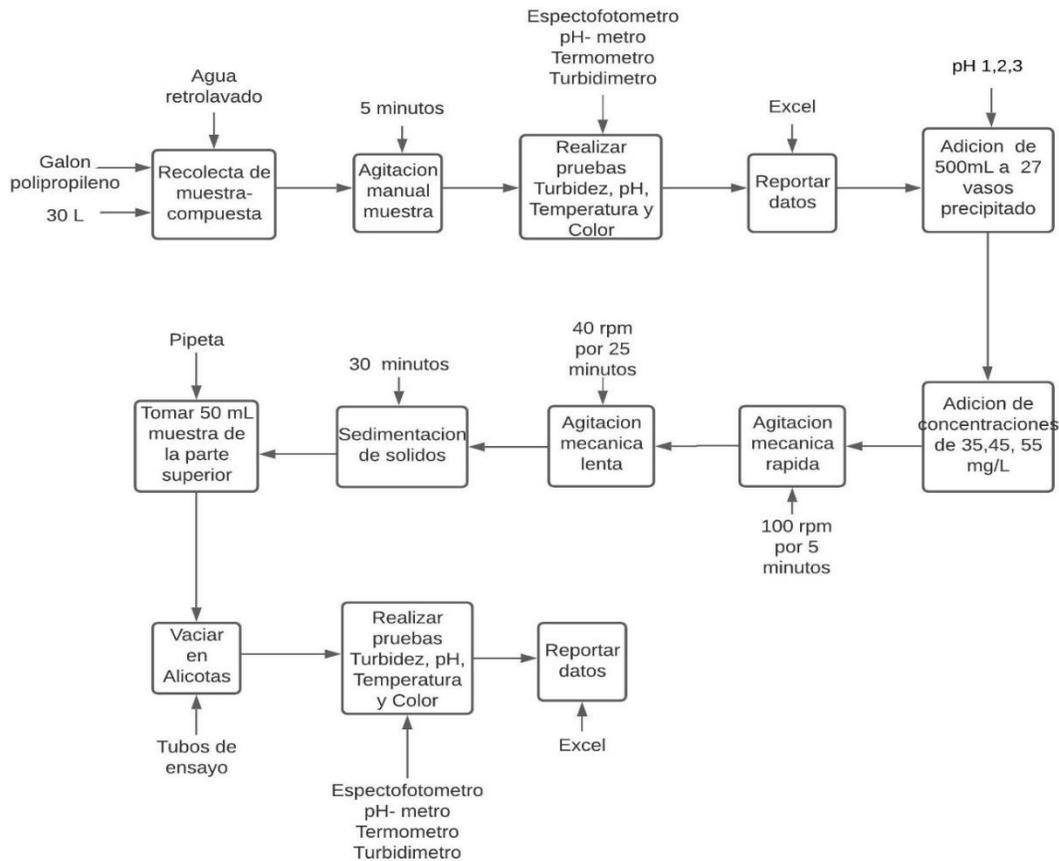
Se realizaron 39 pruebas en el test de jarras donde las concentraciones fueron seleccionadas según el proyecto de investigación de (León Estrada A.) debido a que, en su trabajo, las muestras experimentales se realizaron en concentraciones de, 30 mg/L, 40 mg/L, 45 mg/L, 50 mg/L y 60 mg/L de alginato de sodio, donde la concentración de 45 mg/L fue la más recomendable para el tratamiento de aguas. “sin embargo, el pH del agua fue modificado con el fin de verificar a qué valores era eficiente el coagulante y delimitar el rango de operación para las pruebas” [49]. El pH se evaluó desde un nivel de acidez de 1,25 hasta un nivel de alcalinidad de 12,55, debido a los pocos estudios respecto al uso del alginato de sodio en el tratamiento de aguas y garantizar la veracidad de los resultados, para ello se modificó el pH con ácido sulfúrico 97% e hidróxido de sodio 1M.

Utilizando un floculado digital (F6- 300T®), se aplicó el método de jarras NTC 3903, iniciando en la etapa de mezcla rápida en donde las condiciones de operación del test de jarras según (Salcedo M.P, et al) en su trabajo emplearon condiciones de agitación rápida de “100 rpm por cinco minutos y luego pasa a una agitación lenta a una revolución de 40 rpm un tiempo de 25 minutos, y se deja reposar por 30 minutos” [50] condiciones que se utilizaron en el laboratorio para distribuir el coagulante en toda la mezcla (figura 12).

Finalizada la prueba se estableció el rango de pH entre (1 y 3); Caracterizado el rango de pH y ya que la concentración de alginato de sodio recomendada por (León Estrada A.) es de (45 mg/L), se determinó aumentar y disminuir la concentración de alginato de sodio en 10 mg/L por encima y por debajo de la concentración de referencia, estableciendo así el rango de concentración de (35 mg/L, 45 mg/L y 55 mg/L).

**Figura 12.**

*Esquema de procedimiento realizado en las instalaciones del laboratorio de la universidad de América*

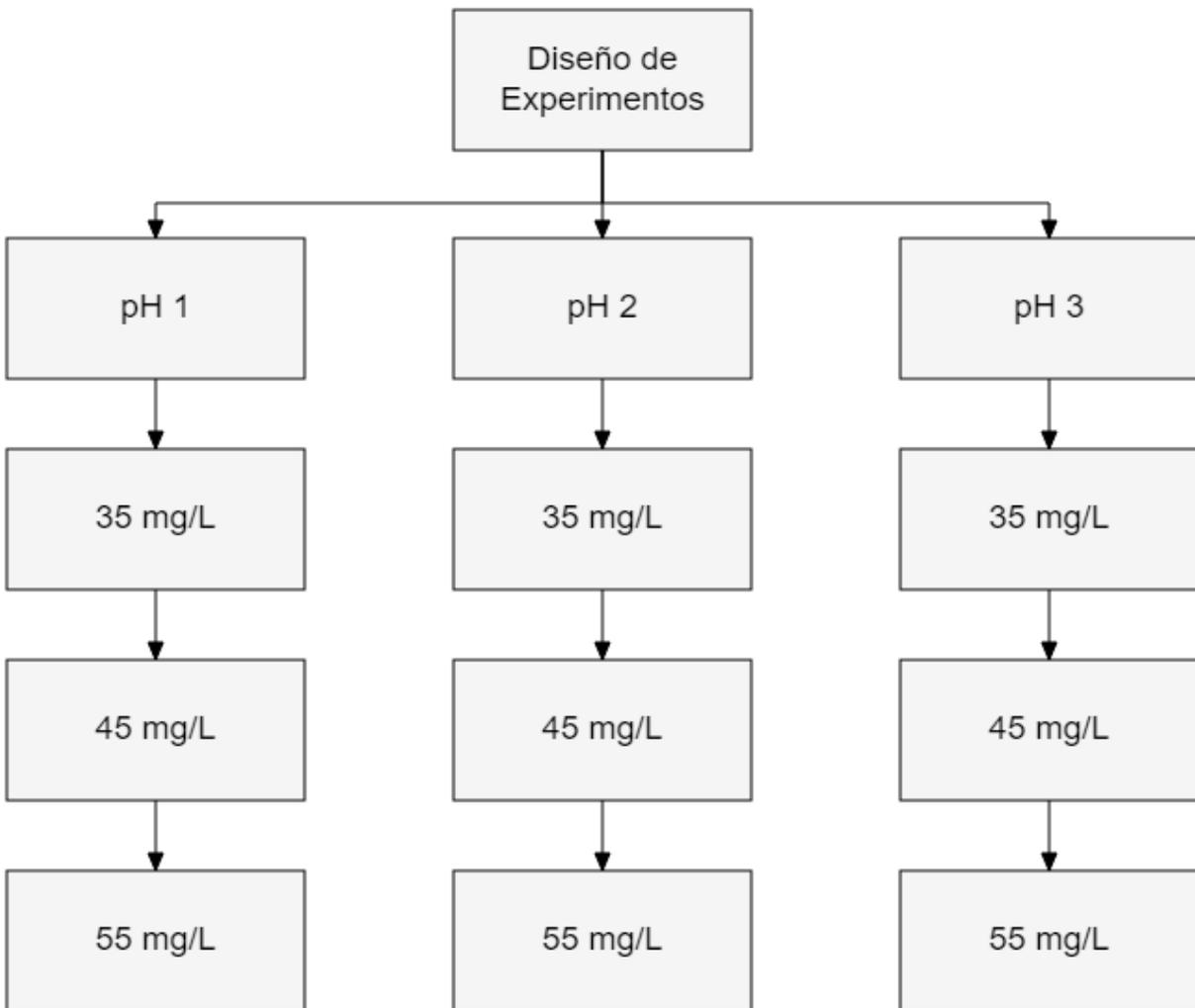


**Nota.** Proceso test de jarras en laboratorio.

Seguidamente se procedió a realizar un diseño de experimentos establecido en el diagrama 1.

**Figura 13.**

*Diseño de experimentos nivel 2 factorial 3*



**Nota.** El diagrama representa el diseño de experimentos realizado en el laboratorio, donde se varían las condiciones de pH y concentración de alginato de sodio para la coagulación de agua de retrolavado.

Para el diseño de experimentos se eligió como variable de respuesta o dependiente la eficiencia de remoción de turbidez del alginato de sodio en el agua de retrolavado, y como variable independiente, la concentración de alginato de sodio aplicado y el pH de la muestra; el diseño se estableció con un nivel 2 factorial, teniendo 2 variables, las cuales corresponden a la concentración del alginato previamente establecidas (35 mg/L, 45 mg/L y 55 mg/L) y el pH de la muestra en los rangos de (1) (2) y (3) , resultando un

total de 9 pruebas, seguidamente se repitió el diseño experimental 2 veces, esto para corroborar la exactitud de los resultados finales y disminuir el porcentaje de error, siendo así un total de 27 pruebas realizadas.

Al finalizar cada prueba se toman los datos de pH, turbidez, transmitancia y absorbancia, se hizo una comparación de los datos obtenidos en las 27 pruebas a través del uso de tablas (Tabla 22) y gráficas (grafica 7) para determinar el rendimiento de coagulación del alginato de sodio, asimismo el porcentaje de remoción de contaminantes químicos y físicos de las muestras, determinando la concentración y el pH adecuado para el tratamiento de aguas de retrolavado.

El análisis estadístico es un modelo matemático no paramétrico de Kruskal Wallis de números en el que los datos presentan tendencia o patrones, que permiten al investigador planificar y contextualizar todas las posibles conclusiones de manera apropiada dándole un carácter de confiabilidad y acreditación a todos los resultados obtenidos. [51]

El análisis estadístico fue realizado mediante dos programas software llamado Minitab y Stata. Estos softwares estadísticos son los más empleados en institutos universitarios y empresariales, [52] con énfasis en investigación para dar reportes sobre los comportamientos de cómo se encuentran actualmente los resultados en el que otorgan todo tipo de gráficas, simulaciones y operaciones estadísticas para dar una última determinación por parte del investigador.

Para la realización del análisis estadístico se desarrolló mediante los modelos paramétrico ANOVA y no paramétrico Kruskal Wallis, con el fin de establecer a qué modelo pertenecen cada uno. Partiendo de la evaluación de las condiciones de cómo estaban actualmente los resultados a través de las pruebas de normalidad, varianza homogénea e independencia, así mismo los datos observados corroboran que pertenecen a un modelo no paramétrico (modelo de Kruskal Wallis) donde implica que los supuestos estudiados están incumpliendo con respecto a la normalidad y homogeneidad de varianzas, sin embargo también se tuvo en cuenta los modelos paramétricos de ANOVA ya que es un modelos muy estudiado, sin embargo demostró

una mayor desviación de los resultados de color, por esta razón se tuvo en cuenta el modelo no paramétrico de Kruskal Wallis.

Además, se hizo una comparación entre las pruebas ANOVA y Kruskal-Wallis debido a que se puede suponer que estas pruebas siguen una normalidad y varianza constante, en el que se aclara que las pruebas presentes siguen una confiabilidad de los datos estadísticos del 95%, aclarando que el valor del 5% no es significativo, aceptando la hipótesis nula.

Posteriormente evaluada el agua con la concentración de alginato de sodio seleccionada, el clarificado es llevado nuevamente a las instalaciones del laboratorio HIDROLAB COLOMBIA LTDA. para un nuevo análisis fisicoquímico, en pruebas como (Turbiedad, sólidos suspendidos totales, Conductividad, Coliformes, Color Aparente, DQO, DBO, Hierro y pH), las pruebas, los parámetros y los métodos de análisis fueron realizados con los mismos procedimientos practicados en el cumplimiento del primer objetivo.

Obtenidos los resultados (Anexo B) se procedió a realizar una comparativa con la normatividad establecida por el ministerio de ambiente, en los cuales se rigió en la Resolución 2115 de 2007 del Ministerio de Salud, Decreto número 3930 de 2010 del Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial y resolución 631 de 2015, esto para comparar qué aspectos del agua analizada cumplen con los valores permisibles establecidos por la normatividad Colombiana y si el agua evaluada es apta para su posterior tratamiento en el sistema de filtración y desinfección, siendo finalmente llevada a la red del acueducto para su consumo humano.

### **2.3 Objetivo 3**

Para el debido cumplimiento del último objetivo se llevó a cabo una revisión bibliográfica, en cuanto a los costos de implementación para la inversión del método de tratamiento de aguas de retrolavado, donde se consultaran los precios de insumos y equipos establecidos en el mercado con el fin de comparar el incremento que tiene la propuesta anual con respecto al uso actual en la unidad de retrolavado. Donde cabe aclarar que la empresa EMSERTENJO E.S.P por motivos de confidencialidad no otorga este tipo de

información por lo cual se limita realizar un análisis completo de los diferentes escenarios económicos de flujo de caja. Por ende se llevó a cabo los parámetro de capex y opex pasando por medio de los indicador de TIO, valor presente y costo uniforme equivalente.

Además, se realizó comparaciones de cuanto es requerido para establecer la propuesta de mejora ya sea en aguas portables o residuales mediante búsqueda de bibliográficas, consultado el precio por metro cubico entre países para uso industrial (agrícola, industrial de riego de jardines y disposición acuífera) y potable (según el país y equipos requeridos) con el fin de establecer si el reusó del alginato en la empresa es más económico según su utilidad.

### 2.3.1 Capex

Donde el costo de inversión se realizó en relación a los costos que se tendrá que invertir por parte de la empresa para realizar la propuesta de mejora donde se tuvo en cuenta todos los equipos que no dispone la empresa y los de utilidad dentro de la unidad de tratamiento de agua de retrolavado, representado en la siguiente tabla:

**Tabla 11.**

*Equipos de inversion Capex*

| Ítem                               | Cantidad requerida |
|------------------------------------|--------------------|
| Bomba dosificadora                 | 1                  |
| Agitador para coagulante           | 2                  |
| Medidor multiparametro de mesa 910 | 1                  |
| Turbidimetro - AQ3010 ORION        | 1                  |
| Equipo Prueba de jarras 6 puestos  | 1                  |
| Balanza analítica - GF 224A        | 1                  |
| Espectrofotómetro - Genesys 30     | 1                  |
| Bomba dosificadora                 | 1                  |
| Beaker (1000ml)                    | 6                  |
| Beaker (100ml)                     | 1                  |
| Pipeta                             | 3                  |
| Vidrio de reloj                    | 1                  |

**Tabla 11.** (Continuación)

|                     |    |
|---------------------|----|
| Balón aforado 1L    | 1  |
| Espátula            | 2  |
| Pipeta Pasteur 3 ml | 10 |

**Nota.** Equipo requerido para la realización de la propuesta de mejora.

### 2.3.2. Opex

Se diagnosticó los costos de operación implicados actualmente con respecto a los que implementación, donde se observaron para el actual:

**Tabla 12.**

*Gastos de funcionamiento actuales Opex*

|                      |                               |
|----------------------|-------------------------------|
| Insumos              | Hipoclorito de sodio          |
|                      | Policloruro de Aluminio       |
|                      | Geomembrana                   |
| Servicios            | Transporte                    |
|                      | Energía eléctrica             |
| Mano de obra         | Prestaciones de servicio      |
| Servicio de Limpieza | Equipos y áreas de la empresa |

**Nota.** Gastos operativos suministrados por la empresa en la unidad de retrolavado. En donde los datos son de uso mensual por cada insumo químico y la geomembrana se cambia cada 2 veces por mes, debido al saturamiento producido de los lodos.

### 3. RESULTADOS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

En el presente capítulo se darán a conocer las especificaciones de operación de la PTAP del municipio de Tenjo, así como los análisis fisicoquímicos del agua de retrolavado, las pruebas de laboratorio con las dosificaciones de alginato de sodio, la comparativa en el cumplimiento con la normatividad colombiana y su costo de implementación.

#### 3.1 Estado actual del proceso de generación de aguas de retrolavado

En el cumplimiento del presente título se describen aspectos fundamentales de la PTAP, tales como su ubicación geográfica junto con sus generalidades, los parámetros de operación de la planta de tratamiento de agua potable, como sus etapas de captación, aireación, sedimentación, cloración, el funcionamiento de cada unidad y sistema de tratamiento y la generación de aguas de retrolavado.

##### 3.1.1 Demografía

«Tenjo es un municipio ubicado en Cundinamarca (Colombia), perteneciente al área metropolitana de Bogotá, de acuerdo al censo realizado por DANE en el año 2005. La población Tenjana es de alrededor de 24.096 habitantes según DANE para el año 2020 y con una superficie total de 108  $km^2$  cuadrados de los cuales 106 km se encuentran en piso térmico frío y los 2 restantes pertenecen al páramo. El municipio de Tenjo limita al norte con el municipio de Tabio, al oriente con Chía y Cota, al sur con Funza y al occidente con Madrid y Subachoque. Los límites actuales fueron declarados por el Instituto Geográfico Agustín Codazzi en el año 1941 y certificadas mediante ordenanza 36 de 1945 y en cuanto a su división política. Está constituido por quince (15) veredas las cuales son: Carrasquilla, Chacal, Chincé, Chitasugá, Chucua, Churuguaco, El Estanco, Guangatá, Jacalito, Juaica, La Punta, Martin Espino, Poveda 1, Poveda 2, Santa Cruz; cuenta con ocho centros poblados como: La Cascajera, El Palmar, Gratamira, Jacalito, Juaica, Los pinos, Pan de Azúcar y el Zoque; además de contar con dos zonas urbanas, la Central y la Punta.» [53] Así como se muestran en la figura 9.

**Figura 14.**

*Mapa geográfico de Tenjo, Cundinamarca*

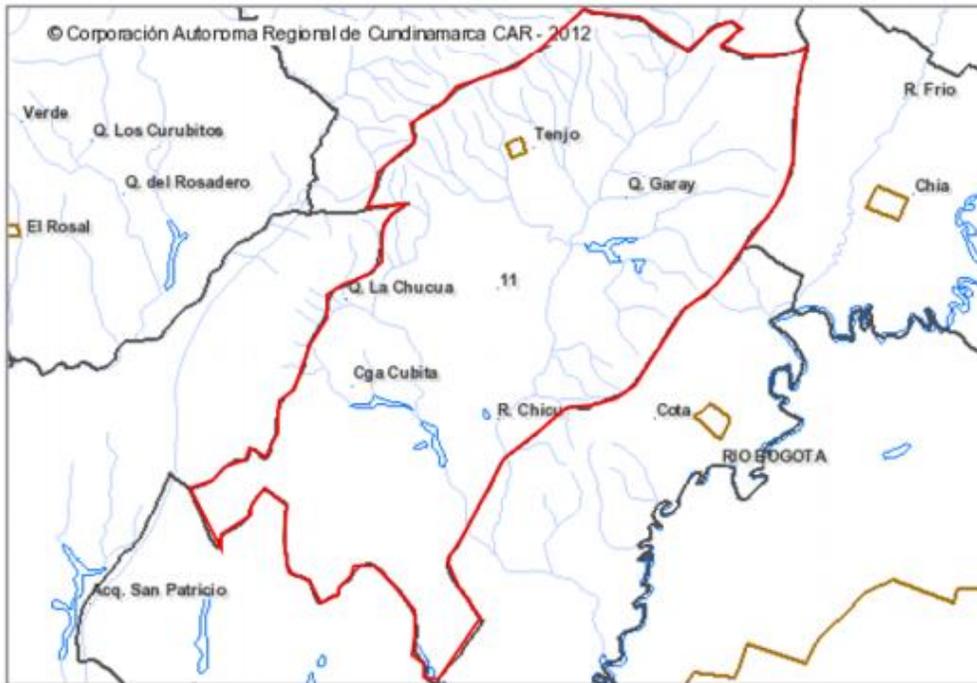


**Nota.** Se muestra los límites geográficos correspondiente al municipio de Tenjo (Cundinamarca): Tomado de: “GOOD TRAVEL: Tenjo Colonial.” <http://goodtraveltenjo.blogspot.com/2015/11/tenjocolonial-algo-mas-que-ruinas.html> (accessed Feb. 24, 2021).

A nivel hidrológico el municipio de Tenjo cuenta con «291 cuerpos de agua reconocidos como humedales en el que abarcan un total de 11664 Ha, en el que 15 son humedales naturales y los restantes, funcionan como conectores o nodos de fauna, flujos de materia y energía.» [53] Además, el municipio cuenta con dos cuerpos de agua importantes, los cuales son el Río Chicú y la quebrada Chucua como se observan en la figura 10.

**Figura 15.**

*Mapa Hidrográfico de Tenjo Cundinamarca*



**Nota.** Representación hidrográfica de la ubicación del Río Chicú que está rodeando el municipio de Tenjo y Quebrada Chucua ubicada dentro del municipio: Tomado de: S. Centro, D. Andrea, and C. Baracaldo, “Diagnóstico del recurso hídrico de las captaciones de agua de los municipios de la jurisdicción de la oficina provincial sabana centro.,” 2015.

En el que por medio de documentos realizados por la Oficina Provincial Sabana Centro (OPSC) autores (Castillo K.J y Corredor D.A, et al) mostraron que en el municipio de Tenjo hacen uso de las concesiones subterráneas de un 75% en actividades agrícolas, siendo esta la más importante en el municipio en comparación a otras actividades como 7% labores domésticas, 12% pecuaria y 4% industrial llegando a emplear un total de caudal de 51,62 l/s de las fuentes subterráneas. En el que se realizó el siguiente cuadro comparativo (Tabla 9) para zona de la Sabana de Cundinamarca:

**Tabla 13.**

*Uso de las concesiones subterráneas en Cundinamarca*

| Concesiones Subterráneas | Caudal en Litros por Segundo |          |          |            |            |         |
|--------------------------|------------------------------|----------|----------|------------|------------|---------|
|                          | Domestico                    | Agrícola | Pecuario | Industrial | Otros Usos | Total   |
| <b>CAJICA</b>            | 3,96                         | 15,35    | 3,84     | 1,41       | 2,97       | 27,53   |
|                          | 14%                          | 56%      | 14%      | 5%         | 11%        | 100%    |
| <b>CHIA</b>              | 4,55                         | 46,94    | 8,08     | 8,33       | 19,9       | 87,8    |
|                          | 14%                          | 53%      | 9%       | 9%         | 23%        | 100%    |
| <b>COGUA</b>             | 0                            | 1,26     | 0,57     | 0          | 0          | 1,83    |
|                          | 0%                           | 69%      | 31%      | 0%         | 0%         | 100%    |
| <b>COTA</b>              | 11,24                        | 12,1     | 11,9     | 38,6       | 7,44       | 81,28   |
|                          | 14%                          | 15%      | 15%      | 47%        | 9%         | 100%    |
| <b>GACHANCIPA</b>        | 0,93                         | 21,97    | 2,66     | 30,04      | 1          | 56,61   |
|                          | 2%                           | 39%      | 5%       | 53%        | 2%         | 100%    |
| <b>NEMOCON</b>           | 0,01                         | 3,09     | 0,07     | 0          | 0          | 3,18    |
|                          | 1%                           | 97%      | 2%       | 0%         | 0%         | 100%    |
| <b>SOPO</b>              | 9,11                         | 40,93    | 5,44     | 33,76      | 6,49       | 95,7446 |
|                          | 10%                          | 43%      | 6%       | 35%        | 7%         | 100%    |
| <b>TABIO</b>             | 0,11                         | 5,68     | 0,26     | 1,26       | 0          | 7,31    |
|                          | 2%                           | 78%      | 4%       | 17%        | 0%         | 100%    |
| <b>TENJO</b>             | 3,45                         | 38,83    | 5,98     | 1,26       | 2,08       | 51,616  |
|                          | 7%                           | 75%      | 12%      | 2%         | 4%         | 100%    |
| <b>TOCANCIPA</b>         | 2,26                         | 32,16    | 4,99     | 28,27      | 27,49      | 95,1855 |
|                          | 2%                           | 34%      | 5%       | 30%        | 29%        | 100%    |

**Tabla 13.** (Continuación)

|                  |      |      |      |    |    |      |
|------------------|------|------|------|----|----|------|
| <b>ZIPAQUIRA</b> | 0,82 | 1,88 | 0,96 | 0  | 0  | 3,66 |
|                  | 22%  | 51%  | 26%  | 0% | 0% | 100% |

**Nota.** Cuadro comparativo del caudal subterráneo en los municipios de Cundinamarca: Tomado de: S. Centro, D. Andrea, and C. Baracaldo, “Diagnóstico del recurso hídrico de las captaciones de agua de los municipios de la jurisdicción de la oficina provincial sabana centro.,” [54] 2015.

La empresa de tratamiento de agua potable EMSERTENJO E.S.P. opera en las coordenadas 4°52'35.6"N 74°8'53.9"W, en la (figura 11) se muestra detalladamente la ubicación de la PTAP.

**Figura 16.**

*Localización planta de tratamiento de agua Emsertenjo e.s.p*



**Nota.** Coordenadas de la planta de tratamiento de agua de Tenjo, Cundinamarca: Tomado de: 4°52'35.6"N 74°08'53.9"W.Google earth. planta de tratamiento de agua potable tenjo, Cundinamarca. Disponible. <https://www.google.com/maps/place/4%C2%B052'35.6%22N+74%C2%B>

008'53.9%22W/@4.8765556,-

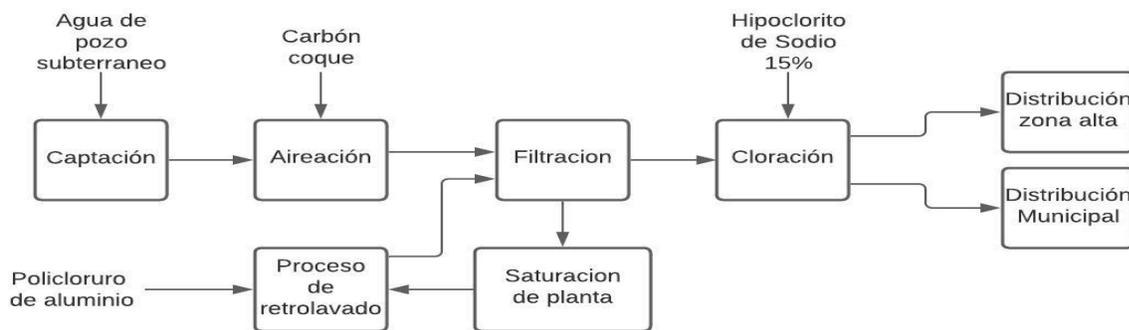
74.1490577,338m/data=!3m2!1e3!4b1!4m9!1m2!2m1!1splanta+de+tratamiento+de+agua+potable+tenjo!3m5!1s0x0:0x0!7e2!8m2!3d4.876544!4d-74.1483125

### 3.1.2 Proceso de potabilización

Los procesos empleados en la PTAP del municipio de Tenjo se describen en el diagrama 1, donde se detallan las corrientes de entrada y salida, de igual manera los procesos de tratamiento fundamentales como lo son la Captación, Aireación, Filtración y Cloración:

**Figura 17.**

*Desarrollo de la planta de tratamiento Emser Tenjo e.s.p*



**Nota.** Descripción de la estructura de tratamiento de agua.

3.1.2.a Captación. La empresa EMSERTENJO E.S.P. extrae agua cruda de pozos profundos en las localidades de Chitasugá I, Chitasugá II, La Cascajera y Churuguaco, por medio de «excavaciones de túneles en el que estos se construyeron de manera vertical perforando capas y subcapas del subsuelo, hasta profundidades de 1000 m, 350 m y 280 m respectivamente, en el que tiene que ser suficientemente profundo para alcanzar una reserva de agua subterránea de una capa freática.» [55] En el que las “rocas, fisuras, granos, grietas de agua y compuestos arenosos darán una caracterización del terreno de donde se extrae” [56]; Este es realizado a través de bombes sumergibles en el que el agua es impulsada por medio de un sistema de aducción para el transporte de agua cruda proveniente de los acuíferos subterráneos, en el que se tiene en cuenta su monitoreo y registro de la fuente diariamente a la entrada de las plantas por parte del operario de la planta, el mantenimiento de las tuberías e instalaciones de captación son encargados por parte del fontanero. En la (Tabla 10) se describe la ubicación de cada uno de los pozos de captación, así como la profundidad, caudal y tubería.

**Tabla 14.**

Descripción de los pozos profundos

| <b>POZOS PROFUNDOS TENJO</b> |                    |                     |                   |                     |
|------------------------------|--------------------|---------------------|-------------------|---------------------|
| <b>Pozo</b>                  | <b>Chitasugá I</b> | <b>Chitasugá II</b> | <b>Churuguaco</b> | <b>La Cascajera</b> |
| <b>Profundidad</b>           | 1000 m             | 350 m               | 280 m             | 280 m               |
| <b>Caudal</b>                | 43 L/S             | 12 L/S              | 8 L/S             | 14 L/S              |

**Tabla 14.** (Continuación)

|                  |                                   |                                  |                                 |   |
|------------------|-----------------------------------|----------------------------------|---------------------------------|---|
| <b>Ubicación</b> | Vereda Chitasugá, vía la punta    | Contigua al pozo Chitasugá 1     | Vereda Chitasugá, vía la punta. | Casco urbano, en una zona colindante con la urbanización de la peña |
| <b>Tubería</b>   | 2 tuberías de impulsión de 6 c/u" | 1 tubería de impulsión de 6 c/u" | 1 tubería de impulsión          | 1 tubería de impulsión de 6 c/u"                                    |

**Nota.** Descripción de los pozos profundos datos suministrados por la empresa EMSERTENJO S.A. E.S.P.: Tomado de: [55]J. R. SANCHEZ and L. M. O. BERNAL, "PROCEDIMIENTO CAPTACIÓN Y ADUCCIÓN.," Tenjo, Cundinamarca, 2020. Disponible: <http://mpoc.org.my/malaysian-palm-oil-industry/>.

3.1.2.b Planta de tratamiento. En la torre de aireación o torres de tiro natural, el agua cruda tomada del proceso de captación es conducida a la sección superior de la torre, la cual se encuentra" constituida por bandejas perforadas que ingresan desde la zona superior, en el que descienden a través de bandejas en forma de cascada, pasando por un catalizador de lecho de carbón de coque". [55] Este fluido desciende de forma gravitacional hasta llegar al tanque de filtración. La finalidad de este proceso es de:

- Promover la supresión de gases o sustancias volátiles provenientes de los pozos subterráneos tales como dióxido de carbono ( $CO_2$ ) ácido sulfhídrico ( $H_2S$ ), metano ( $CH_4$ ) y amoníaco ( $NH_3$ ), metales especiales como hierro (Fe) y manganeso (Mn).
- Provocar la oxidación y solubilizarían del oxígeno presente en el agua dándole a esta oxigenación.
- Ayuda a la creación de sedimentos para el proceso posterior a la filtración.
- Colabora en la eliminación de olor y sabor presentes del agua de pozo subterráneo.

La filtración se desarrolla en un tanque central cilíndrico el cual cuenta con un lecho múltiple filtrante que tendrá la función de apartar todos los sólidos y partículas de tamaños pequeños y grandes como (gravilla, arena y antracita) en el que opera a través de un flujo descendente.

Finalmente, el agua filtrada es conducida a un proceso de dosificación de cloro, en el que es aplicado por medio de bombas, estas “regulan el cloro en la línea de alimentación a los tanques de agua clorada. Son de tipo diafragma en donde funcionan a partir de pulsos y se encuentran regularizadas por medio de flujo de agua a clorar.” [56] Estas bombas son de gran utilidad para usos municipales y de procesos de portabilidad debido a:

- Ahorros energéticos en la planta en cuanto al encendido.
- Mayor efectividad al momento de dosificar el flujo de agua.

En cuanto al suministro de cloro, este se adiciona mediante goteo a una concentración de Hipoclorito de Sodio al 15% [55], el proceso de cloración está regulado por la «resolución 2115 de 2007 del ministerio de protección social, ministerio ambiente y desarrollo territorial en el que el artículo 9º denominado características químicas de otras sustancias utilizadas en la potabilización.» [57]«Este procedimiento se lleva a cabo manualmente por el operario, donde tiene que administrarlo en tanques de polietileno, debido a que este material es eficiente en cuanto a la resistencia de elementos a la corrosión» [55], ya preparada la muestra de cloro se iniciara la dilución en el agua, y posteriormente se realiza la desinfección para inhibir todos los microorganismos presentes que no se han podido eliminar durante el proceso de la potabilización.

Donde el agua clorada es almacenada y se distribuye (post-cloración) a zonas bajas y zonas altas del municipio de Tenjo. [55]

La planta de tratamiento de agua potable de Tenjo está compuesta de 4 plantas de tratamiento, tres plantas de tipo compacto y una de tipo convencional, las cuales operan a condiciones proporcionales al caudal de agua cruda de entrada, asimismo estas cuentan con especificaciones de tratamiento descritas en la (tabla 11).

**Tabla 15.***Procedimiento para el tratamiento de agua en el municipio de Tenjo*

| <b>Planta Número 1</b>   |  |
|--|--|
| <b>Actividad</b>   | <b>Responsable</b>   |
| La planta No. 1 dispone de una torre de aireación en la parte alta la cual alimenta 4 bandejas con las siguientes dimensiones 2m * 20Cm con profundidad de 30 cm y tiene 4 flautas. Allí llega el agua del pozo Chitasugá I el cual provee un caudal de 23 l/s y su capacidad máxima de tratamiento es de 25 l/s, esta suministra agua al casco urbano y está fabricada en acero.  | Sistema Operativo  |
| <p>TRATAMIENTO</p> <p>1. El agua que llega del pozo Chitasugá I entra a la planta N° 1. y los caudales de entrada a la planta se miden a diario por el operador de plantas</p> <p>2. El agua que llega a la planta N° 1 pasa a través de la tubería que alcanza la altura de la torre de aireación compuesta por 4 bandejas con orificios que ayudan a oxigenar el agua y a su vez tiene contacto con carbón coque para oxidar el hierro.</p> <p>3. Debajo de la torre de aireación se encuentra un tanque recolector y regulador de agua construido en cemento y cuenta con las siguientes dimensiones 3m*5m*2m</p> | Sistema operativo<br><br>Operario calificado<br>(Operario de planta) |

**Tabla 15.** (Continuación)

|  |   |
|--|---|
| <p>FILTRACIÓN</p> <p>4. El tanque alimenta el proceso de filtración por medio de la tubería que pasa a 5 filtros para que el agua sea filtrada y elimine los sólidos suspendidos que esta lleve,</p> <p>5. El primer filtro está compuesto por Grava de 1" y ½", antracita y los otros cuatro filtros tienen seis capas, las dos primeras de Grava de 1" y ½", y las otras cuatro de arena de 1/8, 1/4, 0,8 y 0,5 mm..., colocadas en orden ascendente</p>   | <p>Sistema operativo</p>  |
| <p>DOSIFICACIÓN DE CLORO.</p> <p>5. El agua pasa al tanque del casco urbano donde se realiza la adición de Cloro a través de bombas dosificadoras que regula su caudal de acuerdo al flujo del agua, este adiciona el cloro por goteo en concentración del 15%. Para dar la dosis adecuada de 0,3 – 2,0 concentración cumpliendo con la Res. 2115/07. El control de dosificación se realiza por bomba dosificadora y se desinfecta con Hipoclorito de Sodio 15%</p> <p>5.1 Tanque de solución: con capacidad de 55 galones, el depósito será de polietileno de alta densidad u otro elemento resistente a la corrosión.</p> <p>5.2 El operador de plantas realiza una mezcla de 100 litros de agua por 22 litros de cloro, donde primero agrega el cloro y después el agua</p> <p>6. Posterior a la dosificación de cloro el agua es apta para consumo humano, esta es almacenada en el los tanque de distribución del casco urbano y es conducida a través de las redes de distribución por gravedad hacia los sectores planos del Municipio y por rebombeo hacia las zonas altas del Municipio</p> | <p>Operario calificado (Operario de planta).</p> <p>Sistema de cloración</p> <p>Sistema de almacenamiento</p> |

**Tabla 15.** (Continuación)

| <b>Planta Número 2</b>   |  |
|--|--|
| <b>Actividad</b>   | <b>Responsable</b>   |
| <p>La planta No.2 está construida en la parte donde están los tanques de reserva y del casco urbano, esta es de fibra de vidrio y en su entrada cuenta con 12 flautas. La capacidad máxima de tratamiento es de 15 l/s.</p>  | <p>Sistema Operativo</p>   |
| <p><b>TRATAMIENTO</b></p> <p>1. El pozo “Churuguaco” tiene un caudal de 14 l/s. El agua es conducida a la planta No. 2 y los caudales de entrada a la planta se miden a diario por el operador de plantas</p> <p>2. La planta No. 2 Cuenta con 5 bandejas de aireación, las cuales van con carbón coque cumpliendo con la función de absorber el hierro presente en el agua.</p>   | <p>Sistema operativo</p> <p>Operario calificado<br/>(Operario de planta)</p> |
| <p><b>FILTRACIÓN</b></p> <p>3. Debajo de las torres de aireación se encuentra un tanque cilíndrico, este tiene dos compartimentos, uno de 90 cm donde está el lecho filtrante conformado por capas sucesivas de grava y arena de 1” y ½ in “, y las otras cuatro de arena de 1/8, 1/4, 0,8 y 0,5 mm en orden ascendente, eliminando sólidos suspendidos que tenga el agua. Y el otro compartimento utilizado para el almacenamiento y paso del agua filtrada. Estos compartimentos están comunicados entre sí.</p> <p>4. Luego el agua pasa al tanque de reserva y posteriormente al tanque del casco urbano</p> | <p>Sistema operativo</p>   |

**Tabla 15.** (Continuación)

|  |   |
|--|---|
| <p>DOSIFICACIÓN DE CLORO.</p> <p>5. El agua pasa al tanque del casco urbano donde se realiza la adición de Cloro a través de bombas dosificadoras que regula su caudal de acuerdo al flujo del agua, este adiciona el cloro por goteo en concentración del 15%. Para dar la dosis adecuada de 0,3 – 2,0 concentración cumpliendo con la Res. 2115/07. El control de dosificación se realiza por bomba dosificadora y se desinfecta con Hipoclorito de Sodio 15%</p> <p>5.1 Tanque de solución: con capacidad de 55 galones, el depósito será de polietileno de alta densidad u otro elemento resistente a la corrosión.</p> <p>5.2 El operador de plantas realiza una mezcla de 100 litros de agua por 22 litros de cloro, donde primero agrega el cloro y después el agua</p> <p>6. Posterior a la dosificación de cloro el agua es apta para consumo humano, esta es almacenada en el los tanque de distribución del casco urbano y es conducida a través de las redes de distribución por gravedad hacia los sectores planos del Municipio y por rebombeo hacia las zonas altas del Municipio</p> | <p>Operario calificado (Operario de planta).</p> <p>Sistema de cloración</p> <p>Sistema de almacenamiento</p> |
|--|---|

**Tabla 15.** (Continuación)

| <b>Planta Número 3</b>   |  |
|--|--|
| <b>Actividad</b>   | <b>Responsable</b>   |
| <p>La planta No. 3 recibe el agua del pozo de “Chitasugá I”, tiene un caudal de 20 l/s. Cuenta con 12 flautas, una torre de aireación de 5 bandejas y los lechos filtrantes compuestos de arena y grava; esta planta está fabricada en fibra de vidrio y Su capacidad máxima de tratamiento es de 22 l/s.</p> <p>La salida de esta planta se hace por medio de tubería PVC de 6 pulgadas” en la parte inferior al tanque de las veredas, construido contiguo a esta planta</p> | <p>Sistema Operativo</p>   |
| <p>TRATAMIENTO</p> <p>1. El agua que llega del pozo de Chitasugá I entra a la planta No. 3. y los caudales de entrada a la planta se miden a diario por el operador de plantas.</p> <p>2. Luego el agua pasa a través de la tubería que alcanza la altura de la torre de aireación compuesta por 5 bandejas con orificios que ayudan a oxigenar el agua y a su vez tiene contacto con carbón coque para eliminar el hierro.</p>  | <p>Sistema operativo</p> <p>Operario calificado<br/>(Operario de planta)</p> |

**Tabla 15.** (Continuación)

| FILTRACIÓN  | Sistema operativo |
|---|-------------------|
| <p>3. Debajo de las torres de aireación se encuentra un tanque cilíndrico, este tiene dos compartimentos, uno de 90 cm donde está el lecho filtrante conformado por capas sucesivas de grava y arena de 1" y ½ in “, y las otras cuatro de arena de 1/8, 1/4, 0,8 y 0,5 mm en orden ascendente, eliminando sólidos suspendidos que tenga el agua. Y el otro compartimento utilizado para el almacenamiento y paso del agua filtrada. Estos compartimentos están comunicados entre sí.</p> |                   |
| <p>4. Luego el agua pasa al tanque de las veredas</p>   |                   |

**Tabla 15.** (Continuación)

|   |   |
|---|---|
| <p>DOSIFICACIÓN DE CLORO.</p> <p>5. El agua pasa al tanque del casco urbano donde se realiza la adición de Cloro a través de bombas dosificadoras que regula su caudal de acuerdo al flujo del agua, este adiciona el cloro por goteo en concentración del 15%. Para dar la dosis adecuada de 0,3 – 2,0 concentración cumpliendo con la Res. 2115/07. El control de dosificación se realiza por bomba dosificadora y se desinfecta con Hipoclorito de Sodio 15%</p> <p>5.1 Tanque de solución: con capacidad de 55 galones, el depósito será de polietileno de alta densidad u otro elemento resistente a la corrosión.</p> <p>5.2 El operador de plantas realiza una mezcla de 100 litros de agua por 22 litros de cloro, donde primero agrega el cloro y después el agua</p> <p>6. Posterior a la dosificación de cloro el agua es apta para consumo humano, esta es almacenada en el los tanques de distribución del casco urbano y es conducida a través de las redes de distribución por gravedad hacia los sectores planos del Municipio y por rebombeo hacia las zonas altas del Municipio</p> | <p>Operario calificado (Operario de planta).</p> <p>Sistema de cloración</p> <p>Sistema de almacenamiento</p> |
| <p><b>Planta Número 4</b></p>   |   |
| <p><b>Actividad</b></p>   | <p><b>Responsable</b></p>   |
| <p>La planta No. 4, recibe dos tuberías de 4”, provenientes del pozo la cascajera con un caudal de 8 l/s y la salida es en 4” en la parte inferior. La planta No. 4 entrega al tanque de las veredas y al tanque de reserva. Su capacidad máxima de tratamiento es de 11 l/s, cuenta con una torre de aireación compuesta por 5 bandejas, 4 flautas y los lechos filtrantes de grava y arena y es hecha en fibra de hierro.</p>   | <p>Sistema Operativo</p>  |

**Tabla 15.** (Continuación)

|   |  |
|---|--|
| <p>TRATAMIENTO</p> <p>1. El agua que llega del pozo “la casajera” entra a la planta No. 4. y los caudales de entrada a la planta se miden a diario por el operador de plantas</p> <p>2. Luego el agua pasa a través de la tubería que alcanza la altura de la torre de aireación compuesta por 5 bandejas con orificios que ayudan a oxigenar el agua y a su vez tiene contacto con carbón coque para eliminar el hierro.</p>   | <p>Sistema operativo</p> <p>Operario calificado<br/>(Operario de planta)</p> |
| <p>FILTRACIÓN</p> <p>3. Debajo de las torres de aireación se encuentra un tanque cilíndrico, este tiene dos compartimentos, uno de 90 cm donde está el lecho filtrante conformado por capas sucesivas de grava y arena de 1” y ½ in “, y las otras cuatro de arena de 1/8, 1/4, 0,8 y 0,5 mm en orden ascendente, eliminando sólidos suspendidos que tenga el agua. Y el otro compartimento utilizado para el almacenamiento y paso del agua filtrada. Estos compartimentos están comunicados entre sí.</p> <p>4. Luego el agua pasa al tanque de las veredas</p> | <p>Sistema operativo</p>   |

**Tabla 15.** (Continuación)

|  |  |
|--|--|
| <p>DOSIFICACIÓN DE CLORO.</p> <p>5. El agua pasa al tanque del casco urbano donde se realiza la adición de Cloro a través de bombas dosificadoras que regula su caudal de acuerdo al flujo del agua, este adiciona el cloro por goteo en concentración del 15%. Para dar la dosis adecuada de 0,3 – 2,0 concentración cumpliendo con la Res. 2115/07. El control de dosificación se realiza por bomba dosificadora y se desinfecta con Hipoclorito de Sodio 15%</p> <p>5.1 Tanque de solución: con capacidad de 55 galones, el depósito será de polietileno de alta densidad u otro elemento resistente a la corrosión.</p> <p>5.2 El operador de plantas realiza una mezcla de 100 litros de agua por 22 litros de cloro, donde primero agrega el cloro y después el agua</p> <p>6. Posterior a la dosificación de cloro el agua es apta para consumo humano, esta es almacenada en los tanques de distribución del casco urbano y es conducida a través de las redes de distribución por gravedad hacia los sectores planos del Municipio y por rebombeo hacia las zonas altas del Municipio</p> | <p>Operario calificado<br/>(Operario de planta)</p> <p>Sistema de cloración</p> <p>Sistema de almacenamiento</p> |
|--|--|

**Nota.** Descripción detallada de la operatividad de cada una de las plantas de tratamiento Tomado de: M. D. E. Tenjo, P. Del, T. D. E. Agua, J. R. Sanchez, D. O. De, and L. U. Z. M. Orosco, “Se adiciona formato para dosificación de hipoclorito Actualización de logos y nombramiento nuevo Gerente,” 2020.

### 3.1.3 Calidad del agua potable

Los análisis del agua potable son tomados en 7 puntos distribuidos a lo largo del municipio (Frente a la escuela el Chacal, Vía la punta, Salida vía Siberia, Calle 2 salida

planta de tratamiento, Parque principal, calle 9 con carrera 2 y Vía Chía Km 2,5), esto para evaluar si el agua sigue cumpliendo los parámetros establecidos por la normatividad y es apta para el consumo humano. Estos análisis tienen que ser realizados cada mes, como lo contempla la Resolución 2115 de 2007 del Ministerio de Protección Social, Ministerio Ambiente y Desarrollo Territorial, realizados por el laboratorio - IRCA, asimismo EMSERTENJO E.S.P. al ser una empresa pública, difunde los resultados de los análisis de agua en su plataforma web, los cuales se pueden observar en la (tabla 12).

**Tabla 16.**

*Reporte de resultados de agua potable de febrero de 2021 del laboratorio H2O ES VIDA S.A.S*

| <b>REPORTE DE RESULTADOS DE LABORATORIO – IRCA</b> |               |                   |              |           |                          |                        |              |
|--|---------------|-------------------|--------------|-----------|--------------------------|------------------------|--------------|
| <b>Código:FDS-PT04</b>                             |               | <b>Versión: 1</b> |              |           | <b>Fecha: 01/03/2021</b> |                        |              |
| <b>RESULTADOS</b>                                  |               |                   |              |           |                          |                        |              |
| Ensayo   | Método        | Unidades          | Fecha        | Resultado | Res. 21/15               | Puntaje De Riesgo IRCA | Cumplimiento |
| pH   | SM4500H<br>+B | pH                | 01/03/2<br>1 | 7,50      | 6,5 -<br>9               | 1,5                    | Cumple       |
| Conductividad                                      | SM2510B       | us/cm             | 01/03/2<br>1 | 120       | 100<br>0                 | N.E                    | Cumple       |
| Cloro Residual                                     | SM4500C<br>LB | Mg<br>Cl2/l       | 01/03/2<br>1 | 0,67      | 0,3<br>–<br>2,0          | 15                     | Cumple       |
| Turbiedad  | SM2130B       | NTU               | 01/03/2<br>1 | <1        | 2                        | 15                     | Cumple       |

**Tabla 16.** (Continuación)

|                     |              |                  |              |              |              |        |            |
|---------------------|--------------|------------------|--------------|--------------|--------------|--------|------------|
| Color<br>Aparente   | SM2120B      | UPC              | 01/03/2<br>1 | <5           | 15           | 6      | Cumpl<br>e |
| Coliforme<br>s Tot. | SM9223B      | Pres./ausen<br>. | 01/03/2<br>1 | Ausenci<br>a | Ausenci<br>a | 1<br>5 | Cumpl<br>e |
| E-Coli              | SSM9223<br>B | Pres./ausen<br>. | 01/03/2<br>1 | Ausenci<br>a | Ausenci<br>a | 2<br>5 | Cumpl<br>e |

**Nota.** Resultados del análisis de agua potable de marzo de 2021 de la Calle 9 con carrera 2 suministrado por el laboratorio H<sub>2</sub>O ES VIDA S.A.S Tomado de: [REF análisis Marzo]

Como se observa en la tabla 11, los resultados fisicoquímicos del agua potable tratada en Tenjo cumplen con los parámetros establecidos por la resolución 2115 de 2007, la cual es apta para el consumo humano y determina el excelente funcionamiento de la planta de tratamiento de agua potable.

#### **3.1.4 Proceso de retrolavado**

El proceso de retrolavado es realizado de dos maneras, la primera de forma manual, mediante el operario de la planta y la segunda de forma automática, en el que la planta posee su propio sistema operativo para trabajar como se evidencia en la (tabla 13).

**Tabla 17.**

*Procedimiento para el tratamiento de agua en el municipio de Tenjo*

| <b>Actividad</b>  | <b>Responsable</b>             |
|---|--------------------------------|
| <p><b>RETROLAVADO MANUAL</b></p> <p>Actividad realizada en la planta N°1. el manual de operación indica que se realizan los siguientes pasos:</p> <p><b>1.1</b> Apagar la bomba dosificadora en el tablero de control.</p> <p><b>1.2</b> Se abren las válvulas de la planta para que el agua llegue al filtro directamente y se invierta el flujo realizando el retro lavado.</p> <p><b>1.3</b> Se abren las válvulas para que el producto del lavado se deseche por la tubería de desagüe.</p> <p><b>1.4</b> Cerrar la válvula de desagüe y las del Retrolavado.</p> <p><b>1.5</b> Encender la Bomba dosificadora. en el tablero de control para que esta siga con su proceso normal,</p> <p>Actividad realizada cada 24 horas de forma automática en la empresa</p> | <p>Operario<br/>calificado</p> |

**Tabla 17.** (Continuación)

|   |                          |
|---|--------------------------|
| <p><b>RETROLAVADO AUTOMÁTICO</b></p> <p>Actividad realizada en las plantas 2,3 y 4 en estas el sistema de filtración es limpiado a presión cada vez que ocurre una saturación en la unidad, automáticamente se activa el proceso de retrolavado y el agua residual es conducida hacia el tanque de almacenamiento de agua procedente de retrolavado.</p> <p>Tiempo estimado del proceso es de cada 8 a 12 horas</p> | <p>Sistema operativo</p> |
| <p><b>SATURACIÓN DEL SISTEMA DE FILTRACIÓN:</b></p> <p>Proceso que ocurre en la unidad de filtración cuando el lecho se satura debido a los sólidos suspendidos.</p>  | <p>Sistema operativo</p> |

**Nota.** Descripción de los procesos de retrolavado realizado en la planta de tratamiento de agua potable: Tomado de: J. R. SÁNCHEZ, L. M. OROSCO, and BERNAL, "PROCEDIMIENTO DEL TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE," Tenjo, Cundinamarca, 2020.

**Figura 18.**

*Planta de tratamiento de aguas de retrolavado*



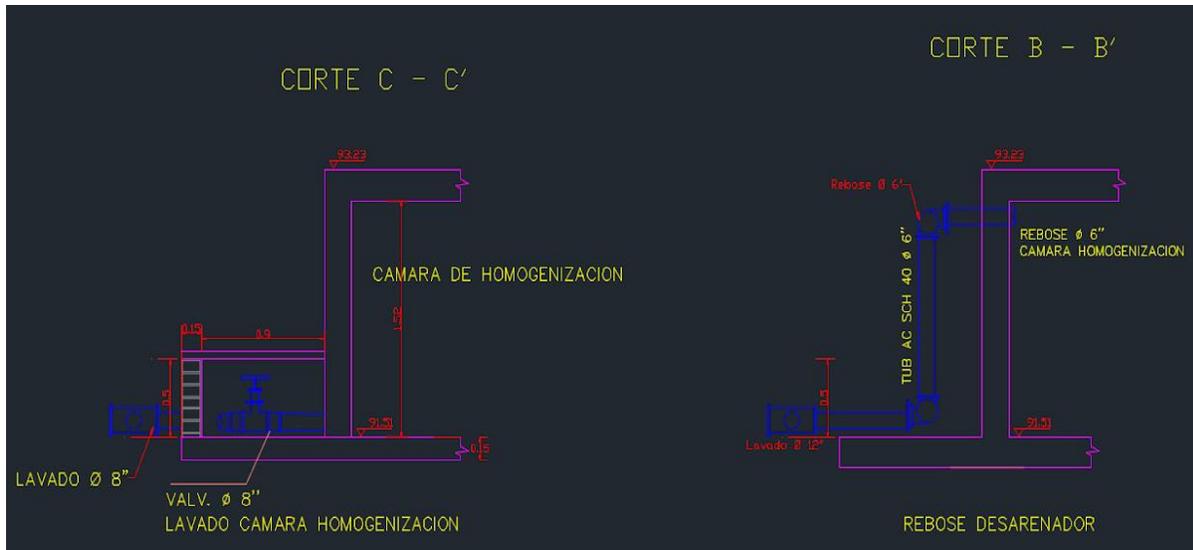
**Nota.** Registro fotográfico aéreo de la planta de tratamiento de retrolavado en el municipio de Tenjo, Cundinamarca. tomado de: EMSERTENJO ESP.

3.1.4.a Cámara de homogenización. El agua de retrolavado llega a la cámara de homogenización (Figura 17) procedentes de las 4 plantas.



**Figura 20.**

*Plano de la cámara de homogenización*



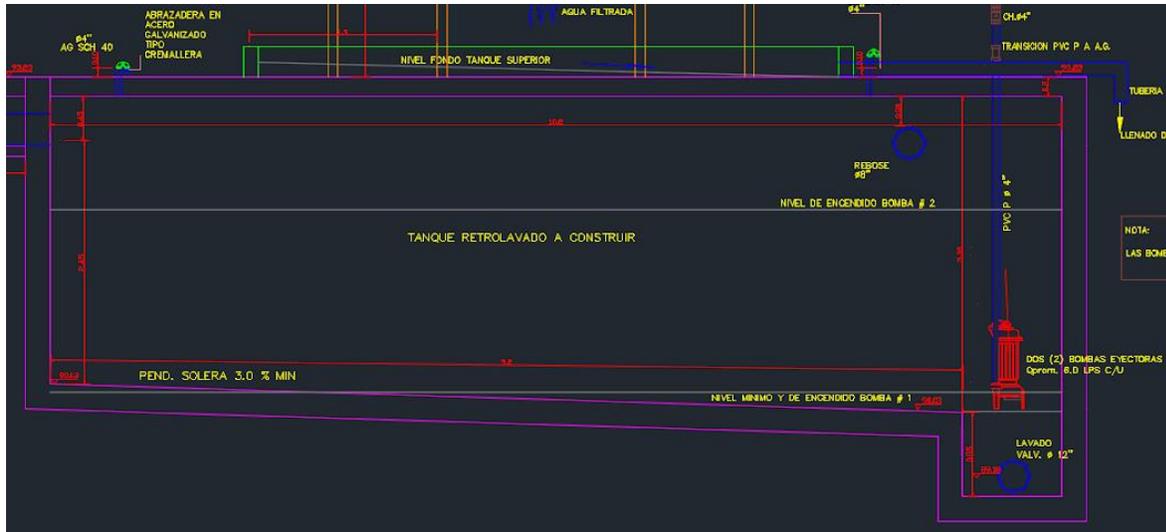
**Nota.** La imagen representa un plano frontal de la cámara de homogenización donde se representan las dos salidas de agua que posee, una de corte C y la otra de corte B, las cuales son las. tomado de: Emsertenjo esp.

Posterior a la mezcla, la cámara de homogenización está incorporada a dos salidas como se observa en la Figura 18, la primera salida es la línea de agua de entrada al tanque de retrolavado el cual está descrito en la imagen lateral izquierda y la segunda salida es la línea de rebose, la cual se acciona una vez que el nivel de llenado de la cámara alcanza una altura considerable, el agua que sale por esta línea tiene una disposición final al riachuelo contiguo a la planta, la cual está descrita en la imagen lateral derecha.

El agua es conducida al tanque de retrolavado donde se deja reposar por 12 horas mientras se sedimentan sus partículas (Figura 19)

**Figura 21.**

*Plano del tanque de retrolavado*



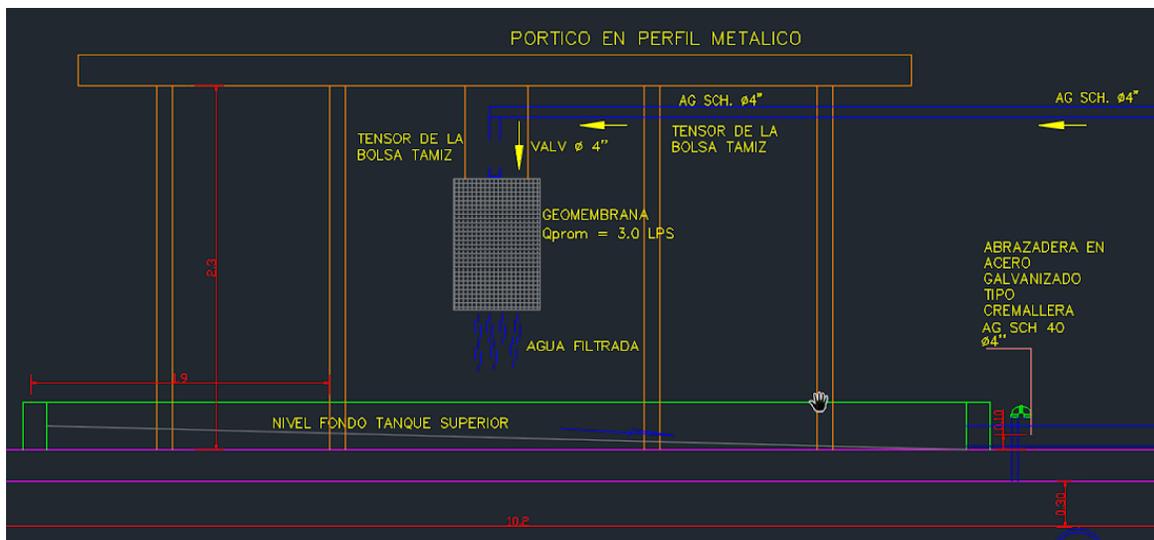
**Nota.** La imagen representa un plano frontal del tanque de retrolavado, describiendo sus entradas y salidas de agua. tomado de: EMSERTENJO ESP.

Como se observa en la (figura 19) el tanque de almacenamiento está constituido por una entrada de agua de retrolavado proveniente de la cámara de homogenización, la cual, se evidencia en la parte superior izquierda del plano y dos salidas, la primera está constituida por dos bombas eyectoras, las cuales se encargan de transportar el agua al sistema de filtración, una vez transcurrido el tiempo de sedimentación, la segunda salida se encarga de retirar los lodos sedimentados del tanque a través de un lavado rutinario, está se evidencia en la sección inferior derecha del plano. Actualmente, el tanque de retrolavado presenta ineficiencias en la sedimentación de partículas presentes en el agua de retrolavado, por lo cual esta presenta un alto grado de turbidez, afectando los procesos de filtración los cuales no cuentan con la capacidad requerida para remover todos estos lodos.

3.1.5.b Sistema de filtración. El agua proveniente del tanque de retrolavado, es conducida por un serpentín de mezcla donde se dosifica el coagulante (Policloruro de Aluminio); este proceso se denomina como coagulación rápida; seguidamente está sigue su trayecto hasta un filtro o geomembrana para retener las partículas presentes en el agua bombeada.

**Figura 22.**

*Plano del sistema de filtración*



**Nota.** La imagen representa un plano frontal del sistema de filtración, describiendo sus entradas y salidas de agua. tomado de: EMSERTENJO ESP.

Como se evidencia en la figura 20 el agua procedente del tanque de retrolavado llega desde la parte superior derecha del plano donde es conducida a una coagulación rápida y posteriormente a la geomembrana, se filtra y cae por gravedad al nivel fondo el cual se representa en color verde. Filtrada el agua, esta pasa a la última etapa, la cual es la cámara de almacenamiento.

Actualmente, la geomembrana no se encuentra en funcionamiento, debido a un desgaste presentado por la acumulación de lodos provenientes del tanque de retrolavado, esta acumulación disminuye la vida útil de la geomembrana, por lo cual la empresa ha optado

por cambiar este filtro cada 2 semanas, sin embargo, el proveedor de este artefacto tiene problemas en cumplir con las fechas de entrega debido a que es un producto con medidas y características específicas, entonces el agua está siendo conducida al efluente cercano a la planta de tratamiento de agua potable.

**Figura 23.**

*Soporte metálico para la geomembrana*



**Nota.** Fotografía tomada en la empresa de agua potable Emsertenjo ESP.

## Figura 24.

### *Geomembrana desgastada*

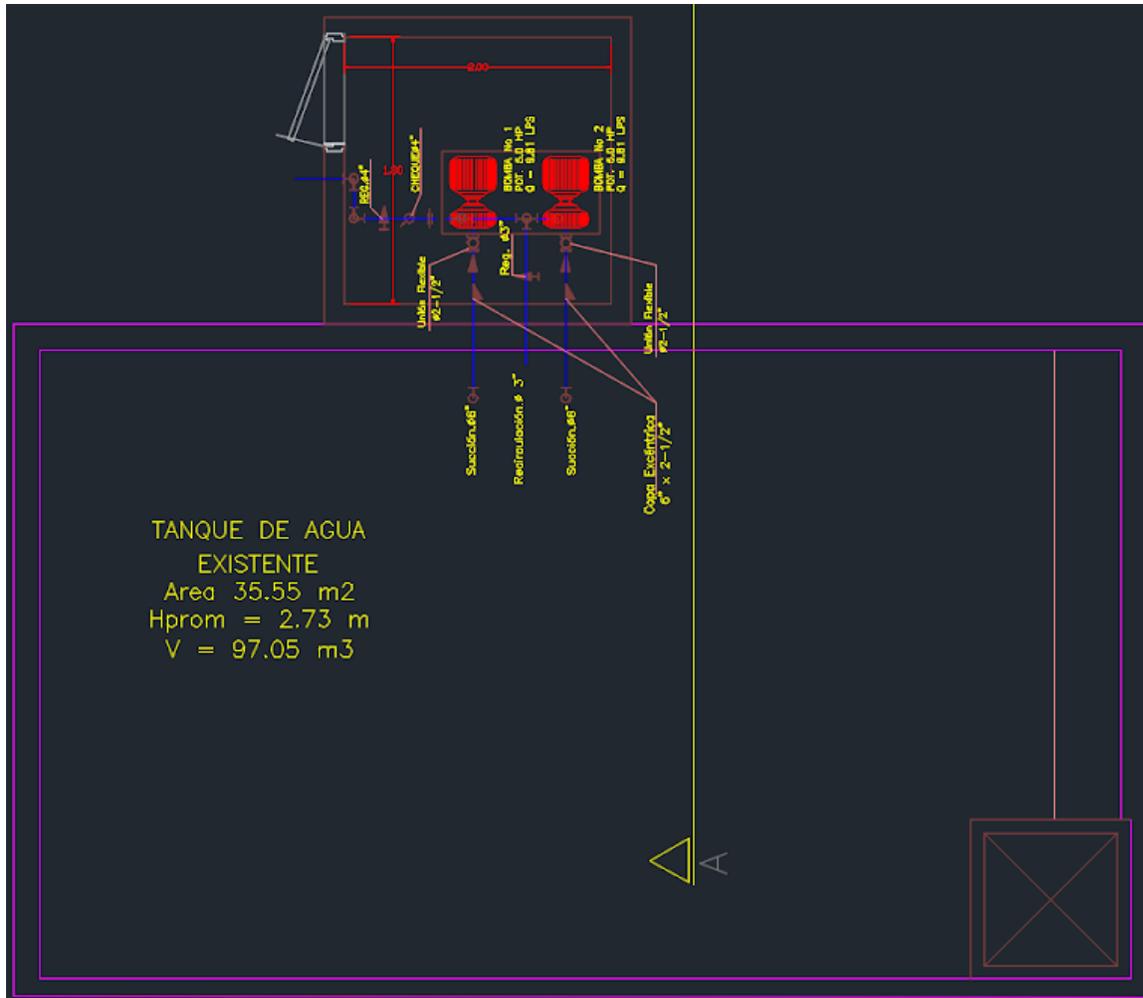


**Nota.** Fotografía tomada en la empresa de agua potable Emsertenjo ESP.

3.1.5.c. Cámara de almacenamiento. Finalizada la aplicación del policloruro de aluminio en el agua de retrolavado y el paso por la geomembrana, está llega a la cámara de almacenamiento (Figura 21), donde será reservada y bombeada según la disposición de la demanda de agua potable del municipio. Está agua clarificada se reintegra al sistema de potabilización pasando por una etapa de filtración y dosificación de cloro, para así finalmente abastecer al municipio.

**Figura 25.**

*Plano de la cámara de almacenamiento*



**Nota.** La imagen representa un plano frontal de la cámara de almacenamiento, describiendo las bombas utilizadas para la reintegración de agua a las plantas de tratamiento. tomado de: EMSERTENJO ESP.

### 3.1.5 Caracterización agua de retrolavado

La toma de muestra del agua de retrolavado fue realizada en la cámara de homogenización en la PTAP de Tenjo (Vía Los Tanques) en el que el agua de retrolavado se evacua de los procesos de potabilización cada 24 horas para las plantas de tipo convencional y para las plantas de tipo compacta, entre (8 - 12 horas) automáticamente,

donde el agua recolectada presenta 4 horas de asentamiento debido a que el retrolavado se realiza a las 6 a.m. por el operario de la empresa. La toma de las muestras fue de tipo compuesta de acuerdo a como se recomienda en la bibliografía, siendo estas recolectadas cada 20 minutos en el mismo punto del tanque (Cámara de Homogenización), el muestreo se inició el día 21/04/2021 a las 09:45:00 hasta las 10:25 a.m.

### **Figura 26.**

*Cámara de homogenización*



**Nota.** El agua de retrolavado llega por los dos tubos que se observan en la fotografía, correspondiéndole para el tubo más grueso el agua de retrolavado para las plantas de tipo compacto y para el tubo más delgado para la planta de tipo convencional.

Se realizó la toma de las muestras en frascos desinfectados y rotulados cada uno respectivamente: 09:45, 10:05 y 10:25 a.m, del día 21/04/2021. Para luego ser entregados a la empresa HIDROLAB LTDA, en donde se tuvo que especificar la ubicación de la toma de la muestra, tipo de muestra, hora y fecha, luego fueron enviados a los laboratorios.

**Figura 27.**

*Envases suministrados por Hidrolab para sus pruebas fisicoquímicas*



**Nota.** Para las muestras tomadas en la PTAP se utilizaron cinco frascos acondicionados por muestra, para la evaluación de diferentes parámetros.

Aparte de las muestras para el laboratorio de HIDROLAB LTDA, se procedió a tomar una parte del agua de retrolavado en dos contenedores de polipropileno de cinco galones para realizar sus correspondientes pruebas de laboratorio en las instalaciones de la Universidad de América.

**Figura 28.**

*Galones de polipropileno*



**Nota.** Galones utilizados para recolectar el agua de retrolavado y enviarlos a la Universidad de América para realizar las pruebas experimentales.

### **3.1.6 Análisis de Resultados Agua cruda del laboratorio HIDROLAB LTDA**

Entregados los datos por parte de la empresa de HIDROLAB LTDA del agua de retrolavado sin tratar, se realizó una tabla de resultados donde se le requirió a la empresa un análisis de los siguientes parámetros fisicoquímicos; pH, Color aparente, Turbidez, Sólidos suspendidos totales, Conductividad, parámetros microbiológicos; Coliformes termotolerantes, parámetros de metales; Hierro y otros parámetros; Demanda Bioquímica de oxígeno 5 días (DBO5) y Demanda química de oxígeno (DQO).

**Tabla 18.**

*Resultados fisicoquímicos del agua de retrolavado sin tratar*

| <b>Parámetro</b>                                   | <b>Unidad de Medida</b> | <b>Prueba 1<br/>(9:45 am)</b> | <b>Prueba 2<br/>(10:05 am)</b> | <b>Prueba 3<br/>(10:25 am)</b> | <b>Resultados</b> | <b>Desviación estándar</b> |
|--|-------------------------|-------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|-------------------|----------------------------|
| <b>Físico</b>                                      |                         |                               |                                |                                |                   |                            |
| <b>pH</b>  | Unidad de pH            | 7,96<br>(19,1°C)              | 7,30<br>(19,2°C)               | 6,84<br>(19,2°C)               | 7,37<br>(19,17°C) | 0,56                       |
| <b>Color aparente</b>                              | Pt-Co                   | 80                            | 10                             | 10                             | 33,33             | 0                          |
| <b>Turbidez</b>                                    | NTU                     | 7,10                          | 44,30                          | 25,10                          | 25,50             | 13,57                      |
| <b>Sólidos suspendidos totales</b>                 | mg/L                    | 51,00                         | 36,00                          | 38,00                          | 41,67             | 1,41                       |
| <b>Conductividad</b>                               | us/cm                   | 235                           | 180                            | 178                            | 197,67            | 1,41                       |
| <b>Microbiológicos</b>                             |                         |                               |                                |                                |                   |                            |
| <b>Coliformes termotolerantes</b>                  | NMP/100mL               | 12000                         | 25000                          | 120000                         | -                 | -                          |
| <b>Metales</b>                                     |                         |                               |                                |                                |                   |                            |
| <b>Hierro</b>                                      | mg Fe/L                 | 7,24                          | 8,83                           | 9,30                           | 8,46              | 1,08                       |
| <b>Otros</b>                                       |                         |                               |                                |                                |                   |                            |
| <b>Demanda Bioquímica de oxígeno 5 días (DBO5)</b> | mgO2 /L                 | <2                            | <2                             | <2                             | <2                | 0                          |

**Tabla 18.** (Continuación)

|   |                     |   |   |   |      |      |
|---|---------------------|---|---|---|------|------|
| <b>Demanda química de oxígeno (DQO)</b> | mgO <sub>2</sub> /L | 3 | 2 | 3 | 2,67 | 0,58 |
|---|---------------------|---|---|---|------|------|

**Nota.** Resultados arrojados de toma de agua simple con dos réplicas proveniente del retrolavado realizado en la planta de tratamiento de agua potable: Tomado de: empresa de HIDROLAB LTDA

### 3.1.7 Comparativa con la normatividad

De acuerdo con los resultados fisicoquímicos obtenidos por el laboratorio, se procedió a realizar una comparativa de estos con la normatividad, siguiendo los parámetros establecidos por la resolución 2115 de 2007 del Ministerio de la Protección Social, Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. Así mismo con el decreto número 631 de 2015 del Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. [42]

**Tabla 19.**

*Comparación resultados agua de retrolavado sin tratar con normatividad*

| <b>Parámetro</b>      | <b>Unidad de Medida</b> | <b>Promedio de Resultados laboratorio HIDROLAB. LTDA</b> | <b>RESOLUCIÓN número 2115 de 2007</b> | <b>Resolución 631 de 2015</b> |
|-----------------------|-------------------------|--|---------------------------------------|-------------------------------|
| <b>Físico</b>         |                         |  |                                       |                               |
| <b>pH</b>             | Unidad de pH            | 7,37± 0,56<br>(19,17°C)                                  | 6,5-9,0                               | 6,0-9,0                       |
| <b>Color aparente</b> | Pt-Co                   | 33,33  | 15                                    | Análisis y Reporte            |
| <b>Turbidez</b>       | NTU                     | 25,50 ±<br>13,57   | 2                                     |                               |

**Tabla 19.** (Continuación)

|  |           |               |           |           |
|--|-----------|---------------|-----------|-----------|
| <b>Sólidos suspendidos totales</b>                 | mg/L      | 41,67 ± 1,41  | No aplica | 5         |
| <b>Conductividad</b>                               | us/cm     | 197,67 ± 1,41 | 1000      | No aplica |
| <b>Microbiológicos</b>                             |           |               |           |           |
| <b>Coliformes termotolerantes</b>                  | UFC/100mL | -             | 0         | No aplica |
| <b>Metales</b>                                     |           |               |           |           |
| <b>Hierro</b>                                      | mg Fe/L   | 8,46 ± 1,07   | 0,3       | 3         |
| <b>Otros</b>                                       |           |               |           |           |
| <b>Demanda Bioquímica de oxígeno 5 días (DBO5)</b> | mgO2 /L   | <2            | No aplica | 8000      |
| <b>Demanda química de oxígeno (DQO)</b>            | mgO2 /L   | 2,67 ± 0,57   | No aplica | 2000      |

**Nota.** Comparación de resultados respecto a los valores máximos permisibles según la resolución de agua potable según la RESOLUCIÓN número 2115 de 2007 y vertimiento de agua residual la Resolución 631 de 2015.

Según los resultados expuestos en la (tabla 15) se concluye que algunos de los parámetros evaluados cumplen con los requerimientos establecidos en la resolución 2115 del 2007, donde el pH estuvo dentro del rango de 6,5 - 9 teniendo un valor de 7,37 (19,17°C) y el parámetro de conductividad teniendo un valor máximo permisible de 1000 microsiemens/cm presentando un valor de 197,67 microsiemens/cm.

En cuanto al grado de turbidez, se concluyó que este parámetro en el agua de retrolavado sin tratar posee un valor  $\geq 2$  NTU por lo cual se le reconoce como cuerpo de agua turbia, respecto al valor arrojado para el color aparente, este es mayor a 15 Pt-Co en el que se incumple debido a que se presentan sólidos disueltos dentro de los filtros de arena de las plantas de tratamiento, aparte de esto el agua presenta iones metálicos naturales como el hierro, el cual se presenta en mayor grado y se puede evidenciar en la (Figura 22) donde se expone un color amarillo – naranja debido a los óxidos de hierro en el agua, incumpliendo este parámetro respecto a los límites máximos permisibles por la ley, siendo este un valor menor de hierro en agua de 0,3 mg Fe/L, a su vez sobrepasando el valor permisivo con el de tratamiento de aguas residuales de 3 mg Fe/L según la Resolución 631 de 2015.

Otro parámetro a tener en cuenta son los coliformes, ya que presentan un valor muy alto en cuanto a las unidades formadoras de colonias, este resultado era esperado ya que el agua de retrolavado es desechada después del proceso de filtración, una etapa previa al proceso de desinfección, por lo cual el agua de retrolavado después de su debido tratamiento finalmente pasara al proceso de desinfección para así ser conducida al abastecimiento del municipio.

Respecto a los parámetros de sólidos suspendidos totales, demanda química de oxígeno (DQO) y demanda biológica de oxígeno ( $DBO_5$ ), estos son parámetros que no están reglamentados aún por la constitución colombiana en la Resolución 2115 de 2007 para la potabilización del agua, por ende, se comparó con la Resolución 0631 para el uso de vertimiento analizando que el parámetros los sólidos suspendidos totales presentar un valor por encima al límite de 5 mg de sólidos suspendidos/L observándose valores superiores de  $41,67 \pm 1,41$  mg/L .

De igual manera se determinó que la cantidad de oxígeno y demanda biológica presente en el agua esta dentro del rango límite dando un valor menor a 8000 mgO<sub>2</sub> /L y de 2000 mgO<sub>2</sub> /L respectivamente, sin embargo para el parámetro de sólidos suspendidos no cumplen con el valor permitido de 5 mg de solidos suspendidos/L observándose valores superiores de  $41,67 \pm 1,41$  mg/L .

Finalmente, considerando que varios parámetros evaluados y comparados no cumplían con la normatividad, el agua de retrolavado fue puesta a prueba con la acción del agente coagulante natural alginato de sodio para observar su comportamiento después de su aplicación.

### 3.2 Determinar las características fisicoquímicas del agua de retrolavado con la aplicación del alginato de sodio

Para la evaluación del alginato de sodio se realizó un diseño experimental en el que se observa como la actividad del coagulante reduce la turbidez a partir de los factores variables, (pH del agua de retrolavado y concentración de alginato); en el que el pH cuenta con tres niveles y respecto a la dosis del coagulante cuenta con tres niveles, donde la variable de respuesta o salida es el porcentaje de remoción de la turbidez y el color, por otro lado de cuentan con factores constantes como se evidencian a continuación:

**Tabla 20.**

*Factores constantes para el tratamiento de agua de retrolavado*

|                                |   |
|--------------------------------|---|
| <b>Tipo de agua</b>            | Agua de retrolavado   |
| <b>Tipo de Coagulante</b>      | Alginato de sodio 97,7%   |
| <b>Tiempo de mezcla</b>        | Agitación rápida: 5 min a 100 rpm<br>Agitación lenta: 25 min a 40 rpm |
| <b>Tiempo de Sedimentación</b> | 30 min  |

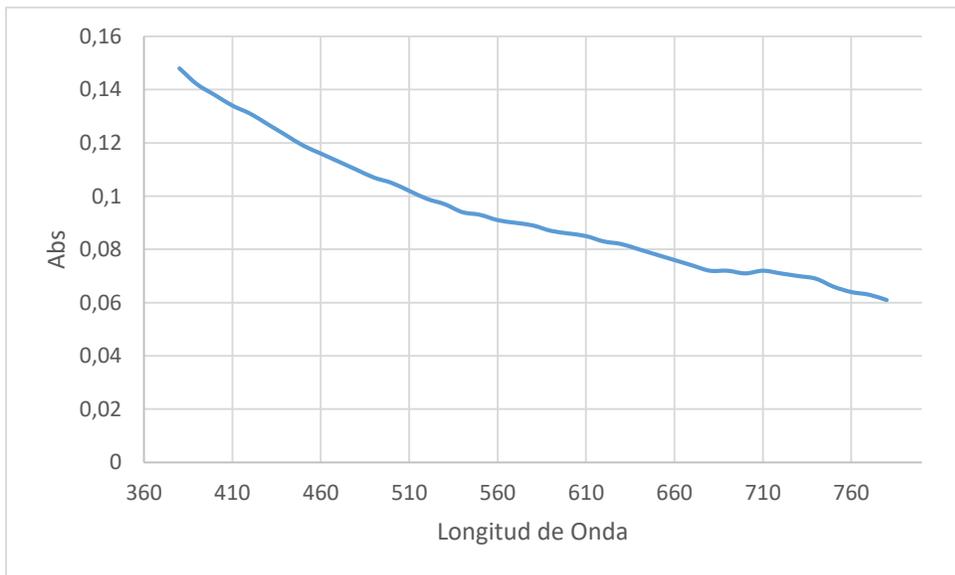
**Nota.** La tabla representa los factores constantes que se tuvieron en cuenta para evaluar el alginato de sodio en el agua de retrolavado.

### 3.2.1 Pre-experimentación

Ya en las instalaciones de la Universidad de América se empezó por determinar las características del agua de retrolavado (turbidez, pH, color), con el fin de anotar los datos iniciales y compararlos con los resultados evaluados con el coagulante, en el cual los resultados del agua de retrolavado presentaron una turbidez de 72,34 NTU, un pH de 8,37 y los datos arrojados por el espectrofotómetro para determinar el color se ven reflejados en la (Grafica1).

**Figura 29.**

*Barrido espectral de la muestra de agua de retrolavado sin tratar*



**Nota.** Las pruebas realizadas en el agua de retrolavado sin tratar mostraron la absorbancia más significativa de 0,148 a una longitud de onda de 380 nm.

Para la elaboración de la muestra patrón se tuvo en cuenta que el alginato de sodio contenía una pureza del 97,7% (assay% de 97,7%), por lo cual era importante considerar que el 2,3% equivalían a impurezas. Para la muestra patrón se utilizó la (Ecuación 1) donde se construyó una relación entre % de pureza con la concentración inicial de 1000 mg/L.

## **Ecuación 1.**

*Ecuación de dilución para preparación de soluciones*

$$\frac{C1 * \%pureza\ 1}{\% Pureza\ 2} = C2$$

$$\frac{1000 \frac{\text{mg}}{\text{L}} * 100\%}{97,7\%} = 1.023,54 \frac{\text{mg}}{\text{L}}$$

Para calcular la concentración de trabajo en el coagulante (35 mg/L, 45 mg/L y 55 mg/L), se utilizó la (ecuación 2)

## **Ecuación 2.**

*Determinación del volumen del coagulante*

$$C1 * V1 = C2 * V2$$

Donde:

C1= Concentración de la muestra patrón.

V1= Volumen a utilizar en cada muestra dependiendo la concentración.

C2 = Concentración de coagulante a utilizar.

V2 = Volumen de muestra de agua de retrolavado.

Los resultados descritos en la (tabla 15) se obtuvieron para la preparación de las soluciones de coagulación.

**Tabla 21.***Resultado de volumen a utilizar según la concentración*

| Concentración de Alginato de Sodio | Volumen a extraer (ml) | Volumen de agua de retrolavado (ml) | Volumen Total (ml) |
|------------------------------------|------------------------|-------------------------------------|--------------------|
| 35 mg/L                            | 17,50                  | 482,50                              | 500                |
| 45 mg/L                            | 22,50                  | 477,50                              | 500                |
| 55 mg/L                            | 27,50                  | 472,50                              | 500                |

**Nota.** La tabla representa las concentraciones de alginato de sodio evaluadas junto con los respectivos volúmenes de alginato y agua para operar a un aforo de 500 ml.

### 3.2.2 Determinación de pH de trabajo para el coagulante

Para la determinar el rango de pH en el cual ocurre la separación de fases con alginato de sodio, se realizaron 12 pruebas en el test de jarras a 45 mg/L, dosificación recomendada según (León Estrada A., 2018). El parámetro de control es la turbiedad, se modificó el pH con ácido sulfúrico 97% e hidróxido de sodio 1M, con el apoyo del pH metro (Jenway), donde se varió el pH desde 1 hasta 13 (Tabla 18).

**Tabla 22.***Resultado de la variación de pH para agua de retrolavado*

| pH   | Concentración de Alginato | Dosificación de H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> 97% (ml) | Dosificación de NaOH 1M (ml) |
|------|---------------------------|---|------------------------------|
| 1,25 | 45 ml/L                   | 4   | -                            |
| 2,18 | 45 ml/L                   | 0,60  | -                            |
| 3,05 | 45 ml/L                   | 0,20  | -                            |

**Tabla 22.** (Continuación)

|       |         |      |      |
|-------|---------|------|------|
| 3,97  | 45 ml/L | 0,15 | -    |
| 5,96  | 45 ml/L | 0,10 | -    |
| 6,99  | 45 ml/L | 0,05 | -    |
| 8,37  | 45 ml/L | -    | -    |
| 9,03  | 45 ml/L | -    | 0,05 |
| 9,95  | 45 ml/L | -    | 0,50 |
| 10,97 | 45 ml/L | -    | 1    |
| 11,55 | 45 ml/L | -    | 2    |
| 12,51 | 45 ml/L | -    | 20   |

**Nota.** Para realizar la evaluación del pH se contó con el uso de una pipeta Pasteur y una pipeta de 10 ml.

Posteriormente las 12 muestras fueron llevadas al floculador digital (F6- 300T), donde se agitaron a “100 rpm por cinco minutos, pasando a una agitación lenta de 40 rpm durante 25 minutos, y dejando reposar por 30 minutos” [50]. Según recomendación de (Salcedo M.P, et al).

Transcurrido el tiempo en el test de jarras se procedió a determinar los parámetros de turbidez y color en el agua tratada.

3.2.2.a Remoción de turbidez del agua tratada con diferente pH. La turbiedad de la muestra se determinó con el equipo Turbiquant 1100 IR® obteniendo un resultado de 72,34 NTU. Las 12 muestras evaluadas con el coagulante mostraron diferentes comportamientos en la turbiedad, descritas en la (tabla 17) donde se muestran los resultados de los ensayos y su replicas.

Para la evaluación del porcentaje de remoción respecto de las muestras del laboratorio se aplicó la ecuación de remoción de turbidez:

**Ecuación 3.**

*% Remoción de Turbidez para diferente pH*

$$\% \text{ Remocion de Turbidez} = \frac{(\text{Turbidez Inicial} - \text{Turbidez Final})}{\text{Turbidez Inicial}} * 100$$

**Tabla 23.**

*Resultados de remoción de turbidez para muestras con distinto pH*

| <b>Tratamiento N° 1 – Aplicando 45 mg/L</b> |                               |                                |                                 |                                 |                                      |                            |                   |
|---|-------------------------------|--------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|--------------------------------------|----------------------------|-------------------|
| <b>pH</b>                                   | <b>Turbidez Inicial (NTU)</b> | <b>Turbidez Prueba 1 (NTU)</b> | <b>Turbidez Replica 2 (NTU)</b> | <b>Turbidez Replica 3 (NTU)</b> | <b>Turbidez Final Promedio (NTU)</b> | <b>Desviación estándar</b> | <b>% Remoción</b> |
| <b>1,25</b>                                 | 72,34                         | 1,02                           | 1,53                            | 1,47                            | 1,34                                 | 0,279                      | 98,15%            |
| <b>2,18</b>                                 | 72,34                         | 0,78                           | 1,54                            | 1,48                            | 1,27                                 | 0,423                      | 98,25%            |
| <b>3,05</b>                                 | 72,34                         | 0,66                           | 0,81                            | 0,71                            | 0,73                                 | 0,076                      | 99,00%            |
| <b>3,97</b>                                 | 72,34                         | 8,03                           | 8,33                            | 8,35                            | 8,23                                 | 0,179                      | 88,62%            |
| <b>5,96</b>                                 | 72,34                         | 9,46                           | 9,94                            | 9,42                            | 9,60                                 | 0,289                      | 86,73%            |

**Tabla 23.** (Continuación)

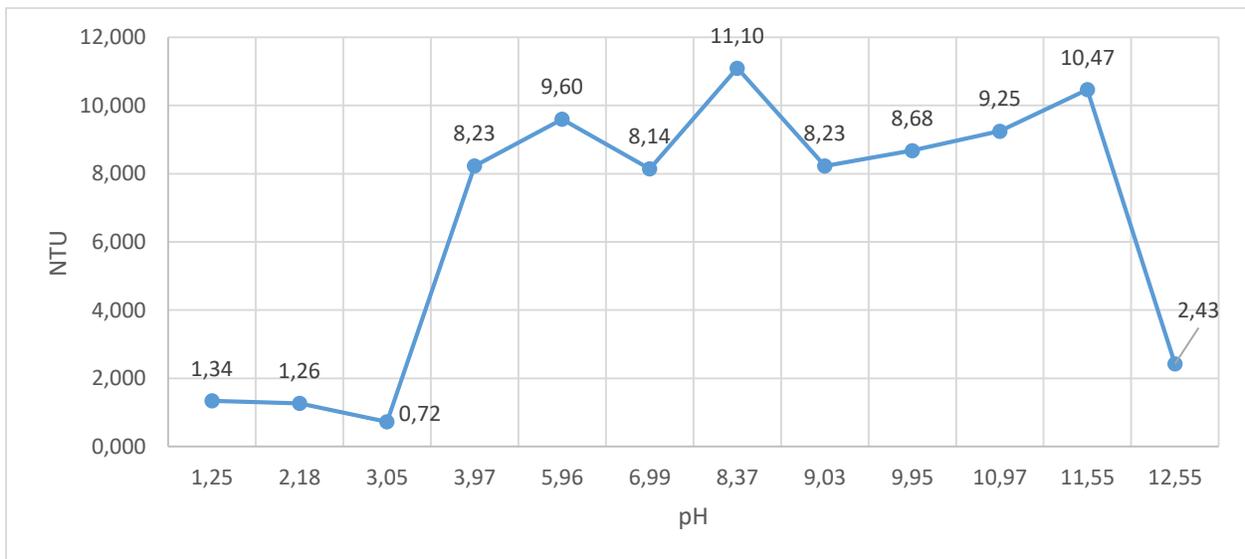
|              |       |       |       |       |       |       |        |
|--------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|
| <b>6,99</b>  | 72,34 | 8,06  | 8,01  | 8,37  | 8,146 | 0,195 | 88,74% |
| <b>8,37</b>  | 72,34 | 11,33 | 10,92 | 11,07 | 11,10 | 0,207 | 84,66% |
| <b>9,03</b>  | 72,34 | 8,36  | 8,13  | 8,21  | 8,23  | 0,117 | 88,62% |
| <b>9,95</b>  | 72,34 | 8,74  | 8,68  | 8,62  | 8,68  | 0,060 | 88,00% |
| <b>10,97</b> | 72,34 | 9,47  | 8,92  | 9,38  | 9,25  | 0,295 | 87,21% |
| <b>11,55</b> | 72,34 | 10,69 | 10,53 | 10,21 | 10,47 | 0,244 | 85,53% |
| <b>12,51</b> | 72,34 | 2,60  | 2,19  | 2,51  | 2,43  | 0,215 | 96,64% |

**Nota.** las pruebas realizadas fueron replicadas 2 veces para aumentar la veracidad en los datos mostrados.

Se determinó que la remoción de turbiedad más significativa se obtuvo en un intervalo de pH entre 1 y 3, con resultados <2 NTU incluido como límite permisible en la Resolución 2115 de 2007 como se representa en la gráfica 2.

**Figura 30.**

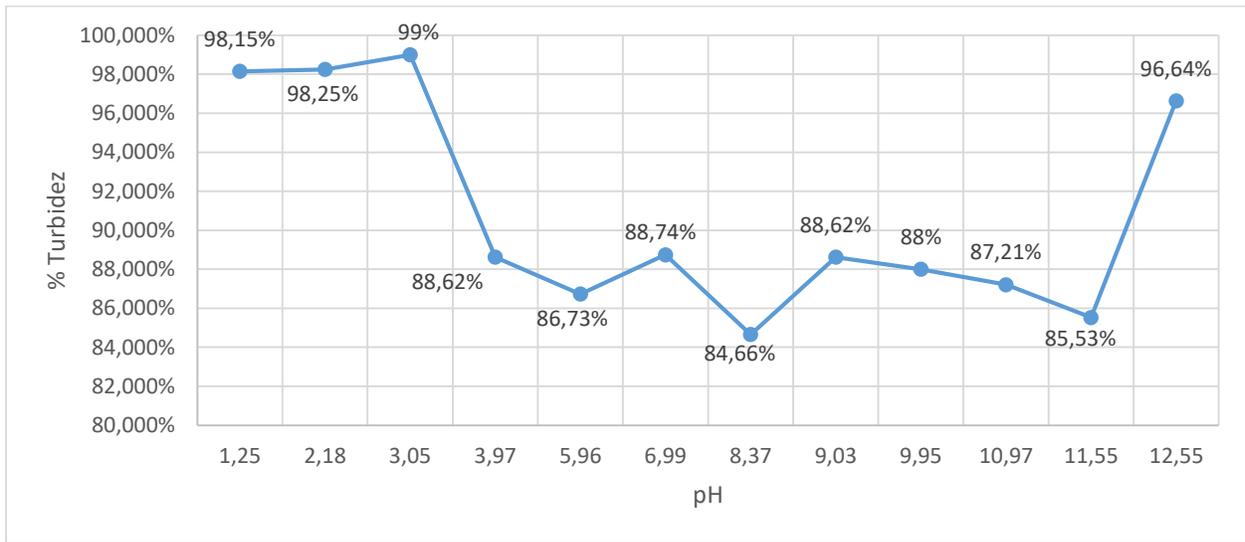
*Turbidez vs pH a determinar*



**Nota.** La grafica representa los resultados de las 12 pruebas de pH a una concentración de 45 mg/L.

La representación de los datos obtenidos aplicando la ecuación de remoción de turbidez, se describen en la siguiente gráfica.

**Figura 31.** Porcentaje de remoción de turbidez vs pH



**Nota.** Reporte de turbidez final desde concentración de pH 1,25- 12,51 a una dosis constante de 45 mg/L.

Al contemplar las gráficas 2 y 3 se analizó la actividad del alginato de sodio en las muestras, el cual presentó gran remoción de partículas sólidas a pH ácidos, donde se observó que los valores de pH de 1,25, 2,18 y 3,05 presentaron mayor remoción de partículas sólidas con porcentajes de remoción de 98%, 98% y 99% de turbidez respectivamente, seguidamente la gráfica presenta valores de remoción para pH entre 3,97 hasta 11,55 con porcentajes de remoción menores, entre 89% hasta 86% y finalmente el pH de 12,55 presentó una remoción de turbidez cercana a los mencionados inicialmente.

3.2.2.b Remoción de color del agua tratada con diferente pH. Para la determinación del color se implementó el uso del espectrofotómetro (GENESYS 30), donde se implementó un rango de absorbancia desde 380 nm hasta un valor de 780 nm, rango donde se encuentra el espectro visible por el ojo humano; Según la longitud de onda resultante, la muestra contendrá un color diferente según el caso. También de acuerdo al ojo del investigador el color absorbido tomará un color distinto según las tomas que se lleven a cabo en el espectrofotómetro como se ve representado en la siguiente tabla:

**Tabla 24.**

*Colores dentro del espectro visible*

| Longitud de Onda (nm) | Color absorbido  | Color Observado  |
|-----------------------|------------------|------------------|
| 380-420               | Violeta          | Amarillo-Verdoso |
| 420-440               | Azul-Violeta     | Amarillo         |
| 440-470               | Azul             | Anaranjado       |
| 470-500               | Verde-Azulado    | Rojo             |
| 500-520               | Verde            | Purpura          |
| 520-550               | Amarillo-Verdoso | Violeta          |
| 550-580               | Amarillo         | Azul-Violeta     |
| 580-620               | Anaranjado       | Azul             |
| 620-680               | Rojo             | Verde-Azulado    |
| 680-780               | Purpura          | Verde            |

**Nota.** Descripción de los valores que pueden tomar el color absorbido y observado de muestras líquidas donde se especifica el espectro visible Tomado de: L. Hernández and C. González, *Introducción al Análisis Instrumental*. Barcelona, 2002.

Los resultados de remoción de color para determinar el pH más adecuado se representan en la (tabla 19) donde se comparó el valor inicial (agua de retrolavado sin tratar) con el valor final (agua de retrolavado tratada), en el cual se determinó su porcentaje de

remoción, utilizando la siguiente ecuación. Donde la (ecuación 4) fue fundamental para determinar el pH adecuado a utilizar.

**Ecuación 4.**

*Porcentaje de Remoción de color para diferente pH*

$$\% \text{ Remocion de Color} = \frac{(\text{Color Inicial} - \text{Color Final})}{\text{Color Inicial}} * 100$$

**Tabla 25.**

*Resultados de remoción de color para muestras con distinto pH*

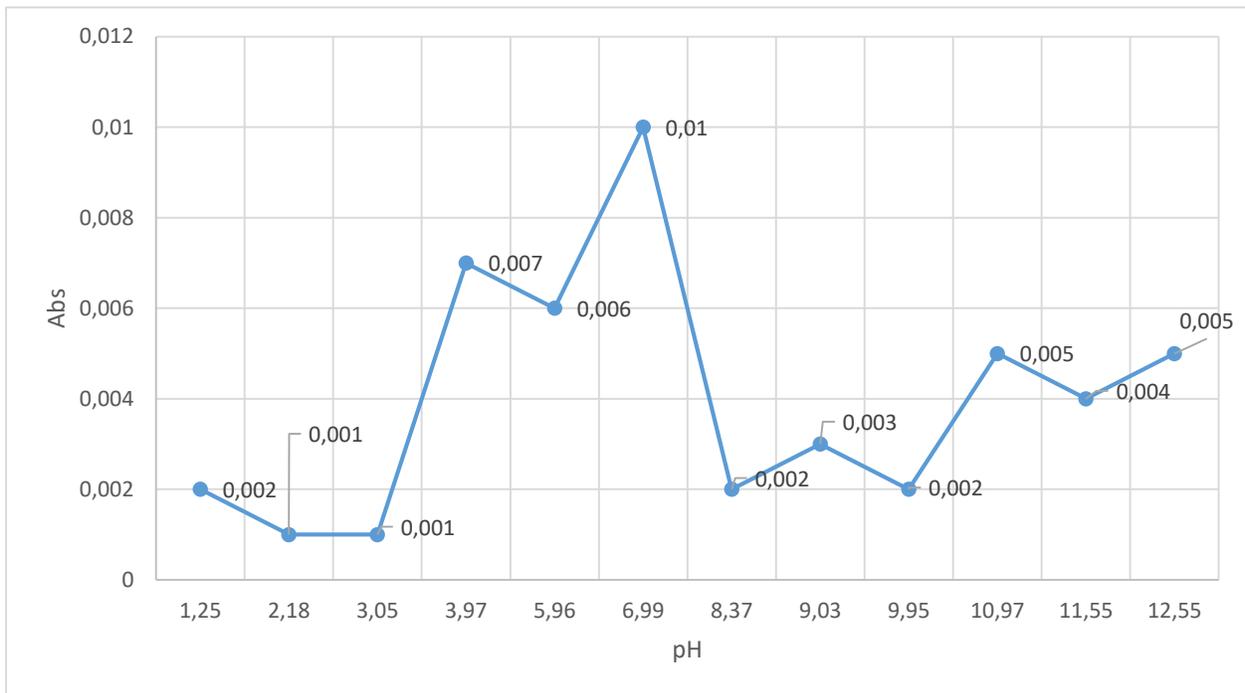
| <b>Tratamiento N° 1 – Aplicando 45 mg/L</b> |                            |                          |                            |
|---|----------------------------|--------------------------|----------------------------|
| <b>pH</b>                                   | <b>Color inicial (Abs)</b> | <b>Color final (Abs)</b> | <b>% Remoción de color</b> |
| <b>1,25</b>                                 | 0,15                       | 0,002                    | 98,67%                     |
| <b>2,18</b>                                 | 0,15                       | 0,001                    | 99,33%                     |
| <b>3,05</b>                                 | 0,15                       | 0,001                    | 99,33%                     |
| <b>3,97</b>                                 | 0,15                       | 0,007                    | 95,33%                     |
| <b>5,96</b>                                 | 0,15                       | 0,006                    | 96,00%                     |
| <b>6,99</b>                                 | 0,15                       | 0,01                     | 93,33%                     |
| <b>8,37</b>                                 | 0,15                       | 0,002                    | 98,67%                     |
| <b>9,03</b>                                 | 0,15                       | 0,003                    | 98%                        |
| <b>9,95</b>                                 | 0,15                       | 0,002                    | 98,67%                     |
| <b>10,97</b>                                | 0,15                       | 0,005                    | 96,67%                     |
| <b>11,55</b>                                | 0,15                       | 0,004                    | 97,33%                     |
| <b>12,55</b>                                | 0,15                       | 0,005                    | 96,67%                     |

**Nota.** La tabla representa los resultados de color y su porcentaje de remoción respecto a las 12 pruebas de pH. Fuente propia.

Finalmente, los datos fueron graficados para obtener una mejor perspectiva de los resultados obtenidos.

**Figura 32.**

*Absorbancia vs pH a determinar*

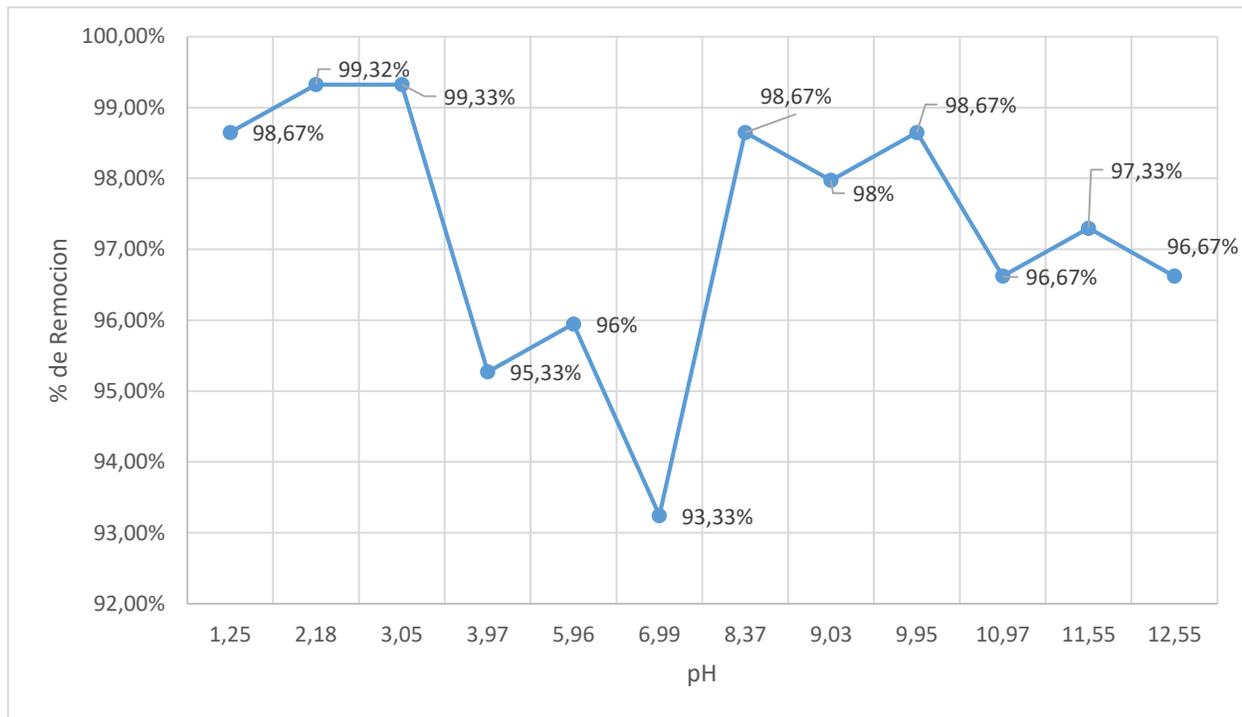


**Nota.** Los valores de pH que presentaron mejor absorbancia son 1,25, 2,18, 3,05, 8,37 y 9,95.

Se determinó grafica que los valores de pH más aptos para el consumo humano se encuentran a una absorbancia menor a 0,002, donde los pH más adecuados son 1,25, 2,18, 3,05, 8,37 y 9,95, pero comparando estos resultados con los de turbidez, se concluye que los valores que más resaltan son los pH de 1,25 a 3,05 siendo estos los factores variables en el diseño experimental. Además, estos datos se representaron en forma de % de remoción en la siguiente gráfica:

**Figura 33.**

*Porcentaje de remoción de color vs pH a determinar*



**Nota.** Los resultados demostraron un gran porcentaje de remoción dependiendo al pH que se trabajó.

Al cabo de haber terminado las respectivas pruebas para determinar el pH, con el cual se removerán mayor cantidad de partículas sedimentables, se concluyó que los valores más aptos para el tratamiento son los pH 1, 2 y 3.

### **3.2.3 Determinación de dosis de coagulante con pH establecido**

Ya establecidos los pH a utilizar, se procede a determinar la concentración de alginato de sodio adecuada para el tratamiento de aguas de retrolavado de la PTAP del municipio de Tenjo, Cundinamarca. Donde basados en antecedente se realizaron las pruebas experimentales a concentraciones de 35 mg/L, 45 mg/L y 55 mg/L, siguiendo las recomendaciones de (León Estrada A.) en su trabajo respecto al tratamiento de aguas con alginato de sodio.

Es de observar que no se encuentran muchos estudios con respecto a la actividad de remoción del agente coagulante natural alginato de sodio, debido a que es empleado más en la parte de “industrias alimenticias, farmacéuticas y químicas en general, que está dada por su propiedad hidrocoloide; esto es, su capacidad de hidratarse en agua caliente o fría para formar soluciones viscosas, dispersiones o geles” [58].

En cuanto a las investigaciones que se han realizado del uso del alginato de sodio posee gran potencial de ser buen agente coagulante-floculante en el que se ha presentado en los siguientes trabajos:

**Tabla 26.**

*Antecedentes respecto al tratamiento de aguas con alginato de sodio*

| <b>Autor</b>  | <b>Fuente de investigación</b>                 | <b>Procedencia de alga</b> | <b>pH-Dosis coagulante</b>                   | <b>% Remoción</b>                    |
|---|--|----------------------------|--|--------------------------------------|
| Wu et al. (2012) [59]   | SciVerse ScienceDirect                         | -                          | pH 8 dosis de 65 mg/L                        | 93,4%- Turbidez<br>86%- color        |
| M. del P. S. Carhuaricra. [60]  | Universidad Cesar Vallejo                      | Chondracanthus chamissoi   | pH 4 dosis de coagulante 0,8 y 1,2gr/L       | 99,50%-Turbidez                      |
| A. F. L. ESTRADA [50]   | Universidad Cesar Vallejo                      | Macrocystis Pyrifera       | 45 mg/L                                      | 60,78%-Turbidez                      |
| A. Martínez. [61]   | UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN             | Chlorella sp               | pH de 2, concentración de coagulante 50 mg/L | 90,44% -Color                        |
| K. J. Vacio-muro, J. J. J, J. A. Lozano-álvarez, and M. N. Sánchez-gonzález. [62] | Universidad Autónoma de Aguascalientes         | -                          | pH 2   | 62%-DQO<br>95% -Fenoles totales      |
| C. Fersi, A. Ben Gamra, H. Bozrati, C. Gorgi, and A. Irmani [63]                  | Jornal of Materials and Environmental Sciences | -                          | Dosis de coagulante entre 100 y 200 mg/L     | 87%- Turbidez<br>55% - Conductividad |

**Nota.** Aunque existen varios antecedentes respecto al tratamiento con alginato de sodio, para el caso de este proyecto se tomó en cuenta los trabajos cuya agua a tratar se encontraba a las mismas condiciones que la utilizada en la PTAP de Tenjo.

Acorde a los resultados (Tabla 26), se contempla que todas las investigadores emplearon el alginato de sodio para uso residual, encontrando que no se han encontrado estudios de su acción en aguas de retrolavado para usos potables. Destacando además, que presenta gran utilidad para la remoción de parámetros físico-químicos, en cuanto a su procedencia acuática marina y microbiológica presenta gran versatilidad como es el caso de estudio de (M. del P. S. Carhuaricra, 2018) que emplearon el alginato de origen *Chondracanthus chamissoi* presentando grandes porcentajes de remoción del 99,50% de turbidez para , y destacando a su vez que existe otro estudio de remoción del color con un porcentaje no mayor del 90,44% empleando la procedencia de alginato de *Chlorella sp* en el estudio de A. Martínez. De igual manera, presenta grandes porcentajes de remoción de los parámetros de DQO y Fenoles totales presentados por K. J. Vacio-muro et al y de conductividad de 55% en la investigación de C. Fersi, A. Ben Gamra, H. Bozrati, C. Gorgi, and A. Irmani.

3.2.3.a. Resultados de turbiedad para el agua tratada. Los resultados de turbidez realizados para las 27 pruebas están reflejados en la tabla 21 de manera independiente.

**Tabla 27.**

*Remoción de turbidez para cada experimento*

| Dosis<br>(mg/L) | pH                      |                        |                         |                        |                         |                        |
|-----------------|-------------------------|------------------------|-------------------------|------------------------|-------------------------|------------------------|
|                 | 1                       |                        | 2                       |                        | 3                       |                        |
|                 | Turbidez<br>final (NTU) | Desviación<br>estándar | Turbidez<br>final (NTU) | Desviación<br>estándar | Turbidez<br>final (NTU) | Desviación<br>estándar |
| 35              | 2,64                    | 0,32                   | 5,71                    | 1,39                   | 32,18                   | 4,29                   |
|                 | 2,56                    |                        | 3,67                    |                        | 26,71                   |                        |
|                 | 2,05                    |                        | 6,33                    |                        | 35,17                   |                        |
| 45              | 2,48                    | 0,60                   | 4,25                    | 1,07                   | 43,63                   | 7,74                   |
|                 | 1,74                    |                        | 2,6                     |                        | 28,34                   |                        |
|                 | 1,29                    |                        | 4,61                    |                        | 38,08                   |                        |
| 55              | 2,23                    | 0,68                   | 3,54                    | 1,22                   | 34,71                   | 5,64                   |
|                 | 0,92                    |                        | 2,46                    |                        | 31,59                   |                        |
|                 | 1,22                    |                        | 4,91                    |                        | 42,55                   |                        |

**Nota.** Resultados finales de la turbidez del total de 27 observaciones mediante las pruebas de jarras.

Así mismo los resultados de la tabla 22 fueron promediados para obtener los siguientes datos.

**Tabla 28.**

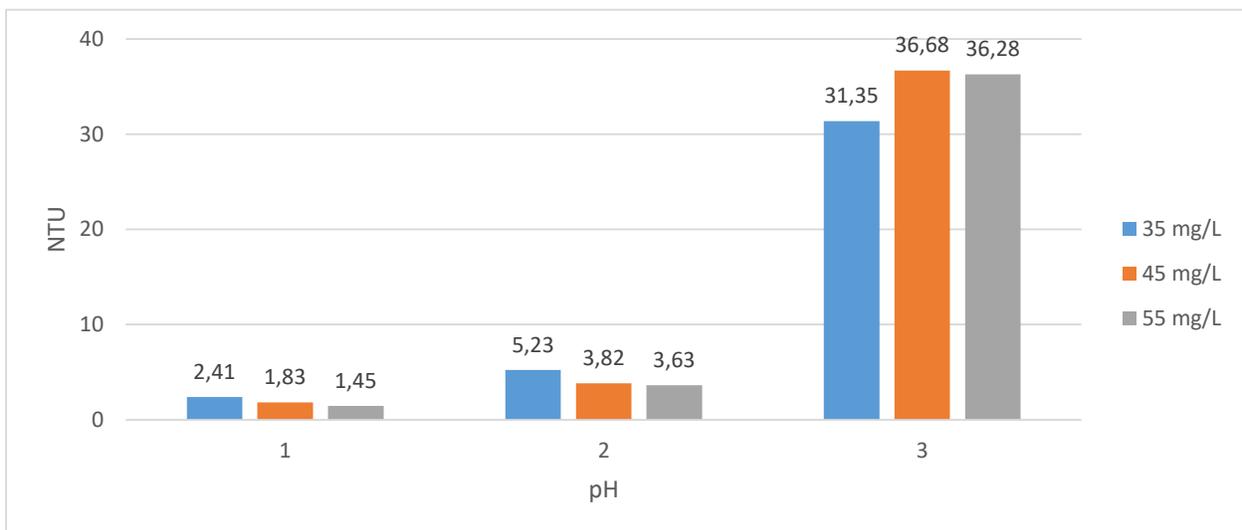
*Promedio de resultados de remoción de turbidez final*

| Dosis (mg/L) | pH                   |                      |                      |
|--------------|----------------------|----------------------|----------------------|
|              | 1                    | 2                    | 3                    |
|              | Turbidez final (NTU) | Turbidez final (NTU) | Turbidez final (NTU) |
| 35           | 2,41 ±0,32           | 5,23 ±1,39           | 31,35 ±4,29          |
| 45           | 1,83 ±0,60           | 3,82 ±1,07           | 36,68 ±7,74          |
| 55           | 1,45 ±0,68           | 3,63 ±1,22           | 36,28 ±5,64          |

**Nota.** La tabla representa el promedio de los respectivos resultados de cada dosis y pH, junto con sus respectivas desviaciones estándar. Fuente propia.

**Figura 34.**

*Resultados promedio de la turbidez respecto a la dosis y el pH*



**Nota.** La grafica representa los resultados de la (tabla 24) respecto a la turbidez presentada en el agua de retrolavado tratado.

Donde en la Gráfica 6 los valores de pH1 y pH2 son axiomáticos con respecto a la alta participación de remoción de turbidez en el agua tratada, llegando valores de turbidez final no mayor de 5,23 NTU y 1,45 NTU, observando rangos parecidos por autores (M. del P. S. Carhuaricra, 2018) quien obtuvo valores de turbidez final de valores medio de 2,34 NTU con uso de alginato de sodio procedente de *Chondracanthus chamissoi* con un pH de 4 en 500 ml en un tiempo de 1h en aguas de curtiembre presentado gracias a un modelo cinético.

Obtenido el promedio aritmético de los datos, se procede a realizar el grado de remoción de turbiedad con los datos de obtenidos y los datos iniciales, teniendo en cuenta que la turbidez inicial fue de 71,93 NTU, se utilizó la (ecuación 3) para hallar el porcentaje de remoción de turbidez, la cual se puede evidenciar en la siguiente tabla.

**Tabla 29.**

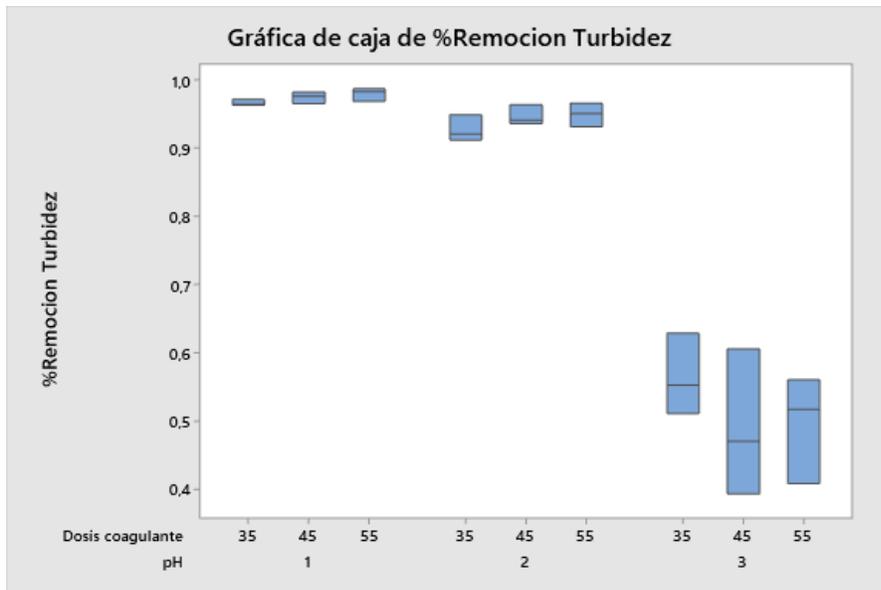
*Porcentaje de remoción de turbidez*

| Dosis<br>(mg/L) | pH                   |                      |                      |
|-----------------|----------------------|----------------------|----------------------|
|                 | 1                    | 2                    | 3                    |
|                 | Turbidez final (NTU) | Turbidez final (NTU) | Turbidez final (NTU) |
| 35              | 96,65%               | 92,73%               | 56,42%               |
| 45              | 97,46%               | 94,69%               | 49,01%               |
| 55              | 97,98%               | 94,95%               | 49,56%               |

**Nota.** Representación los porcentajes de remoción de turbidez para cada una de las pruebas realizadas en el laboratorio.

**Figura 35.**

*Diagrama de caja de los porcentajes de remoción de la turbidez*



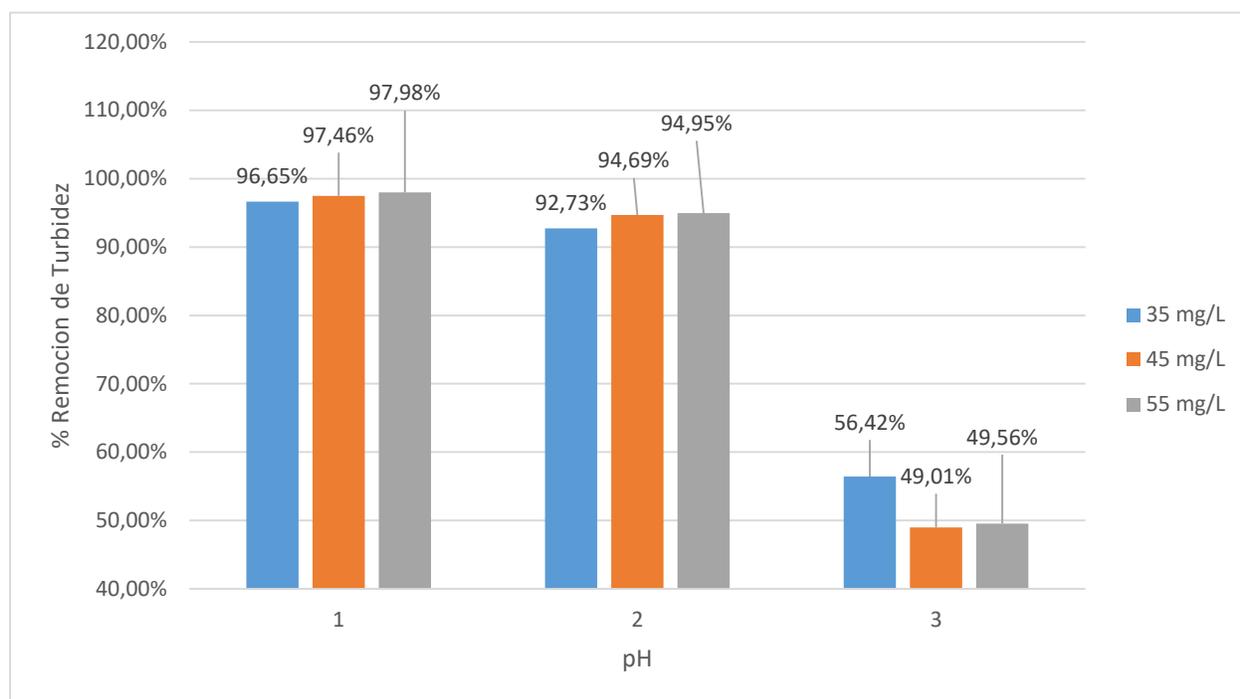
**Nota.** Diagrama de caja y bigotes para observar el rango de media de la remoción de turbidez según el pH y dosis de coagulante.

Según el diagrama (*Gráfica 7*) se destacó que el alginato tiene gran importancia de remoción en pH ácidos de 1 y 2 llegando a turbidez de valor por debajo de  $5,23 \pm 1,39$  NTU, relacionando a las investigación de M. del P. S. Carhuaricra,(2018).[59] y de C.Wu et al, (2012) destacando la capacidad del alginato de remoción gracias a la pared celular ya que al presentar grupos químicos como hidroxilo, carboxilo, amino y fosfato, son los responsables de la adsorción de contaminantes(eliminación de coloides principales agentes formadores de turbidez) junto al pH y que el alginato presenta distinto tipo de carga positiva y negativa respectivamente de acuerdo a su eficacia como coagulantes. En donde cabe destacar que se alcanzó a remover de la turbidez con un rango medio de 97,98% a pH ácido 1 y menos favorable a 49,01% a pH ácido de 3. Finalmente, los datos fueron graficados para obtener una mejor perspectiva de los resultados obtenidos.

Finalmente, los datos fueron graficados para obtener una mejor perspectiva de los resultados obtenidos.

**Figura 36.**

*Porcentaje de Remoción de turbidez respecto a la dosis y el pH*



**Nota.** Según los datos obtenidos respecto a la remoción de turbidez se puede observar que la concentración de 55 mg/L a un pH de 1 es la variable que logra más remoción.

Se destacó que el alginato de sodio contiene la capacidad de remoción a pH ácidos de 1 y 2 llegando a porcentajes de remoción desde 92,73% hasta 97,98%, presentando relación con la investigación de M. del P. S Carhuaricra,(2018) y de C. Wu et al, (2012) donde el alginato de sodio removió entre 99,50% - 93,4% aclarando que esto se debe a las propiedades del alginato con su pared celular, ya que al estar en contacto con grupos químicos como hidroxilo, carboxilo, amino y fosfato son responsables de la adsorción de contaminantes. En donde se encontró que a pH ácido 3 es el menos favorable a presentar remoción de 49,01%. Finalmente, los datos fueron graficados para obtener una mejor perspectiva de los resultados obtenidos.

3.2.3.b Resultados de color para el agua tratada. Las 27 muestra realizadas fueron evaluadas ante el espectrofotómetro para sus respectivas pruebas de color, donde se obtuvieron los siguientes resultados.

**Tabla 30.**

*Remoción de color para cada experimento*

| Dosis<br>(mg/L) | pH              |                        |                 |                        |                 |                        |
|-----------------|-----------------|------------------------|-----------------|------------------------|-----------------|------------------------|
|                 | 1               |                        | 2               |                        | 3               |                        |
|                 | %Color<br>(Abs) | Desviación<br>estándar | %Color<br>(Abs) | Desviación<br>estándar | %Color<br>(Abs) | Desviación<br>estándar |
| 30              | 16              | 9,23                   | 85              | 1,41                   | 105             | 13,50                  |
|                 | 0               |                        | 2               |                        | 118             |                        |
|                 | 0               |                        | 4               |                        | 132             |                        |
| 45              | 5               | 3,21                   | 105             | 10,60                  | 81              | 16,26                  |
|                 | 6               |                        | 90              |                        | 58              |                        |
|                 | 0               |                        | 0               |                        | 0               |                        |
| 55              | 7               | 3,51                   | 33              | 2,82                   | 77              | 24,02                  |
|                 | 3               |                        | 37              |                        | 112             |                        |
|                 | 0               |                        | 0               |                        | 66              |                        |

**Nota.** Debido a una variación presentada en el espectrofotómetro, algunas de las muestras evaluadas registraron resultados negativos, los cuales fueron remplazados por un valor de cero para no afectar el análisis de resultados, ni el porcentaje de remoción de color.

Para hallar la desviación estándar no se tuvo en cuenta los datos remplazados por cero para no aumentar la magnitud del resultado.

Así mismo los resultados de la (Tabla 30) fueron promediados para obtener los siguientes datos.

**Tabla 31.***Promedio de resultados de remoción de color final*

| Dosis (mg/L) | pH                |                   |                   |
|--------------|-------------------|-------------------|-------------------|
|              | 1                 | 2                 | 3                 |
|              | Color final (Abs) | Color final (Abs) | Color final (Abs) |
| 35           | 5,33 ±9,23        | 30,33 ±1,41       | 118,33 ±13,50     |
| 45           | 3,67 ±3,21        | 65,00 ±10,60      | 46,33 ±16,26      |
| 55           | 3,33 ±3,51        | 23,33 ±2,82       | 85,00 ±24,02      |

**Nota.** La tabla representa el promedio de los respectivos resultados de cada dosis y pH, junto con sus respectivas desviaciones estándar.

Obtenido el promedio aritmético de los datos, se procede a realizar el grado de remoción de color con los datos de obtenidos y los datos iniciales, teniendo en cuenta que la absorbancia inicial fue de 140, se utilizó la (ecuación 4) para hallar el porcentaje de remoción de color, la cual se puede evidenciar en la siguiente tabla.

**Tabla 32.***Porcentaje de remoción de color*

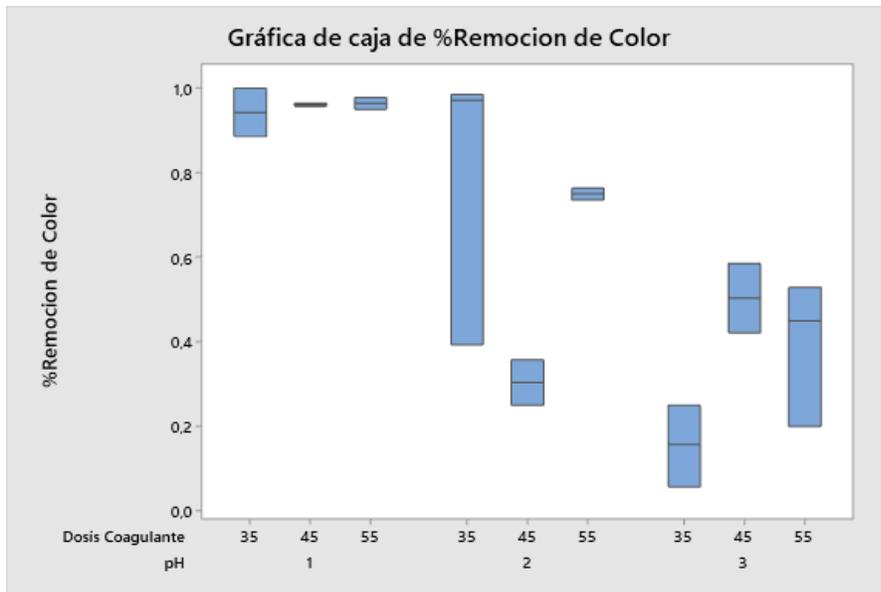
| Dosis (mg/L) | pH                |                   |                   |
|--------------|-------------------|-------------------|-------------------|
|              | 1                 | 2                 | 3                 |
|              | Color final (Abs) | Color final (Abs) | Color final (Abs) |
| 35           | 96,40%            | 79,50%            | 20,05%            |
| 45           | 97,52%            | 56,08%            | 68,69%            |
| 55           | 97,75%            | 84,23%            | 42,57%            |

**Nota.** Comportamiento de los porcentajes de remoción de turbidez para cada una de las pruebas realizadas en el laboratorio.

Donde los resultados de la Tabla 26 fueron graficados en forma de diagrama de bigote y de caja para observar la media de los datos con desviación estándar de la siguiente manera:

**Figura 37.**

*Diagrama de caja de la remoción de color*



**Nota.** Comparación entre tratamiento a partir de los tratamientos de remoción de color según el pH y Dosis de coagulante.

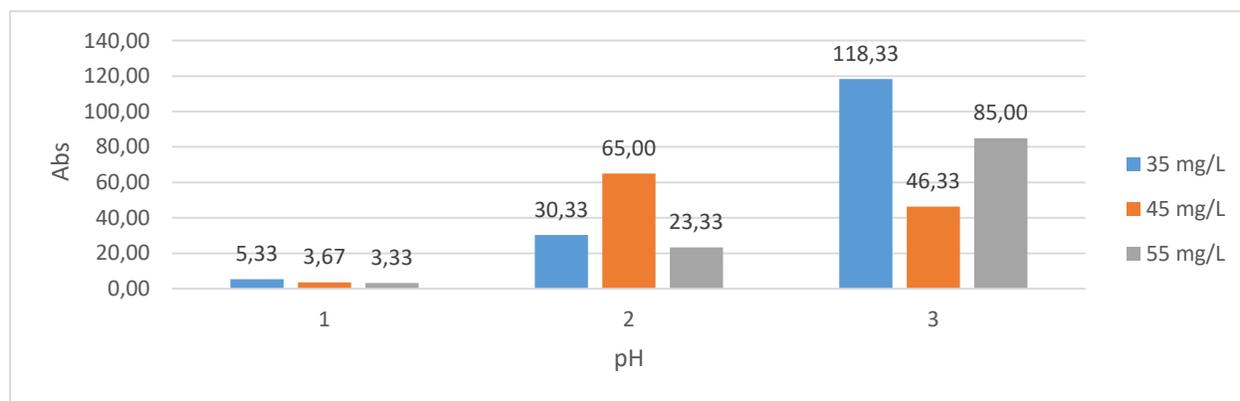
Según el (diagrama 9) y Tabla 26 se presentó desviaciones en cuanto a los resultados mayores a un pH ácido de 1 a distintas dosificaciones de 35 mg/L, 45 mg/L y 55 mg/L, donde la caja con mas gran dispersión en cuanto a resultados se dio a un pH de 2 con dosis de 35 mg/L, sin embargo el estudio sigue resaltando la remoción de pH ácidos donde el alginato de sodio resulta mayor eficiencia a pH ácido 1 con dosis de 55 mg/L al presentar menor dispersión de datos y mayor remoción de rango de media, además, se presenta desviaciones estadísticas en los pH ácidos 2 y 3 a distintas concentración de dosis de coagulante demostrando que la dosis de coagulante no es significativo durante

la experimentación proceso donde se verá más detallado en el diseño experimental. Se presentó menor rango de remoción de 20,05%±0,19 a un pH ácido 3 con una dosificación de 35 mg/L presentando un valor de absorbancia de 118,33 ±13,50 abs, en donde además se destacó el mayor porcentaje de remoción medio en el pH de 1 de con dosis de coagulante de 55 mg/L del 97,75%±0,02. Según la investigación de A. Martínez, (2012) [60], destacando la remoción del uso de alginato de sodio biosorción de colorantes rojo en la industria de textil donde el pH influye sobre los grupos funcionales de la pared que participan en la unión de los contaminantes con los grupos amino, además afecta la estructura química de la partícula adsorbida.

Finalmente, los datos fueron graficados para obtener una mejor perspectiva de los resultados obtenidos.

**Figura 38.**

*Resultados de remoción de color respecto a la dosis y el pH*

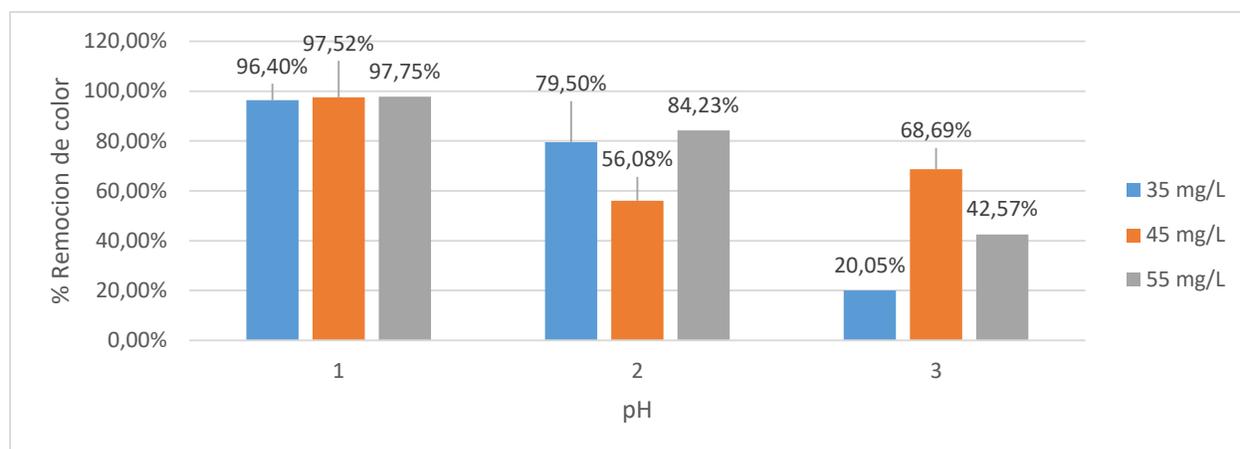


**Nota.** Gráfica de barras sobre las medias obtenidas de las 27 observaciones con respecto al color final.

En cuanto a la observación de color con el uso del alginato propuesto en la (Grafica 8) se observó que la absorbancia aumenta con respecto al aumento de pH dando una menor participación en el pH ácido 3 con 118,33 abs a una dosis de coagulante de 118,33 y mayor a un pH ácido 1 con 5,33 abs, observando relación entre tratamiento en las dosis de coagulante 35mg/L y 55 mg/L con la actividad de absorbancia directamente proporcional al aumento del pH.

**Figura 39.**

*Porcentaje de remoción de color respecto a la dosis y el pH*



**Nota.** Según los datos obtenidos respecto a la remoción de color se puede observar que la concentración de 55mg/L a un pH de 1 es la variable más significativa para la remoción en el tratamiento de aguas de retrolavado.

Por medio del estudio de la remoción de color se presentó menor rango de remoción de 20,05% a un pH ácido 3 con una dosificación de 35 mg/L presentando un valor de absorbancia de  $118,33 \pm 13,50$  abs, en donde además se destacó el mayor porcentaje de remoción a pH de 1 de con dosis de coagulante de 55 mg/L del  $97,75\% \pm 0,02$ , obteniendo resultados parecidos a los de A. Martínez,(2012),destacando la biosorción para remoción de color provienen de las pared celular del alginato de sodio que ayudan a la unión de contaminantes afectando la estructura química de la partícula adsorbida.

### **3.2.4 Influencia de los factores**

En vista que el alginato de sodio es un polímero natural anicónico, donde la propuesta de mejora se desarrolló en un medio ácido con las arcillas disueltas (cargas divalentes o monovalentes), estas interactuaron por distintos tipos de mecanismos de coagulación con el polímero poliprótico.

En donde al entrar las cadenas largas polisacáridas a un pH de acidez, presentaron cohesión electrostática por la "presencia de iones como  $H^+$  y  $OH^-$ , al instante de ser añadidas en el agua en presencia de grupos hidroxilos y carboxilos el ácido dona un

protón al agua y forman especies hidrolizadas con carga positiva” [65], en el que las cargas a pH ácidos el alginato se comportó de manera positiva al unirse con las cargas coloidales aceptando el estudio por G. Vyavahare et al.

En la práctica, “no es muy importante conocer por qué el coloide tiene carga, pero sí lo es saber que posee carga y que esta contribuye a la estabilización de la suspensión coloidal” [66], en el que ser un coagulante polimérico se asocia a lo siguiente mecanismo por presentar larga cadenas de peso molecular: [67]

Adsorción y neutralización de la carga, esta se desarrolla en la superficie del polisacárido, gracias a a la adsorción de partículas coloidales, en el que químicamente se relacionan por medio de enlaces dipolo-dipolo, perturbando todas las partículas coloidales contaminantes dando a la formación de flóculos.

Mecanismo de adsorción y puente de hidrógeno, dado que el alginato de sodio tiene procedencia de un polímero ionómero, se da la desprotonación parcial del grupo funcional carboxilo en solución acuosa, provocando sitios de adsorción química de cationes, teniendo la principal función de coadyuvar a la formación de puentes de hidrógeno y aumentando el número de sitios de adsorción desocupados. En el que al interactuar una carga negativa del coagulante con una carga positiva del agua este desarrolla un modelo de de red dando paso a una menor repulsión electrostática, logrando la eliminación de sólidos disueltos en el agua tratada. [68]

En la Dosis de coagulante. Este presenta el siguiente fenómeno: [69]

Dosificación baja, en este caso las cargas presentes entre el agua y cargas del coagulante no se neutralizan, concediendo que los microflóculos generados son limitados y turbiedad seguirá estando alta

Dosificación en exceso, esto genera inversión de las partículas presentes y formación de microflóculos diminutos, velocidad de sedimentación muy bajas y parametros de turbidez y color se presente elevados debido a que ocurre mayor movimiento de choques de partículas coloidales.

Presentado la dosis del alginato de sodio de 55 mg/L se logró:

- Estabilidad en la reacción entre el coagulante, pH y coloides.
- Mezcla uniforme
- Sedimentación adecuada
- Disociación adecuada

### **3.2.5 Balance de materia para neutralización del ácido sulfúrico.**

Debido a que la propuesta de mejora opera a condiciones ácidas, se procede a realizar un balance de materia para neutralizar el ácido sulfúrico presente en el agua con hidróxido de sodio (NaOH), para ello se tuvo en cuenta la dosificación 4ml de ácido sulfúrico al 98% en 500 ml de agua de retrolavado en las instalaciones del laboratorio, de igual manera el tanque de retrolavado tiene una capacidad de tratamiento de agua de 193.000 litros, por lo cual se aplica la siguiente relación.

#### **Ecuación 5.**

*Relación ácido sulfúrico con agua de retrolavado*

$$\frac{193.000 \text{ L} - 0,004 \text{ L}}{0,5 \text{ L}} = 1544\text{L}$$

Seguidamente se procede a calcular la cantidad de alginato de sodio a utilizar, partiendo de que la dosis de mayor remoción fue de 55mg/L en un volumen de 500 ml y considerando que la pureza de alginato es de alrededor del 97,7%, se determinaron las siguientes relaciones.

#### **Ecuación 6.**

*Relación de alginato de sodio con su pureza*

$$\frac{55 \frac{\text{mg}}{\text{L}} * 100\%}{97,7\%} = 56,29 \frac{\text{mg}}{\text{L}}$$

### Ecuación 7.

*Relación de alginato de sodio con agua de retrolavado*

$$\frac{193.000 \text{ L} * 0,05629 \text{ g}}{1 \text{ L}} = 10.863,97\text{g}$$

$$10863,97\text{g} \frac{1 \text{ Kg}}{1000 \text{ g}} = 10,86 \text{ Kg}$$

Posteriormente se determinó la cantidad de Hidróxido de sodio a utilizar para neutralizar el Ácido sulfúrico para ello se parte utilizando la masa molar y densidad de cada compuesto.

### Tabla 33.

*Características químicas y físicas de los compuestos*

| Compuesto          | H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> | NaOH  |
|--------------------|--------------------------------|-------|
| Masa Molar (g/mol) | 98                             | 39,99 |
| Densidad (g/L)     | 1.830                          | 1.040 |

**Nota.** Composición de ácido y base fuerte de tabla periódica.

Con los datos expuestos en la tabla anterior se procede a determinar la molaridad de cada compuesto.

### Ecuación 8.

*Molaridad del Ácido sulfúrico*

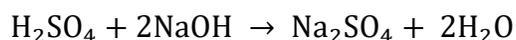
$$\frac{1.830 \frac{\text{g}}{\text{L}}}{98 \frac{\text{g}}{\text{mol}}} = 18,67 \text{ mol/L}$$

### Ecuación 9.

*Molaridad del Hidróxido de sodio*

$$\frac{1.040 \frac{\text{g}}{\text{L}}}{39,99 \frac{\text{g}}{\text{mol}}} = 26 \text{ mol/L}$$

Conocidos los resultados de molaridad, se procedió a realizar una iteración, con el uso de la siguiente reacción.



Seguidamente se multiplica la molaridad y los litros de ácido sulfúrico a utilizar en la PTAP para determinar los moles totales.

### Ecuación 10.

*Moles totales de Ácido sulfúrico*

$$18,67 \frac{\text{mol}}{\text{L}} * 1.544 \text{ L} = 28.831,83 \text{ moles}$$

Sabidos los moles totales de  $\text{H}_2\text{SO}_4$  y la relación 1:2 de ácido-base en la reacción, se plantea la siguiente ecuación para determinar los moles de NaOH.

### Ecuación 11.

*Determinación de los moles de ácido neutralizados*

$$n_{\text{H}_2\text{SO}_4} (\text{neutralizados}) = 28.831,83 \text{ moles} = X \text{ moles NaOH} * \frac{1 \text{ mol H}_2\text{SO}_4}{2 \text{ moles NaOH}}$$

$$X \text{ moles NaOH} = \frac{2 \text{ moles NaOH}}{1 \text{ mol H}_2\text{SO}_4} * 28.831,83 \text{ moles H}_2\text{SO}_4$$

$$X \text{ moles NaOH} = 57.663,67 \text{ moles}$$

Conocidos el número de moles de NaOH a utilizar para neutralizar el H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> y a su vez producir Sulfato de sodio (Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) junto con agua, se procede a convertir estas moles en el volumen a utilizar en la PTAP con el apoyo de la molaridad del hidróxido de sodio.

### **Ecuación 12.**

*Determinación de los litros de ácido neutralizados*

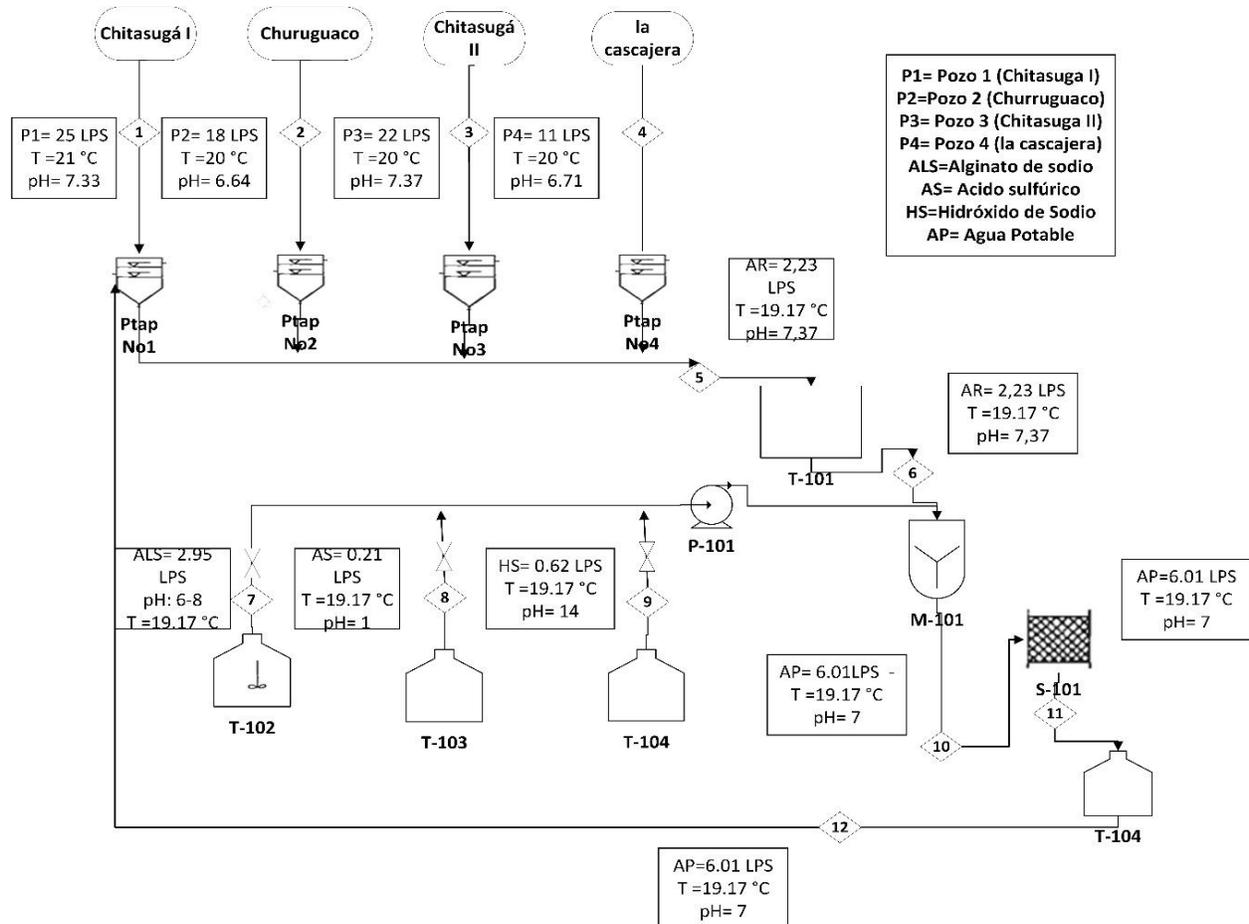
$$\frac{57.663,67 \text{ moles}}{26 \frac{\text{mol}}{\text{L}}} = 2.217,83 \text{ L}$$

Seguidamente se determina que con esta cantidad de hidróxido de sodio se puede neutralizar el ácido sulfúrico presente en el agua de retrolavado para estabilizar su acidez, así mismo en esta reacción de neutralización se evidencia la aparición de sulfato de sodio el cual representa un porcentaje del 0,9% de toda el agua tratada.

Finalmente, ya con los resultados de los compuestos a utilizar, se procede a realizar un balance de materia general del tanque de retrolavado con la propuesta de mejora.

**Figura 40.**

*Diagrama general del tratamiento de agua de retrolavado*



**Nota.** El diagrama describe las corrientes, flujos, temperatura y potencial de hidrogeno de cada unidad del proceso.

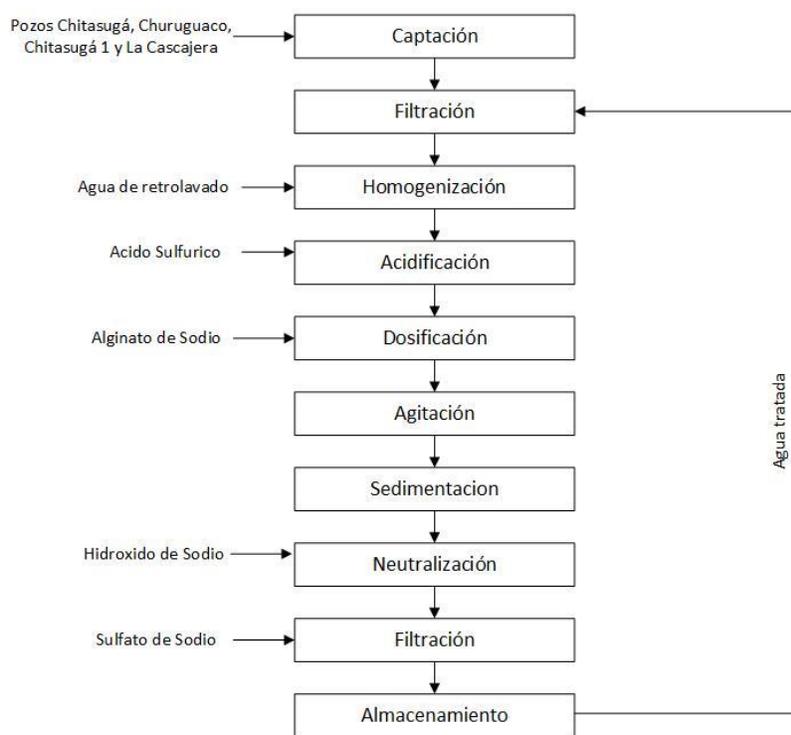
Como se observa en el diagrama, las corrientes 1, 2, 3 y 4 corresponden a la extracción de agua cruda de los pozos Chitasugá, Churuguaco, Chitasugá 1 y La Casajera, respectivamente. Donde esta es conducida a cada una de las plantas denominadas como PTAP 1, PTAP 2, PTAP 3 y PTAP 4, de los cuales son los responsables del proceso de tratamiento de agua potable, seguidamente la corriente 7, corresponde al agua de retrolavado saliente del proceso de cada planta la cual es dirigida al tanque de homogenización y seguidamente por la corriente 8 al tanque de retrolavado, inicialmente se deja llenar el tanque hasta un volumen de 198000 lt de agua de retrolavado,

seguidamente se procede a disminuir el pH del agua hasta 1 con ácido sulfúrico proveniente de la corriente 9; Una vez el agua esté en condiciones acidas, empieza su tratamiento con alginato de sodio para la remoción de solidos suspendidos con el uso de agitadores incorporados en el tanque de retrolavado. Finalizado el proceso de sedimentación, se procede a neutralizar el ácido sulfúrico con hidróxido de sodio para aumentar el pH del agua tratada formando así sulfato de sodio

Donde el siguiente diagrama ilustra los procesos que tiene que realizar a nivel general la propuesta de mejora:

**Figura 41.**

*Procesos para el desarrollo de la propuesta de mejora*



**Nota.** Bosquejo sobre todos los procesos implicados en la propuesta de mejora. Fuente Propia.

De acuerdo a que saldrán 207.3 m<sup>3</sup> de agua tratada aplicando la propuesta de mejora, se procedió a evaluar el porcentaje de uso de la capacidad instalada del tanque de

retrolavado, contando este con una capacidad total de 221 m<sup>3</sup>, el cual contaría con el siguiente factor de seguridad.

### **Ecuación 13.**

*Factor de Seguridad Real con la propuesta de mejora*

$$\text{Factor de seguridad real: } 100\% - \frac{207.3 \text{ m}^3 * 100\%}{221 \text{ m}^3} = 6.19\%$$

Se puede evidenciar que el porcentaje de espacio libre en el almacenamiento de agua tratada con la propuesta de mejora en el tanque de retrolavado instalado es muy bajo contando con un factor de seguridad de 0.61, por este motivo se decidió tomar un factor de seguridad de 1.2 para garantizar un espacio en el que no se presenten percances en el proceso de tratamiento.

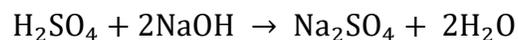
### **Ecuación 14.**

*Factor de seguridad idóneo para el tanque de retrolavado*

$$\text{Factor de seguridad ideal: } 207.3 \text{ m}^3 * 1.2 = 248.76 \text{ m}^3$$

Aplicando el factor de seguridad establecido, se hace necesario contar con un redimensionamiento del tanque de retrolavado para garantizar el buen tratamiento del agua procedente de los tanques y la aplicación de los insumos químicos, como lo son el ácido sulfúrico, el hidróxido de sodio y el alginato de sodio.

Para calcular la cantidad de sulfato de sodio se determinó bajo la reacción de neutralización, donde se tuvo en cuenta que el compuesto en exceso es el hidróxido de sodio y el compuesto limitante es el ácido sulfúrico.



Seguidamente se realizaron los cálculos según la estequiometría de la reacción donde se observa que esta se encuentra en una relación de sulfato de sodio – agua de 1:2, siguiendo la relación de la siguiente reacción.

### **Ecuación 15.**

*Relación compuesto limitante con sulfato de sodio*

$$n\text{Na}_2\text{SO}_4 = 28.831,83 \text{ moles H}_2\text{SO}_4 * \frac{1 \text{ moles Na}_2\text{SO}_4}{1 \text{ moles H}_2\text{SO}_4} = 28831,83 \text{ moles}$$

Los moles de sulfato de sodio resultantes se multiplicaron con su peso molar para determinar su peso en gramos.

### **Ecuación 16.**

*Relación de moles de sulfato de sodio con peso molar*

$$\text{peso (g)Na}_2\text{SO}_4 = 28.831,83 \text{ moles Na}_2\text{SO}_4 * \frac{142,04 \text{ g Na}_2\text{SO}_4}{1 \text{ mol Na}_2\text{SO}_4} = 4.095.273,13\text{g}$$

Estos gramos se pasaron a litros a través de la densidad del sulfato de sodio.

### **Ecuación 17.**

*Volumen de sulfato de sodio*

$$\rho = \frac{m}{v}$$

$$v = \frac{m}{\rho} = \frac{4.095.273,13\text{g}}{1464 \frac{\text{g}}{\text{L}}} = 2797,31 \text{ L}$$

Finalmente, el agua tratada es bombeada por la corriente 10 para pasar por la geomembrana la cual retirará partículas aun presentes en el agua, esta continua por la corriente 11 siendo depositada en un tanque de almacenamiento, donde finalmente será recirculada al proceso de tratamiento de agua potable para abastecer a la población Tenjana. A continuación, se presentará el balance de materia correspondiente a cada corriente.

**Tabla 34.**

*Balace de masa*

| Corriente                        | 1          | 2          | 3          | 4         | 5         | 6         | 7         | 8       | 9       | 10  | 11  | 12  |
|----------------------------------|------------|------------|------------|-----------|-----------|-----------|-----------|---------|---------|---|---|---|
| Presión (atm)                    | 1          | 1          | 1          | 1         | 1         | 1         | 1         | 1       | 1       | 1   | 1   | 1   |
| Temperatura                      | 21,0       | 20,0       | 21,0       | 20,0      | 19,17     | 19,17     | 19,17     | 19,17   | 19,17   | 19,17                                     | 19,17                                     | 19,17                                     |
| pH                               | 7,37       | 6,64       | 7,37       | 6,71      | 7,37      | 7,37      | entre 6-8 | 1,00    | 14,00   | 7,00                                      | 7,00                                      | 7,00                                      |
| Flujo de corriente (L/S)         | 25,00      | 18,00      | 22,00      | 11,00     | 2,23      | 2,23      | 2,95      | 0,21    | 0,62    | 6,01                                      | 6,01                                      | 6,01                                      |
| Volumen de Agua residual (L)     | 0,00       |            | 0,00       | 0,00      | 193000,00 | 193000,00 | 0,00      | 0,00    | 0,00    | 0,00                                      | 0,00                                      | 0,00                                      |
| Volumen de Agua potable (L)      | 0,00       | 0,00       | 0,00       | 0,00      | 0,00      | 0,00      | 0,00      | 0,00    | 0,00    | 207.377,66 -<br>solidos<br>suspendidos(L) | 207.377,66 -<br>solidos<br>suspendidos(L) | 207.377,66 -<br>solidos<br>suspendidos(L) |
| Volumen de alginato de sodio (L) | 0,00       |            | 0,00       |           | 0,00      | 0,00      | 10863,97  | 0,00    | 0,00    | 0,00                                      | 0,00                                      | 0,00                                      |
| Volumen de H2SO4 (L)             | 0,00       | 0,00       | 0,00       | 0,00      | 0,00      | 0,00      | 0,00      | 1544,00 | 0,00    | 0,00                                      | 0,00                                      | 0,00                                      |
| Volumen de NaOH (L)              | 0,00       | 0,00       | 0,00       |           | 0,00      | 0,00      | 0,00      | 0,00    | 2217,83 | 0,00                                      | 0,00                                      | 0,00                                      |
| Volumen de Sal Na2SO4 Rxn (L)    | 0,00       | 0,00       | 0,00       | 0,00      | 0,00      | 0,00      | 0,00      | 0,00    | 0,00    | 2797,31                                   | 2797,31                                   | 2797,31                                   |
| Volumen de agua cruda (L)        | 2160000,00 | 1555200,00 | 1900800,00 | 950400,00 | 0,00      | 0,00      | 0,00      | 0,00    | 0,00    | 0,00                                      | 0,00                                      | 0,00                                      |
| Volumen H2O de la Rxn (L)        | 0,00       | 0,00       | 0,00       | 0,00      | 0,00      | 0,00      | 0,00      | 0,00    | 0,00    | 1037,92                                   | 1037,92                                   | 1037,92                                   |
| Flujo de agua residual (L/s)     | 0,00       | 0,00       | 0,00       | 0,00      | 2,23      | 2,23      | 0,00      | 0,00    | 0,00    | 0,00                                      | 0,00                                      | 0,00                                      |
| Flujo de Agua potable (L/s)      | 0,00       | 0,00       | 0,00       | 0,00      | 0,00      | 0,00      | 0,00      | 0,00    | 0,00    | 5,72                                      | 5,72                                      | 5,72                                      |
| Flujo de alginato de sodio (L/s) | 0,00       | 0,00       | 0,00       | 0,00      | 0,00      | 0,00      | 2,95      | 0,00    | 0,00    | 0,00                                      | 0,00                                      | 0,00                                      |
| Flujo de H2SO4 (L/s)             | 0,00       | 0,00       | 0,00       | 0,00      | 0,00      | 0,00      | 0,00      | 0,21    | 0,00    | 0,00                                      | 0,00                                      | 0,00                                      |
| Flujo de NaOH (L/s)              | 0,00       | 0,00       | 0,00       | 0,00      | 0,00      | 0,00      | 0,00      | 0,00    | 0,62    | 0,00                                      | 0,00                                      | 0,00                                      |
| Flujo de sal Na2SO4 Rxn (L/S)    | 0,00       | 0,00       | 0,00       | 0,00      | 0,00      | 0,00      | 0,00      | 0,00    | 0,00    | 0,08                                      | 0,08                                      | 0,08                                      |
| Flujo de Agua cruda              | 25,00      | 18,00      | 22,00      | 11,00     | 0,00      | 0,00      | 0,00      | 0,00    | 0,00    | 0,00                                      | 0,00                                      | 0,00                                      |
| Flujo de agua de la Rxn (L/S)    | 0,00       | 0,00       | 0,00       | 0,00      | 0,00      | 0,00      | 0,00      | 0,00    | 0,00    | 0,03                                      | 0,03                                      | 0,03                                      |

**Nota.** Tabla de balance de flujo y volumen por cada corriente.

### 3.2.5 Diseño de experimentos

Para la construcción del diseño experimental, este fue realizado mediante el programa Minitab en el que se tuvo en cuenta la siguiente información por el programa para cada diseño experimental.

**Tabla 35.**

*Factores que influyen en el coagulante*

| <b>Factor</b>           | <b>Niveles</b> | <b>Valores</b> |         |         |
|-------------------------|----------------|----------------|---------|---------|
| <b>pH</b>               | 3              | 1              | 2       | 3       |
| <b>Dosis coagulante</b> | 3              | 35 mg/L        | 45 mg/L | 55 mg/L |

**Nota.** Diseño de experimento con 3 niveles de pH y dosis de coagulante.

En el que el diseño experimental presentó la siguiente estructura 3K donde:

k: significa el número de factores a estudiar en el diseño de experimentos.

3: siendo el número de niveles a estudiar en el diseño de experimentos.

En el que para obtener “el número total de corridas experimentales este primero se tiene que multiplicar por el número de réplicas” [70] en este caso son 3 dando un total de 27 corridas (respuestas de %de remoción de color y %remoción de turbidez) en el diseño experimental.

**Tabla 36.**

*Diseño experimental evaluación del agente coagulante natural alginato de sodio para la remoción de turbidez*

| Porcentajes remoción de turbidez |                 |                 |                 |
|----------------------------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| Dosis                            | pH              |                 |                 |
|                                  | 1               | 2               | 3               |
|                                  | %Turbidez (NTU) | %Turbidez (NTU) | %Turbidez (NTU) |
| 30                               | T301            | T302            | T303            |
|                                  | T301R1          | T302R1          | T303R1          |
|                                  | T301R2          | T302R2          | T303R2          |
| 45                               | T451            | T452            | T453            |
|                                  | T451R1          | T452R1          | T453R1          |
|                                  | T451R2          | T452R2          | T453R2          |
| 55                               | T551            | T552            | T553            |
|                                  | T551R1          | T552R1          | T553R1          |
|                                  | T551R2          | T552R2          | T553R2          |

**Nota.** Datos estadísticos para la aplicación en el test de jarras.

Representando también el número de réplicas para la remoción de color de la siguiente manera en el programa minitab:

**Tabla 37.**

*Diseño experimental evaluación del agente coagulante natural alginato de sodio para la remoción del color*

| Porcentajes remoción de color |              |              |              |
|-------------------------------|--------------|--------------|--------------|
| Dosis                         | pH           |              |              |
|                               | 1            | 2            | 3            |
|                               | %Color (Abs) | %Color (Abs) | %Color (Abs) |
| 30                            | C301         | C302         | C303         |
|                               | C301R1       | C302R1       | C303R1       |
|                               | C301R2       | C302R2       | C303R2       |
| 45                            | C451         | C452         | C453         |
|                               | C451R1       | C452R1       | C453R1       |
|                               | T451R2       | C452R2       | C453R2       |
| 55                            | C551         | C552         | C553         |
|                               | C551R1       | C552R1       | C553R1       |
|                               | C551R2       | C552R2       | C553R2       |

**Nota.** Datos estadísticos para la aplicación en el test de jarras.

Donde:

H0 =Los factores o la interacción entre ellos no influyen en la turbidez final

H1 =Los factores o la interacción entre ellos influyen en la turbidez final

3.2.5.a. Valoración Estadística. Esta verificación de supuestos permitió darle un diagnóstico de calidad para verificar si los datos observados son paramétricos o no paramétricos señalando la magnitud de los datos presentados, dándole fortalecimiento a la investigación realizada mediante. [71] Destacan

- Normalidad: Parámetro que sirve para observar como los datos se encuentran presente, si de manera simétrica o asimétrica, ese decir, presenciar las dispersiones presentes sobre la recta.
- Varianza Constante (Test de levene): Prueba para observar cómo los niveles de los factores interactúan entre sí determinando si hay una homogeneidad o heterogeneidad de los datos observados.
- independencia: Evalúa si está ocurriendo autocorrelación de datos, observando si son adyacentes entre sí.

En el que los resultados menores a un valor de  $p < 0.005$  corresponde a que los valores presentaron un modelo significativo en cambio a que cuando existe un valor de  $p > 0.005$  no existe alguna significancia de los datos observados durante las pruebas.

En el que se empezó evaluando:

3.2.5.a.i Normalidad. En el que se realizó una prueba de hipótesis para observar si los datos se ajustan: [64]

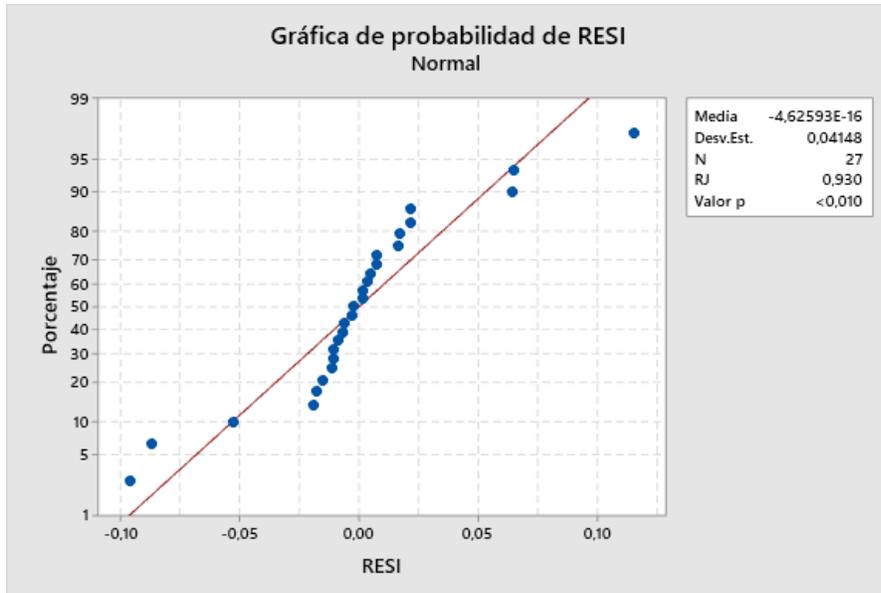
H0 =Ocurre normalidad

H1 =No ocurre normalidad

Existiendo actualmente distintas pruebas de normalidad que son la “ji-cuadrada para bondad de ajuste, la prueba de Shapiro-Wilks y la prueba de Anderson-Darling en el que la prueba de Shapiro-Wilks es una de las más recomendadas “ [71]

**Figura 42.**

*Probabilidad de residuo en la remoción de turbidez*

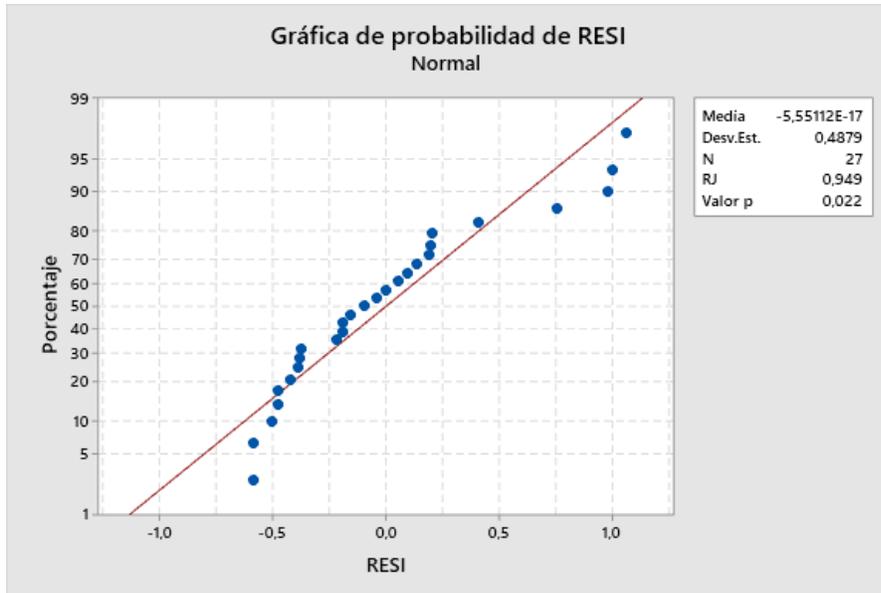


**Nota.** Representación de la normalidad mediante Shapiro-Wilks en la remoción de turbidez. Fuente Minitab.

En el que se observa que ocurre una significancia de valor de  $p < 0,001$  aceptando la hipótesis alternativa. En el que se observan puntos fuera de la recta de la gráfica presentando desviaciones en el análisis de varianza, en el que el valor de Ryan-Joiner tiene un valor de 0,93 en el que los valores si están cercano a la recta significando que no están tan dispersos entre ellos.

**Figura 43.**

*Probabilidad de residuo en la remoción de turbidez*



**Nota.** Representación de la normalidad mediante Shapiro-Wilks en la remoción de turbidez. Fuente Minitab.

Presentando un valor de  $p=0,022$  en el que este presenta un valor mayor al 5% aceptándose la hipótesis alternativa. También observándose puntos de desviación en la presente gráfica. En el que, además, se puede observar que los puntos se acercan a la línea recta teniendo un valor de Ryan-Joiner de 0,94, significando que no están tan dispersos entre ellos.

3.2.5.a.ii Varianza Constante (Test de Levene). Prueba recomendada por E.Tostado et al, donde la prueba es una continuidad de los resultados de la normalidad para confirmar el tipo de parámetro de análisis de varianza, siendo esta prueba de Levene más robusta que la Bartlett. [72]

$H_0 = \sigma_{12} = \sigma_{22} = \sigma_{32} =$  Varianzas son iguales

$H_1 = \sigma_{12} \neq \sigma_{22} \neq \sigma_{32} \neq$  Varianzas no son iguales

**Tabla 38.**

*Pruebas de igualdad de varianza para la Turbidez*

| Método                  | Estadística de prueba | Valor p |
|-------------------------|-----------------------|---------|
| Comparaciones múltiples | —                     | 0,006   |
| Levene                  | 1,67                  | 0,17    |

**Nota.** Prueba estadística de confianza de 95% para evaluación de varianzas

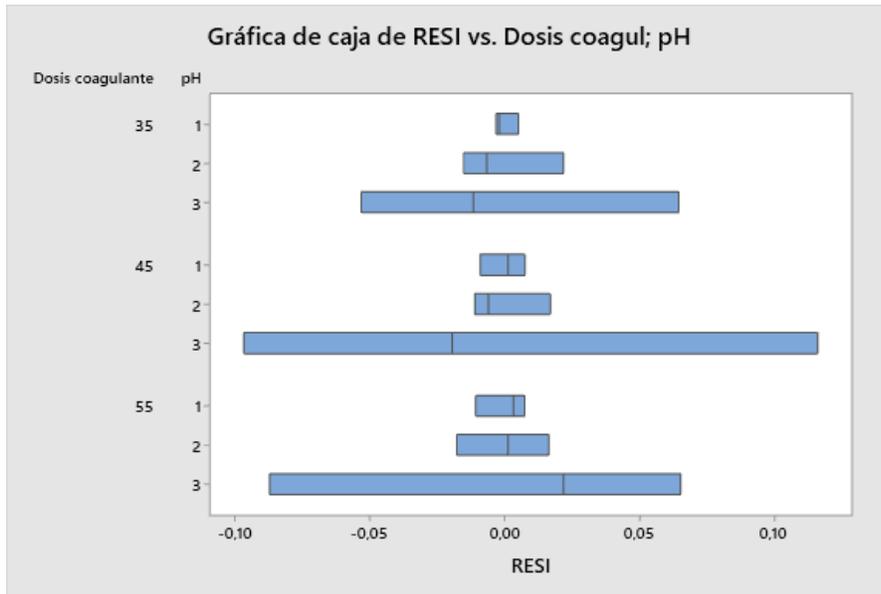
En el que la siguiente prueba estadística se aplicó para saber si cumple con el supuesto de que las varianzas son iguales o no.

En el que se determinó a través del valor de p dando un valor de 0,17 siendo este mayor al 5% de valor de p aceptando la hipótesis nula comprobando que los datos estudiados pertenecen a varianzas iguales.

En el que la remoción de turbidez en esta prueba se representa:

**Figura 44.**

*Caja de porcentaje remoción de turbidez y pH; Dosis de coagulante*



**Nota.** Descripción gráfica del comportamiento sobre las desviaciones estándar en prueba leve. Fuente Minitab.

En el que no es posible identificar poblaciones específicas presentan desviaciones estándar diferentes entre sí. [73] Además el % de Remoción de turbidez varía más o menos lo mismo para la dosis del coagulante y el pH tal como es representado en la Gráfica 12.

**Tabla 39.**

*Pruebas de igualdad de varianza para el Color*

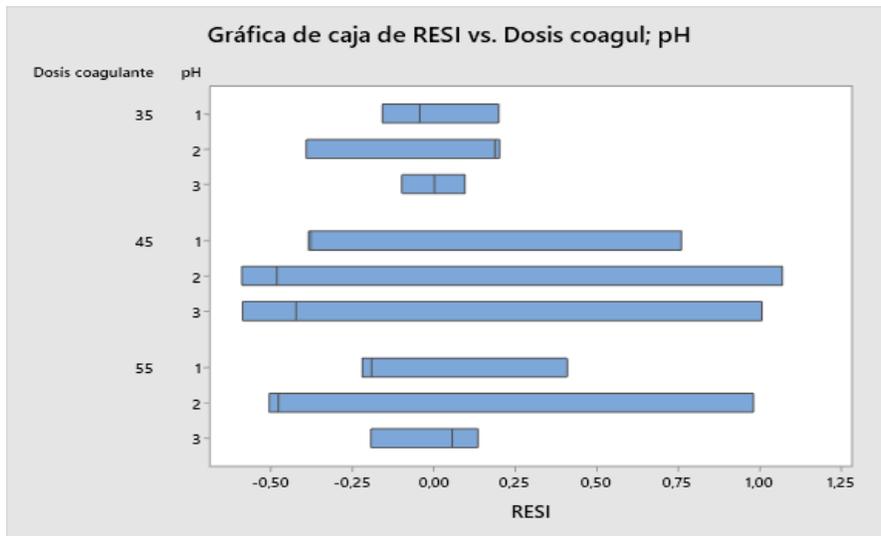
| <b>Método</b>           | <b>Estadística de prueba</b> | <b>Valor p</b> |
|-------------------------|------------------------------|----------------|
| Comparaciones múltiples | —                            | 0,11           |
| Levene                  | 0,38                         | 0,92           |

**Nota.** Prueba estadística de confianza de 95% para evaluación de varianzas para él eliminación del color

Comprobando que este presenta una prueba estadística un valor mayor del 5% dando aprobación a la hipótesis alternativa en el que las varianzas son distintas al tener un valor de  $levene > 0,05$  con un valor de 0,920.

**Figura 45.**

*Caja de porcentaje de Remoción de Color y pH; Dosis de coagulante*



**Nota.** Descripción gráfica de caja del comportamiento sobre las desviaciones estándar en prueba leve con la variable %remoción de color. Fuente Minitab.

En el que se nota que los residuos de la varianza son homogéneos cumpliendo el supuesto de la hipótesis alternativa

3.2.5.a.iii Independencia. En el que esta prueba se analizó mediante una prueba “analítica para verificar la independencia presente en los residuos consecutivos, aplicando el método de Durbin-Watson” [71] en el que los supuestos son:

$H_0: \rho = 0$  = Los datos son independientes

$H_1: \rho > 0$  = Los datos no son independientes

donde se sigue la siguiente regla:

Si  $d < d_L$  Se rechaza  $H_0$

Si  $d > d_U$  No se rechaza  $H_0$

Si  $d_L \leq d \leq d_U$  Sin decisión

Donde valores de  $d_L$  y  $d_U$  son encontrados en la tabla 34 Límites para prueba de Durbin-Watson. anexos

**Tabla 40.**

*Estadístico de Durbin-Watson para la remoción de Turbidez*

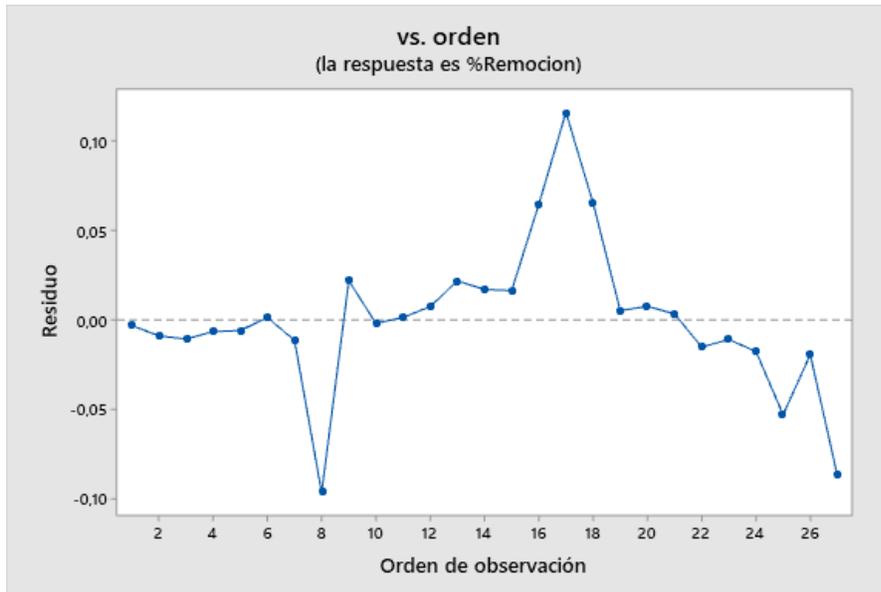
| Estadístico de Durbin-Watson (d) | Comparación estadística del libro de Análisis y diseño de experimento por H.Pulido et al. (2008) |       |       |
|----------------------------------|--|-------|-------|
|                                  | n  | $d_L$ | $d_U$ |
| 0,91                             | 27   | 1,24  | 1,56  |

**Nota.** Prueba estadística Durbin-Watson para comprobar el método de independencia presente los datos de remoción de turbidez

En el que se observa que  $d < d_L$  rechazando la hipótesis nula del supuesto debido a que el valor  $d_L$  presenta un valor de 1,24 presentado un valor de  $0,91 < 1,24$ , sin embargo, al observar su gráfico este presentó lo siguiente:

**Figura 46.**

*Caja de Residuos y orden de observación en el %remoción de turbidez*



**Nota.** Descripción gráfica de parámetro de independencia empleando la variable respuesta el %de remoción de turbidez.

Fuente Minitab.

En la gráfica no existe ninguna autocorrelación de los puntos en la gráfica del valor previo, es decir son independientes.

Al igual se realizó para la remoción del color en el que dio valor de:

**Tabla 41.**

*Estadístico de Durbin-Watson para la remoción de Color*

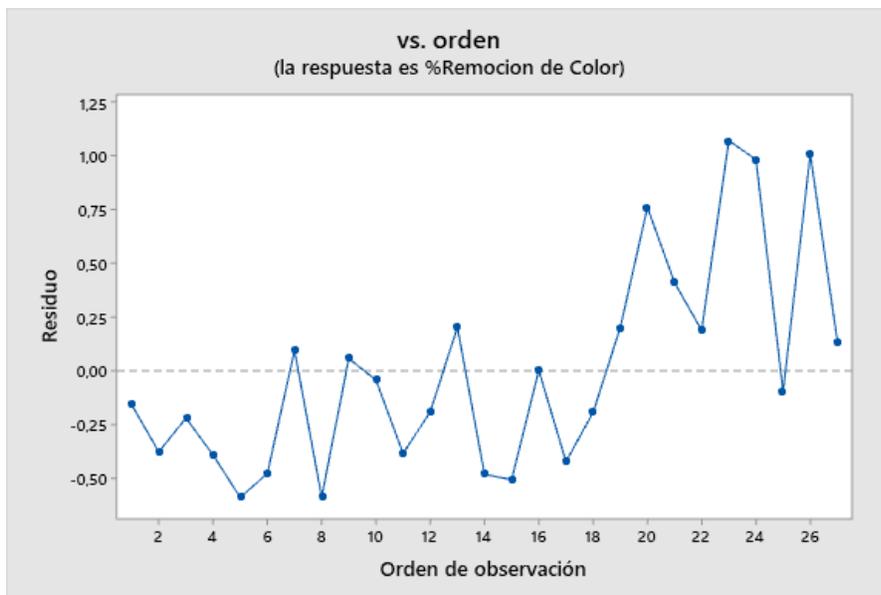
| Estadístico de Durbin-Watson (d) | Comparación estadística del libro de Análisis y diseño de experimento por H.Pulido et al. (2008) |      |      |
|----------------------------------|--|------|------|
|                                  | n  | dl   | dv   |
| 2,02                             | 27   | 1,24 | 1,56 |

**Nota.** Prueba estadística Durbin-Watson para comprobar el método de independencia presente los datos de remoción de color

En el que se observa que  $d > d_L$  con valores de  $2,02 > 1,24$  dando respuesta al supuesto en el que se no se rechaza la hipótesis nula en el que los datos utilizados son independientes como se muestran en la siguiente gráfica:

**Figura 47.**

*Caja de Residuos y orden de observación en el %  
remoción de color*



**Nota.** Descripción gráfica de parámetro de independencia empleando la variable respuesta el %de remoción de turbidez. Fuente Minitab.

en el que se observa que los datos arrojados “residuales no están relacionados con ninguna otra variable, en el que no existe ningún patrón establecido.” [74].

3.2.5.b Análisis de Varianza. En donde la prueba a presentar parte de los siguientes criterios analíticos donde: [71]

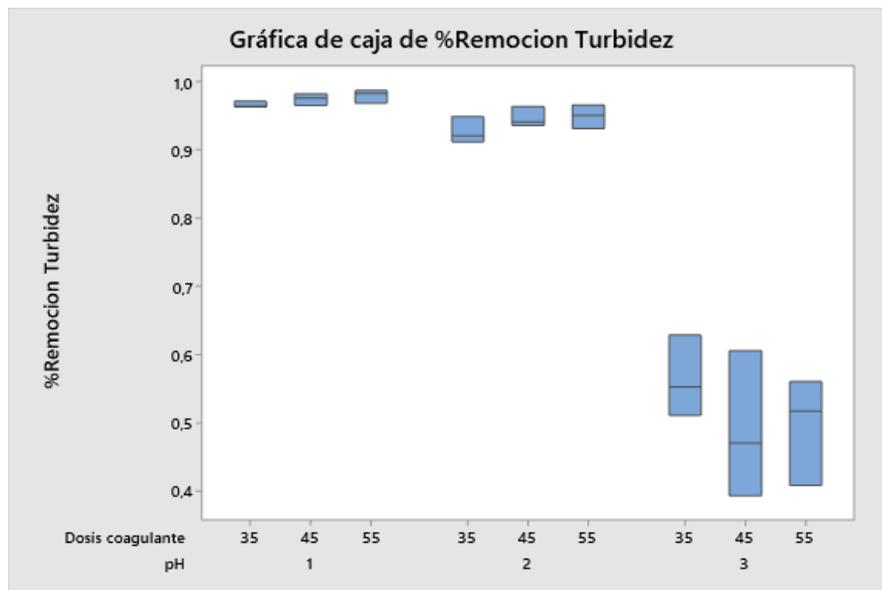
- Modelo ANOVA reconocido al ser un método estadístico confiable y robusto como en el trabajo que acepta variaciones moderadas de los supuestos de normalidad, varianza iguales e independencia. [71] Donde la mayor parte de trabajos investigativos se aplica.
- Modelo no paramétrico (Kruskal-Wallis) empleado para minimizar falta de seguimiento de las suposiciones como ocurre en los siguientes trabajos R. Neciosup, I. et al (2019),

demostrando que este factor es significativo sobre su investigación de utilización de un coagulante natural.

Mediante el criterio grafico se observa que:

**Figura 48.**

*Caja de remoción de turbidez*



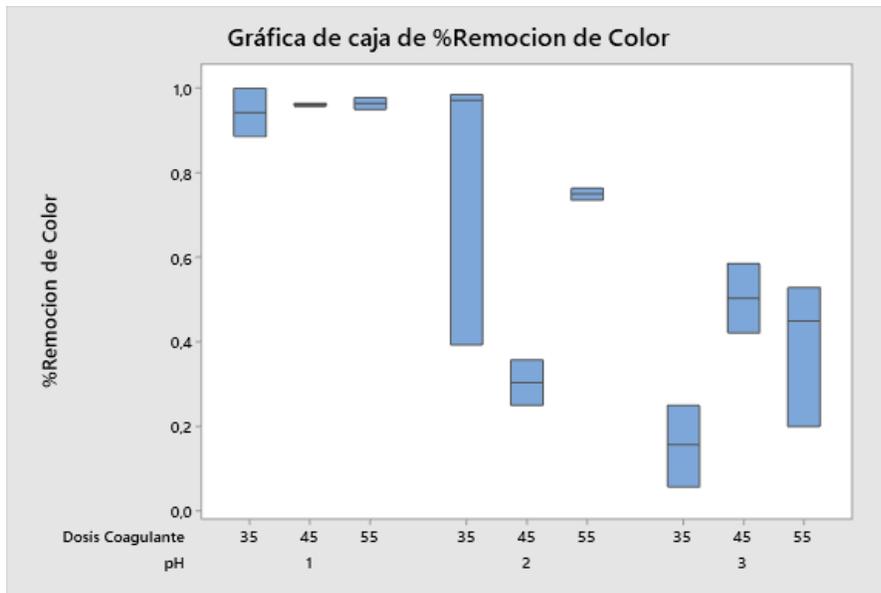
**Nota.** Comparación entre tratamiento a partir de los tratamientos de remoción de turbidez según el pH y Dosis de coagulante. Fuente Minitab.

Las remociones de turbidez corresponden a un modelo no paramétrico, sin embargo, al presentar desviaciones moderadas en cuanto a la media es factible el análisis estadístico ANOVA.

Mientras que para la remoción de color:

**Figura 49.**

*Caja de remoción de color*



**Nota.** Comparación entre tratamiento a partir de los tratamientos de remoción de color según el pH y Dosis de coagulante.

Las remociones de color provienen un modelo no paramétrico, donde no es tan representativo el modelo ANOVA por no cumplir criterios de los análisis de varianza.

**Tabla 42.***Análisis estadístico para la remoción de turbidez mediante ANOVA*

| S                     | R-cuad.            | R-cuad.<br>(ajustado) | R-cuad.<br>(pred) |         |         |
|-----------------------|--------------------|-----------------------|-------------------|---------|---------|
| 0,0498482             | 96,35%             | 94,73%                | 91,79%            |         |         |
| Fuente                | Grados de libertad | SC Ajust              | MC Ajust          | Valor F | Valor p |
| pH                    | 2                  | 1,17                  | 0,58              | 235,48  | 0,00    |
| Dosis coagulante      | 2                  | 0,001                 | 0,0005            | 0,23    | 0,79    |
| pH * Dosis coagulante | 4                  | 0,01                  | 0,002             | 1,03    | 0,41    |
| Error                 | 18                 | 0,04                  | 0,002             |         |         |
| Total                 | 26                 | 1,22                  |                   |         |         |

**Nota.** Estudio de aceptación de Hipótesis con un 95% de confiabilidad para la remoción de turbidez mediante la prueba paramétrica.

En cuanto a la tabla 36 se presentó significancia estadística del 95% con respecto a la concentración del pH aceptando la hipótesis planteada, con respecto a la dosis del coagulante no presentó significancia y con respecto a la relación coagulante-dosis del pH tampoco siendo estos valores mayores al 0.05 significativamente. Además, en los datos del r-cuadrado se puede observar que este presenta cercanía al 100% con un valor de 96,35% en el que los “valores de la variable estudiado está indicando que el modelo se encuentra dando variabilidad a todos los datos de respuesta en torno a su media. “  
[75]

**Tabla 43.**

*Análisis estadístico para la remoción de turbidez mediante prueba de Kruskal-Wallis mediante STATA*

| Fuente           | Grados de libertad | Valor p |
|------------------|--------------------|---------|
| pH               | 2                  | 0,0001  |
| Dosis coagulante | 2                  | 0,77    |

**Nota.** Estudio de aceptación de Hipótesis con un 95% de confiabilidad para la remoción de turbidez mediante la prueba no paramétrica.

En el que este estudio se pudo determinar que para las pruebas de pH sigue siendo significativa dando una aceptación a la hipótesis planteada con respecto a la remoción de la aplicación del alginato en el que se aprobó además con respecto a las iteraciones del pH presentado, en parte con la dosis del coagulante de sodio este no presenta alguna significancia a la disminución de turbidez.

**Tabla 44.**

*Análisis estadístico para la remoción de color mediante ANOVA*

| S                     | R-cuad. | R-cuad. (ajustado) | R-cuad. (pred) |         |         |
|-----------------------|---------|--------------------|----------------|---------|---------|
| 0,586372              | 37,59%  | 9,85%              | 0,00%          |         |         |
| Fuente                | GL      | SC Ajust.          | MC Ajust.      | Valor F | Valor p |
| Dosis Coagulante      | 2       | 0,75               | 0,37           | 1,10    | 0,32    |
| Concentración de pH   | 2       | 2,05               | 1,02           | 2,99    | 0,05    |
| pH * Dosis coagulante | 4       | 0,91               | 0,22           | 0,66    | 0,62    |
| Error                 | 18      | 6,18               | 0,34           |         |         |
| Total                 | 26      | 9,91               |                |         |         |

**Nota.** Estudio de aceptación de Hipótesis con un 95% para la remoción de color.

Al poseer un valor de R-Cuadrado bajo de 37,59% está explicando que “no se está encontrando ninguna porción de la variabilidad de los datos de respuesta en torno a su media “ [68]. Además, no se encuentra alguna significancia dado que esta los valores de  $p > 0.05$  con las variables que se está variando para la remoción del color de las muestras estudiadas del agua cruda en la investigación.

**Tabla 45.**

*Análisis estadístico para la remoción de color mediante prueba de Kruskal-Wallis mediante STATA*

| Fuente           | Grados de libertad | Valor p |
|------------------|--------------------|---------|
| pH               | 2                  | 0,01    |
| Dosis coagulante | 2                  | 0,68    |

**Nota.** Estudio de aceptación de Hipótesis con un 95% de confiabilidad para la remoción de color mediante la prueba no paramétrica.

Al presentar un  $p < 0,05$  en el factor de pH esto significa que es importante en la remoción de color presente en el agua tratada, sin embargo, la dosis del a coagulante no son significante confirmado a su vez en el análisis ANOVA.

3.2.5.c Post hoc. También denominada prueba de contraste múltiples, que sirve para apreciar como es el comportamiento de los tratamiento observados (post-hoc), evaluada mediante la prueba estadística de tukey método que utiliza el modelo anova y kruskal wallis para establecer intervalos de consistencia entre todos los factores y niveles estudiados, controlando la tasa de error presente. [70] donde se representa en la prueba estadística por J. L. V. Zuluaga (2021), donde utilizó la prueba para determinar cómo se encuentra los factores estadísticos (pH, Concentración y velocidad de coagulación) relacionados entre sí, buscando una diferencia significativa en la evaluación de un coagulante natural de almidón de maíz y trigo [71].

**Tabla 46.**

*Prueba estadística de tukey entre la concentración de pH y Dosis de coagulante para la remoción de turbidez*

```
Tukey multiple comparisons of means
 95% family-wise confidence level

Fit: aov(formula = Modelo)

$pH
      diff      lwr      upr    p adj
2-1 -0.03235667 -0.0923298  0.02761647 0.3733334
3-1 -0.45692222 -0.5168954 -0.39694909 0.0000000
3-2 -0.42456556 -0.4845387 -0.36459242 0.0000000

$Dosis
      diff      lwr      upr    p adj
45-35 -0.015456667 -0.07542980  0.04451647 0.7904152
55-35 -0.010988889 -0.07096202  0.04898424 0.8871824
55-45  0.004467778 -0.05550535  0.06444091 0.9802910
```

**Nota.** Descripción estadística con 95% de confianza de los múltiples niveles estudiados, realizado en Rstudio.

En la presente gráfica se comprueba que existe relación entre los pH de 1-3 y entre 2-3 para la remoción de turbidez al mostrar un porcentaje de probabilidad por debajo al 5%, significando compatibilidad con la coagulación del alginato, en cuanto a la dosis de coagulante no hubo relación entre ellos debido al estar por encima de p de 5%.

**Tabla 47.**

*Prueba estadística de tukey entre la concentración de pH y Dosis de coagulante para la remoción de color*

```
Tukey multiple comparisons of means
 95% family-wise confidence level

Fit: aov(formula = Modelo)

$pH
      diff      lwr      upr    p adj
2-1 -0.03235667 -0.0923298  0.02761647 0.3733334
3-1 -0.45692222 -0.5168954 -0.39694909 0.0000000
3-2 -0.42456556 -0.4845387 -0.36459242 0.0000000

$Dosis
      diff      lwr      upr    p adj
45-35 -0.015456667 -0.07542980  0.04451647 0.7904152
55-35 -0.010988889 -0.07096202  0.04898424 0.8871824
55-45  0.004467778 -0.05550535  0.06444091 0.9802910
```

**Nota.** Descripción estadística con 95% de confianza de los múltiples niveles estudiados, realizado en Rstudio.

Diagnosticando en el caso de la remoción de color ocurrió una correlación para los pH de 1-3 y entre 2-3 dado al mostrar un porcentaje de probabilidad por debajo al 5%, significando compatibilidad con la coagulación del alginato en cuanto a la dosis de coagulante no hubo relación entre ellos debido al estar por encima de p de 5%.

### **3.2.6 Análisis de calidad del agua tratada**

Ya realizadas las pruebas, se procedió a llevar 3 muestras de agua tratada a las instalaciones de los laboratorios de HIDROLAB LTDA. Para sus respectivas pruebas fisicoquímicas, cada una de las muestras fueron tomadas en intervalos de 30 minutos, haciendo esta una muestra compuesta. Como se observa en la (tabla 38) el agua presenta una disminución en cuanto a la Turbidez, Solidos Suspendidos Totales, coliformes y presencia de Hierro, con la diferencia que el agua presenta una acidez muy alta, debido a que el coagulante remueve más compuestos a condiciones acidas.

**Tabla 48.**

*Resultados fisicoquímicos del agua de retrolavado sin tratar*

| <b>Parámetro</b>                                   | <b>Unidad de Medida</b> | <b>Resultados laboratorio HIDROLAB. LTDA</b> | <b>Resultados laboratorio HIDROLAB. LTDA</b> | <b>Resultados laboratorio HIDROLAB. LTDA</b> | <b>Promedio Resultados</b> |
|--|-------------------------|--|--|--|----------------------------|
| <b>Físico</b>                                      |                         |  |  |  |                            |
| <b>pH</b>  | Unidad de pH            | 0,65<br>(18,7°C)                             | 0,47<br>(18,8°C)                             | 0,57<br>(18,7°C)                             | 0,56<br>(18,7°C)           |
| <b>Color aparente</b>                              | Pt-Co                   | 5  | 5  | 5  | 5                          |
| <b>Turbidez</b>                                    | NTU                     | 0,5  | 0,4  | 0,5  | 0,46                       |
| <b>Sólidos suspendidos totales</b>                 | mg/L                    | 25   | <20  | <20  | <20                        |
| <b>Conductividad</b>                               | us/cm                   | 56400  | 87500  | 57100  | 67000                      |
| <b>Microbiológicos</b>                             |                         |  |  |  |                            |
| <b>Coliformes termotolerantes</b>                  | NMP/100mL               | <1   | <1   | <1   | <1                         |
| <b>Metales</b>                                     |                         |  |  |  |                            |
| <b>Hierro</b>                                      | mg Fe/L                 | 8,48   | 8,14   | 7,98   | 8,2                        |
| <b>Otros</b>                                       |                         |  |  |  |                            |
| <b>Demanda Bioquímica de oxígeno 5 días (DBO5)</b> | mgO2 /L                 | <2   | <2   | <2   | <2                         |
| <b>Demanda química de oxígeno (DQO)</b>            | mgO2 /L                 | 20   | 16   | 10   | 15.33                      |

**Nota.** Descripción de los resultados de las 3 muestras entregadas por HIDROLAB.

Las muestras enviadas a HIDROLAB LTDA. Se llevaron para tener resultados certeros respecto a las condiciones del agua, propiciados por un laboratorio certificado, de igual manera para saber si los parámetros del agua tratada cumplían con la normatividad vigente, ya que el agua de retrolavado tratada será conducida nuevamente a los procesos de potabilización para el posterior consumo humano. Para este caso los resultados arrojados por el laboratorio fueron comparados con la Resolución 2115 de 2007 del Ministerio de la Protección Social, Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, los cuales se evidencian en la siguiente tabla.

**Tabla 49.**

*Comparación resultados agua de retrolavado tratada con normatividad*

| <b>Parámetro</b>                   | <b>Unidad de Medida</b> | <b>Promedio de Resultados laboratorio HIDROLAB. LTDA</b> | <b>RESOLUCIÓN 2115 de 2007</b> | <b>Resolución 631 de 2015</b> |
|------------------------------------|-------------------------|--|--------------------------------|-------------------------------|
| <b>Físico</b>                      |                         |  |                                |                               |
| <b>pH</b>                          | Unidad de pH            | 0,56   | 6,5-9,0                        | 6,0-9,0                       |
| <b>Color aparente</b>              | Pt-Co                   | 5  | 15                             | Análisis y Reporte            |
| <b>Turbidez</b>                    | NTU                     | 0,46   | 2                              |                               |
| <b>Sólidos suspendidos totales</b> | mg/L                    | <20  | No especificado                | 5                             |
| <b>Conductividad</b>               | us/cm                   | 67000  | 1000                           | No aplica                     |
| <b>Microbiológicos</b>             |                         |  |                                |                               |
| <b>Coliformes termotolerantes</b>  | UFC/100mL               | <1   | 0                              | No aplica                     |
| <b>Metales</b>                     |                         |  |                                |                               |
| <b>Hierro</b>                      | mg Fe/L                 | 8.2  | 0.3                            | 3                             |

**Tabla 49.** (Continuación)

| Otros  |                     |       |                 |      |
|--|---------------------|-------|-----------------|------|
| <b>Demanda Bioquímica de oxígeno 5 días (DBO5)</b> | mgO <sub>2</sub> /L | <2    | No especificado | 8000 |
| <b>Demanda química de oxígeno (DQO)</b>            | mgO <sub>2</sub> /L | 15,33 | No especificado | 2000 |

**Nota.** La tabla representa la comparación de los resultados del laboratorio de Hidrolab Ltda. con la normatividad colombiana.

Evaluando los resultados de cada parámetro con la normatividad se observa que la turbidez cumple con los parámetros permitidos ya que presenta un valor de 0,466 NTU, muy por debajo en comparación a los datos presentados, de igual manera ocurre con el color aparente al estar por debajo del valor máximo permisible teniendo un valor de 5 Pt-Co, sin embargo el hierro se encuentra por encima del establecido con un valor de 8,2 mg Fe/L, ocurriendo también en los parámetros de Conductividad, Coliformes y pH. Respecto a la conductividad presentada, este posee valores altos debido a que está dando la formación de una sal (Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) debido a que “las partículas presentes positivamente (H<sup>+</sup>) se desplazara rápidamente disociándose positivamente dentro de la solución del agua hacia el cátodo (electrodo positivo) mientras que la partícula negativa (OH<sup>-</sup>) será libre sobre la solución migrando hacia el ánodo (electrodo negativo) generando que incremente la conductividad en el agua estudiada.” [72]

Respecto a los sólidos suspendidos totales, presentan un valor menor a 20 mg/L, aunque no están contemplados en la normatividad para el agua potable cumplen con la resolución 631 de 2015 de aguas tratamiento de aguas residuales, teniendo en cuenta que parámetros de DBO5 y DQO cumplen con los valores límites con un valor de <2 mgO<sub>2</sub> /L de los 8000 mgO<sub>2</sub> /L y DQO con un valor de 15,33 mgO<sub>2</sub> /L de los 2000 mgO<sub>2</sub> /L

Debido a que estos parámetros no cumplen con la normatividad, estos pueden ser tratados después del proceso de coagulación, ya que esta agua tratada pasará por la geomembrana para eliminar partículas aun presentes en el agua, seguidamente esta agua pasará al tanque de almacenamiento donde será bombeado a un sistema de filtración (filtro de arena) y posteriormente a su debida desinfección con hipoclorito de sodio.

Considerando los resultados físico químicos del laboratorio HIDROLAB. LTDA del agua de retrolavado sin tratar y con la propuesta de mejora, se realizó una comparación de los resultados para evidenciar la mejora del uso del alginato de sodio durante el tratamiento, resultados observados a partir de la siguiente tabla:

**Tabla 50.**

*Porcentaje de remoción de los parámetros evaluados*

| Parámetro                  | Resultados agua de retrolavado sin tratar | Resultados agua de retrolavado tratada | Porcentaje de remoción |
|----------------------------|---|--|------------------------|
| Físico                     |   |  |                        |
| Color aparente             | 33,33                                     | 5                                      | 85,00%                 |
| Turbidez                   | 25,50 ± 13,57                             | 0,46                                   | 98.12%                 |
| Sólidos suspendidos        | 41,67 ± 1,41                              | <20                                    | 52,00%                 |
| Microbiológicos            |   |  |                        |
| Coliformes termotolerantes | 18500 ± 9192,38                           | <1                                     | 99,99%                 |
| Metales                    |   |  |                        |
| Hierro                     | 8,46 ± 1,07                               | 8,2                                    | 3,07                   |

**Nota.** información del porcentaje de remoción de los parámetros evaluados en el agua de retrolavado sin tratar y con la propuesta de mejora a pH de 1 y concentración de alginato de sodio a 55 mg/L.

Destacando la acción del alginato de sodio a un pH ácido de 1 y concentración a 55 mg/L, por medio de la adsorción de las sustancias tensoactivas en el agua residual y desestabilización de coloides ayudan a evitar el desarrollo de bacterias presentes en el agua logrando obtener un porcentaje de remoción de coliformes termotolerantes del 99,99% y formadores de sólidos suspendidos en el que se obtuvo una remoción del 52,00%. Además, se tiene en cuenta que los parámetros de turbidez y color aparente observados cumplen con los porcentajes estudiados en capítulos anteriores.

3.2.6.a análisis de agua tratada para vertimiento. Se procede a analizar los requerimientos necesarios para verter el agua de retrolavado tratada con la propuesta de mejora para cumplir con la Resolución 631 de 2015 del Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, el cual dictamina los límites máximos permisibles para disponer aguas residuales a diferentes cuerpos de agua.

Partiendo de los resultados obtenidos por el laboratorio de Hidrolab Ltda., se procede a analizar los parámetros que incumplen con esta resolución y se observan en la siguiente tabla.

**Tabla 51.**

*Análisis agua tratada para vertimiento*

| <b>Parámetro</b>      | <b>Unidad de Medida</b> | <b>Promedio de Resultados laboratorio HIDROLAB. LTDA</b> | <b>Resolución 631 de 2015</b> |
|-----------------------|-------------------------|--|-------------------------------|
| <b>Físico</b>         |                         |  |                               |
| <b>pH</b>             | Unidad de pH            | 0,56   | 6,0-9,0                       |
| <b>Color aparente</b> | Pt-Co                   | 5  | Análisis y Reporte            |
| <b>Turbidez</b>       | NTU                     | 0,46   |                               |

**Tabla 51.** (Continuación)

|  |           |       |           |
|--|-----------|-------|-----------|
| <b>Sólidos suspendidos totales</b>                 | mg/L      | <20   | 5         |
| <b>Conductividad</b>                               | us/cm     | 67000 | No aplica |
| <b>Microbiológicos</b>                             |           |       |           |
| <b>Coliformes termotolerantes</b>                  | UFC/100mL | <1    | No aplica |
| <b>Metales</b>                                     |           |       |           |
| <b>Hierro</b>                                      | mg Fe/L   | 8.2   | 3         |
| <b>Otros</b>                                       |           |       |           |
| <b>Demanda Bioquímica de oxígeno 5 días (DBO5)</b> | mgO2 /L   | <2    | 8000      |
| <b>Demanda química de oxígeno (DQO)</b>            | mgO2 /L   | 15,33 | 2000      |

**Nota.** La tabla represente la comparación de los resultados arrojados por el laboratorio Hidrolab Ltda. con la resolución 631 de 2015 para disponer el agua de retrolavado como vertimiento.

Como se puede evidenciar en la (Tabla 51) los parámetros de pH, Sólidos suspendidos totales y Hierro no cumplen con los límites máximos permisibles establecidos por la resolución 631 de 2015, sin embargo, para llevar a cabo el correcto vertimiento de estas aguas al efluente cercano a la planta, es necesario contar con un debido tratamiento los cuales se explicarán a continuación.

Primeramente, para la neutralización del pH se contó con la evaluación de un balance de materia establecido en el numeral 3.2.4 donde se deberán contar con 2.217,83 litros de hidróxido de sodio para neutralizar 198.000 litros de agua de retrolavado, para así llevar el pH a un valor de 7 o en un rango cercano a este.

Seguidamente para retirar los sólidos suspendidos totales presentes en el agua de retrolavado se es necesario contar con el apoyo de un sedimentador, «el cual ayuda a eliminar la mayor cantidad de sólidos presentes en el agua a tratar, por lo general se

utilizan sedimentadores de tipo circular, sin embargo, el tipo de sedimentador depende en gran medida de su diseño y los requerimientos que se necesitan para tratar el agua» [68], aparte de contar con un filtro a la salida del sedimentador para retener partículas aun presentes en esta misma. Respecto al tanque de retrolavado ubicado en Tenjo, contaría con la necesidad de incorporar un nuevo diseño de sedimentación para el mejor tratamiento del agua de retrolavado y así cumplir con la respectiva normatividad de vertimientos.

Finalmente para eliminar los compuestos ferrosos presentes en el agua de retrolavado existen dos métodos de tratamiento, «el primero se realiza a escala piloto implementando una oxidación con Hipoclorito de Sodio seguido de una filtración y el segundo se realiza en una escala real, la cual se ajusta más para la PTAP de Tenjo Cundinamarca, donde se implementa una aireación seguido de una filtración, contando este último con una remoción de alrededor del 92% según proyectos realizados anteriormente» [69]. En el caso de eliminar el hierro presente en el agua de retrolavado, se consideraría implementar un sistema de aireación y filtración después del tanque de retrolavado ya que implementar el método de oxidación con hipoclorito de sodio tiene un costo más elevado para implementar en una escala real de tratamiento, así implementando el método de aireación, se evaluaría el cumplimiento de este metido con la normatividad vigente y asi poder verter el agua de retrolavado al efluente más cercano a la planta, disminuyendo el impacto ambiental que estas aguas traen.

3.2.6.b análisis de agua tratada para potabilizar. Respecto a los análisis del agua tratada para su debida potabilización, este a diferencia de la indagación del agua para vertimientos, se tiene en cuenta la resolución 2115 de 2007 del Ministerio de la Protección Social, Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, la cual describe los valores máximos permisibles para tratar el agua cruda para su consumo humano, en donde según los datos arrojados por el laboratorio de Hidrolab Ltda. se observa un incumplimiento en los siguientes parámetros.

**Tabla 52.**

*Análisis agua tratada para potabilización*

| Parámetro                                   | Unidad de Medida | Promedio de Resultados laboratorio HIDROLAB. LTDA | RESOLUCIÓN 2115 de 2007 |
|---|------------------|---|-------------------------|
| <b>Físico</b>                               |                  |   |                         |
| pH  | Unidad de pH     | 0,56  | 6,5-9,0                 |
| Color aparente                              | Pt-Co            | 5   | 15                      |
| Turbidez                                    | NTU              | 0,46  | 2                       |
| Sólidos suspendidos totales                 | mg/L             | <20   | No especificado         |
| Conductividad                               | us/cm            | 67000   | 1000                    |
| <b>Microbiológicos</b>                      |                  |   |                         |
| Coliformes termotolerantes                  | UFC/100mL        | <1  | 0                       |
| <b>Metales</b>                              |                  |   |                         |
| Hierro                                      | mg Fe/L          | 8.2   | 0.3                     |
| <b>Otros</b>                                |                  |   |                         |
| Demanda Bioquímica de oxígeno 5 días (DBO5) | mgO2 /L          | <2  | No especificado         |

**Tabla 52.** (Continuación)

|   |                     |       |                 |
|---|---------------------|-------|-----------------|
| <b>Demanda química de oxígeno (DQO)</b> | mgO <sub>2</sub> /L | 15,33 | No especificado |
|---|---------------------|-------|-----------------|

**Nota.** La tabla represente la comparación de los resultados arrojados por el laboratorio Hidrolab Ltda. con la resolución 2115 de 2007 disponiendo el agua de retrolavado para su potabilización. Fuente propia.

Como se observa en la (tabla 52) los parámetros de pH, Conductividad, Coliformes termotolerantes y Hierro, no se encuentran dentro de los rangos establecidos por la ley, sin embargo, para llevar a cabo la correcta potabilización de estas aguas para el consumo humano, es necesario contar con un debido tratamiento los cuales se explicarán a continuación.

Primeramente, para la neutralización del pH del agua de retrolavado tratada y como se detalló anteriormente, se realizó un balance de materia en el cual se tiene que disponer con 2.217,83 litros de hidróxido de sodio para neutralizar 198.000 litros de agua de retrolavado, para así llevar el pH a un valor de 7 o en un rango cercano a este.

Seguidamente la conductividad es un valor elevado al imite máximo permisible ya que, debido a la neutralización del pH con hidróxido de sodio, se crean grandes cantidades de sulfato de sodio, provenientes de la reacción del hidróxido de sodio con el ácido sulfúrico ya presente en el agua de retrolavado, por ello la presencia de esta sal, la cual es la cómplice del elevado valor respecto a la conductividad. Ahora bien, para la disminución de la conductividad del agua, se realizan métodos de tratamientos, entre ellos se encuentra la osmosis inversa la cual es muy utilizada y se implementa para eliminar moléculas divalentes presentes en el agua, aunque por falta de mayor rigurosidad de tratamiento no se garantiza la suficiente reducción.

Respecto al tratamiento de los coliformes presentes en el agua, hay que tener presente que el agua de retrolavado se realiza su adecuamiento antes del proceso de cloración por lo tanto al recircular esta agua tratada de nuevo a la planta de tratamiento, esta finalmente pasa a un proceso de desinfección, lo cual elimina cualquier rastro de partículas biológicas.

Finalmente, para la eliminación de partículas de hierro presentes en el agua y como se describió anteriormente, es viable implementar un proceso de aireación y seguidamente una filtración, sin embargo, en el momento de recircular el agua de retrolavado tratada, esta se puede recircular a la torre de aireación de coque de las plantas para nuevamente tratar el agua y así eliminar las posibles partículas hierro presentes en esta.

Así con todas las especificaciones anteriormente mencionadas, se puede estimar el cumplimiento de los valores límites permisibles por la resolución 2115 de 2007 del Ministerio de la Protección Social, Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial.

### **3.2.7 Comparación de la propuesta de mejora con respecto a otros coagulantes**

De acuerdo a la gran demanda de agua empleada diariamente en nuestros hogares, industrial y comercial, el ser humano ha despertado en observar desequilibrio del uso no racional, todo causado por gastos en exceso e innecesarios, vertiéndose en otras fuentes hídricas afectando ecosistemas causando agotamiento y contaminación hídricas. Viendo la necesidad de generar estrategias alternativas para rescatar uso inadecuado hídrico el ser humano empezó a gestionar el empleo de los coagulantes inorgánicos y orgánicos para la remoción de partículas coloidales (bentonitas, arcillas, materia orgánica y inorgánica, hierro entre otros compuestos). Observando primero el uso de los coagulantes orgánicos como los siguientes:

**Tabla 53.**

*Ventajas y desventajas del uso de coagulantes inorgánicos*

| <b>Coagulante convencional</b> | <b>Ventajas</b>  | <b>Desventajas</b>   | <b>pH</b> | <b>Referencias Bibliográficas</b> |
|--------------------------------|--|--|-----------|-----------------------------------|
| Sulfato Ferroso                | Fuente más económica de hierro .<br>No es tan sensible al pH como la cal | Debe utilizarse en combinación con cal.<br>Sólo tiene efectividad sobre los límites del pH | 9,5       | L. D. ZUÑIGA [73]                 |

**Tabla 53.** (Continuación)

|  |  |   |                |  |
|--|--|---|----------------|--|
| <p>Sulfato de Aluminio</p>             | <p>Menor precio en el mercado.<br/>         menos ácida (se sigue recomendando un equipo de protección se recomienda).<br/>         Eficiente en reducción de turbidez y color.</p>  | <p>Menor eliminación de carbono orgánico disuelto.<br/>         Riesgo de salud.<br/>         Gran generación de volúmenes de lodos.<br/>         Requiere suministro de químicos externos para eliminación de precipitados</p> | <p>5,5-8,5</p> | <p>P. F. R. Administration [74]</p>        |
| <p>Sulfato Férrico/Cloruro Ferrico</p> | <p>Las sales férricas son mejores que las sales de aluminio en la eliminación de materia orgánica.<br/>         No es tan sensible a las altas temperatura<br/>         Flóculos más grandes que con los del aluminio.</p> | <p>Agua purificada con menos capacidad de amortiguación<br/>         Adición de productos químicos para estabilización<br/>         Control de corrosión.</p>   | <p>4,5-6</p>   | <p>M. Sillanpää and A. Matilainen [75]</p> |
| <p>Cloruro aluminio</p>                | <p>Facil manipulacion.<br/>         Mejor remoción de turbidez que con sales férricas.<br/>         Mayor eficiencia en la remocion de color</p>   | <p>Residuos de contaminantes altos.<br/>         Aumento de la enfermedad de Alzheimer.<br/>         Alta alcalinidad de consumo.<br/>         Aumento de corrosividad.<br/>         Aumento en los constituyentes.</p>         | <p>5-6,5</p>   | <p>M. Sillanpää and A. Matilainen [75]</p> |

**Tabla 53.** (Continuación)

|                    |   |  |           |                       |
|--------------------|---|--|-----------|-----------------------|
| Aluminato de Sodio | Eficiencia en agua turbias.<br>Uso de pequeña dosis | Usualmente usado con aluminio.<br>Altos costos.<br>Baja efectividad en aguas menos turbias | pH ácidos | Toprak Home Page [76] |
|--------------------|---|--|-----------|-----------------------|

**Nota.** descripción de cómo los coagulantes inorgánicos más empleados industrialmente actúan con respecto al pH, requerimientos y principal uso.

Observando que estos coagulantes convencionales presenta gran variabilidad de acuerdo al pH de agua a tratar, recurso económico, facilidad de manipulación entre otros ventajas a destacar observados en la (tabla 53), en relación al coagulante empleado alginato de sodio este presenta grandes diferencias con respecto a los convencionales debido a que este es ingerido mediante alimentos y hasta ahora no he despertado ningún problema neurodegenerativo, cancerígeno y repercusiones en la salud humana, debido a que el alginato de sodio es de especie vegetal siendo un coagulante proteico soluble en el agua. Asimismo, presenta otras ventajas con respecto a otros coagulantes destacando que tiene eficiencia de actuar independiente, de presentar menos volúmenes de lodos, efectividad en aguas turbias y menos turbias.

Además, se han desarrollado numerosas investigaciones alrededor del mundo de la actividad natural de especies vegetal o animal con presencia de proteínas, polisacáridos y carbohidratos solubles. En donde fueron elaboradas en pruebas de jarras (revoluciones rápidas, lentas y sedimentaciones de 30 minutos) arrojando porcentajes de reducción de contaminantes considerables todo con el fin de uso reusó industrial y potable, sin embargo, no se ha desarrollado una estrategia para que estas aguas sean empleada para el uso potable con las normativas de >2 NTU, sin embargo, arrojan porcentajes de remoción de contaminantes considerables observados en la siguiente tabla:

**Tabla 54.**

*Actividad de coagulantes naturales para uso residual*

| Especie vegetal/ animal | Partes utilizadas | Agente coagulante | Dosis coagulante (mg/l) | pH      | Porcentaje de reducción de contaminantes |       |        |          | Referencias Bibliográficas  |
|-------------------------|-------------------|-------------------|-------------------------|---------|--|-------|--------|----------|---|
|                         |                   |                   |                         |         | Turbidez                                 | Color | TSS    | Coliform |   |
| Banano en polvo         | Cáscara           | Proteína          | 400                     | 7.73    | 59.6%                                    |       | 66,66% |          | S. Maurya and A. Daverey [77]                                       |
| Polvo Moringa oleifera  | Semilla           | Proteína          | 2000                    | 7.53    | 97,4%                                    | 97,5% | 98,1%  | >99%     | R. A. Kwabena Ntibrey, F. A. Kuranchie, and S. F. Gyasi (2020) [78] |
| Opuntia ficus-indica    | Mucílago          | Polisacárido      | 75                      | 7.5-7.9 | 70%                                      | 50%   |        |          | Á. V. Ortiz, I. Cristina, P. Astudillo, and J. M. García [80]       |

**Nota.** Acción coagulante para tratamiento de aguas residuales empleado de procedencia vegetal y animal, con sus respectivas características y porcentaje de reducción de contaminantes con alta y baja turbidez. Fuente propia.

Donde la (Tabla 54) se destaca trabajos como el empleo del polvo Moringa oleifera por autores R. A. Kwabena Ntibrey, F. A. Kuranchie, and S. F. Gyasi (2020), dado a los altos porcentajes de remoción de 97,4% de turbidez, 97,5% de color y >99% de coliformes donde estos concluyeron que el factor de tiempo de sedimentación influye en la coagulación,asimismo se puede apreciar la importancia de los residuos organicos como lo es la cascara de banano en trabajos de S. Maurya y A. Daverey y artículos colombiano por la Universidad de los Andes en la utilización de la semilla del cactus Opuntia ficus-

indica, presentando grandes semejanzas con el uso del alginato de sodio sin realizar ningún alteración del pH del alginato de sodio.

De igual forma se realizó relación el uso de coagulantes naturales para el uso el tratamiento de agua potable observando los siguientes resultados:

**Tabla 55.**

*Actividad de coagulantes naturales para uso de agua potable*

| Especie vegetal/ animal | Dosis coagulante (mg/l) | pH  | Porcentaje de reducción de contaminantes | Turbidez inicial | Turbidez final | Referencias Bibliográficas                             |
|-------------------------|-------------------------|-----|--|------------------|----------------|--|
|                         |                         |     | Turbidez                                 |                  |                |  |
| Opuntia ficus-indica    | 200                     | 8   | 98%                                      | 180              | 5-7            | S. Maurya and A. Daverey [81]                          |
| Moringa Oleifera        | 55                      | 6.4 | 88.7%                                    | 29               | 3,2            | . I. Gandiwa, L. B. Moyo, S. Ncube, T. A. Mamvura [82] |
| Semilla de papaya       | 300                     | 3   | 99.92%                                   | 1235             | 7.11           | D. Suprawito, M. Razif, and M. N. Kusuma [83]          |

**Nota.** Acción coagulante para tratamiento de aguas residuales empleado de procedencia vegetal y animal, con su actividad a distintos pH y reducción de turbidez con alta y bajas turbidez. Fuente propia.

Interpretando los datos de la (tabla 55) resaltan la importancia de estudio de los factores de pH y dosis de coagulante con respecto a las variables de respuesta (remoción de parámetros turbidez, color, Sólidos suspendidos totales, E.Coli, coliformes totales entre otros). A Partir de estos estudios se observa que el alginato de sodio presenta ventajas

en cuanto a la pre-experimentación con respecto a estudio de la semilla *Opuntia ficus-indica* y papaya, además, se observa que la utilización de pH ácido durante estudios de D. Suprawito, M. Razif, and M. N. Kusuma y A. Hassan, M. Ariffin, S. H. Lim, and Z. Z. Noor es importante debido a que las cadenas polisacáridos de los coagulantes son completamente protonados, dando la formación de flóculos más rápidos, largos y fácilmente descenden. Con respecto a la RESOLUCIÓN 2115 de 2007 de Colombia de turbidez menor a 2, el alginato de sodio en los presentes estudios no obtuvieron este resultado final para procesos de procedentes de agua, sin embargo estas sugiriendo se restablezca su pH a la neutralidad y se realice proceso de filtración normal o doble luego de la coagulación, como es sugerido en los procesos por los autores R. A. Kwabena Ntibrey, F. A. Kuranchie, and S. F. Gyasi y D. Suprawito, M. Razif, and M. N. Kusuma

## **4 COSTOS DE IMPLEMENTACION DEL TRATAMIENTO SELECCIONADO**

Durante el siguiente capítulo financiero se realizará una comparación entre la implementación de la propuesta de mejora en la unidad de tratamiento de agua de retrolavado según su costo de inversión, con respecto a la compra de equipos, insumos químicos, energía eléctrica y mano de obra encargada de la administración de suministro y control al momento de realizar la coagulación con el alginato de sodio. Donde se desarrolló el CAPEX, que está relacionado con todos los gastos de inversión y OPEX, con respecto a los gastos de operación.

Cabe aclarar que únicamente se tendrá en cuenta la realización de un análisis de costos y no de flujo de caja debido a que la empresa encargada hoy en día del tratamiento del agua de retrolavado EMSERTENJO E.S.P. por temas de confidencialidad, no otorga este tipo de información por lo cual se limita realizar un análisis completo de los diferentes escenarios económicos.

### **4.1 Situación financiera actual**

Con respecto a la situación financiera actual de la empresa EMSERTENJO ESP. solo se tienen en cuenta los gastos operacionales (OPEX).

#### ***4.1.1 Cálculo de OPEX***

Los gastos operacionales actuales se muestran en la tabla 40, estos datos fueron suministrados por la empresa.

**Tabla 56.**

*Implementación Opex actual*

| Ítem         |                         | Unidad | Consumo mensual | Consumo anual | Costo unitario | Costo mensual   | Costo anual      |
|--------------|-------------------------|--------|-----------------|---------------|----------------|-----------------|------------------|
| Insumos      | Hipoclorito de sodio    | Kg     | 100             | 3000          | \$ 2.075,00    | \$ 6.225.000,00 | \$ 74.700.000,00 |
|              | Policloruro de Aluminio | Kg     | 300             | 3600          | \$ 2.850,00    | \$ 855.000,00   | \$ 10.260.000,00 |
|              | Geomembrana             | unidad | 2               | 24            | \$ 400.000,00  | \$ 800.000,00   | \$ 9.600.000,00  |
| Servicios    | Transporte              | \$     | 3               | 3             | \$ 350.000,00  | \$ 1.050.000,00 | \$ 12.600.000,00 |
|              | Energía eléctrica       | kWh    | 15,24           | 457,26        | \$ 534,48      | \$ 244.394,45   | \$ 2.932.733,40  |
| Mano de Obra | Sueldo Básico           | \$     | 3               | 3             | \$ 971.073,00  | \$ 2.913.219,00 | \$ 34.958.628,00 |
|              | Auxilio transporte      | \$     | 3               | 3             | \$ 106.454,00  | \$ 319.362,00   | \$ 3.832.344,00  |

**Tabla 56.** (Continuación)

|                    |                          |    |   |   |               |                        |                         |
|--------------------|--------------------------|----|---|---|---------------|------------------------|-------------------------|
|                    | <b>Salud</b>             | \$ | 3 | 3 | \$ 82.541,21  | \$ 247.623,62          | \$ 2.971.483,38         |
|                    | <b>Pensión</b>           | \$ | 3 | 3 | \$ 116.528,76 | \$ 349.586,28          | \$ 4.195.035,36         |
|                    | <b>SENA</b>              | \$ | 3 | 3 | \$ 19.421,46  | \$ 58.264,38           | \$ 699.172,56           |
|                    | <b>ICBF</b>              | \$ | 3 | 3 | \$ 29.132,19  | \$ 87.396,57           | \$ 1.048.758,84         |
|                    | <b>CCF</b>               | \$ | 3 | 3 | \$ 38.842,92  | \$ 116.528,76          | \$ 1.398.345,12         |
|                    | <b>Prima de servicio</b> | \$ | 3 | 3 | \$ 485.536,50 | \$ 1.456.609,50        | \$ 17.479.314,00        |
|                    | <b>Cesantías</b>         | \$ | 3 | 3 | \$ 128.732,83 | \$ 386.198,49          | \$ 4.634.381,88         |
|                    | <b>Interés Cesantías</b> | \$ | 3 | 3 | \$ 15.447,94  | \$ 46.343,82           | \$ 556.125,83           |
|                    | <b>Vacaciones</b>        | \$ | 3 | 3 | \$ 582.643,80 | \$ 1.747.931,40        | \$ 20.975.176,80        |
|                    | <b>Riesgos laborales</b> | \$ | 3 | 3 | \$ 23.655,34  | \$ 70.966,01           | \$ 851.592,18           |
|                    | <b>Parafiscales</b>      | \$ | 3 | 3 | \$ 139.030,88 | \$ 417.092,64          | \$ 5.005.111,68         |
|                    | <b>Elementos de Aseo</b> | \$ | 1 | 1 | \$ 200.000,00 | \$ 200.000,00          | \$ 200.000,00           |
| <b>TOTAL ANUAL</b> |                          |    |   |   |               | <b>\$17.591.516,92</b> | <b>\$211.098.203,02</b> |

**Nota.** Gastos actuales de operación y mantenimiento.

En vista de la tabla Tabla 43 se presenta una utilización diaria en peso (kg) de 10 kg por policloruro de Aluminio (PAC) siendo la cantidad necesaria por tratamiento para la desestabilización de cargar coloidales del agua cruda, actuando esta como principal

coagulante durante el tratamiento de la empresa. Con respecto a la parte de desinfección de partículas orgánicas disueltas o bacterias se utilizan 100 kg de hipoclorito de sodio al 15% por cada 193 m<sup>3</sup> a tratar, con un costo mensual total de \$74.700.000. Seguidamente se tuvieron en cuenta los costos de servicios, implicando todo a lo relacionado al consumo de energía eléctrica por kwh, regulado por ENEL-CODENSA, empresa multinacional encargada de la distribución de energía eléctrica en Cundinamarca presentando un consumo de \$534,48 KWh. dónde incluye gasto por de energía de las bombas que realiza la dosificación de insumos y transporte de los operarios a los diferentes puntos de captación de agua cruda.

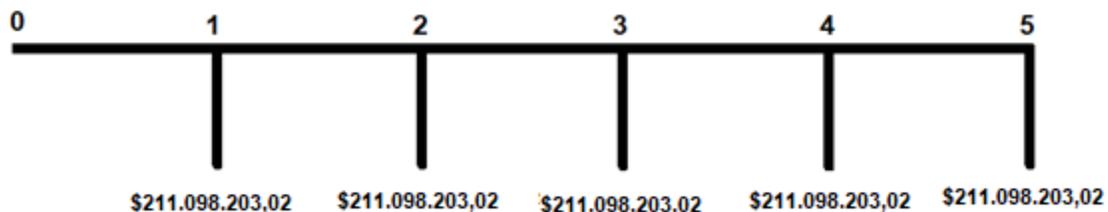
Para el desarrollo de la gestión de lodos procedentes de los filtros de arena y en el cumplimiento de la regularización de la planta de tratamiento de agua potable se cuenta con un total de 3 operarios con turnos rotativos, asignados con un salario básico por operario mensual y anual de \$971.073 y \$34.958.628 respectivamente teniendo presente sus prestaciones de servicios.

#### 4.1.2 Flujo de caja actual.

Respecto a los gastos operacionales mostrados en la tabla anterior, se procede a elaborar el flujo de caja actual para la empresa proyectado a 5 años.

#### Figura 50.

*Flujo de caja actual*



**Nota.** Basado a 5 años de la situación actual de la empresa.

Seguidamente se procede a calcular la tasa de interés de oportunidad (TIO), la cual es la tasa mínima que se determina para hallar el valor actual neto de los flujos futuros de caja del proyecto. [73]

### **Ecuación 12.**

*Tasa interna de oportunidad*

$$TIO = (1 + DTF) * (1 + Tasa de riesgo) - 1$$

Donde:

DTF: Depósito a término fijo en Colombia = 1,88%

Tasa de riesgo: determinada para el proyecto = 5%

$$TIO = (1 + 0,0188) * (1 + 0,05) - 1 = \mathbf{0,0697 = 6,97\%}$$

Seguidamente se procede a calcular el valor presente (VP), el cual es el valor que tiene a día de hoy un dinero que será recibido en el futuro. [74]

### **Ecuación 13.**

*Valor presente*

$$Vp = \sum_{i=1}^n \left( \frac{FNn}{(1 + TIO)^n} \right)$$

Donde:

FN: Flujo neto anual

n: Numero de periodos (años)

$$Vp = \frac{\$211.098.203,02}{(1+0,0697)} + \frac{\$211.098.203,02}{(1+0,0697)^2} + \frac{\$211.098.203,02}{(1+0,0697)^3} + \frac{\$211.098.203,02}{(1+0,0697)^4} + \frac{\$211.098.203,02}{(1+0,0697)^5}$$

$$Vp = \mathbf{\$866.240.010}$$

Obtenido el valor presente, finalmente se calcula el costo anual equivalente (CAUE), «este indicador es empleado para la evaluación de proyectos de inversión y corresponde a todos los ingresos y desembolsos convertidos en una cantidad anual uniforme equivalente que es la misma cada período.» [75]

#### **Ecuación 14.**

*Costo anual uniforme equivalente*

$$CAUE = \frac{Vp}{\frac{(1 + TIO)^n - 1}{TIO * (1 + TIO)^n}}$$

$$CAUE = \frac{\$866.240.010}{\frac{(1 + 0,0697)^5 - 1}{0,0697 * (1 + 0,0697)^5}}$$

$$CAUE = \$211.098.203$$

## **4.2 Situación financiera con la propuesta de mejora**

Respecto a la situación financiera para la implementación de la propuesta de mejora para la PTAP se debe tener en cuenta tanto los gastos de inversión (CAPEX) como los gastos operacionales (OPEX), los cuales se presentan a continuación.

### **4.2.1 Cálculo del CAPEX.**

Los gastos de inversión conciernen a la adquisición de equipos y materiales propuestos anteriormente para el desarrollo de este proyecto.

**Tabla 57.***Costo de inversión para la propuesta de mejora*

| Ítem                               | #  | Costo Unitario   | Costo total      |
|------------------------------------|----|------------------|------------------|
| <b>Equipos especializados</b>      |    |                  |                  |
| Bomba dosificadora                 | 1  | \$ 3.603.337,00  | \$ 3.603.337,00  |
| Agitador para coagulante           | 2  | \$ 8.178.771,00  | \$ 16.357.542,00 |
| Medidor multiparametro de mesa 910 | 1  | \$ 1.725.500,00  | \$ 1.725.500,00  |
| Turbidimetro - AQ3010 ORION        | 1  | \$ 3.616.558,43  | \$ 3.616.558,43  |
| Equipo Prueba de jarras 6 puestos  | 1  | \$ 9.655.859,88  | \$ 9.655.859,88  |
| Balanza analítica - GF 224A        | 1  | \$ 3.023.957,36  | \$ 3.023.957,36  |
| Espectrofotómetro - Genesys 30     | 1  | \$ 14.815.500,00 | \$ 14.815.500,00 |
| Bomba dosificadora                 | 1  | \$ 3.603.337,00  | \$ 3.603.337,00  |
| <b>Materiales de Laboratorio</b>   |    |                  |                  |
| Beaker (1000ml)                    | 6  | \$ 10.440,00     | \$ 62.640,00     |
| Beaker (100ml)                     | 1  | \$ 23.400,00     | \$ 23.400,00     |
| Pipeta                             | 3  | \$ 5.004,00      | \$ 15.012,00     |
| Vidrio de reloj                    | 1  | \$ 4.704,00      | \$ 4.704,00      |
| Balon aforado 1L                   | 1  | \$ 86.400,00     | \$ 86.400,00     |
| Espátula                           | 2  | \$ 6.043,00      | \$ 12.086,00     |
| Pipeta Pasteur 3 ml                | 10 | \$ 298,00        | \$ 2.980,00      |
| <b>TOTAL</b>                       |    |                  | \$ 52.798.254,67 |

**Nota.** La tabla representa el costo de inversión de diferentes equipos para la aplicación de la propuesta de mejora. Fuente propia.

#### **4.2.2 Cálculo de OPEX.**

Dentro del cálculo de los gastos operacionales aplicando la propuesta de mejora en cuanto a las materias primas, se toma como referencia los costos entregados por cada uno de los proveedores con las cantidades a dosificar expuestas anteriormente.

Respecto al aumento del consumo de energía eléctrica se calcula la potencia de los motores para las bombas dosificadoras, así mismo el consumo de los agitadores para el coagulante, el floculador, la balanza analítica y el espectrofotómetro, los cuales representan un consumo significativo en el tratamiento, por otro lado, el consumo del pH metro, turbidímetro y conductímetro no se toman en cuenta ya que estos funcionan con baterías AA y funcionan por un periodo muy corto de tiempo.

**Tabla 58.**

*Consumo de energía*

| Ítem                                      | # | Consumo Energía (kW/h) | Tiempo de uso por día (h) | Consumo por día (kW/h) | Consumo por mes (kW/h) |
|---|---|------------------------|---------------------------|------------------------|------------------------|
| <b>Equipos especializados</b>             |   |                        |                           |                        |                        |
| <b>Bomba dosificadora</b>                 | 1 | 1,8                    | 4                         | 7,2                    | 216                    |
| <b>Agitador para coagulante</b>           | 2 | 5,5                    | 1                         | 11                     | 330                    |
| <b>Medidor multiparametro de mesa 910</b> | 1 | 0,7                    | 0,25                      | 0,17                   | 5,2                    |
| <b>Equipo Prueba de jarras 6 puestos</b>  | 1 | 0,92                   | 0,5                       | 0,46                   | 13,8                   |
| <b>Balanza analítica - GF 224A</b>        | 1 | 0,47                   | 0,15                      | 0,07                   | 2,11                   |
| <b>TOTAL</b>                              |   |                        |                           | <b>18,9037</b>         | <b>567,11</b>          |

**Nota.** Cálculos basados mediante bibliografías y anexos.

$$\text{Consumo adicional} = 567,11 \frac{kW}{h}$$

$$\text{Aumento de eneria electrica} = 567,11 \frac{kW}{h} + 457,26 \frac{kW}{h} = 1.024,37 \frac{kW}{h}$$

Respecto a los gastos de transporte, mano de obra y elementos de aseo se mantienen constantes con la implementación de la propuesta de mejora. Todos los costos operacionales previamente mencionados se reflejan detalladamente en la siguiente tabla.

**Tabla 59.***Implementación Opex para la mejora*

| Ítem             |                       | Unidad | Consumo diario | Consumo mensual | Costo unitario | Costo mensual      | Costo anual       |
|------------------|-----------------------|--------|----------------|-----------------|----------------|--------------------|-------------------|
| Insumos Químicos | Alginato de Sodio     | Kg     | 10,86          | 325,8           | \$ 90.000,0    | \$ 29.322.000,00   | \$ 351.864.000,00 |
|                  | Ácido Sulfúrico 97%   | Lt     | 1544           | 46320           | \$ 30.533,0    | \$ 1.414.288.560   | \$ 16.971.462.720 |
|                  | Hidróxido de sodio 1M | Lt     | 2217,83        | 66534,9         | \$ 73.780,0    | \$4.908.944.922,00 | \$58.907.339.064  |
| Servicios        | Transporte            | \$     | 3              | 3               | \$350.000,00   | \$ 1.050.000,00    | \$ 12.600.000,00  |
|                  | Energía eléctrica     | kWh    | 18,90          | 567,11          | \$ 534,48      | \$ 303.106,63      | \$ 3.637.279,53   |
|                  | Sueldo Básico         | \$     | 3              | 3               | \$971.073,00   | \$ 2.913.219,00    | \$ 34.958.628,00  |
|                  | Auxilio transporte    | \$     | 3              | 3               | \$106.454,00   | \$ 319.362,00      | \$ 3.832.344,00   |

**Tabla 59.** (Continuación)

|                     |                          |    |   |   |              |                     |                     |
|---------------------|--------------------------|----|---|---|--------------|---------------------|---------------------|
| <b>Mano de Obra</b> | <b>Salud</b>             | \$ | 3 | 3 | \$ 82.541,21 | \$ 247.623,62       | \$ 2.971.483,38     |
|                     | <b>Pensión</b>           | \$ | 3 | 3 | \$116.528,76 | \$ 349.586,28       | \$ 4.195.035,36     |
|                     | <b>SENA</b>              | \$ | 3 | 3 | \$ 19.421,46 | \$ 58.264,38        | \$ 699.172,56       |
|                     | <b>ICBF</b>              | \$ | 3 | 3 | \$ 29.132,19 | \$ 87.396,57        | \$ 1.048.758,84     |
|                     | <b>CCF</b>               | \$ | 3 | 3 | \$ 38.842,92 | \$ 116.528,76       | \$ 1.398.345,12     |
|                     | <b>Prima de servicio</b> | \$ | 3 | 3 | \$485.536,50 | \$ 1.456.609,50     | \$ 17.479.314,00    |
|                     | <b>Cesantías</b>         | \$ | 3 | 3 | \$128.732,83 | \$ 386.198,49       | \$ 4.634.381,88     |
|                     | <b>Interés Cesantías</b> | \$ | 3 | 3 | \$ 15.447,94 | \$ 46.343,82        | \$ 556.125,83       |
|                     | <b>Vacaciones</b>        | \$ | 3 | 3 | \$582.643,80 | \$ 1.747.931,40     | \$ 20.975.176,80    |
|                     | <b>Riesgos laborales</b> | \$ | 3 | 3 | \$ 23.655,34 | \$ 70.966,01        | \$ 851.592,18       |
|                     | <b>Parafiscales</b>      | \$ | 3 | 3 | \$139.030,88 | \$ 417.092,64       | \$ 5.005.111,68     |
|                     | <b>Elementos de Aseo</b> | \$ | 1 | 1 | \$200.000,00 | \$ 200.000,00       | \$ 2.400.000,00     |
| <b>TOTAL ANUAL</b>  |                          |    |   |   |              | \$ 6.362.325.711,10 | \$76.347.908.533,16 |

**Nota:** Costo de mantenimiento y operación con la propuesta de mejora. Fuente propia.

Con respecto a la Tabla 46 se presenta la implementación de la propuesta de mejora por los siguientes insumos químicos: alginato de sodio, Ácido sulfúrico 97% y Hidróxido de

Sodio 1M. Dando una utilización diaria en peso de 10,86 kg por tratamiento de Alginato de sodio a una dosis de 55 mg/L calculado según la Ecuación 7, donde se acidifica hasta un valor de 1 con 1544 Lt y neutralización de pH con un total de 2217,83 Lt por cada 193 m<sup>3</sup> tratado en la planta, en el que tiene un costo mensual de \$ 29.322.000,00, \$ 1.414.288.560 y \$4.908.944.922,00 respectivamente, donde los tres tienen un costo total anual de su implementación de \$76.230.665.784.

Presentando además, costo de servicios implicando todo a lo relacionado con costos de servicios de energía eléctrica por kwh con respecto a la Tabla 45, donde está influenciado una bomba dosificadora encargada de bombear el coagulante, ácido y base, presentando un costo mensual de 567,11 kwh y además relacionando los costos de transporte de insumos.

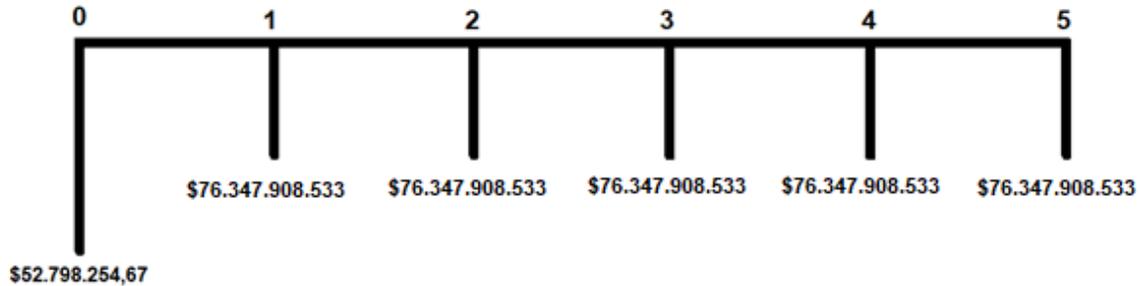
Para el desarrollo de la gestión de lodos procedentes de los filtros de arena y regularización de la planta de tratamiento de agua potable se contará con un total de 3 operarios con rotación de turnos. Donde el salario básico por operario es de \$971.073 mensual y anual por los tres de un total \$34.958.628 teniendo presente sus prestaciones de servicios.

#### ***4.2.3 Flujo de caja con la propuesta de mejora.***

De acuerdo a los datos de los gastos de inversión y costos operacionales, se procede a elaborar el flujo de caja con la implementación de la propuesta de mejora para la empresa de EMSERTENJO proyectada a 5 años.

**Figura 51.**

*Flujo de caja con la propuesta de mejora*



**Nota.** Basado a 5 años para la propuesta de mejora.

De igual manera la tasa interna de oportunidad (TIO) se mantiene igual con la implementación de la propuesta para así calcular el valor presente (VP) el cual se le debe incluir el valor de la inversión anteriormente calculada.

$$Vp = \frac{76.347.908.533}{(1+0,0697)} + \frac{76.347.908.533}{(1+0,0697)^2} + \frac{76.347.908.533}{(1+0,0697)^3} + \frac{76.347.908.533}{(1+0,0697)^4} + \frac{76.347.908.533}{(1+0,0697)^5}$$

$$Vp = \$313.293.112.400$$

Ya calculado el valor presente, seguidamente se procede a calcular el costo anual uniforme equivalente (CAUE).

$$CAUE = \frac{313.293.112.400}{\frac{(1 + 0,0697)^5 - 1}{0,0697 * (1 + 0,0697)^5}}$$

$$CAUE = \$76.347.908.530$$

#### **4.2.4 Precio por metro cubico de agua tratada**

Conocido el costo operacional con la implementación de la propuesta de mejora con alginato de sodio, se procedió a determinar el costo por metro cubico de agua de retrolavado tratada, la cual ve a continuación en la siguiente ecuación.

### Ecuación 15.

*Costo por metro cubico de agua tratada*

$$\text{Costo metro cubico} = \text{Costo operacion mensual} * \frac{1 \text{ mes}}{30 \text{ dias}} * \frac{1\text{m}^3}{\text{agua tratada}}$$

$$\text{Costo metro cubico} = \$ 6.362.325.711,10 * \frac{1 \text{ mes}}{30 \text{ dias}} * \frac{1\text{m}^3}{207,37 \text{ m}^3}$$

$$\text{Costo metro cubico} = \$1'022.701 \text{ pesos colombianos}$$

### 4.3 Comparación costos totales

Respecto a los resultados anteriormente calculados, se realiza una comparación entre la situación actual y la situación posible futura como se representa en la siguiente tabla.

**Tabla 60.**

*Comparación costos actuales y costos de implementación de la propuesta*

| <b>Indicador</b> | <b>Costos Actuales</b> | <b>Costos Futuros</b> |
|------------------|------------------------|-----------------------|
| <b>CAPEX</b>     | -                      | \$ 52.798.254,67      |
| <b>OPEX</b>      | \$ 211.098.203,02      | \$ 76.347.908.533,16  |
| <b>TIO</b>       | 0,07                   | 0,06                  |
| <b>VP</b>        | \$ 866.240.010         | \$ 313.293.112,400    |
| <b>CAUE</b>      | \$ 211.098.203         | \$ 76.347.908,530     |

**Nota.** Costos de operaciones.

Así mismo es necesario evaluar la diferencia de costos anuales para ambas situaciones.

## Ecuación 16.

### *Diferencia costos anuales*

$$\text{Diferencia costos anuales} = |\text{CAUE actual} - \text{CAUE con la propuesta de mejora}|$$

$$\text{Diferencia costos anuales} = |\$211.098.203 - \$76.347.908.530|$$

$$\text{Diferencia costos anuales} = -\$76.136.810,330$$

Se puede observar que el costo anual con la implementación de la propuesta de mejora es mayor en comparación al costo anual actual de la PTAP, esto es debido a los costos de inversión iniciales, el aumento de los reactivos y la energía eléctrica, lo cual quiere decir que financieramente el proyecto no es viable. Sin embargo, es de tener en cuenta que el financiamiento de este proyecto tiene ventajas en el aumento del abastecimiento de agua potable a la comunidad y aparte de disminuir el impacto ambiental.

#### **4.4 Establecer propuesta de mejora en condiciones de uso potable**

En búsqueda de normalizar el agua tratada a la RESOLUCIÓN 2115 de 2007 para agua potable, sus costos varían según su inversión física y química en donde se buscó una estabilización del alginato de sodio con respecto al problema de acidez, de contenido de hierro y conductividad observándose en la siguiente tabla:

**Tabla 61.**

### *Gastos actuales de operación y mantenimiento*

| <b>Pais</b>       | <b>Costo de año de estudio</b> | <b>Promedio IPC Colombia</b> | <b>Costo actual</b> |
|-------------------|--------------------------------|------------------------------|---------------------|
| Asia (Medio este) | \$1,00 per m3                  | 13,10%                       | \$155,58 per m3     |
| Suramérica(Peru)  | \$0.20 per m3                  | 11,87%                       | \$11,34 per m3      |
| Europa(Holanda)   | \$1.00 per m3                  | 5,38%                        | \$3,37 per m3       |
| Asia(India)       | \$0.15 per m3                  | 9,92%                        | \$2,81 per m3       |

**Tabla 61.** (Continuación)

|              |               |       |               |
|--------------|---------------|-------|---------------|
| Asia (Japon) | \$3.00 per m3 | 4,20% | \$6,29 per m3 |
|--------------|---------------|-------|---------------|

**Nota.** Costos adicionales por metro cúbico para dar cumplimiento a la normativa de la RESOLUCIÓN 2115 de 2007. tomado de: Hugo van Gool, "Wastewater Reuse Water Resources and Environment Technical Note F . 3," p. 31, 2003.

Donde el estudio de la (Tabla 61) resaltan la importancia en continentes orientales, europeo, sur americano y alrededores la importancia crear alternativas para no darle solo un solo uso a los recursos hídricos.

En que son planteados distintas soluciones frente a la propuesta, evaluando que los precios varían según por la cantidad de demanda a tratar, país donde se realice, tecnología en emplear y los promedios de inflación del índice de precios al consumidos en Colombia(IPC) con respecto al costo del año estudiado. Destacando que el menor coste del estudio es de \$2,81 por m<sup>3</sup>, en el que el autor da una solución los problemas de alta turbidez mediante procesos de sedimentación, filtración, intercambio iónico y cloración, a comparación de Medio Este por el cual plantearon una solución por proceso de ósmosis inversa de tratamiento de \$155,58 por m<sup>3</sup>.

#### **4.5 Establecer propuesta de mejora en condiciones de reuso**

Dando cumplimiento a la tabla Tabla 41 de del agua tratada con respecto a los parámetros que incumplen la resolución 631 de 2015 para uso residual para los parámetros de pH, Sólidos suspendidos totales y hierro, se presentó la siguiente tabla con el fin de analizar el costo del momento a establecer completo la mejora:

**Tabla 62.**

*Costos adicionales para la implementación de la propuesta en tratamiento de agua potable.*

| <b>Actividades</b>       | <b>Costo de año de estudio</b>     | <b>Promedio IPC Colombia</b> | <b>Costo actual</b>               |
|--------------------------|------------------------------------|------------------------------|-----------------------------------|
| Riego de jardines        | \$0,15-\$0,56 per m <sup>3</sup>   | 3,58%                        | \$0,18-\$0,66 per m <sup>3</sup>  |
| Uso industrial           | \$0.38-\$0.39 per m <sup>3</sup>   | 3,58%                        | \$0.45-\$0.46 per m <sup>3</sup>  |
| Uso agrícola             | \$0.11-\$0,54 per m <sup>3</sup>   | 3,58%                        | \$0,13- \$0,64 per m <sup>3</sup> |
| Recarga de agua acuífera | \$0,095- \$0,47 per m <sup>3</sup> | 3,58%                        | \$0,095-\$0,56 per m <sup>3</sup> |

**Nota.** Costos adicionales a nivel internacional por metro cúbico para dar cumplimiento a la normativa de la Resolución 631 de 2015. tomado de: G. De Paoli, V. Mattheiss, V. M. Review, and M. Raffin, "Cost, pricing and financing of water reuse against natural water resources," vol. 1, no. 619040, 2016.

Donde la (tabla 62) da a incentivar un adecuado uso a aguas no solamente para volverlas potables si no a otro uso cotidiano para la zona industrial, agrícola, Riego de jardines y Recarga de agua subterránea dando un rango de precio que manejan alrededor del mundo, destacando los costes de inversión y operaciones unitarias.

Presentando costo de menor inversión para uso de la propuesta en Recarga de agua acuíferos a un valor de \$0,095-\$0,56 por m<sup>3</sup> dado que este tratamiento de agua no es empleado para uso consumible, en cuanto al uso del agua tratada para uso agrícola y riego este sería alto presentando costos entre \$0,13- \$0,64 por m<sup>3</sup> y \$0,18-\$0,66 por m<sup>3</sup>

teniendo gran importancia en servir como usos fertilizantes natural en cultivos pero no en exceso y para estaciones de sequía.

#### **4.6 Analisis comparativo de los costos del proceso**

Se decide realizar un análisis de costos del proceso para observar la alternativa de verter el agua de retrolavado posterior a su tratamiento con la propuesta de mejora al efluente cercano a la PTAP o por otro lado tratar esta agua para el consumo del municipio

Cabe aclarar que se tendrá en cuenta las condiciones de tratamiento para cada uno de los casos los cuales fueron presentados en los numerales 3.2.6.a y 3.2.6.b, siendo estos los análisis para verter el agua de retrolavado al cuerpo de agua cercano a la planta y el análisis para tratar esta agua para el consumo humano, cumpliendo esta con los valores máximos permisibles por la ley.

##### ***4.6.1 Costos del proceso para vertimientos***

Para poder verter el agua de retrolavado a un cuerpo de agua, esta primero tiene que cumplir con los rangos permisibles por la resolución 631 de 2015 del Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, donde el agua de retrolavado después de la aplicación de la propuesta de mejora incumple con los parámetros de pH, Solidos suspendidos totales y Hierro. Así mismo los costos para el proceso de vertimiento incluye los costos operacionales con la propuesta de mejora, como insumos, mano de obra y servicios, aparte para cumplir con los parámetros de pH, solidos suspendidos totales y hierro, se tiene que contar con un agente neutralizador de pH, un sedimentador y una torre de aireación con un filtro, respectivamente.

Inicialmente los costos del agente neutralizador de pH no se tienen en cuenta para este caso ya que parte del balance de materia realizado, se contó con el uso de hidróxido de sodio para la neutralización del ácido presente por lo cual esta inversión ya está dentro de los costos de operación con la propuesta de mejora.

Los costos respecto a la implementación de un filtro para el cumplimiento de los sólidos suspendidos totales tampoco se tienen en cuenta ya que la geomembrana al estar ubicada en un proceso después de la coagulación con la propuesta de mejora, esta cumple con la función de retirar el resto de partículas aun presentes en el agua de retrolavado, por lo tanto, los costos de operación respecto a la geomembrana ya están incorporados dentro de la inversión con la propuesta de mejora.

Finalmente, para eliminar los compuestos de hierro presentes en el agua de retrolavado, se tendría que realizar un proceso no convencional de adsorción para cumplir con la normatividad vigente, este proceso utiliza un método de aireación-filtración «el cual ha sido el más utilizado en el mundo y con una alta remoción de compuestos ferrosos, contando este con eficiencias promedio de remoción de hierro del 95 %» [87]

«El proceso de aireación-filtración se recomienda para agua con alta concentración de hierro (mayor de 5 mg/L) con el fin de disminuir los costos en reactivos. El equipo usado en este proceso incluye comúnmente un aireador, un tanque de retención y filtros.» [87] Este proceso es el ideal para retirar los compuestos ferrosos presentes en el agua de retrolavado, ya que según los resultados arrojados por el laboratorio Hidrolab Ltda. la presencia de hierro es de alrededor de 8.2 mg/L, lo cual corrobora el uso del proceso de aireación-filtración para la PTAP de Tenjo Cundinamarca.

Finalmente se contarían con los siguientes costos de inversión del proceso para vertimientos, cumpliendo con los valores máximos permisibles, establecidos por la resolución 631 de 2015 del Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial:

**Tabla 63.**

*Costos de inversión para vertimientos*

| <b>Costos con la propuesta de mejora</b>                 |                      |
|--|----------------------|
| <b>Costos de capital</b>                                 | \$ 52.798.254,67     |
| <b>Costos de operación</b>                               | \$ 76.347.908.533,16 |
| <b>costos de inversión del proceso para vertimientos</b> |                      |
| <b>Costo método Aireación-Filtración</b>                 | \$ 390.591.600       |

**Tabla 63.** (Continuación)

|                           |                      |
|---------------------------|----------------------|
| <b>Total de Inversión</b> | \$ 76.791.298.390,16 |
|---------------------------|----------------------|

**Nota.** la tabla representa los costos con la propuesta de mejora junto con los costos de inversión para el proceso de vertimiento.

El costo del método de aireación-filtración se determinó según la información brindada por diferentes bibliografías y que se relacionaban con el tratamiento de agua, contando este método con la respectiva «cantidad de materiales para el tanque, los accesorios que se necesitan para realizar el tratamiento y la tubería, de acuerdo a las medidas obtenidas para tal construcción y los precios en el mercado de cada elemento, obtenidos en cotizaciones y consultas en páginas de internet de empresas proveedoras de estos mismos.» [88] Así mismo cabe aclarar que los precios de las investigaciones consultadas fueron calculados según la inflación del país a un contexto económico actual.

#### **4.6.2 Costos del proceso para potabilización**

En esta sección se evalúan las condiciones en las que tiene que ser tratada el agua de retrolavado después de aplicar la propuesta de mejora para su debida potabilización y que esta cumpla con la resolución 2115 de 2007 del Ministerio de la Protección Social, Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. En este orden de ideas y teniendo en cuenta que el agua de retrolavado incumple con los parámetros de pH, Conductividad, Coliformes y presencia de hierro, así como se describió en el numeral 3.2.6.b, así mismo este describe el método de tratamiento de cada uno de los factores que incumplen para posicionarlos en un rango permisible por la ley.

Como se describió anteriormente el pH del agua de retrolavado se consideró dentro de los costos de operación con la propuesta de mejora por lo cual no se encuentra dentro de los costos del proceso para potabilización.

Seguidamente para el tratamiento de la conductividad se tiene en cuenta el uso del método de osmosis inversa, este método «se basa en la aplicación de presión sobre una disolución concentrada para forzar el paso de la misma a través de unas membranas

semipermeables. Con ello, se provoca la retención de la mayor parte de las sales disueltas obteniendo un agua con una concentración salina muy inferior a la disolución de partida» [89] .

Respecto al proceso de eliminar los coliformes presentes en el agua, no se tiene en cuenta ya que el proceso de tratamiento de agua de retrolavado ocurre antes de la etapa de desinfección por lo cual esta agua por el momento no ha sido sometida a un proceso de inyección de hipoclorito de sodio.

Finalmente, para la eliminación de los compuestos ferrosos presentes en el agua de retrolavado y considerando que esta es un agua para potabilizar, se puede evaluar la posibilidad de recircular esta agua tratada a las plantas de tratamiento de agua potable, más específicamente en los procesos de aireación-filtración ya que como se describió anteriormente este proceso es el más ideal para eliminar compuestos de hierro presentes en el agua, por lo cual la eliminación de este compuesto no comprometería la inversión de nuevos equipos para su debido tratamiento.

Finalmente se contarían con los siguientes costos de inversión del proceso para vertimientos, cumpliendo con los valores máximos permisibles, establecidos por la resolución 2115 de 2007 del Ministerio de la Protección Social, Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial

**Tabla 64.**

*Costos de inversión para potabilización*

| <b>Costos con la propuesta de mejora</b>                   |                      |
|--|----------------------|
| <b>Costos de capital</b>                                   | \$ 52.798.254,67     |
| <b>Costos de operación</b>                                 | \$ 76.347.908.533,16 |
| <b>costos de inversión del proceso para potabilización</b> |                      |
| <b>Costo método Osmosis inversa</b>                        | \$ 110.409.000       |
| <b>Total Inversión</b>                                     | \$ 76.511.115.790,16 |

**Nota.** la tabla representa los costos con la propuesta de mejora junto con los costos de inversión para el proceso de vertimiento.

El costo del método de osmosis inversa para la desalinización del agua de retrolavado se basó en precios de equipos que se adecuan a este tipo de agua, así mismo se contó con la información brindada por diferentes proyectos de investigación y portales de ventas de empresas especializadas en este tipo de equipos (Anexo M).

#### 4.6.3 Análisis comparativo de los costos de vertimiento y potabilización

Como se evidencio anteriormente en los costos del proceso de vertimiento y potabilización del agua de retrolavado tratada con la propuesta de mejora, se procedió a evaluar la viabilidad entre estos dos procesos, determinando cual es el más apto para llevar a cabo en la planta de tratamiento de agua potable del municipio de Tenjo.

Para ello se determinaron los costos de cada uno de los procesos, resultando estos de la siguiente manera:

**Tabla 65.**

*Comparación de los costos de inversión de potabilización y vertimiento*

| <b>Comparación de los costos del proceso</b>   |   |
|--|---|
| <b>Costos de inversión para potabilización</b> | <b>Costos de inversión para vertimiento</b> |
| \$ 76.420.076.790,16                           | \$ 76.791.298.390,16                        |

**Nota.** La tabla representa la comparación de costos de inversión entre los procesos de potabilización y vertimiento.

Como se puede evidenciar en la (tabla 65) los costos de inversión para los procesos de vertimiento en el cumplimiento de la normatividad son los que representan mayor costo en comparación a los costos de inversión para los procesos de potabilización, debido al costo que representa la instalación de un método de aireación-filtración, ya que este método en comparación al método de osmosis inversa, necesita de mayor inversión de costos respecto a su instalación tales como estudios de suelos, adquisición de materiales de construcción y mano de obra, haciendo este proceso más riguroso.

Por otro lado, se procedió a calcular el precio por metro cubico de agua tratada diariamente destinada para cada uno de los usos, ya sea para potabilización o vertimiento, los cálculos fueron realizados basados en la (Ecuación 20), los cuales se evidencian a continuación:

**Tabla 66.**

*Costo por metro cubico diario para diferentes usos*

| <b>Costo por m<sup>3</sup> diario de agua tratada para cada uso</b> |  |
|---|--|
| <b>Costos por m<sup>3</sup> para potabilización</b>                 | <b>Costos por m<sup>3</sup> para vertimiento</b> |
| \$ 1.009.985,88   | \$ 1.014.892,03                                  |

**Nota.** La tabla representa el costo por metro cubico de agua tratada para diferentes usos, ya sea para potabilización o vertimientos. Fuente propia.

Sin embargo, al revisar investigaciones relacionadas al tratamiento de aguas residuales similares al agua de retrolavado (Tabla 61) y (Tabla 62) se evidencia que implementar un proceso de potabilización cuenta con un costo más elevado en comparación a un costo de vertimiento, ya que, por un lado, aunque el agua residual presenta características similares al agua de retrolavado, estos cuentan con tratamientos diferentes, de allí la diferencia en los costos por metro cubico.

Respecto a los costos por metro cubico para potabilización y vertimiento de agua de retrolavado respecto a los costos encontrados en diferentes bibliografías (Tabla 61) y (Tabla 62) se evidencia que los costos de tratamiento de agua de retrolavado son más elevados en comparación a un tratamiento realizado en Asia contando con un precio entre 1 dólar a 3 dólares por metro cubico de agua potable y para agua de vertimiento un valor entre 0.15 dólares y 0.56 dólares por m<sup>3</sup>.

## 5. CONCLUSIONES

Respecto a la propuesta de mejora para la unidad de tratamiento de agua de retrolavado se evidencio que el alginato de sodio contiene características para la remoción de los compuestos presentes en el agua, en donde mediante una prueba experimental se redujeron los parámetros de turbidez y color haciendo notable la mejora para esta unidad, teniendo gran potencial para reusó potable mediante proceso de osmosis inversa.

Se diagnosticó el estado actual de generación de agua de retrolavado procedente de los filtros de arena mediante el laboratorio de *HIDROLAB*. LTDA identificando que incumple con los parámetros de calidad de agua potable tales como color aparente, turbidez, Coliformes termotolerantes y hierro, expuestos por la Resolución 2115 de 2007 y parámetros de vertimientos por la Resolución 631 de 2015 los de: Sólidos suspendidos y hierro.

La actividad del coagulante natural proveniente de algas da valor admisible de 2 NTU según la Resolución 2115 de 2007 de 0,46 NTU en presencia de un medio acido , donde su implementación incrementa 89725,35 veces del total de insumos químicos anuales, donde por bibliografías se comparó su uso de costo para convertirla en agua potable y uso residual, donde la propuesta es notablemente más viable para uso residual, debido a que para uso potable se requiere de más operaciones física y químicas por metro cúbico a tratar con el alginato de sodio donde su uso de reusó residual logra darse en sectores industriales y de recarga de agua acuífera debido.

Mediante pruebas experimentales y búsqueda de bibliografía se identificó que el alginato de sodio actúa mejor a un pH ácido de 1 para la remoción de turbidez arrojando valores desde 2,41 NTU hasta valores de 1,45 NTU con dosis de coagulante de 35mg/L, 45 mg/L y 55 mg/L dando cumplimiento de la resolución 2115 de 2007 de valores máximos permisibles de 2 NTU con porcentaje mayores que a los de la bibliografía respecto al uso del alginato de sodio como coagulante con porcentajes 97,98% para una dosis de 55 mg/L, 97,4% a 45 mg/l y 96,65% de 35 mg/L, destacando así que la mayor remoción de coloides presentes en el agua de retrolavado se dio a una dosis de 55 mg/L.

Respecto a las pruebas de color en el laboratorio con el uso del alginato de sodio se observa que al trabajar con un pH de 1 presenta valores de remoción de partículas presentes en el agua de retrolavado mayores a los de bibliografía debido a la unión electroestática entre coloides y moléculas del alginato dando resultados de 96,40%, 97,52% y 97,75%, donde la mayor actividad se dio a una dosis de 55 mg/L.

Por medio del análisis estadístico se observó que los datos del tratamiento provienen de un modelo no paramétrico (Kruskal-Wallis), confirmando que el pH presenta gran influencia en el proceso de remoción de turbidez y color, en el que se observó, además, que ocurre relación entre los tratamientos de pH1-pH3 y pH2-pH3.

Así mismo se observó en el tratamiento de agua de retrolavado por medio de coagulantes naturales provenientes de polisacáridos proteicos vegetales (alginato de sodio), además de ayudar a la remoción de color y turbidez generan importancia en la remoción de coliformes totales próximos a un 99% y de sólidos suspendidos totales próximos al 52%.

El costo anual incremento de \$211.098.203 a un valor de \$76.347.908.530 con la implementación de la propuesta de mejora, debido a las cantidades y costos de las materias primas para el tratamiento de aguas de retrolavado, así mismo el consumo de energía eléctrica y la adquisición de nuevos equipos.

Respecto a la comparación de costos de los tratamientos destinados para potabilización y vertimiento, se evidencia un mayor costo para los procesos de vertimiento de alrededor del 0.48% respecto a los procesos de potabilización, ya que este método requiere de la instalación de una torre de aireación-filtración para cumplir con los valores límites permisibles por la resolución 631 de 2015 para el vertimiento a cuerpos de agua, sin embargo comparando estos costos con investigaciones relacionadas al tratamiento de aguas con alta turbidez, por el contrario el costo de potabilización representa un valor más alto.

## BIBLIOGRAFIA

- [1] a. Z. a. M. Pérez, «Usos Múltiples del Agua Para la Vida y el Desarro. Sostenible,» vol 6, 2003, pp. 67 - 70.
- [2] S. C. L. M. G. I. A. Paola, «Facultad de Ingeniería Facultad de Ingeniería,» Ucv, 2014, p. 0–116.
- [3] J. C. a. L. Q. S. Juaica, «INFORME No 01,» 2016, p. 1–27.
- [4] Where and in what forms is water available on Earth?, [En línea]. Available: <https://www.greenfacts.org/es/recursos-hidricos/l-3/2-availability.htm#0p0>. [Último acceso: 09 feb 2021].
- [5] Editorial, «EL TIEMPO,» Cuidar la fuente de origen del agua, una premisa básica, [En línea]. Available: <https://www.eltiempo.com/contenido-comercial/cuidar-la-fuente-de-origen-del-agua-una-premisa-basica-439924>. [Último acceso: 09 feb 2021].
- [6] M. d. A. y. D. Sostenible, «minambiente,» Diagnóstico de las Aguas Subterráneas, [En línea]. Available: <https://www.minambiente.gov.co/index.php/component/content/article/1631-plantilla-gestion-integral-del-recurso-hidrico-37>. [Último acceso: 09 feb 2021].
- [7] «LA COMPOSICIÓN QUÍMICA DE LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS NATURALES 1. 1. CONCEPTOS ELEMENTALES,» [En línea]. Available: [https://aguas.igme.es/igme/publica/libro43/pdf/lib43/1\\_1.pdf](https://aguas.igme.es/igme/publica/libro43/pdf/lib43/1_1.pdf).
- [8] P. d. M. Ambiente, «Artículo : El ciclo hidrológico del agua,» [En línea]. Available: <https://www0.asturias.es/portal/site/medioambiente/menuitem.1340904a2df84e62fe47421ca6108a0c/?vgnnextoid=b74b33f079a49210VgnVCM10000097030a0aRCRD>. [Último acceso: 09 feb 2021].
- [9] W. Treatment, «6.1 Risk Assessment and Process Control,» 2014.

- [10] M. J. S. a. U. M. D. D. L. Boccelli, «Drinking Water Treatment Plant Design Incorporating Variability and Uncertainty,» de *J. Environ. Eng.*, vol. 133, Mar. 2007, p. 303–312.
- [11] C. N. d. Agua, «Manual de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento,» [En línea]. Available: <https://files.conagua.gob.mx/conagua/mapas/SGAPDS-1-15-Libro46.pdf>.
- [12] I. L. d. Vargas, «PROCESOS UNITARIOS Y PLANTAS DE TRATAMIENTO,» [En línea]. Available: <http://www.ingenieroambiental.com/4014/tres.pdf>. [Último acceso: 05 jun 2021].
- [13] F. P. d. I. C. a. M. U. Mallebrera, «Tema 5 Desbaste y tamizado,» de *J. Chem. Inf. Model*, [https://ocw.bib.upct.es/pluginfile.php/6017/mod\\_resource/content/1/Tema\\_05\\_DESBASTE\\_Y\\_TAMIZADO.pdf](https://ocw.bib.upct.es/pluginfile.php/6017/mod_resource/content/1/Tema_05_DESBASTE_Y_TAMIZADO.pdf), 2013, p. p. 28.
- [14] P. G. Repiso, «Tratamiento de aguas residuales mixtas para una población superior a 100.000 habitantes equivalentes,» [Online]. Available: <https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099.1/12844/Mem%C3%B2ria.pdf?sequence=4&isAllowed=y>, 2010, p. 1–139.
- [15] M. A. O. C. a. O. V. V. R. M. A. F. C. Cárdenas, «Evaluación del Sistema de Lavado de los Desarenadores Convencional y Dufour Mediante el Cálculo de Volumen Muerto a Través de Modelos Hidráulicos,» de *Universidad Cooperativa de Colombia*, 2019.
- [16] «Guías técnicas sobre saneamiento, agua y salud,» [En línea]. Available: [https://www.paho.org/col/dmdocuments/OPS.\\_Tratamiento\\_emergencia\\_agua\\_potable\\_lugar\\_consumo\\_Mayo-2009.pdf](https://www.paho.org/col/dmdocuments/OPS._Tratamiento_emergencia_agua_potable_lugar_consumo_Mayo-2009.pdf). [Último acceso: 05 jun 2021].

- [17] «Aireación,» [En línea]. Available: <https://es.slideshare.net/guillermo150782/coagulacion-y-floculacion>. [Último acceso: 09 feb 2021].
- [18] ICIDCA, «ICIDCA. Sobre los Derivados de la Caña de Azúcar,» [En línea]. Available: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=223120664002>.. [Último acceso: 09 feb 2021].
- [19] Significados, «Significado de Coloide (Qué es, Concepto y Definición),» [En línea]. Available: <https://www.significados.com/coloide/>. [Último acceso: 05 jun 2021].
- [20] T. Científicos, «Polímeros sintéticos,» [En línea]. Available: <https://www.textoscientificos.com/polimeros/fabricacion-polimeros-sinteticos>. [Último acceso: 05 jun 2021].
- [21] M. I. C. E. G. Reyes, «UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO FACULTAD DE INGENIERÍA.,» [En línea]. [Último acceso: 05 jun 2021].
- [22] PureWater Colombia, «Turbidez, Floculación y Sedimentación,» [En línea]. Available: <https://purewater.com.co/turbidez-floculacion-y-sedimentacion/>. [Último acceso: 05 jun 2021].
- [23] J. A. R. Rojas, «Potabilización del agua-3ª Edición.,» 1999, p. 193.
- [24] J. S. D. P. SOLÓRZANO, «Implementación De Planta a Escala Para Tratamiento De Agua Potable Con Fines Académicos Para El Laboratorio De Ingeniería Civil De La Universidad Piloto De Colombia.,» 2017. [En línea]. <http://repository.unipiloto.edu.co/bitstream/handle/20.500.12277/4933/Trabajo%20de%20grado.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. [Último acceso: 05 jun 2021].
- [25] F. Quirós, «Tratamiento de Desinfección del Agua Potable,» 2005. [En línea]. <https://www.fundacioncanal.com/canaleduca/wp-content/uploads/2015/08/Tratamiento-de-desinfeccion-del-agua-potable2.pdf>. [Último acceso: 05 jun 2021].

- [26] M. C. a. J. Pérez, «Alternativa a La Desinfección Del Agua Con Cloro: Ozonización,» 2014, pp. 1 - 20.
- [27] SSWM, «Filtración rápida de arena,» [En línea]. Available: <https://sswm.info/es/gass-perspective-es/tecnologias-de-agua-y-saneamiento/tecnologias-de-abastecimiento-de-agua/filtración-rápida-de-arena>. [Último acceso: 12 feb 2021].
- [28] C. D. D. d. S. e. al, «Capacidad Floculante De Coagulantes Naturales En El Tratamiento De Agua,» de *Conserv. e Meio Ambient*, doi: 10.22533/at.ed.5672127015., 2021, pp. 70-82.
- [29] S. O. S. T. S. L. a. E. K. I. Skre, «The Heritability of Common Phobic Fear,» de *J. Anxiety Disord*, doi: 10.1016/s0887-6185(00)00049-9., 2000, pp. 549-562.
- [30] M. G. M. ARREOLA, «Uso de polímeros en el tratamiento de agua para consumo humano,» 2015. [En línea]. Available: <http://www.ptolomeo.unam.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/132.248.52.100/8924/USO%20DE%20POL%C3%8DMEROS%20EN%20EL%20TRATAMIENTO%20DE%20AGUA%20PARA%20CONSUMO%20HUMANO.pdf?sequence=1..> [Último acceso: 12 feb 2021].
- [31] N. A. M. F. A. M. A. Knudsen, «Characterization of alginates from Ghanaian brown seaweeds: Sargassum spp. and Padina spp,» de *Food Hydrocoll.*, 2016, pp. 5-90.
- [32] A. Ç. e. al., «Alginates,» vol 1, 2018.
- [33] A. L.-. M. a. E. P. G. C. A.- Romero, «Propiedades del alginato y aplicaciones en alimentos,» de *J. Anxiety Disord*, doi: 10.1016/s0887-6185(00)00049-9., 2000, pp. 549-562.
- [34] B. H. A. R. a. M. F. Moradali, «Alginates and Their Biomedical Applications,» de *Seaweeds uses as Human Foods*, 2003, p. 441.

- [35] M. A. Arenas, «Determinación De Los Parámetros Tecnológicos Para La Obtención De Alginato De Sodio a Partir De Aracanto (*Lessonia Nigrescens*),» 2016, pp. 5-90.
- [36] «Avances tecnológicos en la producción de alginatos en México,» [En línea]. Available: [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1405-77432012000200003](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-77432012000200003). [Último acceso: 20 feb 2021].
- [37] M. V. P. L. J. E. L. M. R. a. M. A. V. C. G. Gomez, «Influence of the extraction-purification conditions on final properties of alginates obtained from brown algae (*Macrocystis pyrifera*),» de *Int. J. Biol. Macromol*, doi: 10.1016/j.ijbiomac.2009.02.005., 2009, p. 365–371.
- [38] L. P. G. e. al., «Innovative processing strategies and technologies to obtain hydrocolloids from macroalgae for food applications,» de *Carbohydr. Polym.*, doi: 10.1016/j.carbpol.2020.116784., 2020.
- [39] S. O. C. R. D. H. M. B. C. W. D. & T. B. Kadam, «Laminarin from Irish brown seaweeds *Ascophyllum nodosum* and *Laminaria hyperborea*: ultrasound assisted extraction, characterization and bioactivity.,» de *Marine drugs*, 2015, p. 13.
- [40] D. J. McHugh, «Seaweeds uses as Human Foods,» no. 441, 2003.
- [41] M. C. P. a. Y. M. P. PACHAO, «EVALUACIÓN DE ALGINATO DE SODIO COMO COADYUVANTE EN LA FLOCULACIÓN PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS,» UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN AGUSTÍN DE AREQUIPA, 2018.
- [42] V. Y. D. T. MINISTERIO DE LA PROTECCIÓN SOCIAL MINISTERIO DE AMBIENTE, «RESOLUCIÓN NÚMERO 2115,» 22 jun 2007. [En línea]. Available: [https://www.minambiente.gov.co/images/GestionIntegraldelRecursoHidrico/pdf/Legislaci%C3%B3n\\_del\\_agua/Resoluci%C3%B3n\\_2115.pdf](https://www.minambiente.gov.co/images/GestionIntegraldelRecursoHidrico/pdf/Legislaci%C3%B3n_del_agua/Resoluci%C3%B3n_2115.pdf). [Último acceso: 2021 02 19].

- [43] MINISTERIO DE AMBIENTE, VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL, «DECRETO 3930,» 25 oct 2010. [En línea]. Available: [https://www.minambiente.gov.co/images/normativa/decretos/2010/dec\\_3930\\_2010.pdf](https://www.minambiente.gov.co/images/normativa/decretos/2010/dec_3930_2010.pdf). [Último acceso: 19 02 2021].
- [44] M. d. A. y. D. S. MADS, «Resolución 631 de 2015,» nº 49, p. 73, 18 Abril 2015.
- [45] LAS CEIBAS ESP, «DETERMINACIÓN DE TURBIDEZ SM2130 B,» 01 12 2020. [En línea].
- [46] LAS CEIBAS ESP, «Determinación De Conductividad En Laboratorio Y Campo SM-2510 B,» 22 12 2020. [En línea]. Available: [http://www.lasceibas.gov.co/sites/default/files/documentacion/lb-pr-03\\_determinacion\\_conductividad\\_en\\_laboratorio\\_y\\_campo.pdf](http://www.lasceibas.gov.co/sites/default/files/documentacion/lb-pr-03_determinacion_conductividad_en_laboratorio_y_campo.pdf).
- [47] «ENZYME SUBSTRATE COLIFORM TEST,» [En línea]. Available: [https://www.wbdg.org/FFC/EPA/EPACRIT/epa\\_sm\\_9223.pdf](https://www.wbdg.org/FFC/EPA/EPACRIT/epa_sm_9223.pdf).
- [48] «BIOCHEMICAL OXYGEN DEMAND (BOD),» [En línea]. Available: [https://www.edgeanalytical.com/wp-content/uploads/Inorganic\\_SM5210-B.pdf](https://www.edgeanalytical.com/wp-content/uploads/Inorganic_SM5210-B.pdf).
- [49] D. Trujillo, L. F. Duque, J. S. Arcila y A. Rincón, «Remoción de turbiedad en agua de una fuente natural mediante,» *SCIELO*, vol. 27, nº 1, pp. 17-34, 2014.
- [50] A. F. L. ESTRADA, «Capacidad coagulante del alginato de sodio (algas pardas - feoficeas) en el tratamiento de aguas del Rio Chillón Zona Marquez – Callao,» *Universidad Cesar Vallejo*, 2018.
- [51] A. Lara, «Diseño Estadístico De Experimentos,» *Univ. Granada*, p. 1–91, 2013.
- [52] Minitab, «Software de análisis estadístico para estudiantes,» Minitab, [En línea]. Available: <https://www.minitab.com/es-mx/academic/>. [Último acceso: 08 jun 2021].

- [53] S. consejo Tenjo-cundinamarca, «ACUERDO No. 005 DE 2020 (01 DE JUNIO DE 2020),» [Online]. Available: <https://www.tenjo-cundinamarca.gov.co/Transparencia/Normatividad/ACUERDO%20MUNICIPAL%20No.%20005-2020%20-%20ADOPCI%C3%93N%20DEL%20PDT%20-%20TENJO%20ES%20DE%20TODOS.pdf>, 2020.
- [54] D. A. C. B. Kharen Jhuliethe Castillo Camargo, «DIAGNÓSTICO DEL RECURSO HÍDRICO DE LAS CAPTACIONES DE AGUA,» 2015.
- [55] J. R. S. a. L. M. O. BERNAL, «PROCEDIMIENTO CAPTACIÓN Y ADUCCIÓN.,» Tenjo, Cundinamarca, [Online]. Available: [http://mpoc.org.my/malaysian-palm-oil-industry/.](http://mpoc.org.my/malaysian-palm-oil-industry/), 2020.
- [56] «Las aguas subterráneas: un enfoque práctico,» de *Instituto Colombiano de Geología y Minería*, 2011.
- [57] Instituto Colombiano de Geología y Minería., «Las aguas subterráneas: un enfoque práctico,» 2011. [En línea]. [Último acceso: 05 jun 2021].
- [58] M. C. P. a. Y. M. P. PACHAO, «EVALUACIÓN DE ALGINATO DE SODIO COMO COADYUVANTE EN LA FLOCULACIÓN PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS,» *Univ. Nacional de San Agustín de Arequipa*, 2018.
- [59] Y. W. B. G. Y. Z. a. Q. Y. C. Wu, «Coagulation performance and floc characteristics of aluminum sulfate using sodium alginate as coagulant aid for synthetic dying wastewater treatment,» *Sep. Purif. Technol.*, vol. 95, n<sup>o</sup> doi: 10.1016/j.seppur.2012.05.009., p. 180–187, 2012.
- [60] M. d. P. S. Carhuaricra, «Cinética de remoción de la turbidez en aguas residuales de curtiembre mediante coagulantes naturales Emerita analoga y Chondracanthus chamissoi,» *Universidad César Vallejo.*
- [61] A. Martínez, «Biosorción del colorante rojo Congo en sistemas en lote utilizando biomasa de chlorella sp,» *FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS*, 2012.

- [62] J. J. J. J. A. L.-á. a. M. N. S.-g. K. J. Vacio-muro, «REDUCCIÓN DE LA CONTAMINACIÓN DEL NEJAYOTE USANDO EL HONGO *Bjerkandera adusta* y LOS BIOPOLÍMEROS ALGINATO Y QUITOSANO,» vol. 64, p. 20131, 2011.
- [63] A. B. G. H. B. C. G. a. A. I. C. Fersi, «Characterizing the performance of coagulation-flocculation using natural coagulants as pretreatment of tannery wastewater,» *J. Mater. Environ. Sci.*, vol. 9, nº 8, p. 2379–2386, 2018.
- [64] A. M. Y. a. F. D. S. H. A. Devrimci, «Algal alginate: A potential coagulant for drinking water treatment, *Desalination*,» vol. 299, nº 10.1016/j, pp. 16-21, 2012.
- [65] V. N. a. M. Rojas, «Evaluación Físicoquímica Del Tratamiento Primario De Agua, Mediante El Uso De Un Coagulante Obtenido a Partir De Residuos De Café,» *Chem. Inf. Model*, vol. 53, nº 9, pp. 1689-1699, 2019.
- [66] J. P. Krutsch, «Coagulación,» *Anestesia. Secretos*, nº 10.1016/b978-84-8174-941-0.50007-0., pp. 52-58, 2006.
- [67] C. Y. Yin, «Emerging usage of plant-based coagulants for water and wastewater treatment,» *Process Biochem*, vol. 45, nº 10.1016/j.procbio.2010.05.030., pp. 1437-1444, 2010.
- [68] M. A. Bravo, «Coagulantes Y Floculantes Naturales Usados En La Reducción De Turbidez, Sólidos Suspendidos, Colorantes Y Metales Pesados En Aguas Residuales.,» *J. Chem. Inf. Model*, vol. 53, nº 9, pp. 1689-1699, 2017.
- [69] J. M. C. FLÓREZ, «CLARIFICACIÓN DE AGUAS USANDO COAGULANTES POLIMERIZADOS: CASO DEL HIDROXICLORURO DE ALUMINIO,» *DYNA*, vol. 78, nº 165, pp. 18-27, 2011.
- [70] Minitab, «¿Qué es el método de Tukey para comparaciones múltiples?,» Minitab, [En línea]. Available: <https://support.minitab.com/es-mx/minitab/18/help-and-how-to/modeling-statistics/anova/supporting-topics/multiple-comparisons/what-is-tukey-s-method/>. [Último acceso: 25 7 2021].

- [71] J. L. V. Zuluaga, «Evaluación del almidón de maíz y trigo como coagulante - floculante para la remoción de turbiedad y color aparente en acueductos rurales,» *UNAD- Universidad Nacional Abierta y a Distancia*, 2021.
- [72] Hach Company, «¿Que es la Conductividad?,» *Hach Mex*.
- [73] G. BACA, «Ingeniería económica.,» *Fondo educativo panamericano, Bogotá D.C*, vol. 8, p. 366, 2005.
- [74] M. U. M. Bellorín, «El valor del dinero en el tiempo,» *Multi- Ensayos*, vol. 6, nº 11, 14 de enero de 2020.
- [75] A. Vilchez, «COSTO ANUAL UNIFORME EQUIVALENTE (CAUE),» *Gestiona Mundo*, [En línea]. Available: <http://gestionamundo.blogspot.com/2014/07/caue.html>.
- [76] Hidroagua, «Cloración - Sistemas dosificadores de cloro.,» [En línea]. Available: <https://www.hidroagua.com.mx/cloracion.html>. [Último acceso: 03 mar 2021].
- [78] R. S. P. J. R. H. Gutiérrez y K. S. L. a. G. T. G. Kuby, «Estadística elemental: Lo esencial.,» 2008.
- [79] H. G. P. a. R. D. L. V. Salazar, «Análisis y diseño de experimentos, Segunda,» México D.F., 2008.
- [80] E. & D. J. Castaño, « Estadísticos e-Books & Papers.,» UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE QUERÉTARO, 2010.
- [81] Minitab, «Explicación de la prueba de varianzas iguales,» [En línea]. Available: <https://support.minitab.com/es-mx/minitab/18/help-and-how-to/modeling-statistics/anova/supporting-topics/basics/understanding-test-for-equal-variances/>. [Último acceso: 05 06 2021].

- [82] W. P. H. a. J. L. López-Gonzales, «Aplicación de un diseño factorial 24 en la remoción de turbiedad del Rio Rímac mediante la coagulación y floculación usando goma de tara,» *J. Chem.* , vol. 53, nº 9, p. 1689–1699, 2013.
- [83] «Análisis de Regresión: ¿Cómo Puedo Interpretar el R-cuadrado y Evaluar la Bondad de Ajuste?,» [En línea]. Available: <https://blog.minitab.com/es/analisis-de-regresion-como-puedo-interpretar-el-r-cuadrado-y-evaluar-la-bondad-de-ajuste>.  
[Último acceso

## **ANEXO**

### **ANEXO 1**

#### **RECOMENDACIONES**

- Dado los resultados del análisis de calidad del agua tratada se sugiere darle una disposición final de verter el agua de retrolavado en una fuente hídrica cumpliendo con rigurosidad los parámetros de la Resolución 631 de 2015 para no alterar los ecosistemas o una disposición final de los lodos producidos en industrias ladrilleras, paneles prefabricados para la construcción, industrias para la producción de papel y producción de biogás.
- Se sugiere realizar planes de muestreo que permitan hacer un mejor diagnóstico del proceso actual de generación de aguas residuales del proceso de retrolavado.
- Se aconseja desarrollar un blanco en próximos ensayos, con el fin de determinar el efecto del pH en el proceso de coagulación de las arcillas presentes en el agua.
- Debido a que el alginato de sodio actúa mejor en condiciones de agua ácida, se recomienda evaluar este coagulante en tratamientos de aguas residuales en donde el pH esté dentro de un rango de 1-3, como en plantas de tratamiento de aguas de fabricación de baterías, minas geológicas y metalúrgicas.
- Debido a la baja información del alginato de sodio en el tratamiento de aguas residuales, se recomienda realizar un estudio con diferentes coagulantes comerciales para comprobar la efectividad del alginato de sodio en el tratamiento de aguas de retrolavado. (1-8)
- Ya que los resultados de pH arrojados por el laboratorio de Hidrolab Ltda. respecto al agua de retrolavado tratada con el alginato de sodio resultaron acidas, se recomienda neutralizar las muestras antes de enviar al laboratorio para contar con un mejor análisis de resultados.
- Debido a que periódicamente la planta de retrolavado reactiva sus procesos de tratamiento, se recomienda hacer un análisis periódico de turbidez y color al agua de retrolavado tratada, para determinar las condiciones de funcionamiento de la planta y verificar el cumplimiento con los parámetros establecidos por la normatividad.
- Para la neutralización del pH, se recomienda comprobar la utilización de la sosa cáustica o carbonato de calcio, así mismo en caso de acidificación del agua de

retrolavado, la utilización de dióxido de carbono o ácido clorhídrico, ya que son compuestos de bajo costo y mayor obtención comercial.

- Aunque la planta de tratamiento de agua potable opera en buenas condiciones, si se recomienda adquirir equipos para el laboratorio de la planta, como un turbidímetro, test de jarras y espectrofotómetro, para tener un mejor control del agua tratada.
- Debido a las ineficiencias de sedimentación por parte del tanque de retrolavado, se recomienda implementar un sistema de agitación para la aplicación de coagulantes, así mismo aplicar un método para extraer solo el clarificado del agua tratada.
- Se recomienda proteger la cámara de homogenización y la estructura de la geomembrana de la presencia de aguas lluvias, ya que estas pueden contaminar el agua tratada con la aparición de sustancias no deseadas, que pueden alterar la acidez de esta misma.
- En la continuación de este proyecto, se recomienda evaluar el uso de los lodos producidos en la sedimentación del agua de retrolavado ya que, según trabajos previos, los sólidos producidos en tratamientos de agua potable tienen una disposición final en industrias ladrilleras, paneles prefabricados para la construcción, industrias para la producción de papel y producción de biogás.

## ANEXO 2

### CARACTERIZACIÓN DEL AGUA CRUDA DE RETROLAVADO

Toma de agua: 9:45 a.m.

Informe N°: 202105000426



Informe de Ensayo (SN)

Numero de Ingreso 25721-01

Ciente: BRAYAN STEVEN DIAZ GUTIERREZ

Dirección: Calle 3 N° 9 - 36, Tenjo

Proyecto: Control Muestras de Aguas de Varios Tipos

Identificación Cliente: BRAYAN STEVEN DIAS GUTIERREZ

Lugar de Muestreo: PTAP Tenjo (Via Los Tanques)

Dirección: Sin Definir

Ciudad / Región: TENJO, Cundinamarca

Instrumento Ambiental:

Punto de Muestreo: Camara Homogenizacion (Retrolavado)

Matriz: Aguas residuales

Tipo de Muestreo: Puntual

Término de Muestreo: 21/04/2021 09:45:00

Recepción Laboratorio: 21/04/2021 12:18:00

Muestreado por: Cliente

| Parámetro                   | Unidades   | Resultados   | Fecha y Hora de Análisis | Ref.Método      |
|-----------------------------|------------|--------------|--------------------------|-----------------|
| Color aparente              | Pt-Co      | 80(pH= 7,96) | 21/04/2021 13:17:1       | SM 2120 B (2)   |
| pH                          | unidad     | 7,96(19,1°C) | 21/04/2021 17:02:1       | SM 4500-H B (2) |
| Coliformes Totales          | NMP/100 ml | 12000        | 21/04/2021 14:48:0       | SM 9223 B (2)   |
| Hierro                      | mg/L Fe    | 7,24         | 30/04/2021 12:08:0       | SM 3120 B (2)   |
| DBO (5 días)                | mg/L       | <2           | 21/04/2021 16:32:2       | SM 5210 B (2)   |
| DQO                         | mg/L       | 3            | 25/04/2021 16:32:2       | SM 5220 D (2)   |
| Conductividad               | us/cm      | 235          | 21/04/2021 17:02:1       | SM 2510 B (2)   |
| Sólidos suspendidos totales | mg/L       | 51,0         | 21/04/2021 16:10:2       | SM 2540 D (2)   |
| Turbiedad                   | UNT        | 7,1          | 21/04/2021 12:20:2       | SM 2130 B (2)   |

Notas:

(2) Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 23th Edition 2017.

El tiempo de almacenamiento para el parámetro DBO5 fue de 6:47 horas.

El tiempo entre toma de muestra y análisis es de 14 hrs., envase con Na2S2O3. Cloro Libre Residual medido en terreno por el cliente 5:03 horas, para Coliformes Totale

Fecha Emisión Informe: 6 de mayo de 2021

Resultados válidos únicamente para la muestra analizada.  
Prohibida toda reproducción parcial o total de este informe sin autorización del laboratorio.

Autopista Medellín Km 2.5, via parcelas de Cota Km 1.3 Conjunto de Bodegas AEPL, Bodega N° 3A - Teléfono +57 (1) 5 19 03 85  
25721-01 1 / 2

## Toma de agua: 10:05 a.m.

Informe N°: 202105000427



### Informe de Ensayo (SN)

Numero de Ingreso 25721-02

Cliente: BRAYAN STEVEN DIAZ GUTIERREZ

Dirección: Calle 3 N° 9 - 36, Tenjo

Proyecto: Control Muestras de Aguas de Varios Tipos

Identificación Cliente: BRAYAN STEVEN DIAS GUTIERREZ

Lugar de Muestreo: PTAP Tenjo (Via Los Tanques)

Dirección: Sin Definir

Ciudad / Región: TENJO, Cundinamarca

Instrumento Ambiental:

Punto de Muestreo: Camara de Homogenizacion (Retrolavado)

Matriz: Aguas residuales

Tipo de Muestreo: Puntual

Término de Muestreo: 21/04/2021 10:05:00

Recepción Laboratorio: 21/04/2021 12:18:00

Muestreado por: Cliente

| Parámetro                   | Unidades   | Resultados   | Fecha y Hora de Análisis | Ref.Método      |
|-----------------------------|------------|--------------|--------------------------|-----------------|
| Color aparente              | Pt-Co      | 10(pH= 7,30) | 21/04/2021 13:17:1       | SM 2120 B (2)   |
| pH                          | unidad     | 7,30(19,2°C) | 21/04/2021 17:02:1       | SM 4500-H B (2) |
| Coliformes Totales          | NMP/100 ml | 25000        | 21/04/2021 14:48:0       | SM 9223 B (2)   |
| Hierro                      | mg/L Fe    | 8,83         | 30/04/2021 12:08:0       | SM 3120 B (2)   |
| DBO (5 días)                | mg/L       | <2           | 21/04/2021 16:32:2       | SM 5210 B (2)   |
| DQO                         | mg/L       | <2,0         | 25/04/2021 16:32:2       | SM 5220 D (2)   |
| Conductividad               | us/cm      | 180          | 21/04/2021 17:02:1       | SM 2510 B (2)   |
| Sólidos suspendidos totales | mg/L       | 36,0         | 21/04/2021 16:10:2       | SM 2540 D (2)   |
| Turbiedad                   | UNT        | 44,3         | 21/04/2021 16:32:5       | SM 2130 B (2)   |

#### Notas:

(2) Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 23th Edition 2017.

El tiempo entre toma de muestra y análisis es de 14 hrs., envase con Na<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. Cloro Libre Residual medido en terreno por el cliente 4:43 horas, para Coliformes Totale

El tiempo de almacenamiento para el parámetro DBO5 fue de 6:27 horas.

Fecha Emisión Informe: 6 de mayo de 2021

Resultados válidos únicamente para la muestra analizada.  
Prohibida toda reproducción parcial o total de este informe sin autorización del laboratorio.

Autopista Medellín Km 2.5, via parcelas de Cota Km 1.3 Conjunto de Bodegas AEPL, Bodega N° 3A - Teléfono +57 (1) 5 19 03 85  
25721-02 1 / 2

## Toma de agua: 10:25 a.m.

Informe N°: 202105000428



### Informe de Ensayo (SN)

Numero de Ingreso 25721-03

Cliente: BRAYAN STEVEN DIAZ GUTIERREZ

Dirección: Calle 3 N° 9 - 36, Tenjo

Proyecto: Control Muestras de Aguas de Varios Tipos

Identificación Cliente: BRAYAN STEVEN DIAS GUTIERREZ

Lugar de Muestreo: PTAP Tenjo (Via Los Tanques)

Dirección: Sin Definir

Ciudad / Región: TENJO, Cundinamarca

Instrumento Ambiental:

Punto de Muestreo: Camara Homegenizacion (Retrolavado)

Matriz: Aguas residuales

Tipo de Muestreo: Puntual

Término de Muestreo: 21/04/2021 10:25:00

Recepción Laboratorio: 21/04/2021 12:18:00

Muestreado por: Cliente

| Parámetro                   | Unidades   | Resultados   | Fecha y Hora de Análisis | Ref.Método      |
|-----------------------------|------------|--------------|--------------------------|-----------------|
| Color aparente              | Pt-Co      | 10(pH= 6,84) | 21/04/2021 13:17:1       | SM 2120 B (2)   |
| pH                          | unidad     | 6,84(19,2°C) | 21/04/2021 17:02:1       | SM 4500-H B (2) |
| Coliformes Totales          | NMP/100 ml | 120000       | 21/04/2021 14:48:0       | SM 9223 B (2)   |
| Hierro                      | mg/L Fe    | 9,53         | 30/04/2021 12:08:0       | SM 3120 B (2)   |
| DBO (5 días)                | mg/L       | <2           | 21/04/2021 16:32:2       | SM 5210 B (2)   |
| DQO                         | mg/L       | 3            | 25/04/2021 16:32:2       | SM 5220 D (2)   |
| Conductividad               | us/cm      | 178          | 21/04/2021 17:02:1       | SM 2510 B (2)   |
| Sólidos suspendidos totales | mg/L       | 38,0         | 21/04/2021 16:10:2       | SM 2540 D (2)   |
| Turbiedad                   | UNT        | 25,1         | 21/04/2021 16:32:5       | SM 2130 B (2)   |

#### Notas:

(2) Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 23th Edition 2017.

El tiempo de almacenamiento para el parámetro DBO5 fue de 6:07 horas.

El tiempo entre toma de muestra y análisis es de 14 hrs., envase con Na2S2O3. Cloro Libre Residual medido en terreno por el cliente 4:22 horas, para Coliformes Totale

Fecha Emisión Informe: 6 de mayo de 2021

Resultados válidos únicamente para la muestra analizada.  
Prohibida toda reproducción parcial o total de este informe sin autorización del laboratorio.

Autopista Medellín Km 2.5, vía parcelas de Cota Km 1.3 Conjunto de Bodegas AEPL, Bodega N° 3A - Teléfono +57 (1) 5 19 03 85  
25721-03 1 / 2

## ANEXO 3

### CARACTERIZACIÓN DEL AGUA DE RETROLAVADO TRATADA

Toma de agua: 11:00 a.m.

Informe N°: 202105001376



Informe de Ensayo (SN)

Numero de Ingreso 26049-01

Cliente: BRAYAN STEVEN DIAZ GUTIERREZ

Dirección: Calle 3 N° 9 - 36, Tenjo

Proyecto: Control Muestras de Aguas de Varios Tipos

Identificación Cliente: BRAYAN STEVEN DIAS GUTIERREZ

Lugar de Muestreo: Lab. U. America

Dirección: Sin Definir

Ciudad / Región: TENJO, Cundinamarca

Instrumento Ambiental:

Punto de Muestreo: Lab. U. America

Matriz: Aguas residuales

Tipo de Muestreo: Compuesta 1 h

Término de Muestreo: 07/05/2021 11:30:00

Recepción Laboratorio: 07/05/2021 16:05:00

Muestreado por: Cliente

| Parámetro                   | Unidades   | Resultados   | Fecha y Hora de Análisis | Ref.Método      |
|-----------------------------|------------|--------------|--------------------------|-----------------|
| Color aparente              | Pt-Co      | 5(pH=)       | 07/05/2021 16:51:4       | SM 2120 B (2)   |
| pH                          | unidad     | 0,65(18,7°C) | 07/05/2021 17:07:0       | SM 4500-H B (2) |
| Coliformes Totales          | NMP/100 ml | <1           | 07/05/2021 16:55:0       | SM 9223 B (2)   |
| Hierro                      | mg/L Fe    | 8,48         | 18/05/2021 12:49:0       | SM 3120 B (2)   |
| DBO (5 días)                | mg/L       | <2           | 07/05/2021 16:54:0       | SM 5210 B (2)   |
| DQO                         | mg/L       | 20           | 08/05/2021 08:07:4       | SM 5220 D (2)   |
| Conductividad               | us/cm      | 56400        | 07/05/2021 17:07:4       | SM 2510 B (2)   |
| Sólidos suspendidos totales | mg/L       | 25,0         | 07/05/2021 16:41:2       | SM 2540 D (2)   |
| Turbiedad                   | UNT        | 0,5          | 07/05/2021 16:45:3       | SM 2130 B (2)   |

Notas:

(2) Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 23th Edition 2017.

Marcelis Vargas  
Directora Operativa

Felipe Londoño  
Jefe área Microbiología

(SN)



Fecha Emisión Informe: 20 de mayo de 2021

Resultados válidos únicamente para la muestra analizada.  
Prohibida toda reproducción parcial o total de este informe sin autorización del laboratorio.

Autopista Medellín Km 2.5, via parcelas de Cota Km 1.3 Conjunto de Bodegas AEPI, Bodega N° 3A - Teléfono +57 (1) 5 19 03 85

26049-01 1 / 1

# Toma de agua: 12:00 p.m.

Informe N°: 202105001377



## Informe de Ensayo (SN)

Numero de Ingreso 26049-02

Cliente: BRAYAN STEVEN DIAZ GUTIERREZ

Dirección: Calle 3 N° 9 - 36, Tenjo

Proyecto: Control Muestras de Aguas de Varios Tipos

Identificación Cliente: BRAYAN STEVEN DIAS GUTIERREZ

Lugar de Muestreo: Lab. U. America

Dirección: Sin Definir

Ciudad / Región: TENJO, Cundinamarca

Instrumento Ambiental:

Punto de Muestreo: Lab. U. America

Matriz: Aguas residuales

Término de Muestreo: 07/05/2021 12:00:00

Muestreado por: Cliente

Tipo de Muestreo: Compuesta 1 h

Recepción Laboratorio: 07/05/2021 16:05:00

| Parámetro                   | Unidades   | Resultados   | Fecha y Hora de Análisis | Ref.Método      |
|-----------------------------|------------|--------------|--------------------------|-----------------|
| Color aparente              | Pt-Co      | 5(pH= 6,69)  | 07/05/2021 16:51:4       | SM 2120 B (2)   |
| pH                          | unidad     | 0,47(18,8°C) | 07/05/2021 17:07:0       | SM 4500-H B (2) |
| Coliformes Totales          | NMP/100 ml | <1           | 07/05/2021 16:55:0       | SM 9223 B (2)   |
| Hierro                      | mg/L Fe    | 8,14         | 18/05/2021 12:49:0       | SM 3120 B (2)   |
| DBO (5 días)                | mg/L       | <2           | 07/05/2021 16:54:0       | SM 5210 B (2)   |
| DQO                         | mg/L       | 16           | 08/05/2021 08:07:4       | SM 5220 D (2)   |
| Conductividad               | us/cm      | 87500        | 07/05/2021 17:07:4       | SM 2510 B (2)   |
| Sólidos suspendidos totales | mg/L       | <20,0        | 07/05/2021 16:41:2       | SM 2540 D (2)   |
| Turbiedad                   | UNT        | 0,4          | 07/05/2021 16:45:3       | SM 2130 B (2)   |

### Notas:

(2) Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 23th Edition 2017.

Varelis Vargas  
Directora Operativa

Felipe Londoño  
Jefe área Microbiología

(SN)



Fecha Emisión Informe: 20 de mayo de 2021

Resultados válidos únicamente para la muestra analizada.  
Prohibida toda reproducción parcial o total de este informe sin autorización del laboratorio.

Autopista Medellín Km 2.5, vía parcelas de Cota Km 1.3 Conjunto de Bodegas AEPL, Bodega N° 3A - Teléfono +57 (1) 5 19 03 85  
26049-02 1 / 1

# Toma de agua: 12:30 p.m.

Informe N°: 202105001378



Informe de Ensayo (SN)

Numero de Ingreso 26049-03

Cliente: BRAYAN STEVEN DIAZ GUTIERREZ

Dirección: Calle 3 N° 9 - 36, Tenjo

Proyecto: Control Muestras de Aguas de Varios Tipos

Identificación Cliente: BRAYAN STEVEN DIAS GUTIERREZ

Lugar de Muestreo: Lab. U. America

Dirección: Sin Definir

Ciudad / Región: TENJO, Cundinamarca

Instrumento Ambiental:

Punto de Muestreo: Lab. U. America

Matriz: Aguas residuales

Término de Muestreo: 07/05/2021 12:30:00

Muestreado por: Cliente

Tipo de Muestreo: Compuesta 1 h

Recepción Laboratorio: 07/05/2021 16:05:00

| Parámetro                   | Unidades   | Resultados   | Fecha y Hora de Análisis | Ref.Método      |
|-----------------------------|------------|--------------|--------------------------|-----------------|
| Color aparente              | Pt-Co      | 5(pH= 6,72)  | 07/05/2021 16:51:4       | SM 2120 B (2)   |
| pH                          | unidad     | 0,57(18,8°C) | 07/05/2021 17:07:0       | SM 4500-H B (2) |
| Coliformes Totales          | NMP/100 ml | <1           | 07/05/2021 16:55:0       | SM 9223 B (2)   |
| Hierro                      | mg/L Fe    | 7,98         | 18/05/2021 12:49:0       | SM 3120 B (2)   |
| DBO (5 días)                | mg/L       | <2           | 07/05/2021 16:54:0       | SM 5210 B (2)   |
| DQO                         | mg/L       | 10           | 08/05/2021 08:07:4       | SM 5220 D (2)   |
| Conductividad               | us/cm      | 57100        | 07/05/2021 17:07:4       | SM 2510 B (2)   |
| Sólidos suspendidos totales | mg/L       | <20,0        | 07/05/2021 16:41:2       | SM 2540 D (2)   |
| Turbiedad                   | UNT        | 0,5          | 07/05/2021 16:45:3       | SM 2130 B (2)   |

Notas:

(2) Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 23th Edition 2017.

Varcelis Vargas  
Directora Operativa

Felipe Londoño  
Jefe área Microbiología

(SN)



Fecha Emisión Informe: 20 de mayo de 2021

Resultados válidos únicamente para la muestra analizada.  
Prohibida toda reproducción parcial o total de este informe sin autorización del laboratorio.

Autopista Medellín Km 2.5, vía parcelas de Cota Km 1.3 Conjunto de Bodegas AEPI, Bodega N° 3A - Teléfono +57 (1) 5 19 03 85  
26049-03 1 / 1

## ANEXO 4

### PRUEBA PARA PARÁMETRO DE INDEPENDENCIA LÍMITES PARA PRUEBA DE DURBIN-WATSON EN LIBRO DE ANÁLISIS Y DISEÑO DE EXPERIMENTOS

| Nivel de significancia $\alpha = .05$ , $p - 1$ es el número de variables o términos en el modelo, $n$ el número de datos |             |       |             |       |             |       |             |       |             |       |
|---|-------------|-------|-------------|-------|-------------|-------|-------------|-------|-------------|-------|
| $n$   | $p - 1 = 1$ |       | $p - 1 = 2$ |       | $p - 1 = 3$ |       | $p - 1 = 4$ |       | $p - 1 = 5$ |       |
|   | $d_L$       | $d_U$ |
| 15  | 1.08        | 1.36  | 0.95        | 1.54  | 0.82        | 1.75  | 0.69        | 1.97  | 0.56        | 2.21  |
| 16  | 1.10        | 1.37  | 0.98        | 1.54  | 0.86        | 1.73  | 0.74        | 1.93  | 0.62        | 2.15  |
| 17  | 1.13        | 1.38  | 1.02        | 1.54  | 0.90        | 1.71  | 0.78        | 1.90  | 0.67        | 2.10  |
| 18  | 1.16        | 1.39  | 1.05        | 1.53  | 0.93        | 1.69  | 0.82        | 1.87  | 0.71        | 2.06  |
| 19  | 1.18        | 1.40  | 1.08        | 1.53  | 0.97        | 1.68  | 0.86        | 1.85  | 0.75        | 2.02  |
| 20  | 1.20        | 1.41  | 1.10        | 1.54  | 1.00        | 1.68  | 0.90        | 1.83  | 0.79        | 1.99  |
| 21  | 1.22        | 1.42  | 1.13        | 1.54  | 1.03        | 1.67  | 0.93        | 1.81  | 0.83        | 1.96  |
| 22  | 1.24        | 1.43  | 1.15        | 1.54  | 1.05        | 1.66  | 0.96        | 1.80  | 0.86        | 1.94  |
| 23  | 1.26        | 1.44  | 1.17        | 1.54  | 1.08        | 1.66  | 0.99        | 1.79  | 0.90        | 1.92  |
| 24  | 1.27        | 1.45  | 1.19        | 1.55  | 1.10        | 1.66  | 1.01        | 1.78  | 0.93        | 1.90  |
| 25  | 1.29        | 1.45  | 1.21        | 1.55  | 1.12        | 1.66  | 1.04        | 1.77  | 0.95        | 1.89  |
| 26  | 1.30        | 1.45  | 1.22        | 1.55  | 1.14        | 1.65  | 1.06        | 1.76  | 0.98        | 1.88  |
| 27  | 1.32        | 1.47  | 1.24        | 1.56  | 1.16        | 1.65  | 1.08        | 1.76  | 1.01        | 1.86  |
| 28  | 1.33        | 1.48  | 1.26        | 1.56  | 1.18        | 1.65  | 1.10        | 1.75  | 1.03        | 1.85  |
| 29  | 1.34        | 1.48  | 1.27        | 1.56  | 1.20        | 1.65  | 1.12        | 1.74  | 1.05        | 1.84  |
| 30  | 1.35        | 1.49  | 1.28        | 1.57  | 1.21        | 1.65  | 1.14        | 1.74  | 1.07        | 1.83  |
| 31  | 1.36        | 1.50  | 1.30        | 1.57  | 1.23        | 1.65  | 1.16        | 1.74  | 1.09        | 1.83  |
| 32  | 1.37        | 1.50  | 1.31        | 1.57  | 1.24        | 1.65  | 1.18        | 1.73  | 1.11        | 1.82  |
| 33  | 1.38        | 1.51  | 1.32        | 1.58  | 1.26        | 1.65  | 1.19        | 1.73  | 1.13        | 1.81  |
| 34  | 1.39        | 1.51  | 1.33        | 1.58  | 1.27        | 1.65  | 1.21        | 1.73  | 1.15        | 1.81  |
| 35  | 1.40        | 1.52  | 1.34        | 1.58  | 1.28        | 1.65  | 1.22        | 1.73  | 1.16        | 1.80  |
| 36  | 1.41        | 1.52  | 1.35        | 1.59  | 1.29        | 1.65  | 1.24        | 1.72  | 1.18        | 1.80  |
| 37  | 1.42        | 1.53  | 1.36        | 1.59  | 1.31        | 1.66  | 1.25        | 1.72  | 1.19        | 1.80  |
| 38  | 1.43        | 1.54  | 1.37        | 1.59  | 1.32        | 1.66  | 1.26        | 1.72  | 1.21        | 1.79  |
| 39  | 1.43        | 1.54  | 1.38        | 1.60  | 1.33        | 1.66  | 1.27        | 1.72  | 1.22        | 1.79  |
| 40  | 1.44        | 1.54  | 1.39        | 1.60  | 1.34        | 1.66  | 1.29        | 1.72  | 1.23        | 1.79  |
| 45  | 1.48        | 1.57  | 1.43        | 1.62  | 1.38        | 1.67  | 1.34        | 1.72  | 1.29        | 1.78  |
| 50  | 1.50        | 1.59  | 1.46        | 1.63  | 1.42        | 1.67  | 1.38        | 1.72  | 1.34        | 1.77  |
| 55  | 1.53        | 1.60  | 1.49        | 1.64  | 1.45        | 1.68  | 1.41        | 1.72  | 1.38        | 1.77  |
| 60  | 1.55        | 1.62  | 1.51        | 1.65  | 1.48        | 1.69  | 1.44        | 1.73  | 1.41        | 1.77  |
| 65  | 1.57        | 1.63  | 1.54        | 1.66  | 1.50        | 1.70  | 1.47        | 1.73  | 1.44        | 1.77  |
| 70  | 1.58        | 1.64  | 1.55        | 1.67  | 1.52        | 1.70  | 1.49        | 1.74  | 1.46        | 1.77  |
| 75  | 1.60        | 1.65  | 1.57        | 1.68  | 1.54        | 1.71  | 1.51        | 1.74  | 1.49        | 1.77  |
| 80  | 1.61        | 1.66  | 1.59        | 1.69  | 1.56        | 1.72  | 1.53        | 1.74  | 1.51        | 1.77  |
| 85  | 1.62        | 1.67  | 1.60        | 1.70  | 1.57        | 1.72  | 1.55        | 1.75  | 1.52        | 1.77  |
| 90  | 1.63        | 1.68  | 1.61        | 1.70  | 1.59        | 1.73  | 1.57        | 1.75  | 1.54        | 1.78  |
| 95  | 1.64        | 1.69  | 1.62        | 1.71  | 1.60        | 1.73  | 1.58        | 1.75  | 1.56        | 1.78  |
| 100   | 1.65        | 1.69  | 1.63        | 1.72  | 1.61        | 1.74  | 1.59        | 1.76  | 1.57        | 1.78  |

## ANEXO 5

### LISTA DE KIT DE TEST DE JARRAS



Teléfono: (1) 518 6600 Whatsapp Bogotá 3108744775 Whatsapp Nacional 3007669890  
Dirección: calle 24 # 27A-56 Bogotá - Colombia  
[www.abclaboratorios.com](http://www.abclaboratorios.com) - [ventas@abclaboratorios.com](mailto:ventas@abclaboratorios.com) - [www.facebook.com/abclaboratorios](https://www.facebook.com/abclaboratorios)

Bogotá D.C., 10 de junio de 2021

Cot. No F-5156

SEÑORES  
JUAN PABLO POLANIA

Respetados señores

Nosotros ABC LABORATORIOS, empresa pionera con 49 años de experiencia en el diseño y fabricación de elementos y equipos de Laboratorio y Educativos en las áreas de las ciencias, ponemos a su consideración la siguiente propuesta:

| CODIGO  | NOMBRE                                     | PRESENTACION            | CANT. | VALOR UNIT.          | VALOR TOTAL      |
|---------|--|-------------------------|-------|----------------------|------------------|
| RA2917I | VASO PRECIPITADO FORMA BAJA RADICAL        | 1000 ml                 | 1     | \$23.400             | \$23.400         |
| RA2917A | VASO PRECIPITADO FORMA BAJA RADICAL        | 100 ml                  | 1     | \$10.440             | \$10.440         |
| 554707  | PIPETA GRADUADA SUBDIVISIONES EN 0,1 DE ml | 10 ml                   | 1     | \$5.004              | \$5.004          |
| RA3236D | VIDRIO DE RELOJ                            | 100 mm                  | 1     | \$4.704              | \$4.704          |
| 530307  | BALÓN VOLUMÉTRICO TAPÓN PLÁSTICO           | 1000 ml                 | 1     | \$86.400             | \$86.400         |
| 501201  | ESPÁTULA EN ACERO MANGO PLÁSTICO           | IC-50. Long.total 20 cm | 1     | \$6.043              | \$6.043          |
| 652903  | GOTERO PLASTICO                            | Graduado 2 ml           | 1     | \$298                | \$298            |
| 999999  | SODIO HIDROXIDO 2M                         | 1000mL                  | 1     | \$154.800            | \$154.800        |
|         |  |                         |       | <b>SUBTOTAL</b>      | <b>\$291.089</b> |
|         |  |                         |       | <b>IVA</b>           | <b>\$55.307</b>  |
|         |  |                         |       | <b>TOTAL CON IVA</b> | <b>\$346.396</b> |

CONDICIONES DE VENTA:

FORMA DE PAGO: CONTADO ANTICIPADO

VALIDEZ DE LA OFERTA 15 DIAS

TIEMPO DE ENTREGA 3 DIAS

En caso de alguna inquietud con gusto estamos dispuestos a colaborarle.

ESTOS PRECIOS NO INCLUYEN GASTOS DE ENVÍO

ARMANDO ELIECER LOPEZ  
COORDINADOR VENTAS BOGOTÁ  
"Aprender a amar aprendiendo Ciencias Experimentando"  
PBX: (57-1) 5186600 EXT. 117 CEL: 3108744775 3007669890 - 3507357697  
[comercial4@abclaboratorios.com](mailto:comercial4@abclaboratorios.com)  
[www.abclaboratorios.com](http://www.abclaboratorios.com)  
<https://www.facebook.com/abclaboratorios/>  
Instagram: <https://www.instagram.com/abclaboratorios/?hl=es-la>  
Suscríbete a nuestro nuevo canal: ABC YOUTUBE

# ANEXO 6

## E QUIPOS PARA ANALISIS FISICO-QUIMICOS



Carretera 34C # 17B - 80 Sur Bogotá, D. C. - Colombia  
 + (57) 1 900 31 61  
 info@quimicompany.com.co  
 + (57) 316 5326905  
 www.quimicompany.com.co



|                                   |                                       |                      |            |
|-----------------------------------|---------------------------------------|----------------------|------------|
| <b>Cliete:</b> JUAN PABLO POLANIA | <b>Email:</b> juanpolania.2@gmail.com | <b>Cotizacion No</b> | 1183       |
| <b>Contacto:</b>                  | <b>Entrega:</b> NEIVA - HUILA         | <b>Fecha</b>         | 11/06/2021 |
| <b>Telefono:</b> +57 310 3229449  | <b>Forma de Pago:</b> ANTICIPADO      | <b>Validez</b>       | 30 DIAS    |

| No | DESCRIPCIÓN  | MARCA             | TIEMPO DE ENTREGA | GARANTIA | CANT. | UND | VALOR UNITARIO | SUBTOTAL    | IVA (19%) | VALOR TOTAL |
|----|--|-------------------|-------------------|----------|-------|-----|----------------|-------------|-----------|-------------|
| 1  | <b>TURBIDIMETRO - MÉTODO NEFELÓMETRO</b><br>-RANGO: 0 A 1000 NTU<br>-RESOLUCIÓN: 0.01/0.1/1 NTU<br>-PANTALLA TFT CON COLORES<br>-DETECTOR: SILICONA FOTOVOLTAICA<br>-VOLUMEN DE MUESTRA: 18 ML<br>-4 BATERIAS ALCALINAS XAA<br>-CERTIFICACIÓN CE<br>- CALIFICACIÓN IP67<br>INCLUYE:<br>-4 SOLUCIONES ESTÁNDAR DE POLÍMERO DE ALTO PESO MOLECULAR (0.0 NTU, 20.0 NTU, 100 NTU, 400 NTU 800 NTU) CERTIFICACIÓN U.S.EPA.<br>-SET DE 3 BOTELLAS DE MUESTREO.<br>VER FICHA TÉCNICA REF: TM500   | APERA INSTRUMENTS | INMEDIATA         | 1 AÑO    | 1     | UND | \$3.300.000    | \$3.300.000 | \$627.000 | \$3.927.000 |
| 2  | <b>MEDIDOR DE PH DE SOBREMESA. MODELO:PH700</b><br>RANGO: 0-14 pH<br>RESOLUCIÓN: 0.1/0.01pH<br>PRECISIÓN: ±0.1pH ±1 DÍGITO<br>TEMPERATURA: 0-100 °C<br>ALMACENAMIENTO DE 50 GRUPOS<br>CALIFICACIÓN IP: RESISTENCIA A SALPICADURAS Y POLVO (IP54)<br>ELECTRODO DE ALTA CALIDAD<br>VER FICHA TÉCNICA   | APERA INSTRUMENTS | INMEDIATA         | 1 AÑO    | 1     | UND | \$ 1.150.000   | \$1.150.000 | \$218.500 | \$1.368.500 |
| 3  | <b>CONDUCTIVIMETRO DE MESA REF:EC700</b><br>RANGO: 0 to 200 mS/cm<br>INCLUYE:<br>(0.00-19.99) µS/cm; (20.0-199.9) µS/cm;<br>(200-1999) µS/cm; (2.00-19.99) mS/cm;<br>(20.0-199.9) mS/cm;<br>RESOLUCIÓN: 0.1/1 µS/cm; 0.01/0.1 mS/cm<br>COMPENSACIÓN DE TEMPERATURA<br>ALMACENAMIENTO DE DATOS: 50 GRUPOS<br>CERTIFICACIÓN IP54<br>VER FICHA TÉCNICA  | APERA INSTRUMENTS | INMEDIATA         | 1 AÑO    | 1     | UND | \$1.450.000    | \$1.450.000 | \$275.500 | \$1.725.500 |
| 4  | <b>MEDIDOR MULTIPARAMETRO DE MESA PH/MV/ COND/TDS/SALINIDAD/TEMP REF:910</b><br>RANGO DE MEDICIÓN : (0.00 - 14.00) PH<br>RESOLUCION: 0.1/0.01 PH<br>RANGO: ±2000mV<br>RESOLUCIÓN:1mV<br>RANGO DE MEDICION: CONDUCTIVITY : 0-200 MS/CM, DIVIDIDO EN 5 RANGOS:<br>(0 TO 19.99) MS/CM;<br>(20.0 TO 199.9) MS/CM;<br>(200 TO 1999) MS/CM;<br>(2.00 TO 19.99) MS/CM;<br>(20.0 TO 199.9) MS/CM<br>TDS: (0 TO 100) G/L<br>SALINITY: (0 TO 100) PPT<br>RESOLUCIÓN: 0.01/0.1/1MS/CM 0.01/0.1 MS/CM<br>RANGO DE MEDICION: 0-100°C<br>-ALMACENAMIENTO DE DATOS: 200 GRUPOS<br>-CONECTORES: BNC FOR PH, CONDUCTIVITY, AND ORP;<br>RCA PARA TEMPERATURA INCLUYE<br>SOLUCION DE CALIBRACION pH 4, pH 7, pH 10.01<br>SOLUCION DE CALIBRACION CONDUCTIVIDAD 84µS/cm ,1413 µS/cm,12.88mS/cm | APERA INSTRUMENTS | INMEDIATA         | 1 AÑO    | 1     | UND | \$2.300.000    | \$2.300.000 | \$437.000 | \$2.737.000 |

|   |          |         |       |   |     |   |              |              |             |              |             |
|---|----------|---------|-------|---|-----|---|--------------|--------------|-------------|--------------|-------------|
| <p><b>EQUIPO PRUEBA DE JARRAS LINEAL 6 PUESTOS</b><br/> Especificaciones: EQUIPO DIGITAL AUTOMATICO DE MUY FACILPROGRAMACION.<br/> *Velocidad Variable: 10-300 r.p.m.<br/> *Control de velocidad: P.I.D. lasso cerrado<br/> *Transmisión de movimiento: piñón, igual velocidad en todas las aspas<br/> *Programación: manual, automática visualización de velocidad y tiempo en LCD.<br/> *Ciclos de trabajo: simple, temporizado hasta 99 horas , rampa 2puntos, rampa 3puntos.<br/> *Control: digital por teclado<br/> 5 *Nivel de precisión: +- 1 r.p.m.<br/> *Ciclo de trabajo programable: (1 segundo hasta 10 horas). Alarma: sonora terminación de ciclo.<br/> *Lámpara: fluorescente blanca de 60 wts.120volt<br/> *Altura Libre Para Vaso de Prueba 20 cm. hasta 2 litros<br/> *Aspas en acero inoxidable, altura fácil de graduar.<br/> *Estructura construida en Cold Rolled con pintura electrostática, alta resistencia<br/> *Mecánica, térmica y humedad.<br/> *Línea de voltaje: 120VAC/60Hz. Fusible de 3 amperios.<br/> *Consumo de energía: +- 300 watts.</p> | NACIONAL | 15 DÍAS | 1 AÑO | 1 | UND |    | \$           | 3.750.000    | \$3.750.000 | \$712.500    | \$4.462.500 |
| <p><b>VASO ACRILICO GRABADO DE 2Lts</b><br/> CON LLAVE PARA TOMA DE MUESTRAS</p>  | NACIONAL | 10 DÍAS | N.A   | 1 | UND |    | \$210.000    | \$210.000    | \$39.900    | \$249.900    |             |
| <p><b>BALANZA ANALITICA CON CABINA DE VIDRIO</b><br/> *CAPACIDAD MAXIMA :220 G<br/> *LEGIBILIDAD: 0,0001 g<br/> *DESVIACION DE LINEALIDAD: ±0.0002<br/> *TAMAÑO DE PLATO: 85 mm<br/> *TIEMPO DE ESTABILIZACIÓN: 3.5 SEG<br/> *CALIBRACION INTERNA AUTOMATICA<br/> *PANTALLA LCD<br/> 7 *INTERFASE DE SALIDA RS232C<br/> *TEMPERATURA DE TRABAJO: 10°C -40 °C<br/> *DIMENSIONES DE EQUIPO: (PROFUNDO X ANCHO X ALTO) 333x206x355 MM<br/> *PESO:5.6 KG<br/> INCLUYE: MANUAL DE INSTRUCCIONES</p>  | BOECO    | 5 DÍAS  | 1 AÑO | 1 | UND |   | \$3.990.000  | \$3.990.000  | \$758.100   | \$4.748.100  |             |
| <p><b>SPECTROFOTOMETRO UV/VIS REF-P4</b><br/> • RANGO DE LONGITUD DE ONDA: 190nm -1100nm<br/> • ANCHO DE BANDA : 2NM<br/> • REPETIBILIDAD DE LA LONGITUD DE ONDA: ± 0,5 NM<br/> • EXACTITUD FOTOMETRICA: ±0.5%T<br/> • REPETIBILIDAD FOTOMETRICA: ±0.2%T<br/> • LUZ:D2 LAMP, TUNGSTEN LAMP<br/> • SISTEMA OPTICO: UN SOLO HAZ<br/> • DISPLAY: 5 " COLOR TOUCH SCREEN<br/> • OLT PUT: USB , SERIEL PORT, BLUETOOTH (OPCIONAL)<br/> • SPECTRUM SCANNING :SI<br/> • TAMAÑO: 456 (W) x 360 (D) x 185 (H) MM<br/> • ALMACENAMIENTO: 236 KB (INTEGRADO), ILIMITADO (ALMACENAMIENTO USB)<br/> • 6 IDIOMAS (INGLÉS, ALEMÁN, FRANCÉS, ESPAÑOL, PORTUGUÉS, CHINO SIMPLIFICADO)</p>  | MAPADA   | 60 DÍAS | 1 AÑO | 1 | UND |  | \$12.450.000 | \$12.450.000 | \$2.365.500 | \$14.815.500 |             |

## ANEXO 7

### BOMBA PARA LA MEJORA DE TRATAMIENTO

#### Bomba YHW/YL: BOMBA CENTRÍFUGA

##### Introduction of corrosion resistance YHW/YHL series

**Production description**

This type is associated with equipment of electroplating solution, chemical engineering, pharmacy, circuit board that are for circulation of cooling, or medium delivery of strong corrosion like strong acid or alkali, special electroplating solution, and waste water.

**Product profiles**

1 The design is for self-sucking, and self-cooling. The power of self-sucking is very strong, and can reach 20ft without cooling circulation circuit. This design has non-return valve (one way valve) that can prevent water to reverse.

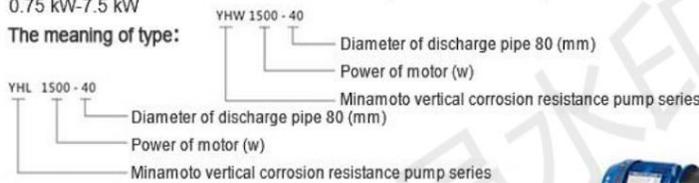
2 The material of flowing parts of pump is GFRPP, CPVC, PVDF, so they have strong corrosion resistance that can endure strong acid and strong alkali.

3 The durability and corrosion resistance of mechanical seal of YHW series are very strong: Mechanical seal adopts special material, Teflon, and is flexible that can combine with different materials, like SiC, carbon, and porcelain. So, it can endure different strong acid, strong alkali, liquid with particles, and different chemical solution. The porcelain pedestal of mechanical seal is made of high temperature plastic steel, so it can endure 170°C of idling rotation. The spring of mechanical seal, so it can endure the strong acid, strong alkali, heatness.

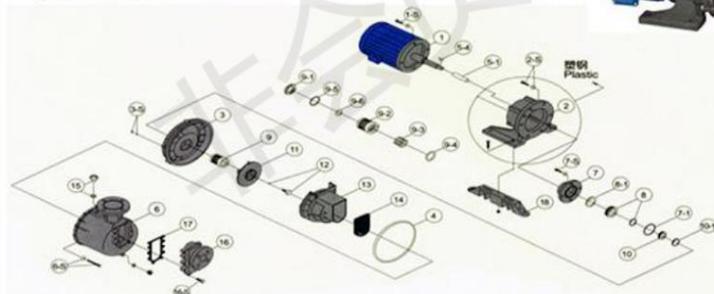
4 Applied temperature: below 80°C

5 Technology parameters: Caliber:40mm-80mm) Flow:5.0- 80 m³/h) Head:5-28m Rotation:2900 r / min Power: 0.75 kW-7.5 kW

**The meaning of type:**

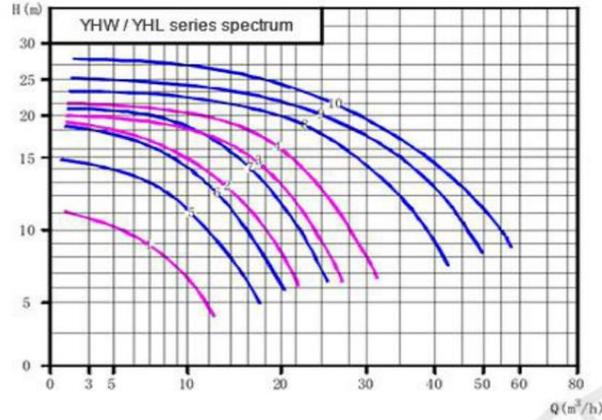


**Exploded view**



| NO  | Component                 | NO  | Component                           | NO | Component                                |
|-----|---------------------------|-----|-------------------------------------|----|--|
| 1   | Motor                     | 8   | Ceramic ring seat O-shaped seal)    | 12 | Shaft seal fixing screw ( O-shaped seal) |
| 2   | Feet                      | 9   | Front shaft seal                    | 13 | Middle cover                             |
| 3   | Rear cover                | 9-1 | Moving ring                         | 14 | Check valve                              |
| 4   | O-ring seal               | 9-2 | Telescopic ring                     | 15 | Water injection cap ( O-shaped seal)     |
| 5-1 | Sleeve                    | 9-3 | Spring                              | 16 | Self-priming                             |
| 5-2 | Axis                      | 9-4 | Before the O-ring                   | 17 | Self-priming gasket                      |
| 5-3 | Shaft fixing screws       | 9-5 | Gasket                              | 18 | Tripod                                   |
| 5-4 | Pivot key                 | 9-6 | Rear O-ring                         |    |  |
| 6   | Main pump body            | 10  | Shaft seal retaining ring ( O-ring) |    |  |
| 7   | Shield seal (O-seal tape) | 11  | Impeller                            |    |  |

YHW / YHL series spectrum



YHW / YHL series performance parameter table

| Serial NO. | Model      | Import and export diameter mm | Capacity Q |                   | Head H m | Speed n r/min | Efficiency η % | Matching motor Motor |                 | Weight G kg |
|------------|------------|-------------------------------|------------|-------------------|----------|---------------|----------------|----------------------|-----------------|-------------|
|            |            |                               | l/min      | m <sup>3</sup> /h |          |               |                | kW                   | V               |             |
| 1          | YHW750-40  | 40*40                         | 14         | 0.8               | 11       | 2900          | 40             | 0.75                 | 220/380<br>50Hz | 26          |
|            |            |                               | 85         | 5.2               | 10       |               |                |                      |                 |             |
|            |            |                               | 185        | 11.0              | 6        |               |                |                      |                 |             |
| 2          | YHW1500-40 | 40*40                         | 50         | 3.0               | 18       | 2900          | 40             | 1.5                  | 220/380<br>50Hz | 34          |
|            |            |                               | 133        | 8.0               | 16       |               |                |                      |                 |             |
|            |            |                               | 333        | 20.0              | 8        |               |                |                      |                 |             |
| 3          | YHW2200-50 | 50*50                         | 142        | 8.5               | 18       | 2900          | 45             | 2.2                  | 220/380<br>50Hz | 36          |
|            |            |                               | 235        | 14.2              | 16       |               |                |                      |                 |             |
|            |            |                               | 440        | 26.4              | 8        |               |                |                      |                 |             |
| 4          | YHW3700-50 | 50*50                         | 183        | 11.0              | 20       | 2900          | 45             | 3.7                  | 380/660<br>50Hz | 72          |
|            |            |                               | 265        | 16.0              | 18       |               |                |                      |                 |             |
|            |            |                               | 500        | 30.0              | 8        |               |                |                      |                 |             |
| 5          | YHL750-40  | 50*40                         | 142        | 8.5               | 12       | 2900          | 45             | 0.75                 | 220/380<br>50Hz | 36          |
|            |            |                               | 210        | 12.6              | 10       |               |                |                      |                 |             |
|            |            |                               | 235        | 14.1              | 8        |               |                |                      |                 |             |
| 6          | YHL1500-40 | 50*40                         | 58         | 3.5               | 18       | 2900          | 46             | 1.5                  | 220/380<br>50Hz | 42          |
|            |            |                               | 134        | 8.0               | 16       |               |                |                      |                 |             |
|            |            |                               | 275        | 16.5              | 8        |               |                |                      |                 |             |
| 7          | YHL2200-40 | 50*40                         | 50         | 3.0               | 20       | 2900          | 55             | 2.2                  | 220/380<br>50Hz | 44          |
|            |            |                               | 175        | 10.5              | 18       |               |                |                      |                 |             |
|            |            |                               | 350        | 21.0              | 8        |               |                |                      |                 |             |
| 8          | YHL3700-50 | 65*50                         | 275        | 16.5              | 22       | 2900          | 65             | 3.7                  | 380/660<br>50Hz | 54          |
|            |            |                               | 375        | 22.5              | 20       |               |                |                      |                 |             |
|            |            |                               | 665        | 40.0              | 10       |               |                |                      |                 |             |
| 9          | YHL5500-50 | 65*50                         | 242        | 14.5              | 24       | 2900          | 65             | 5.5                  | 380/660<br>50Hz | 84          |
|            |            |                               | 375        | 22.5              | 22       |               |                |                      |                 |             |
|            |            |                               | 832        | 50.0              | 10       |               |                |                      |                 |             |
| 10         | YHL7500-65 | 80*65                         | 240        | 14.4              | 26       | 2900          | 68             | 7.5                  | 380/660<br>50Hz | 95          |
|            |            |                               | 375        | 22.5              | 24       |               |                |                      |                 |             |
|            |            |                               | 900        | 54.0              | 10       |               |                |                      |                 |             |

YHL series outline installation size table

| Serial No. | Model      | Dimensions ( mm ) |     |     |    |    |     |     |     |     |     | Flange size ( mm ) |     |     |      | Note         |
|------------|------------|-------------------|-----|-----|----|----|-----|-----|-----|-----|-----|--------------------|-----|-----|------|--------------|
|            |            | A                 | B   | C   | D  | H  | L   | W   | C1  | L1  | W1  | E                  | φ   | φ1  | n-φd |              |
| 5          | YHL750-40  | 300               | 710 | 320 | 15 | 76 | 222 | 222 | 155 | 260 | 260 | 57                 | 120 | 155 | 4-19 | Inlet flange |
|            |            |                   |     |     |    |    |     |     |     |     |     |                    | 50  | 105 | 145  | 4-19         |
| 6          | YHL1500-40 | 300               | 755 | 330 | 15 | 76 | 222 | 222 | 165 | 260 | 260 | 57                 | 120 | 155 | 4-19 | Inlet flange |
|            |            |                   |     |     |    |    |     |     |     |     |     |                    | 50  | 105 | 145  | 4-19         |
| 7          | YHL2200-40 | 300               | 755 | 330 | 15 | 76 | 222 | 222 | 165 | 260 | 260 | 57                 | 120 | 155 | 4-19 | Inlet flange |
|            |            |                   |     |     |    |    |     |     |     |     |     |                    | 50  | 105 | 145  | 4-19         |
| 8          | YHL3700-50 | 330               | 795 | 360 | 15 | 74 | 222 | 222 | 180 | 260 | 260 | 68                 | 140 | 177 | 4-19 | Inlet flange |
|            |            |                   |     |     |    |    |     |     |     |     |     |                    | 50  | 120 | 155  | 4-19         |
| 9          | YHL5500-50 | 375               | 865 | 400 | 18 | 62 | 300 | 300 | 240 | 350 | 350 | 68                 | 150 | 190 | 8-19 | Inlet flange |
|            |            |                   |     |     |    |    |     |     |     |     |     |                    | 68  | 140 | 177  | 4-19         |
| 10         | YHL7500-65 | 375               | 865 | 400 | 18 | 62 | 300 | 300 | 240 | 350 | 350 | 68                 | 150 | 190 | 8-19 | Inlet flange |
|            |            |                   |     |     |    |    |     |     |     |     |     |                    | 68  | 140 | 177  | 4-19         |



## BOMBA DBY-80FTF: BOMBA DIAFRAGMA

|   |  |   |        |                               |                       |                           |      |
|---|--|---|--------|-------------------------------|-----------------------|---------------------------|------|
|                                    |  | <b>Jiangsu Feixiang Industrial water pump</b>           |        |                               |                       |                           |      |
| Bank Information  |  |   |        | Company information           |                       |                           |      |
| Account No.   | 536575726311   |   |        | Address                       | Jingjiang city ,china |                           |      |
| Payee   | JIANGSU FEIXIANG ELECTROMECHANICAL MANUFACTURING CO.,LTD |   |        | Zip                           | 214533                |                           |      |
| Address   | BANK OF CHINA JIANGSU BRANCH JINGJIANG SUB-BRANCH        |   |        | Fax                           | 86 0523 85117118      |                           |      |
| Bank  | 111 JIJIANG ROAD JINGJIANG JIANGSU CHINA                 |   |        | Mobile                        | 86 19952994738        |                           |      |
| Swift code  | BKCHCNBJ940  |   | E-mail | feixiangwaterpump@outlook.com |                       |                           |      |
| <b>商业发票 Proforma Invoice</b>  |  |   |        |                               |                       |                           |      |
| Seller  | Jiangsu Feixiang Electromechanical Manufacturing CO.,LTD |   |        |                               |                       |                           |      |
| Buyer   |  |   |        |                               |                       |                           |      |
| This contract is agreed between the Buyer and Seller, in accordance with the terms and conditions stipulated below. |  |   |        |                               |                       |                           |      |
| No.   | Name   | Flow rate   | Head   | Material                      | Power                 | Quantity                  | Unit |
| 1   | DBY3-80FTFF Motor type                                   | 12.5m3/h  | 5m     | PVDF                          | 3.0KW-2               | 1                         | 1600 |
| Option  | DBY3-80FTFF Pneumatic                                    |   |        |                               | Pneumatic             | 1                         | 500  |
| Note  | 380v-50HZ- Motor ,inlet and outlet is DN80               |   |        |                               |                       |                           |      |
| Other terms   |  |   |        |                               |                       |                           |      |
| 1   | Total Value  | USD-FOB   |        |                               |                       |                           |      |
| 2   | Packing  | Wooden case   |        |                               |                       |                           |      |
| 3   | Time of Shipment   | The products will be sent within 15 working days        |        |                               |                       |                           |      |
| 4   | Port of Loading  | Shanghai  |        | Destination                   |                       |                           |      |
| 5   | Terms of Payment   | 50% in advance and the balance paid 50% before shipping |        |                               |                       |                           |      |
|                                 |  |   |        |                               |                       |                           |      |
|   |  |   |        |                               |                       | Date 2021-06-17           |      |
|   |  |   |        |                               |                       | Contract No.: FX513165435 |      |

## ANEXO 8

### MEZCLADOR DE COAGULANTE INDUSTRIAL



**Jiangsu Speed Precision Machinery Technology Co., Ltd.**

ADD: Yanzheng Road, Niutang Industry Zone, Wujin District, Changzhou City, Jiangsu Province, China  
 Tel: +86-13861154901 Fax: +86-519-86354767



#### Price List

| Model No.   | Description   | Picture                        | Whight /kg | Unit price exw<br>USD/Unit | Quantity | Amount<br>(USD) |
|---|---|--------------------------------|------------|----------------------------|----------|-----------------|
| B3-35-<br>5.5KW/SS<br>304/2800/1<br>500   | 1、SS304 mixer<br>2、 speed: 40rpm-100rpm<br>3、 SS304 mixer rod: 2.8m<br>SS304 blade:1.5mm (Double<br>layer)<br>5、 motor: 5.5kw Frequency<br>conversion motor (with<br>frequency converter) 380V<br>50hz, 3phase,4p |                                | 70         | 1258                       | 2        | 2516            |
| frequency<br>converter  | frequency converter (380V<br>50hz 3Phase )  |                                | 8          | 247                        | 2        | 494             |
| TJ5   | Mixer rack (carbon steel)   |                                | 50         | 347                        | 2        | 694             |
| <b>BY AIR</b>   |   |                                |            |                            |          |                 |
| <b>HS CODE</b>  |   |                                |            |                            |          |                 |
| <b>BY sea</b>   |   |                                |            |                            |          |                 |
| <b>WHIGHT</b>   |   | <b>made in changzhou china</b> |            |                            |          |                 |
| <b>Total</b>  |   |                                |            |                            |          | <b>\$3,704</b>  |
| <b>Account No:</b> 1030 0788 5751 5   |   |                                |            |                            |          |                 |
| <b>PAYEE:</b> Jiangsu Speed Precision Machinery Technology Co., Ltd.            |   |                                |            |                            |          |                 |
| <b>Address:</b> 10 COLLYER QUAY #10-01 OCEAN FINANCIAL CENTRE SINGAPORE         |   |                                |            |                            |          |                 |
| <b>Bank:</b> Citibank N.A Singapore Branch                                      |   |                                |            |                            |          |                 |
| <b>Bank address:</b> 5 Changi Business Park Crescent, Level 5, Singapore 486027 |   |                                |            |                            |          |                 |
| <b>SWIFT CODE:</b> CITISGSGXXX  |   |                                |            |                            |          |                 |
| <b>BANK CODE :</b> 7214   |   |                                |            |                            |          |                 |
| <b>BRANCH CODE :</b> 001  |   |                                |            |                            |          |                 |
| <b>Remarks:</b>   |   |                                |            |                            |          |                 |
| 1.Date of shipment : 10-15workdays upon the receipt of payment                  |   |                                |            |                            |          |                 |
| 2 Bank fee:All the local & overseas fees will be paid by buyer                  |   |                                |            |                            |          |                 |
| 3. Usually Terms of payment: 100%T/T in advance                                 |   |                                |            |                            |          |                 |
| 4.All machines math with metal roller.  |   |                                |            |                            |          |                 |

# ANEXO 9

## INSUMOS QUIMICOS

ASESORIA Y DISTRIBUCIÓN DE EQUIPOS Y QUÍMICOS NIT 80020027-6  
Versión 2.0 Código PCT-01



Digna Altrix

Suprema

DAFC

M

MILIPOR

### COTIZACIÓN

Por favor citar este número en su Orden de compra

I-515

CIUDAD: BOGOTÁ D.C.

FECHA: 15-06-2021

EMPRESA:

ATENCIÓN: Juan Pablo Polanía B

#### CONDICIONES COMERCIALES

**Válida:** Esta cotización es vigente por todo el año 2021.

**Términos de entrega:** estos sujetos a cambios dependiendo de la disponibilidad de los productos. Los fechas son estimadas, y pueden variar un par de días.

**Forma de pago:** Acuerdo previo con ADEQUIM S.A.S.

**Recordar:** El cliente final debe verificar que los reactivos sean acordes a sus necesidades: marca, presentación, empaque y tiempos de entrega y debe emitir el orden de compra citando la "referencia para pedido" y número de cotización.

**Resolución y/o cancelación:** A partir de la recepción de la orden de compra o la legalización del comprobante, los cambios son de 10 días hábiles para cualquier cancelación o modificación de cantidades, posterior a ese tiempo NO se aceptan cambios o devoluciones. Para solicitar la devolución de un producto debe ser debidamente por correo electrónico, no se permiten devoluciones con la transportadora o con la persona de despachos.

Según nuestra Política global de Merck y los factos de crecimiento, la cual ADEQUIM S.A.S. también establece en nuestros envases, productos, sitios, sitios:

Productos con vida útil < 8 meses Se entregan hasta con 1 mes

Productos con vida útil > 9 y < 12 meses Se entregan hasta con 2 meses

Productos con vida útil > 12 y < 24 meses Se entregan hasta con 3 meses

Productos con vida útil > 24 meses Se entregan hasta con 4 meses

**\*El cliente evaluará los datos de desecho antes de emitir orden de compra\***

**\*Se dan por aceptados estos términos y condiciones al momento del envío de la orden de compra o la legalización del**

| ITEM   | REFERENCIA PARA PEDIDO | DESCRIPCIÓN  | PREZ | CANT | V. UNITARIO | SUBTOTAL  | IVA       | V. TOTAL  | MARCA      | TIEMPO DE ENTREGA |   |
|--|------------------------|--|------|------|-------------|-----------|-----------|-----------|------------|-------------------|---|
| 1  | 1091371000             | SODIO HIDROXIDO EN SOLUCION C(NaOH) = 1 MOLA (1 N) TITRIPUR<br><a href="https://www.merckmillipore.com/CO/es/product/Sodium-hydroxide-solution,MDA_CHEM-109137?&amp;nc=ordercomp">https://www.merckmillipore.com/CO/es/product/Sodium-hydroxide-solution,MDA_CHEM-109137?&amp;nc=ordercomp</a><br><b>VERIFICAR</b><br>ENTREGA DE HASTA 15 UNO DISPONIBLES EN NUESTRA BODEGA PARA EN 5 DIAS APROX. SALVO VENTA PREVIA |      | 1 L  | 1           | \$ 52.300 | \$ 52.300 | \$ 9.375  | \$ 62.475  | MERCK             | En plazo 5 días hábiles después de recibida la orden de compra salvo venta previa |
| 2  | 1007311000             | ÁCIDO SULFÚRICO 95-97% P.A. EMSURE ISO<br><a href="https://www.merckmillipore.com/CO/es/product/Sulfuric-acid-95-97-EMDA_CHEM-100731?&amp;nc=ordercomp">https://www.merckmillipore.com/CO/es/product/Sulfuric-acid-95-97-EMDA_CHEM-100731?&amp;nc=ordercomp</a><br><b>VERIFICAR</b><br>ENTREGA DE HASTA 20 UNO DISPONIBLES EN NUESTRA BODEGA PARA EN 5 DIAS APROX. SALVO VENTA PREVIA                                |      | 1 L  | 1           | \$ 85.000 | \$ 85.000 | \$ 16.150 | \$ 101.150 | MERCK             | En plazo 5 días hábiles después de recibida la orden de compra salvo venta previa |
| SUBTOTAL   |                        |  |      |      |             |           |           |           | \$         | 137.300           |   |
| IVA  |                        |  |      |      |             |           |           |           | \$         | 26.125            |   |
| TOTAL  |                        |  |      |      |             |           |           |           | \$         | 163.425           |   |
| <small>RODRIGO TIRACÓZA - adequim_fin@gmail.com</small><br><b>MISION:</b> En Adequim S.A.S. estamos comprometidos a satisfacer las necesidades de nuestros clientes, con productos de alta calidad a precios razonables y entregándolos en el tiempo acordado.<br><b>CARRERA 72A # 68B-46 PBX: 2512977 ext 108 Cel: 320 858 5928 Correo Electronico: adequim_fin@gmail.com</b> |                        |  |      |      |             |           |           |           |            |                   |   |

# Hidróxido de Sodio



## Specification

1.09137.1000 Sodium hydroxide solution  $c(\text{NaOH}) = 1 \text{ mol/l}$  (1 N) Titripur® Reag. Ph Eur, Reag. USP

| Specification                     |               |       |
|-----------------------------------|---------------|-------|
| Form                              | liquid        |       |
| Amount-of-substance concentration | 0.995 - 1.005 | mol/l |
| Measurement uncertainty           | +/- 0.003     | mol/l |
| Traceability                      | NIST SRM      |       |

The concentration is determined by volumetric titration and refers to 20°C. The certified value of this volumetric solution was determined with hydrochloric acid standard solution (article number 1.09057). The hydrochloric acid standard solution is standardized and traceable to a primary standard from the National Institute of Standards and Technology, Gaithersburg, USA (NIST SRM 723 Tris(hydroxymethyl)aminomethane) by means of volumetric standard Tris(hydroxymethyl)aminomethane (Art. 1.02408). This volumetric standard is certified by the accredited calibration laboratory of Merck KGaA, Darmstadt, Germany according to DIN EN ISO 17025. The uncertainty is expressed as expanded measurement uncertainty with a coverage factor  $k=2$  covering a confidence level of 95%. All measurements are carried out in the accredited calibration laboratory of Merck KGaA, Darmstadt, Germany.

Note: The titer is a correction factor to correct for variations of the volumetric solution, the titration equipment, the temperature and other laboratory conditions. For correct titration results it is recommended to determine a titer with the laboratory specific equipment and under laboratory specific conditions directly after opening a new bottle and at regular time intervals.

Ayfer Yildirim  
Responsible laboratory manager quality control

This document has been produced electronically and is valid without a signature.

# ÁCIDO SULFÚRICO



## Specification

1.00731.1000 Sulfuric acid 95-97% for analysis EMSURE® ISO

|  | Specification |       |
|--|---------------|-------|
| Assay (alkalimetric)   | 95.0 - 97.0   | %     |
| Color  | ≤ 10          | Hazen |
| Chloride (Cl)  | ≤ 0.1         | ppm   |
| Nitrate (NO <sub>3</sub> )                                       | ≤ 0.2         | ppm   |
| Phosphate (PO <sub>4</sub> )                                     | ≤ 0.5         | ppm   |
| Ag (Silver)  | ≤ 0.010       | ppm   |
| Al (Aluminium)   | ≤ 0.050       | ppm   |
| As (Arsenic)   | ≤ 0.010       | ppm   |
| Au (Gold)  | ≤ 0.050       | ppm   |
| B (Boron)  | ≤ 0.050       | ppm   |
| Ba (Barium)  | ≤ 0.050       | ppm   |
| Be (Beryllium)   | ≤ 0.010       | ppm   |
| Bi (Bismuth)   | ≤ 0.050       | ppm   |
| Ca (Calcium)   | ≤ 0.100       | ppm   |
| Cd (Cadmium)   | ≤ 0.010       | ppm   |
| Co (Cobalt)  | ≤ 0.010       | ppm   |
| Cr (Chromium)  | ≤ 0.020       | ppm   |
| Cu (Copper)  | ≤ 0.010       | ppm   |
| Fe (Iron)  | ≤ 0.100       | ppm   |
| Ga (Gallium)   | ≤ 0.050       | ppm   |
| Ge (Germanium)   | ≤ 0.020       | ppm   |
| In (Indium)  | ≤ 0.050       | ppm   |
| K (Potassium)  | ≤ 0.100       | ppm   |
| Li (Lithium)   | ≤ 0.010       | ppm   |
| Mg (Magnesium)   | ≤ 0.050       | ppm   |
| Mn (Manganese)   | ≤ 0.010       | ppm   |
| Mo (Molybdenum)  | ≤ 0.020       | ppm   |
| Na (Sodium)  | ≤ 0.300       | ppm   |
| NH <sub>4</sub> (Ammonium)                                       | ≤ 1           | ppm   |
| Ni (Nickel)  | ≤ 0.020       | ppm   |
| Pb (Lead)  | ≤ 0.010       | ppm   |
| Pt (Platinum)  | ≤ 0.100       | ppm   |
| Sn (Tin)   | ≤ 0.050       | ppm   |
| Sr (Strontium)   | ≤ 0.010       | ppm   |
| Ti (Titanium)  | ≤ 0.020       | ppm   |
| Tl (Thallium)  | ≤ 0.020       | ppm   |
| V (Vanadium)   | ≤ 0.010       | ppm   |
| Zn (Zinc)  | ≤ 0.050       | ppm   |
| Zr (Zirconium)   | ≤ 0.020       | ppm   |
| Substances reducing potassium permanganate (as SO <sub>2</sub> ) | ≤ 2           | ppm   |
| Residue on ignition  | ≤ 3           | ppm   |

Merck KGaA, Frankfurter Straße 250, 64293 Darmstadt (Germany): +49 6151 72-0  
EMD Millipore Corporation - a subsidiary of Merck KGaA, Darmstadt, Germany  
400 Summit Drive, Burlington, MA 01803, USA, Phone +1 (781) 533-6000

Page 1 of 2

# ALGINATO DE SODIO



## AMIT HYDROCOLLOIDS

Regd. Office : Gala No. 121, 1st Floor, Raja Ind. Estate, Plot No. 705-B, P.E. Road, Mulund (West), Mumbai - 400 080, (India)  
 ☎ +91-22-41540303 (upto 180 lines) • Fax : +91-22-61540300 • e-mail : saleshydro@amitgroup.in

Date: 20/03/2018

### CERTIFICATE OF ANALYSIS

Name of the Product : Sodium Alginate U.S.P.  
 Grade : 500  
 Mfg. dt. : Mar 2018  
 Exp. dt. : Feb 2023

Batch No. : 06007/18  
 Quantity : 500 Kg

| No. | TESTS  | RESULTS                   | SPECIFICATIONS<br>(U.S.P. 38 / N.F. 33)   |
|-----|--|---------------------------|---|
| 1.  | Identification                                       | Complies with test A & B. | A. Voluminous, gelatinous precipitate formed with calcium chloride solution.<br>B. Heavy, gelatinous precipitate formed with dilute sulfuric acid |
| 2.  | Assay (%)  | 97.7                      | 90.8 to 106.0   |
| 3.  | Arsenic (ppm)  | Below 1.5                 | Maximum 1.5   |
| 4.  | Lead (ppm)   | Below 10                  | Maximum 10  |
| 5.  | Heavy metals (ppm)                                   | Below 20                  | Maximum 20  |
| 6.  | Microbial limit:<br>A. Total bacterial count (CFU/g) | Below 200                 | Maximum 200   |
|     | B. <i>Salmonella</i> species                         | Absent                    | Absent  |
|     | C. <i>Escherichia coli</i>                           | Absent                    | Absent  |
| 7.  | Loss on drying (%)                                   | 5.4                       | Maximum 15.0  |
| 8.  | Total ash (%) (On dried basis)                       | 24.8                      | 18.0 to 27.0  |

**Additional Test :**

|    |   |                                      |   |
|----|---|--------------------------------------|---|
| 1. | Appearance  | White or pale yellowish-brown powder | White or pale yellowish-brown powder.               |
| 2. | Solubility  | Complies                             | Soluble in water, practically insoluble in ethanol. |
| 3. | Apparent viscosity, (10% aq. solution, 20 RPM, Spindle no. 3, Brookfields Viscometer - LVT) (cps) 20 °c | 605                                  | 300 to 700 cps                                      |
| 4. | Particle Size   | 99.5                                 | NLT 99.0 % through 60 mesh                          |
| 5. | Total Yeast & Fungi count   | Below 100                            | 10 <sup>7</sup> cfu/gm.                             |

**REMARK:** - This is to certify that the product complies with the prescribed standards of Quality as per U.S.P.

QA Officer:

QC Officer:

FACTORY : Plot No. 340-341, Savli - G.I.D.C. Estate, Manjisar - 391 775, Vadodara, (Gujarat)  
 ☎ 0266 7290329 Email : saleshydro@amitgroup.in

## ANEXO 10

### ANALISIS MENSUAL DE AGUA POTABLE

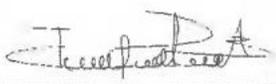
| <br><b>Es Vida SAS</b>                 | <b>REPORTE DE RESULTADOS DE LABORATORIO - IRCA</b> | <br><small>Resolución 0316/2016<br/>Resolución 3187/2019</small> |                                 |            |           |   |                        |              |
|---|--|---|---------------------------------|------------|-----------|---|------------------------|--------------|
| CÓDIGO: F05-PT04  | VERSIÓN: 1   | Fecha: 30/04/2019   |                                 |            |           |   |                        |              |
| <b>REPORTE No. 11449-21</b>   |  |   |                                 |            |           |   |                        |              |
| SEÑOR(ES): <b>EMSERTENJO SA ESP</b>   |  | CODIGO DE MUESTRA: <b>11449-21</b>  |                                 |            |           |   |                        |              |
| CONTACTO: <b>Ing. Julian Reinaldo Sanchez</b>   | TELÉFONO: <b>3208958566</b>                        |   |                                 |            |           |   |                        |              |
| DIRECCIÓN: <b>Carrera 3 #3-34</b>   | CIUDAD: <b>Tenjo- Cundinamarca</b>                 |   |                                 |            |           |   |                        |              |
| PUNTO: <b>1002 - Calle 3 x Carrera 4 Parque principal</b>   | TIPO DE MUESTRA: <b>Agua Potable</b>               |   |                                 |            |           |   |                        |              |
| MUESTREO: <input checked="" type="checkbox"/> <b>Contramuestra</b>  | COORDENADAS: <b>N: 04°52'18,8"</b>                 | FECHA DE TOMA: <b>2021-03-01</b>  |                                 |            |           |   |                        |              |
| <input type="checkbox"/> <b>Unica</b> No. Horas: <b>N.A</b>   | <b>W: 74°07'50,1"</b>                              | HORA INICIO: <b>8:20 a. m.</b>  |                                 |            |           |   |                        |              |
| <input type="checkbox"/> <b>Punto Concertado</b>  |  | FECHA RECEPCIÓN: <b>2021-03-01</b>  |                                 |            |           |   |                        |              |
| <b>RESULTADOS</b>   |  |   |                                 |            |           |   |                        |              |
| ENSAYO  | METODO   | LC  | UNIDADES                        | FECHA      | RESULTADO | RESOLUCIÓN 2115/2007 Valor máximo aceptable | PUNTAJE DE RIESGO IRCA | CUMPLIMIENTO |
| *pH   | SM 4500 H+B  | N.A   | Unidades de pH                  | 2021-03-01 | 7,50      | 6,5 - 9,0                                   | 1,5                    | Cumple       |
| *Conductividad  | SM 2510 B  | 10  | µs/cm                           | 2021-03-01 | 120,00    | 1000  | N.E                    | Cumple       |
| *Cloro Residual   | SM 4500 ClG  | 0,01  | mg Cl2/L                        | 2021-03-01 | 0,67      | 0,3 - 2,0                                   | 15                     | Cumple       |
| Turbiedad   | SM 2130 B  | 1   | NTU                             | 2021-03-01 | <1,00     | 2   | 15                     | Cumple       |
| Color Aparente  | SM 2120 B  | 5   | UPC                             | 2021-03-01 | <5,00     | 15  | 6                      | Cumple       |
| Coliformes Totales  | SM 9223 B(a)                                       | N.A   | Presencia/Ausencia              | 2021-03-01 | Ausencia  | Ausencia                                    | 15                     | Cumple       |
| E-Coli  | SM 9223 B(a)                                       | N.A   | Presencia/Ausencia              | 2021-03-01 | Ausencia  | Ausencia                                    | 25                     | Cumple       |
| *Análisis medidos en Campo<br>**Análisis Subcontratados<br>N.A - No Aplica / N.R - No Reporta /<br>N.E - No Establecido |  | <b>Índice de Riesgo de la calidad del agua para el Consumo Humano (IRCA)</b>  |                                 |            |           |   |                        | 0%           |
|   |  | <b>SIN RIESGO - Agua apta para consumo humano</b>   |                                 |            |           |   |                        |              |
| <b>OBSERVACIONES:</b>   |  |   |                                 |            |           |   |                        |              |
| 2021-03-01  |  |   | 2021-03-02                      |            |           | 2021-03-08                                  |                        |              |
| FECHA DE RECEPCIÓN DE LA MUESTRA  |  |   | FECHA DE ENTREGA DE RESULTADOS  |            |           | FECHA DE EMISIÓN DE INFORME                 |                        |              |
| Elaborado por: Lorena Bautista  |  |   | Revisado por: Juan Felipe Parra |            |           | Aprobado por: Camila Parra                  |                        |              |

**Nota:** Este informe solo puede ser reproducido íntegramente y con la aprobación escrita del laboratorio.

Este Reporte de Resultados solo es válido con firma Original y Sello Seco del Laboratorio.

**RESULTADOS VALIDOS UNICAMENTE PARA LA MUESTRA ANALIZADA**

  
**Mc Maria Alejandra Camacho**  
 Microbióloga

  
**IQ. JUAN FELIPE PARRA AYALA**  
 Director Técnico  
 T.P. IQ-25632

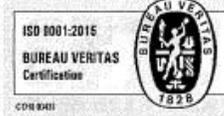
*Fin de Reporte*

## ANEXO 11

### ESTADO FINANCIERO DEL ACUEDUCTO EMSERTENJO ESP.



**EMPRESA DE SERVICIOS PÚBLICOS DE TENJO**  
**EMSERTENJO S.A. E.S.P**  
**MUNICIPIO DE TENJO**  
**NIT: 900149883-2**



Estado de situación Financiera individual  
 Periodo contable terminados al 30 de Abril 2021 y al 30 de Abril de 2020  
 (Expresados en pesos colombianos)

|   | ABRIL 2021           | ABRIL 2020           |
|---|----------------------|----------------------|
| <b>ACTIVOS</b>  |                      |                      |
| <b>ACTIVO CORRIENTE</b>   |                      |                      |
| 11 <b>Efectivo y equivalentes de efectivo</b>   | <u>1,979,161,327</u> | <u>1,641,380,904</u> |
| 1105 Caja   | 800,000              | 700,000              |
| 1110 Depósitos en Instituciones Financieras   | 1,978,351,327        | 1,640,680,904        |
| 12 <b>Inversiones en Instrumentos Derivados</b>   | <u>158,464</u>       | <u>158,464</u>       |
| 1224 Inversiones De Administración De Liquidez A Valor De Mercado (Valor Razonable) Con Cambios En El Resultado | 158,464              | 158,464              |
| 13 <b>Cuentas por cobrar CP</b>   | <u>928,199,521</u>   | <u>909,388,682</u>   |
| 1316 Venta de servicios   | -                    | -                    |
| 1318 Prestación de servicios Públicos   | 928,199,521          | 909,388,682          |
| 15 <b>Inventario</b>  | <u>28,249,462</u>    | <u>52,734,604</u>    |
| 1510 Mercancías en existencia   | -                    | -                    |
| 1514 Materiales y suministro  | 28,249,462           | 52,734,605           |
| 19 <b>Otros Activos</b>   | <u>354,362,516</u>   | <u>362,081,597</u>   |
| 1905 Bienes Y Servicios Pagados Por Anticipado  | 99,781,516           | 102,963,596          |
| 1906 Anticipos y Avances Entregados   | -                    | -                    |
| 1907 Anticipos o Saldos a Favor Por Impuestos y Contribuciones  | 254,581,000          | 249,118,000          |
| <b>TOTAL ACTIVO CORRIENTE</b>   | <u>3,290,121,290</u> | <u>2,965,744,260</u> |
| <b>ACTIVO NO CORRIENTE</b>  |                      |                      |
| 13 <b>Cuentas por cobrar LP</b>   | <u>109,656,016</u>   | <u>65,400,432</u>    |
| 1318 Prestación de servicios Públicos   | 44,146,792           | -                    |
| 1384 Otras cuentas por cobrar   | 109,555,015          | 109,307,320          |
| 1386 Deterioro Acumulado De Cuentas Por Cobrar (Cr)   | 44,146,792           | 43,906,888           |
| 16 <b>Propiedades, Planta Y Equipo</b>  | <u>931,974,491</u>   | <u>1,071,303,009</u> |
| 1605 Terranos   | -                    | -                    |
| 1645 Plantas Ductos y taneles   | 117,519,116          | 117,519,116          |
| 1650 Redas Lineas y Cables  | -                    | -                    |
| 1655 Maquinaria y equipo  | 211,343,424          | 186,702,094          |
| 1660 Equipo Medico y Científico   | -                    | -                    |
| 1665 Muebles, Enseres y Equipo de Oficina   | 6,746,800            | 6,746,800            |
| 1670 Equipos de Computacion y computo   | 46,452,198           | 33,813,671           |
| 1675 Equipos De Transporte, Tracción y Elevación  | 944,375,389          | 944,375,389          |
| 1685 Depreciación Acumulada (DB)  | -394,462,436         | -217,854,061         |
| 19 <b>Otros Activos</b>   | <u>2,660,996</u>     | <u>9,707,486</u>     |
| 1970 Activos Intangibles  | 94,632,384           | 94,632,384           |
| 1975 Amortización acumulada de Activos Intangibles (CR)   | 94,632,384           | 94,632,384           |
| 1907 Anticipo de Industria y Comercio   | -                    | -                    |
| 1985 Activo por impuesto Diferido   | 2,560,996            | 9,707,486            |
| 1986 Activos Diferidos  | -                    | -                    |
| <b>TOTAL ACTIVO NO CORRIENTE</b>  | <u>1,044,090,501</u> | <u>1,146,410,927</u> |
| <b>TOTAL ACTIVO</b>   | <u>4,334,211,791</u> | <u>4,102,155,178</u> |
| 83 <b>DEUDORAS DE CONTROL</b>   | -                    | 0                    |
| 8347 Bienes y Derechos Retirados  | 2,649,277,738        | 3,534,049,815        |
| 8390 Convenio 399-2015 CAR MPID EMSERTENJO  | 10,500,000           | 10,500,000           |
| 89 <b>DEUDORAS POR CONTRA (CR)</b>  | -                    | -                    |
| 8915 Deudoras de Control por el contrario (Cr)  | -2,649,277,738       | -3,534,049,815       |
|   | -2,649,277,738       | -3,534,049,815       |

*Luzy Orosco Bernal*  
**LUZ MARY OROSCO BERNAL**  
 Gerente

*Maria Verónica Yazo Ortega*  
**MARIA VERÓNICA YAZO ORTEGA**  
 Contador Público TP 51811 T

**"RECUPEREMOS LO NUESTRO, TENJO ES DE TODOS "**

Carrera 3 No. 3 - 67 • Código Postal: 250201 • Teléfonos: 864 5164 • Fax: 864 5164

<http://www.emsertenjo.gov.co/> • [www.tenjo-cundinamarca.gov.co](http://www.tenjo-cundinamarca.gov.co)

Tenjo - Cundinamarca

Estado de situación Financiera Individual  
Periodo contable terminados al 30 de Abril 2021 y el 30 de Abril de 2020  
(Expresados en pesos colombianos)

| PASIVO  | ABRIL 2021           | ABRIL 2020           |
|---|----------------------|----------------------|
| <b>PASIVO CORRIENTE</b>                           |                      |                      |
| 24 Cuentas Por pagar                              | 453,242,077          | 204,484,402          |
| 2401 Adquisición de Bienes y servicios Nacionales | 130,914,517          | 122,525,746          |
| 2407 Recaudo a Favor de Terceros                  | 198,960,601          | 22,693,090           |
| 2424 Descuentos de Nomina                         | 590,512              | 291,161              |
| 2436 Retención en la Fuente Impuesto de Timbre    | 10,810,000           | 12,795,000           |
| 2440 Impuestos, Contribuciones y tasas por pagar  | 12,387,000           | 11,029,000           |
| 2490 Otras cuentas por Pagar                      | 96,394,447           | 35,150,405           |
| 25 Beneficios a Empleados                         | 137,868,119          | 136,237,497          |
| 2511 Beneficios a Empleados Corto Plazo           | 137,868,119          | 136,237,497          |
| 29 Otros Pasivos                                  | 1,680,571,153        | 1,389,988,589        |
| 2901 Avances y anticipos Recibidos                | 11,554,802           | 238,400              |
| 2902 Recursos Recibidos en Administración         | 1,669,016,351        | 1,361,338,611        |
| 2903 Depósitos Recibidos en Garantía              | -                    | -                    |
| 2990 Otros pasivos diferidos                      | -                    | 8,411,578            |
| <b>TOTAL PASIVO CORRIENTE</b>                     | <b>2,271,681,349</b> | <b>1,730,710,487</b> |
| <b>PASIVO NO CORRIENTE</b>                        |                      |                      |
| 27 Provisiones                                    | -                    | -                    |
| 2701 Litigios y Demandas                          | -                    | -                    |
| 29 Otros Pasivos                                  | 63,187,446           | 49,068,113           |
| 2918 Pasivo Por impuesto diferido                 | 50,012,123           | 49,068,113           |
| 2990 Otros Pasivos Diferidos                      | 13,175,323           | -                    |
| <b>TOTAL PASIVO NO CORRIENTE</b>                  | <b>63,187,446</b>    | <b>49,068,113</b>    |
| <b>TOTAL PASIVO</b>                               | <b>2,334,868,795</b> | <b>1,779,778,600</b> |
| <b>PATRIMONIO</b>                                 |                      |                      |
| 3204 Capital Social                               | 970,230,667          | 970,230,667          |
| 3215 Reservas                                     | 258,759,218          | 256,499,474          |
| 3225 Resultado de Ejercicios Anteriores           | 812,263,599          | 985,347,018          |
| 3230 Resultado del Ejercicio                      | 39,910,488           | 110,299,418          |
| <b>TOTAL PATRIMONIO</b>                           | <b>1,999,342,996</b> | <b>2,322,376,578</b> |
| <b>TOTAL PASIVO + PATRIMONIO</b>                  | <b>4,334,211,791</b> | <b>4,102,155,178</b> |
| 93 ACREEDORAS DE CONTROL                          | 20,359,825,103       | 19,392,807,248       |
| 9390 OTRAS CUENTAS ACREEDORAS POR CONTRA          | 20,359,825,103       | 19,392,807,248       |
| 99 DEUDORAS POR CONTRA (CR)                       | - 20,359,825,103     | 19,392,807,248       |
| 9915 Deudoras de Control por el contrario (Cr)    | - 20,359,825,103     | 19,392,807,248       |

LUZ MARY OROSCO BERNAL  
Gerente

MARIA VERÓNICA YAZO ORTEGA  
Contador Público TP 51811 T

**"RECUPEREMOS LO NUESTRO, TENJO ES DE TODOS "**

Carrera 3 No. 3 - 67 • Código Postal: 250201 • Teléfonos: 864 5164 • Fax: 864 5164  
<http://www.emsertenjo.gov.co/> • [www.tenjo-cundinamarca.gov.co](http://www.tenjo-cundinamarca.gov.co)  
Tenjo - Cundinamarca

Estado de resultados integrales  
DEL 01 DE ENERO AL 30 DE ABRIL DE 2021  
(Expresados en pesos colombianos)

|  | ABRIL 2021           | ABRIL 2020           |
|--|----------------------|----------------------|
| <b>ACTIVIDADES ORDINARIAS</b>                      |                      |                      |
| <b>4 INGRESOS</b>                                  | <b>1,467,447,954</b> | <b>1,327,105,256</b> |
| <b>Venta de Bienes</b>                             | -                    | -                    |
| 4210 Bienes ComercIALIZADOS                        | -                    | -                    |
| <b>43 VENTA DE SERVICIOS</b>                       | <b>1,467,447,954</b> | <b>1,327,105,256</b> |
| 4321 Servicio de Acueducto                         | 754,202,367          | 694,428,971          |
| 4322 Servicio de Alcantarillado                    | 256,040,932          | 193,208,828          |
| 4323 Servicio de Aseo                              | 457,518,368          | 439,920,989          |
| 4395 Devoluciones rebajas y descuentos             | - 313,713            | - 453,532            |
| <b>63 COSTOS DE VENTAS Y OPERACIÓN</b>             | <b>1,276,463,855</b> | <b>1,005,523,365</b> |
| 636002 Servicio de Acueducto                       | 789,731,123          | 603,433,079          |
| 636003 Servicio de Alcantarillado                  | 94,169,874           | 86,603,668           |
| 636004 Servicio de Aseo                            | 392,562,858          | 315,486,618          |
| <b>51 GASTOS DE ADMINISTRACIÓN</b>                 | <b>227,137,510</b>   | <b>209,635,421</b>   |
| 5101 Sueldos y Salarios                            | 82,327,930           | 79,291,579           |
| 5103 Contribuciones Efectivas                      | 15,788,734           | 14,321,598           |
| 5104 Aportes sobre la nomina                       | -                    | -                    |
| 5107 Prestaciones Sociales                         | 19,255,107           | 22,689,920           |
| 5108 Gastos de personal Diversos                   | 1,841,360            | -                    |
| 5111 Generales                                     | 85,417,386           | 77,749,053           |
| 5120 Impuestos Contribuciones y tasas              | 22,506,993           | 15,583,271           |
| <b>53 PROVISIONES, DEPRECIACIONES,</b>             | <b>7,609,260</b>     | <b>8,599,782</b>     |
| 5347 Deterioro de Cuentas por Cobrar               | -                    | -                    |
| 5360 Drepreciacion Propiedad Planta y Equipo       | 7,609,260            | 8,599,782            |
| 5366 Amortizacion de Intangibles                   | -                    | -                    |
| 5368 Provisión Litigios y demandas                 | -                    | -                    |
| <b>EXCEDENTE (DÉFICIT)</b>                         | <b>- 43,762,671</b>  | <b>103,346,688</b>   |
| <b>48 OTROS INGRESOS</b>                           | <b>5,312,013</b>     | <b>8,102,013</b>     |
| 4802 Financieros                                   | 11,050               | 5,110,086            |
| 4808 Otros Ingresos Ordinarios                     | 5,300,964            | 2,991,926            |
| <b>58 GASTOS DIVERSOS</b>                          | <b>1,459,831</b>     | <b>1,149,281</b>     |
| 5802 Comisiones                                    | 1,457,263            | 1,148,066            |
| 5890 Gastos Diversos                               | 2,568                | 1,215                |
| <b>EXCEDENTE (DÉFICIT)</b>                         | <b>3,852,183</b>     | <b>6,952,731</b>     |
| <b>EXCEDENTE (DÉFICIT) DE ACTIVIDADES ORDIN. -</b> | <b>39,910,488</b>    | <b>110,299,419</b>   |
| <b>EXCEDENTE ANTES DE IMPUESTO DE RENTA -</b>      | <b>39,910,488</b>    | <b>110,299,419</b>   |
| <b>RENTA</b>                                       |                      |                      |
| <b>UTILIDAD NETA</b>                               | <b>- 39,910,488</b>  | <b>110,299,419</b>   |

LUZ MARY OROSCO BERNAL  
Gerente

MARIA VERONICA YAZO ORTEGA  
Contador Público TP 51811 T

## ANEXO 12

### LONGITUD DE ONDA VS COLOR ANSORBIDO Y COLOR OBSERVADO

| <i><math>\lambda</math> absorbida (nm)</i> | <i>Color absorbido</i> | <i>Color observado (complementario)</i> |
|--|------------------------|---|
| 380-420                                    | Violeta                | Amarillo-verdoso                        |
| 420-440                                    | Azul-violeta           | Amarillo                                |
| 440-470                                    | Azul                   | Anaranjado                              |
| 470-500                                    | Verde-azulado          | Rojo                                    |
| 500-520                                    | Verde                  | Púrpura                                 |
| 520-550                                    | Amarillo-verdoso       | Violeta                                 |
| 550-580                                    | Amarillo               | Azul-violeta                            |
| 580-620                                    | Anaranjado             | Azul                                    |
| 620-680                                    | Rojo                   | Verde-azulado                           |
| 680-780                                    | Púrpura                | Verde                                   |

## ANEXO 13

### BOMBAS EMPLEADAS EN EL TANQUE DE RETROLAVADO



# BOMBAS CARACOL PLASTICA

## EEP 1.5-10/15/20-1

| Modelo       | Ref.     | Potencia (HP) | Voltaje (v) | H max. (mca) * | Q max. (GPM) ** | Succión | Descarga | Peso (Kg) |
|--------------|----------|---------------|-------------|----------------|-----------------|---------|----------|-----------|
| EEP 1.5 10-1 | 1A0083P  | 1.0           | 110/220     | 24             | 91              | 1-1/2"  | 1-1/2"   | 11.2      |
| EEP 1.5 10-1 | 1A0083PV | 1.0           | 110/220     | 24             | 91              | 1-1/2"  | 1-1/2"   | 11.2      |
| EEP 1.5 15-1 | 1A0084P  | 1.5           | 110/220     | 27             | 93              | 1-1/2"  | 1-1/2"   | 15.0      |
| EEP 1.5 15-1 | 1A0084PV | 1.5           | 110/220     | 27             | 93              | 1-1/2"  | 1-1/2"   | 15.0      |
| EEP 1.5 20-1 | 1A0085P  | 2.0           | 110/220     | 32             | 95              | 1-1/2"  | 1-1/2"   | 16.3      |
| EEP 1.5 20-1 | 1A0085PV | 2.0           | 110/220     | 32             | 95              | 1-1/2"  | 1-1/2"   | 16.3      |



\* La altura (H) máxima se logra con la válvula totalmente cerrada. (mca= metros columna de agua).  
 \*\* El caudal (Q) máximo se logra con la válvula totalmente abierta. (gpm= galones por minuto).

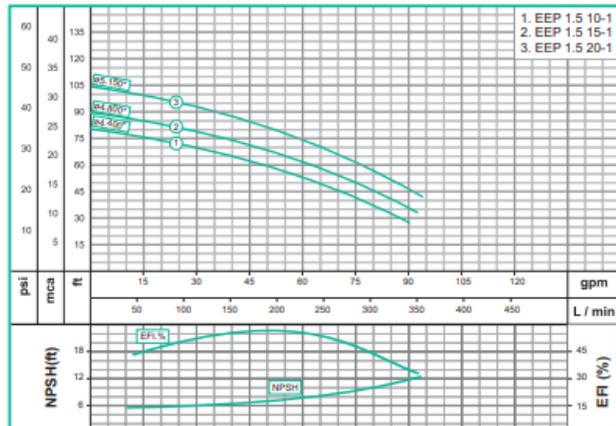
PV = Bombas Plásticas Premium con tornillería inoxidable , sellos y empaquetaduras en viton

| Materiales        |                                |
|-------------------|--------------------------------|
| Cuerpo            | Nylon reforzado                |
| Impulsor          | Noryl                          |
| Sello mecánico    | Carbón/Cerámica/Buna-N ó Viton |
| Acople intermedio | Nylon Reforzado                |
| Empaques          | Buna Nitrilo ó Viton           |

| Aplicaciones   |
|--|
| • Aprovisionamiento de aguas limpias                     |
| • Recirculación de agua en torres de enfriamiento        |
| • Refrigeración de maquinaria/Circuitos de recirculación |
| • Sistemas de Presión                                    |
| • Equipos contra incendio                                |
| • Plantas de tratamiento                                 |
| • Riego por goteo  |
| • Piscinas y fuentes                                     |

| Características de la bomba |  |
|-----------------------------|--|
| Tipo de bomba               | Centrífuga   |
| Tipo de acoplamiento        | Monobloque   |
| Succión                     | 1-1/2" NPT   |
| Descarga                    | 1-1/2" NPT   |
| Tipo de impulsor            | Cerrado <small>Balanceado dinámicamente según ISO G6,3</small> |
| Cantidad de impulsores      | 1  |
| Tipo de sello               | Sello mecánico 5/8" TIPO 6                                     |
| Temperatura Max. Líquido    | 158° F (70 ° C) Continua                                       |

| Características del Motor |                               |
|---------------------------|-------------------------------|
| Tipo                      | Eléctrico                     |
| Potencia                  | 1.0,1.5 ó 2.0Hp(Segun modelo) |
| Diseño                    | 56J                           |
| Velocidad                 | 3.600 RPM (nominal)           |
| Aislamiento               | Clase B                       |
| Voltaje                   | 110/220                       |
| Factor de servicio        | 1.4(1Hp)/1.3(1.5Hp)/1.2(2Hp)  |
| Frecuencia                | 60Hz                          |
| Fases                     | 1                             |



## ANEXO 14

### COTIZACION DEL EQUIPO PARA METODO DE OSMOSIS INVERSA

#### High flow RO series



SPR-RO-2000



Dashboard



Automatic multi-way valve



Stainless steel

#### ✕ 10-15T Technical Parameters

| Model                | SPR-RO-10T  | SPR-RO-12T | SPR-RO-15T |
|----------------------|---|------------|------------|
| Flow rate L/H        | 10T/H   | 12T/H      | 15T/H      |
| Total amount         | 1470T   | 1680T      | 1860T      |
| Raw water pressure   | 0.1-0.3 Mpa / RO membrane inlet pressure:0.6-1.0Mpa                           |            |            |
| Material             | SUS 304 shell, FRP tank   |            |            |
| Desalination rate    | >98%  |            |            |
| Purification process | Raw water-Sand-Carbon-Resin-PP-RO-Purewater                                   |            |            |
| Application field    | Medicine, precision manufacturing, beverages, pharmaceuticals, drinking water |            |            |