

PROPUESTA DE MEJORAMIENTO DE LA LINEA DE INSUMOS DEL PROCESO
DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE EN LA PLANTA REGIONAL DE LA
EMPRESA DE ACUEDUCTO, ALCANTARILLADO Y ASEO DE ZIPAQUIRÁ

LEIDY VIVIANA BUSTOS MONTAÑO

YULY DANIELA SILVA VARGAS

FUNDACIÓN UNIVERSIDAD DE AMÉRICA
FACULTAD DE INGENIERÍAS
PROGRAMA DE INGENIERÍA QUÍMICA
BOGOTÁ D.C
2016

PROPUESTA DE MEJORAMIENTO DE LA LINEA DE INSUMOS DEL PROCESO
DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE EN LA PLANTA REGIONAL DE LA
EMPRESA DE ACUEDUCTO, ALCANTARILLADO Y ASEO DE ZIPAQUIRÁ

LEIDY VIVIANA BUSTOS MONTAÑO

YULY DANIELA SILVA VARGAS

Proyecto Integral de grado para optar el título de
INGENIERO QUÍMICO

FUNDACIÓN UNIVERSIDAD DE AMÉRICA
FACULTAD DE INGENIERÍAS
PROGRAMA DE INGENIERÍA QUÍMICA
BOGOTÁ D.C
2016

NOTA DE ACEPTACIÓN

Ing. Edgar Fernando Moreno

Firma Orientador

Ing. Jeyny Muñoz Villareal

Firma Jurado 1

Ing. Diana Marcela Cuesta

Firma Jurado 2

Bogotá, D.C. Agosto de 2016.

DIRECTIVAS DE LA UNIVERSIDAD

Presidente de la Universidad y Rector del Claustro

Dr. JAIME POSADA DÍAZ

Vicerrectora de Desarrollo y Recursos Humanos

Dr. LUIS JAIME POSADA GARCÍA-PEÑA

Vicerrectora Académica y de Posgrados

Ing. ANA JOSEFA HERRERA VARGAS

Secretario General

Dr. JUAN CARLOS POSADA GARCÍA-PEÑA

Decano Facultad de Ingenierías

Ing. JULIO CESAS FUENTES ARISMENDI

Director Programa Ingeniería Química

Ing. LEONARDO de JESÚS HERRERA GUTIÉRREZ

DEDICATORIA

Dedicare este trabajo a Dios por las diferentes etapas que me ha permitido vivir y en especial la culminación de este trabajo; a mi abuelito, mi motor en todo tiempo, mis papas y hermanas, que han sido mi apoyo en cada decisión y me han enseñado a luchar por cada una de mis metas.

Viviana Bustos

Este trabajo se lo dedico principalmente a Dios quién me ha guiado por el buen camino permitiéndome llegar hasta este punto y lograr mis objetivos. A mis padres por brindarme todo su amor y demostrarme siempre su apoyo incondicional en todo momento, sus consejos, sus valores y por ser la motivación constante que me ha permitido ser una persona de bien. A mi hermana por estar siempre en mi camino y ser mi ejemplo de perseverancia y constancia.

Daniela Silva

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos primeramente a Dios por la oportunidad que nos dio de llevar a cabo este proyecto, a nuestras familias por el apoyo brindado a lo largo de estos años. A la Empresa de Acueducto, Alcantarillado y Aseo de Zipaquirá EAAAZ por la confianza y de manera especial al Director de agua potable, Ing. Manuel Umbarila, a la Jefe de laboratorio Ing. Carolina Silgado y al personal de la Planta de Tratamiento Regional por la ayuda brindada durante el desarrollo del mismo.

De igual manera, agradecemos al Ingeniero FERNANDO MORENO por su continua guía, colaboración y disposición en el proceso del desarrollo de este proyecto de grado.

CONTENIDO

| | pág. |
|--|------|
| INTRODUCCIÓN | 18 |
| OBJETIVOS | 19 |
| 1.GENERALIDADES | 20 |
| 1.1 EMBALSE DEL NEUSA | 20 |
| 2. MARCO TEÓRICO | 24 |
| 2.1 AGUA | 24 |
| 2.1.1 Agua potable | 24 |
| 2.1.2 Calidad del agua | 24 |
| 2.2 CARACTERÍSTICAS DEL AGUA POTABLE | 25 |
| 2.2.1 Características físicas | 25 |
| 2.2.2 Características químicas | 26 |
| 2.3 PROCESOS DE POTABILIZACIÓN DEL AGUA | 29 |
| 2.3.1 Pretratamiento | 29 |
| 2.3.2 Tratamiento | 30 |
| 3. MARCO LEGAL | 32 |
| 4. DIAGNOSTICO ACTUAL | 35 |
| 4.1 INFORME TÉCNICO | 35 |
| 4.1.1 Tecnología de tratamiento | 36 |
| 4.1.2 Descripción | 36 |
| 4.2 FILTROS | 38 |
| 4.2.1 Bomba de Lavado de Filtros | 39 |
| 4.3 DIAGNÓSTICO OPERATIVO | 39 |
| 4.3.1 Estructura de llegada | 40 |
| 4.3.2 Criba de sólidos gruesos | 41 |
| 4.3.3 Cámara de medición y mezcla rápida | 41 |
| 4.3.4 Floculador | 42 |
| 4.3.5 Canal de distribución a sedimentadores | 43 |
| 4.3.6 Sedimentación | 44 |
| 4.3.7 Filtración de agua decantada | 46 |
| 4.3.8 Desinfección | 48 |
| 5. PLANTEAMIENTO DE ALTERNATIVAS | 49 |
| 5.1 SELECCIÓN DE INSUMOS | 49 |
| 5.1.1 Selección de coagulante | 50 |
| 5.1.2 Selección de floculante | 63 |
| 5.1.3 Selección de desinfectante | 65 |
| 5.1.4 Selección de estabilizante | 69 |

| | |
|--|-----|
| 6. DESARROLLO EXPERIMENTAL | 74 |
| 6.1 PREPARACIÓN EN TÉCNICAS DE ANÁLISIS Y ENSAYO DE JARRAS | 74 |
| 6.2 INFORMACIÓN HISTÓRICA DE CALIDAD DEL AGUA | 74 |
| 6.3 RECOLECCIÓN DE MUESTRAS DE AGUA | 78 |
| 6.4 EVALUACIÓN DE LAS ALTERNATIVAS | 78 |
| 6.4.1 Evaluación de coagulantes | 78 |
| 6.4.2 Evaluación de floculantes | 78 |
| 6.4.4 Evaluación de estabilizantes | 78 |
| 6.4.3 Evaluación de desinfectantes | 78 |
| 6.5 METODOLOGÍA EVALUACIÓN DE ALTERNATIVAS | 78 |
| 6.5.1 Ensayo de jarras | 79 |
| | |
| 7. ANÁLISIS Y RESULTADOS | 84 |
| 7.1 DESARROLLO DE ALTERNATIVAS | 84 |
| 7.1.1 Determinación de la dosis adecuada de los coagulantes | 84 |
| 7.1.2 Determinación de la dosis adecuada del floculante para cada coagulante | 86 |
| 7.1.3 Determinación de la dosis adecuada de hipoclorito de sodio | 87 |
| | |
| 8. BALANCE DE MATERIA | 92 |
| | |
| 9. EVALUACIÓN FINANCIERA | 93 |
| | |
| 10. CONCLUSIONES | 99 |
| | |
| 11. RECOMENDACIONES | 100 |
| | |
| BIBLIOGRAFÍA | 102 |
| | |
| ANEXOS | 105 |

LISTA DE ANEXOS

| | pág. |
|---|------|
| Anexo A. Promedios históricos | 107 |
| Anexo B. Métodos analíticos (análisis fisicoquímico) | 109 |
| Anexo C. Preparación de reactivos | 113 |
| Anexo D. Fichas técnicas | 119 |
| Anexo E. Resultados pre-experimentación de coagulantes | 124 |
| Anexo F. Determinación de dosis para cada uno de los insumos de las tres alternativas | 127 |
| Anexo G. Resultados experimentación de las tres alternativas | 133 |
| Anexo H. Curva demanda de cloro | 136 |
| Anexo I. Balance de materia | 138 |
| Anexo J. Cotizacion PQP | 141 |
| Anexo K. Costo quimicos empleados en EAAAZ | 143 |

LISTA DE TABLAS

| | pág. |
|--|------|
| Tabla 1. Características de diseño generales del Embalse del Neusa | 21 |
| Tabla 2. Comparación valores de diseño y barimetría del embalse | 21 |
| Tabla 3. Proyección poblacional | 23 |
| Tabla 4. Características físicas del agua para consumo humano | 33 |
| Tabla 5. Características químicas que tienen efecto adverso sobre la salud humana | 33 |
| Tabla 6. Parámetros químicos que tienen implicaciones sobre la salud humana | 33 |
| Tabla 7. Características químicas que tienen mayores consecuencias económicas e indirectas sobre la salud humana | 34 |
| Tabla 8. Características microbiológicas del agua para consumo humano | 34 |
| Tabla 9. Identificación de los insumos para las etapas establecidas | 49 |
| Tabla 10. Comparación entre diferentes tipos de coagulantes | 50 |
| Tabla 11. pH efectivo de coagulantes | 53 |
| Tabla 12. Consideraciones para selección de coagulante | 53 |
| Tabla 13. Rango de dosis recomendadas de coagulante según el tratamiento | 56 |
| Tabla 14. Dosis recomendadas para diferentes insumos | 56 |
| Tabla 15. Rango de parámetros para selección de coagulantes | 56 |
| Tabla 16. Características de floculantes | 63 |
| Tabla 17. Propiedades de floculantes | 65 |
| Tabla 18. Características de desinfectantes | 65 |
| Tabla 19. Compuestos clorados empleados para desinfección | 68 |
| Tabla 20. Características de estabilizantes | 70 |
| Tabla 21. Promedio de parámetros analizados para el agua cruda en el 2016 | 74 |
| Tabla 22. Promedio de parámetros analizados para el agua potable en el 2016 | 75 |
| Tabla 23. Parámetros de operación para las pruebas de jarras | 80 |
| Tabla 24. Materiales, equipos y reactivos para prueba de jarras | 80 |
| Tabla 25. Dosis de cloro aplicadas en plantas potabilizadoras | 88 |
| Tabla 26. Datos obtenidos para la curva de demanda de cloro alternativa 1 | 89 |
| Tabla 27. Datos obtenidos para la curva de demanda de cloro alternativa 2 | 90 |
| Tabla 28. Datos obtenidos para la curva de demanda de cloro alternativa 3 | 91 |
| Tabla 29. Valores obtenidos del balance de materia | 92 |
| Tabla 30. Concentración de los químicos empleados en las diferentes alternativas | 93 |
| Tabla 31. Dosis diaria para la Alternativa 1 | 93 |
| Tabla 32. Costo insumos alternativa 1 | 94 |
| Tabla 33. Dosis diaria para la Alternativa 2 | 94 |

| | |
|---|-----|
| Tabla 34. Costo insumos alternativa 2 | 95 |
| Tabla 35. Dosis diaria para la Alternativa 3 | 95 |
| Tabla 36. Costo insumos alternativa 3 | 96 |
| Tabla 37. Dosificación y costos de insumos actual | 97 |
| Tabla 38. Consolidado de costos para las alternativas | 98 |
| Tabla 39. Promedio datos históricos agua cruda. | 106 |
| Tabla 40. Promedio datos históricos agua potable | 107 |
| Tabla 41. Determinación del índice de Willcomb | 111 |
| Tabla 42. Datos y resultados del ensayo de jarras con coagulante Sulfato de aluminio tipo A líquido | 123 |
| Tabla 43. Datos y resultados del ensayo de jarras con coagulante Sulfato de aluminio tipo A sólido | 123 |
| Tabla 44. Datos y resultados del ensayo de jarras con coagulante Ultrafloc 200 | 124 |
| Tabla 45. Datos y resultados del ensayo de jarras con coagulante Ultrafloc 300 | 124 |
| Tabla 46. Datos y resultados del ensayo de jarras con coagulante Ultrafloc 100 | 125 |
| Tabla 47. Datos y resultados del ensayo de jarras con coagulante Ultrafloc 110 | 125 |
| Tabla 48. Determinación de dosis adecuada para el coagulante Ultrafloc 100 | 126 |
| Tabla 49. Determinación de dosis adecuada para el coagulante Ultrafloc 110 | 127 |
| Tabla 50. Determinación de dosis adecuada para el coagulante Ultrafloc 200 con dosificaciones pares | 128 |
| Tabla 51. Determinación de dosis adecuada para el coagulante Ultrafloc 200 con dosificaciones impares | 129 |
| Tabla 52. Determinación de dosis adecuada para el coagulante Ultrafloc 100 y el floculante Rapised 1084 | 130 |
| Tabla 53. Determinación de dosis adecuada para el coagulante Ultrafloc 110 y el floculante Rapised 1084 | 131 |
| Tabla 54. Determinación de dosis adecuada para el coagulante Ultrafloc 200 y el floculante Rapised 1084 | 131 |
| Tabla 55. Resultados experimentación alternativa 1 | 132 |
| Tabla 56. Resultados experimentación alternativa 2 | 133 |
| Tabla 57. Resultados experimentación alternativa 3 | 134 |
| Tabla 58. Costo insumos empleados en la empresa | 142 |

LISTA DE FIGURAS

| | pág. |
|--|------|
| Figura 1. Ubicación geográfica del Embalse del Neusa | 20 |
| Figura 2. Disposiciones legales nacionales. | 32 |
| Figura 3. Vista general de la Planta Regional | 35 |
| Figura 4. Unidades del sistema de tratamiento del agua en la planta regional | 36 |
| Figura 5. Etapas tratamiento de agua en la Planta Regional | 39 |
| Figura 6. Embalse del Neusa | 40 |
| Figura 7. Rejilla y canaleta Parshall a la entrada de la planta convencional | 40 |
| Figura 8. Suministro PAC planta convencional y canaleta Parshall | 42 |
| Figura 9. Floculadores de flujo horizontal | 43 |
| Figura 10. Sedimentadores de placas inclinadas | 44 |
| Figura 11. Suministro de coagulante planta Compacta | 44 |
| Figura 12. Estructura bomba de vacío de Planta Compacta | 45 |
| Figura 13. Desagüe de lodos de planta convencional y compacta | 46 |
| Figura 14. Filtración del agua | 47 |
| Figura 15. Estructura de filtros | 47 |
| Figura 16. Válvulas de control planta compacta | 47 |
| Figura 17. Tanque de cloro gaseoso | 48 |
| Figura 18. Insumos seleccionados para realizar la experimentación | 71 |
| Figura 19. Alternativa 1 | 72 |
| Figura 20. Alternativa 2 | 72 |
| Figura 21. Alternativa 3 | 73 |
| Figura 22. Equipo de prueba de jarras automática | 79 |
| Figura 23. Equipo de prueba de jarras manual | 79 |
| Figura 24. Cantidades de insumos empleados actualmente en el proceso | 97 |
| Figura 25. Turbidímetro Merck Turbiquant 1500T | 108 |
| Figura 26. Fotómetro Merck SQ118 | 109 |
| Figura 27. Titulación | 110 |
| Figura 28. pHmetro | 110 |
| Figura 29. Curva típica de cloración al break-point | 136 |

LISTA DE GRÁFICAS

| | pág. |
|---|------|
| Gráfica 1. Comparación de los porcentajes de remoción de turbiedad y color de las dosis usadas del coagulante Sulfato de aluminio Tipo A líquido | 57 |
| Gráfica 2. Comparación de los porcentajes de remoción de turbiedad y color de las dosis usadas del coagulante Sulfato de aluminio Tipo A sólido | 58 |
| Gráfica 3. Comparación de los porcentajes de remoción de turbiedad y color de las dosis usadas del coagulante policloruro de aluminio (Ultrafloc 200) | 59 |
| Gráfica 4. Comparación de los porcentajes de remoción de turbiedad y color de las dosis usadas del coagulante policloruro de aluminio (Ultrafloc 300) | 60 |
| Gráfica 5. Comparación de los porcentajes de remoción de turbiedad y color de las dosis usadas del coagulante policloruro de aluminio (Ultrafloc 100) | 61 |
| Gráfica 6. Comparación de los porcentajes de remoción de turbiedad y color de las dosis usadas del coagulante polímero catiónico (Ultrafloc 110) | 62 |
| Gráfica 7. Tiempo vs promedio pH | 76 |
| Gráfica 8. Tiempo vs promedio color | 76 |
| Gráfica 9. Tiempo vs promedio turbiedad | 77 |
| Gráfica 10. Tiempo vs promedio hierro | 77 |
| Gráfica 11. Curva demanda de cloro alternativa 1 | 88 |
| Gráfica 12. Curva demanda de cloro alternativa 2 | 90 |
| Gráfica 13. Curva demanda de cloro alternativa 3 | 91 |

GLOSARIO

ADUCCIÓN: transporte de caudal de agua de la fuente superficial o fuente abastecedora a la planta de tratamiento

AGUA CRUDA: agua que no ha sido sometida a ningún tratamiento, primario, secundario o terciario.

AGUA POTABLE: agua que por reunir los requisitos organoléptico, químicos, físicos y microbiológicos, de conformidad con la Resolución 2115 de 2007 puede ser de consumo humano, sin producir efectos adversos a la salud.

ALUMBRE: tipo de sulfato doble compuesto por el sulfato de un metal trivalente, como el aluminio, y otro de un metal monovalente.

ANÁLISIS FÍSICO – QUÍMICO DEL AGUA: análisis o pruebas de laboratorio que se efectúan a una muestra para determinar sus características químicas, físicas o ambas.

ANÁLISIS ORGANOLÉPTICO: hace referencia al color, olor, sabor y percepción visual de las sustancias y/o materiales presentes en el agua.

DESARENADOR: componente trazado para la remoción de sólidos suspendidos en el agua mediante el proceso de sedimentación.

DESINFECCIÓN: proceso químico que permite la atenuación y eliminación de los organismos patógenos presentes en el agua.

DOSIFICACIÓN: operación en la cual se suministra un insumo o aditivo químico en el agua

DOSIS ADECUADA: concentración de un insumo, aditivo o sustancia que genera mayor eficacia y en los mejores casos eficiencia de reacción en un proceso químico

FILTRACIÓN: proceso en el que se remueven las partículas suspendidas en los coloidales del agua mediante su paso por un medio poroso o filtro

FLOCULACIÓN: estado de la clarificación en la que hay una aglutinación de partículas inducida por una agitación lenta de la suspensión coagulada.

FUENTE DE ABASTECIMIENTO DEL AGUA: depósito o curso de agua superficial o subterráneo, natural o artificial utilizado en un sistema de tratamiento y aumento de agua

PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE (PTAP): conjunto de tratamientos, materiales, equipos e insumos necesarios para efectuar las etapas

necesarias para el proceso de potabilización del agua potable y que permita cumplir las normas de calidad de agua potable.

PRUEBA O TEST DE JARRAS: ensayo de laboratorio que simula las condiciones en que se realizan los procesos de oxidación química, clarificación, coagulación, floculación y sedimentación en la planta

PUNTO DE QUIEBRE EN CLORACION (BRACKPOINT): adición secuencial de cloro al agua hasta que la demanda de cloro ha sido satisfecha, para tener un residual de cloro libre en el agua tratada.

SEDIMENTACIÓN: proceso en el cual los sólidos suspendidos en el agua se decantan por acción de la gravedad por diferencia de densidades

TIEMPO DE CONTACTO: tiempo que toma al agua desde el punto de aplicación o lugar de ingreso hasta el punto de concentración residual o lugar de egreso

TRATAMIENTO: operaciones y procesos que se realizan sobre el agua cruda, con el fin de modificar y ajustar sus características químicas, físicas microbiológicas y organolépticas para hacerla potable y de conformidad a la normatividad vigente Resolución 2115 de 2007

TURBIEDAD: propiedad óptica del agua basada en la medida de la luz reflejada por las partículas en suspensión.

RESUMEN

La Empresa de Acueducto, Alcantarillado y Aseo de Zipaquirá trata el agua proveniente del embalse del Neusa con las etapas de coagulación, floculación, desinfección y estabilización de pH; y emplea el método de test de jarras para determinar las dosis de los insumos en cada una de las etapas que conlleven al cumplimiento de la normatividad nacional.

Para el desarrollo de esta propuesta se recopila información sobre el proceso de potabilización de la planta, por medio de una inspección a la planta y datos suministrados por EAAAZ, se realiza un diagnóstico general donde se muestra la descripción del proceso de obtención de agua potable, un diagrama de flujo del proceso y se especifican los equipos e insumos utilizados actualmente por la empresa.

Luego del diagnóstico actual se plantean 3 alternativas de mejora con ayuda de información bibliográfica, donde se seleccionan los insumos para el agua a tratar, empleando como coagulantes policloruro de aluminio en 2 presentaciones: Ultrafloc 100 y 200 y un polímero catiónico (Ultrafloc 110), un floculante aniónico (Rapised 1084) y como desinfectante hipoclorito de sodio, para las etapas de coagulación, floculación y desinfección, respectivamente, donde la evaluación de las alternativas se lleva a cabo mediante simulaciones y procedimientos experimentales, tomando muestras de agua a la entrada del proceso con el fin de determinar las características físico-químicas iniciales y someterlas al ensayo de jarras con los cambios que contemplan las 3 alternativas, determinando las características físico-químicas finales y seleccionando las dosis adecuadas de cada insumo, para así obtener resultados que permitan establecer la eficiencia del sistema de potabilización de agua con los nuevos químicos propuestos para este proyecto, mediante la comparación de los parámetros analizados entre los que posee la fuente de entrada (sin tratamiento) y los obtenidos una vez realizado el tratamiento; a través de los porcentajes de remoción de los parámetros requeridos para hacer que el agua sea apta para el consumo humano (hierro, turbiedad, color y pH). Se realiza un análisis financiero a cada una de las alternativas, teniendo en cuenta el balance de materia donde se especifica la cantidad diaria requerida de cada uno de los insumos y el precio de los insumos que componen cada alternativa, encontrando que las 3 alternativas planteadas presentan un menor costo frente a la actual.

Este proyecto se divide en 10 capítulos, que presentan la siguiente secuencia, el número uno (1), muestra las características generales del Embalse del Neusa. El capítulo dos (2) y tres (3), establece el marco teórico y legal relacionado con el tema de esta propuesta, respectivamente. En el cuarto (4) capítulo, se señala el diagnóstico actual de la planta. En el quinto (5) capítulo, se establecen las 3 alternativas con los cambios de insumos. En el capítulo seis (6) se señala el desarrollo experimental que se lleva a cabo para la evaluación de las alternativas, y en el capítulo siete (7) se analizan los resultados obtenidos para cada alternativa.

En el capítulo ocho (8) se muestra el balance de materia para dar paso al noveno capítulo (9) donde se realiza la evaluación financiera de cada alternativa. Finalmente en el capítulo diez (10) se exponen las conclusiones y seguido a esto las recomendaciones del estudio. Por último, se añade la bibliografía de soporte técnico consultada, así como anexos que incluyen análisis realizados en el laboratorio de la Planta Regional.

INTRODUCCIÓN

La Empresa de Acueducto, Alcantarillado y Aseo de Zipaquirá (EAAAZ) trata el agua proveniente del embalse del Neusa con los procesos de coagulación, floculación, sedimentación, filtración y desinfección en la planta regional ubicada en el municipio de Cogua conformada por dos plantas: una compacta (Degremont) que opera a 173 l/s y una convencional a 180 l/s. Esta agua es suministrada a los municipios de Cogua, Nemocon y Zipaquirá.

El agua cruda contiene partículas disueltas, materia orgánica y minerales que no la hacen apta para el consumo humano; la EAAAZ aunque cumple con las normas y características que debe tener el agua para su distribución quiere analizar alternativas para los insumos en las diferentes etapas con el fin de aumentar la eficiencia del proceso evitando aumentos en las tarifas a los usuarios y reducción de utilidades.

El desarrollo de esta propuesta contempla el estado actual del sistema de operación, planteando 3 alternativas con línea de insumos de coagulantes, floculante y desinfectante, determinando las condiciones en las que se encuentra la planta y características con las que entra el agua a la misma, lo que permite desarrollar y evaluar las alternativas a implementar en las diferentes etapas del proceso con la finalidad de establecer la dosis y el tipo de químico más adecuado.

Las alternativas planteadas con respecto a los insumos requeridos en el proceso tienen como finalidad ventajas tanto operativas como económicas, de tal manera que la empresa de servicios públicos del municipio de Zipaquirá pueda garantizar que el agua potable se encuentre de acuerdo a los parámetros establecidos a nivel nacional.

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

Desarrollar una propuesta de mejora para el proceso de potabilización de agua en la planta regional de EAAAZ ESP.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Diagnosticar el proceso de potabilización actual.
2. Evaluar las alternativas de operación para las etapas empleadas en el proceso.
3. Desarrollar el diseño conceptual para la propuesta de mejoramiento.
4. Determinar el costo de producción al modificar el proceso con las alternativas presentadas.

1. GENERALIDADES

1.1 EMBALSE DEL NEUSA

Está ubicado en el departamento de Cundinamarca; comprende un área de 13.500 ha, incluyendo Cogua con 2.209 ha y Tausa 11.341 ha y una extensión aproximada de 995 ha¹.

Se encuentra a una temperatura promedio de 10°C y una altura cercana a los 3.000 msnm; sus coordenadas geográficas son 5°09'46.1"N 73°57'02.5"W, pertenece al área jurisdiccional de la Corporación Autónoma Regional (CAR).

Figura 1. Ubicación geográfica del Embalse del Neusa



Fuente. Google Maps

Se inició la construcción de este embalse en 1949 donde tuvo como propósito principal la generación de energía para los municipios de Zipaquirá, Gachancipá, Tocancipá y Cogua; posteriormente se buscó el aprovechamiento múltiple del mismo, donde adicional a la generación de energía se empleó para regular el caudal del Río Bogotá, controlar los caudales de las cuencas y regularlos en tiempos de sequía permitiendo suministrar agua a las poblaciones cercanas.²

¹ PALACIOS SIERRA, Andrés Ricardo. Inventario documentado de represas en Colombia. Bogotá, 2013. Trabajo de Grado (Ingeniero Civil). Universidad Militar Nueva Granada. Facultad de Ingeniería. Disponible <http://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:http://repository.unimilitar.edu.co/bitstream/10654/11360/1/PalaciosSierraRicardoAndres2013.pdf> [Citado el 28 de Marzo del 2016].

² ORGANIZACIÓN COLPARQUES. Embalse del Neusa-Colparques [en línea] <http://www.colparques.net/NEUSA> [Citado el 28 de Marzo del 2016].

Al transcurrir el tiempo se descartó la opción de emplear el embalse como generador de energía y continuo con el desarrollo de los otros procesos. La tabla 1 permite identificar y cuantificar características generales del embalse³

Tabla 1. Características de diseño generales del Embalse del Neusa.

| | |
|----------------------------------|-------------|
| Área de superficie (ha) | 995 |
| Profundidad (m) | 38 |
| Volumen máximo (m ³) | 103.000.000 |
| Longitud máxima (km) | 7.5 |
| Anchura máxima (km) | 1.8 |
| Perímetro de costa (km) | 18,2 |

Fuente. Colparques.

En el 2004 la batimetría realizada al embalse evidencio diferencias con los valores de diseño, en la tabla 2 se muestra la variación porcentual del volumen y área del mismo:

Tabla 2. Comparación valores de diseño y barimetría del embalse.

| CARACTERÍSTICA | VALOR DE DISEÑO | BATIMETRÍA 2004 | VARIACIÓN PORCENTUAL (%) |
|-----------------------------------|-----------------|-----------------|--------------------------|
| Capacidad total (m ³) | 103.000.000 | 117.480.000 | 12,33 |
| Volumen útil (m ³) | 102.300.000 | 116.780.000 | 12,40 |
| Volumen muerto (m ³) | 700.000 | 700.000 | 0,00 |
| Área (ha) | 995 | 1.027 | 3,12 |

Fuente. Séptimo decálogo Interamericano sobre la gestión del agua.

³ FIGUEREDO, Eliana y CASTIBLANCO, Katherine. Séptimo decálogo Interamericano sobre la gestión del agua. Medellín, 2011. Enfrentando Retos y Necesidades. Universidad Libre. Disponible http://d7.iwrn.org/documentos/documentostematicos/enfrentando_retos_y_necesidades_Ulibre.pdf [Citado el 28 de Marzo del 2016].

Se presentan variaciones en la capacidad total, volumen útil y área del embalse, diferencias que se atribuyen a errores en la medición que fue llevada a cabo hace aproximadamente 67 años.⁴

Este embalse es de gran importancia para la sociedad aledaña, pues además de brindar el agua que es llevada a un tratamiento de potabilización, cuenta con especies nativas tales como hesperomeles gouditiana (mortiño), macleania rupestris (uva camarona), weinmannia sp. (encenillo), chusquea scandens (chusque) y en este se encuentran principalmente comadreas, conejos, faras, colibríes, mirlas negras, carpinteros, pava andina, lagarto de collarejo y torcaza. Se produce trucha arcóris (Oncorhynchus mykiss) que es una especie introducida del sector con la que se lleva a cabo acuicultura en jaulas flotantes.⁵ La planta de tratamiento regional suministra agua para los municipios de Cogua, Nemocón y Zipaquirá.

Cogua, se ubica a 5°03'39.1"N 73°58'50.5"E al norte de Santafé de Bogotá, protegida por la montaña del cerro de pulpito y el boquerón de la Calera hacia el Occidente y Noroeste. Cuenta con una extensión total aproximada de 113 km² un área urbana de 4 km² y un área rural de 99 km² con una temperatura media de 14°C.⁶

Nemocón, ocupa una extensión de 9.811,19 km², cuenta con un área urbana de 61,19 km² y rural de 9,75 km² y se encuentra ubicado a. 5°03'58.5"N 73°52'49.4"E. Este municipio cuenta con la mina de Sal que es un gran atractivo turístico al municipio que ha llevado al desarrollo minero del mismo⁷.

Zipaquirá recibe la mayor cantidad de agua potable entre los municipios mencionados, en este municipio localizado en la sabana centro del País, tiene la villa de la sal ubicada a 2.650 msnm con una temperatura promedio de 14°C, con una superficie de 197 km² donde predominan las actividades agrícolas, ganaderas y mineras. Cuenta con un área urbana de 8 km² y área rural de 189 km². Se encuentra a 5°01'06.6"N 74°00'15.3"E.

⁴ Ibid., p. 22

⁵ PROGRAMA COOPERATIVO GUBERNAMENTAL FAO. Avances en el manejo y aprovechamiento Acuicola de embalses en América Latina y el Caribe [en línea] <http://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:KeYTumgk0CoJ:www.fao.org/docrep/field/003/ab488s/AB488S05.htm+&cd=1&hl=es-419&ct=clnk&gl=co> [Citado el 28 de Marzo del 2016].

⁶ ALCALDÍA DE COGUA-CUNDINAMARCA. Nuestro Municipio [en línea] http://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:pv1gjBaTRlOJ:www.cogua-cundinamarca.gov.co/informacion_general.shtml+&cd=2&hl=es&ct=clnk&gl=co [Citado el 28 de Marzo del 2016].

⁷ ALCALDÍA DE NEMOCÓN-CUNDINAMARCA. Nemocón Somos Todos [en línea] <http://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:Lgho8VpRY1UJ:www.nemocon-cundinamarca.gov.co/+&cd=1&hl=es&ct=clnk&gl=co#7> [Citado el 28 de Marzo del 2016].

El río Bogotá rodea a Zipaquirá con una longitud cercana a los 15 km siendo la espina dorsal del sistema hídrico de la sabana; el río es alimentado a lo largo de su recorrido por sub-cuencas y microcuencas y del mismo modo alimenta los embalses de Chingaza, Neusa, Sisga y Tominé. Zipaquirá cuenta con el Páramo de Guerrero que alimenta a Pacho y Tausa principalmente y da origen al Río Frío y microcuencas importantes para el territorio.⁸

Según la proyección poblacional realizada por el DANE en el 2005 para el año 206 de los municipios de Cogua, Nemocón y Zipaquirá como se muestra en la Tabla 3.

Tabla 3. Proyección poblacional.

| MUNICIPIO | PROYECCIÓN POBLACIONAL |
|------------------|-------------------------------|
| Cogua | 22.786 |
| Nemocón | 13.707 |
| Zipaquirá | 124.376 |
| TOTAL | 160.869 |

Fuente. DANE.

Por lo tanto, la empresa de acueducto, alcantarillado y aseo de Zipaquirá ESP a partir del embalse del Neusa suministra agua actualmente para un total aproximado de 160.869 personas.

⁸ZIPAQUIRÁ TURÍSTICA. Nuestra historia [en línea] <http://www.zipaquiraturistica.com/zipa/index.php/es-ES/historia> [Citado el 28 de Marzo del 2016].

2. MARCO TEÓRICO

2.1 AGUA

El agua es un líquido incoloro, inodoro e insaboro, conocido como disolvente universal puesto que todas las sustancias son de alguna manera solubles en agua, y está compuesto molarmente por dos átomos de hidrogeno y uno de oxígeno.⁹ Aunque es uno de los recursos más abundantes en el planeta, es un recurso natural no renovable, que debe ser protegido y usado razonablemente. El agua es de vital importancia en el diario vivir, así que es necesario que todas las personas dispongan de un abastecimiento seguro y satisfactorio; sin embargo, para que sea apta para el consumo humano se debe llevar a procesos de tratamientos los cuales deben ser controlados de inicio a fin, para así obtener agua que cumpla con los parámetros establecidos con la normativa del país.

El origen de las aguas se clasifica según su procedencia en aguas subterráneas y superficiales. Las aguas subterráneas son extraídas a través de pozos, mientras que las superficiales son tomadas desde embalses, ríos o pantanos y utilizadas generalmente para abastecimientos a poblaciones.¹⁰

2.1.1 Agua potable. Es aquella que por reunir los requisitos organolépticos, físicos, químicos y microbiológicos es apta y aceptable para el consumo humano y cumple con las normas de calidad de agua.

2.1.2 Calidad del agua. La calidad del agua está ligada a las propiedades físicas, químicas y biológicas, viéndose afectada cuando entra en contacto con compuestos o sustancias toxicas de diferente naturaleza, cambiando así sus características. El agua puede emplearse para diversos fines tales como: uso doméstico, industrial agropecuario, consumo humano, e inclusive como generador de energía; por tal razón para cada fin se exige una calidad de agua específica. Sin embargo por cuestiones de sanidad, la mayor preocupación se centra en el uso del agua para consumo humano, la cual debe tener una excelente calidad para evitar enfermedades.¹¹

⁹ ROMERO ROJAS, Jairo Alberto. Calidad Del Agua. Tercera edición. Bogotá: Escuela Colombiana de Ingeniería, 2009. ISBN 9789588060

¹⁰ GRAU RÍOS, Mario y MUÑOZ CAMACHO, Eugenio. La Hidrosfera Como Materia Prima: Obtención Del Agua y Obtención De Sales. En: [Anónimo] Ingeniería Química. UNED, 2013. ISBN 8436266420, 9788436266429

¹¹ BIBLIOTECA DIGITAL ILCE. El agua y la vida [en línea] http://bibliotecadigital.ilce.edu.mx/sites/ciencia/volumen2/ciencia3/102/html/sec_6.html [Citado el 29 de Marzo del 2016].

2.2 CARACTERÍSTICAS DEL AGUA POTABLE

Para poder conocer la calidad del agua, es necesario conocer los parámetros fisicoquímicos que la definen para su uso, así como para los procesos de tratamiento.

2.2.1 Características físicas. Definen las características del agua que responden a los sentidos de la vista, tacto, gusto y olfato, entre los que se encuentran los sólidos suspendidos, turbiedad, color, sabor, olor y temperatura.

2.2.1.1 Turbidez. Es una propiedad óptica del agua que hace que la luz sea remitida y no transmitida a través de ésta, como consecuencia de la presencia de materiales insolubles suspendidos, coloidales y/o particulados. Generalmente la turbidez se mide con un turbidímetro y sus resultados se expresan en unidades de turbidez nefelométrica (UTN); aunque actualmente es más usado el método nefelométrico por ser más sensible que el método visual del turbidímetro.¹²

2.2.1.2 Color. En el agua se reconocen dos (2) tipos de color: el **color verdadero**, que se presenta cuando se ha removido la turbidez y el **aparente** que incluye no solamente el color de las sustancias en solución y coloidales sino también el color debido al material suspendido. Un color indeseable se da como resultado de la presencia ya sea de materiales de origen vegetal (ácidos húmicos, turba, plankton) o de algunos metales (hierro, manganeso, cobre y cromo). La unidad de color denominada unidades de platino-cobalto (UPC) es el color producido por un (1) mg/l de platino, en la forma de ion cloroplatino.¹³

2.2.1.3 Olor y sabor. El olor y sabor están ligados entre sí y generalmente son indistinguibles. Las causas del olor y sabor indeseables del agua son muchas, sin embargo, las más comunes son debidas a la presencia de materia orgánica en solución, sustancias químicas, algas, hongos, etc.

La determinación de estos parámetros en el agua es útil para evaluar la calidad de la misma, su aceptabilidad por parte del consumidor, controlar los procesos de una planta y determinar la fuente de una posible contaminación.

El método más usado para expresar la concentración de éstos consiste en determinar la relación de dilución a la cual el olor o sabor es apenas detectable, donde el valor de dicha relación se expresa como número detectable (ND) de olor o sabor.¹⁴

¹² ROMERO ROJAS, Op.cit.,p.107p

¹³ Ibid.,p69

¹⁴ Ibid.,p70

2.2.1.4 Temperatura. Es una variable física que influye en gran medida en la calidad del agua, pues al aumentar la temperatura disminuye la solubilidad del oxígeno y se aceleran los procesos de putrefacción; es por eso que los olores indeseables son más fuertes a altas temperaturas. Para la determinación de la temperatura se emplea un termómetro de mercurio en buen estado, para evitar una posible rotura que afecte la calidad del agua.¹⁵

2.2.1.5 Sólidos. Se clasifica toda la materia, excepto el agua contenida en los materiales líquidos como materia sólida. Se pueden clasificar en:

- **Sólidos totales.** Es la materia que permanece como residuo después de evaporación y secado a 103°C, y su valor incluye tanto material disuelto como no disueltos (sólidos suspendidos).
- **Sólidos disueltos.** Son una fracción del total de sólidos presentes en el agua, compuestos fundamentalmente por materia coloidal, sales inorgánicas (calcio, magnesio, potasio, sodio, bicarbonatos, cloruros y sulfatos) así como pequeñas cantidades de materia orgánica disuelta. Se determinan directamente por filtración o por diferencia entre los sólidos totales y los suspendidos
- **Sólidos suspendidos.** Determinados por filtración, también conocidos como residuo no filtrable o material no disuelto.
- **Sólidos volátiles y sólidos fijos.** Se interpreta en términos de materia orgánica; no es exacto porque la pérdida de peso incluye pérdidas debidas a descomposición de sales minerales.
- **Sólidos sedimentables.** Sólidos que están en suspensión y sedimentaran por acción de la gravedad.¹⁶

2.2.1.6 Conductividad. La conductividad del agua es producida por los electrolitos que lleva disueltos, donde los iones en mayor cantidad que forman las sales disociadas en el agua suelen ser, HCO_3^- , CO_3^{2-} , Cl^- , SO_4^{2-} , NO_3^- , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ y K^+ , dependiendo así de la concentración total de sustancias disueltas ionizadas en el agua y de la temperatura.

La medición de la conductividad en aguas se lleva a cabo mediante instrumentos comerciales de lectura directa en $\mu\text{mho/cm}$ a 25°C, con un error menor del 1%.

2.2.2 Características químicas. Están relacionados con la capacidad del agua para disolver diversas sustancias, entre las que se destacan: alcalinidad, dureza, materia orgánica, metales y nutrientes. Los múltiples compuestos químicos disueltos en el agua pueden ser de origen natural o industrial, y de acuerdo a su composición y concentración son beneficiosos o dañinos.

¹⁵ Ibid.,p71

¹⁶ ARBOLEDA VALENCIA. J, "Teoría y práctica de la purificación del agua", ACODAL III Ed. McGraw Hill 2000

2.2.2.1 Alcalinidad. Es la capacidad del agua para neutralizar ácidos, reaccionar con iones de hidrogeno, aceptar protones o la medida del contenido total de sustancias alcalinas (OH^-). Es causada principalmente por la presencia de 3 clases de compuestos: bicarbonatos, carbonatos e hidróxidos; y en menor medida por la presencia de boratos, silicatos, fosfatos, etc. La alcalinidad es medida por la titulación de una alícuota de una muestra con ácido clorhídrico (HCl) o ácido sulfúrico (H_2SO_4) utilizando indicadores como la fenoftaleina, metil naranja o metacresol, y se expresa como la concentración equivalente de $CaCO_3$ en mg/l.¹⁷

2.2.2.2 Acidez. Es la capacidad del agua para neutralizar bases, reaccionar con iones de hidróxido, ceder protones o la medida del contenido total de sustancias ácidas. La causa más común de acidez en el agua es la aparición de CO_2 como resultado de las reacciones de los coagulantes químicos usados, de la oxidación de la materia orgánica o por la disolución del CO_2 atmosférico. La acidez se expresa como miliequivalentes por gramo (meq /g) de hidrogeno.¹⁸

2.2.2.3 Potencial de hidrogeno “pH”. Mide el carácter ácido, básico o neutro de una solución ya sea con el uso de indicadores o pH-metro, donde su valor depende de la concentración molar de iones de hidronio H_3O^+ y se calcula por medio del logaritmo en base 10 de la concentración de H_3O^+ .

2.2.2.4 Dureza. Es causada por iones metálicos divalentes, donde en la mayor parte de aguas se considera que la dureza total es aproximadamente igual a la dureza producida por iones de calcio y magnesio. La dureza del agua se expresa en miligramos equivalentes de carbonato de calcio por litro y tiene en cuenta la determinación de nitratos, sulfatos, cloruros, fluoruros, metales, sílice, fosforo, hierro, manganeso.¹⁹

2.2.2.5 Cloruros. La mayor parte del cloro se presenta como ion cloruro (Cl^-) en solución. La presencia de este componente en el agua se debe al poder disolvente del agua que introduce los cloruros de la capa vegetal, al contacto con aguas residuales y/o vertidos industriales, donde la presencia de altas concentraciones de este compuesto le da un sabor salado al agua y un aumento de la velocidad de corrosión de los metales.²⁰

2.2.2.6 Sulfatos y Sulfuros. El sulfato SO_4^{2-} se encuentra en forma natural en las aguas superficiales, y puede provenir del lavado de los compuestos minerales azufrados, rocas sedimentarias (yeso y pirita) y de la deposición atmosférica. Siendo éste la forma más estable del azufre, soluble en agua (a excepción de las sales de plomo, bario y estroncio).

¹⁷ ROMERO ROJAS, Op.cit., p.119.

¹⁸ Ibid.,p. 123.

¹⁹ Ibid.,p. 130.

²⁰ Ibid.,p. 156.

La formación de sulfuros en las aguas superficiales se da por procesos anaeróbicos, en los que las bacterias usan el sulfato como fuente de oxígeno y lo convierten en sulfuro de hidrógeno (H_2S, HS^-). A altas concentraciones de sulfuros, se presentan olores fuertes indeseables y condiciones tóxicas, que hacen inadecuada el agua para consumo humano u otros usos.²¹

2.2.2.7 Nitritos y Nitratos. Son compuestos inorgánicos que pueden provenir de la descomposición natural de las proteínas de las plantas o animales por medio de microorganismos dando paso al catión amonio (NH_4^+), el cual se oxida a nitritos (NO_2^-) y posteriormente éstos a nitratos (NO_3^-).

2.2.2.5 Oxígeno disuelto “OD”. Es el oxígeno libre disponible en el agua, siendo un factor que determina la existencia de condiciones aeróbicas o anaeróbicas e importante en la autopurificación de los ríos que depende de la concentración y estabilidad del material orgánico en el agua. Son valores bajos y disminuyen con la temperatura. El contenido de oxígeno de las aguas naturales varía con la temperatura, la salinidad, la turbulencia, la actividad fotosintética y la presión atmosférica²²

2.2.2.6 Demanda Química de Oxígeno “DQO”. Es un factor que mide el material orgánico contenido en una muestra líquida mediante oxidación química (dicromato de potasio). La cantidad de oxidante consumada se expresa en términos de su equivalencia en oxígeno.²³

2.2.2.7 Demanda Bioquímica de Oxígeno “DBO”. Hace referencia a la cantidad de oxígeno que se requiere para que los microorganismos aerobios puedan oxidar la materia orgánica presente en el agua. Normalmente se mide como DBO_5 , que significa la variación del oxígeno disuelto determinado al cabo de cinco (5) días en condiciones estándar, proporcionando una idea del carbono orgánico biodegradable existente en la muestra.²⁴

2.2.3 Características biológicas. Las aguas poseen gran diversidad de elementos biológicos que van desde los microorganismos hasta los peces, donde el origen de los microorganismos puede ser natural o provenir de contaminación por vertidos industriales, como por el arrastre por acción de la lluvia de los que se encuentran en el suelo.

2.2.3.1 Algas. Están constituidas principalmente de clorofila necesaria para realizar las actividades fotosintéticas y necesitan de luz solar para vivir y reproducirse. En

²¹ Ibid., p. 149.

²² Ibid., p. 173.

²³ Ibid., p. 186.

²⁴ Ibid., p. 175.

los lagos, lagunas, embalses y remansos de agua se da la mayor concentración de algas y en menor proporción en las corrientes de agua superficiales.²⁵

2.2.3.2 Bacterias. Las bacterias de los géneros Sphaerotilus y Crenothrix, están relacionadas con el hierro y el manganeso del agua; y las del género Beggiatoa con las bacterias sulfurosas. Las bacterias propias del agua generalmente le dan coloración al agua (rojo, amarillo, anaranjado, violeta), dependiendo del género entre los que se destacan: Pseudomonas, Serratia, Flavobacterium y Achromobacterium.²⁶

2.2.3.3 Hongos, mohos y levaduras. Son pertenecientes al grupo de bacterias con la diferencia de que no contienen clorofila y normalmente son incoloras. Estos organismos se caracterizan por ser heterótrofos y en consecuencia depender de la materia orgánica para su nutrición. De todos los protozoarios que pueden encontrarse en el agua, el de mayor importancia por su toxicidad es la Endamoeba histolytica dado que produce disentería amebiana. Un gran número de animales o vegetales microscópicos que flotan en el agua y reciben el nombre genérico de plancton, es de gran importancia para juzgar la calidad sanitaria del agua.²⁷

2.3 PROCESOS DE POTABILIZACIÓN DEL AGUA

El tratamiento de aguas es una de las formas más antiguas para proteger la salud pública, pues como se ha mencionado, las fuentes naturales de agua contienen grandes cantidades de sustancias orgánicas e inorgánicas. La presencia y la concentración de estas impurezas en el agua cruda varían según el tipo de fuente de agua, dado que la calidad del agua de ríos, embalses y acuíferos son diferentes. Por tal razón, las plantas de tratamiento han sido diseñadas con el fin de mejorar la calidad del agua antes de ser distribuida a los consumidores, donde se remueven las impurezas, microorganismos, minerales, y sustancias que provocan dureza y mal aspecto (olores y sabores desagradables).²⁸

2.3.1 Pretratamiento. El agua antes de ser sometida al tratamiento en busca de una calidad con los niveles de aceptabilidad estipuladas según las normas establecidas que sea apta para el consumo humano, es sometida a un pretratamiento que se basa en operaciones físicas o mecánicas, que tiene como objetivo separar el agua de partículas según su tamaño o naturaleza, las cuales pueden causar problemas en los tratamientos posteriores. Entre los pretratamientos más usuales se encuentra la remoción de materiales flotantes mediante el proceso de desbaste con rejillas o tamices de diámetro entre 2,5 y 5 cm, y la remoción de

²⁵ Ibid.,p. 212.

²⁶ Ibid.,p. 213.

²⁷ Ibid.,p. 214.

²⁸ GRAU RÍOS y MUÑOZ CAMACHO, Op.cit., p.309

materiales suspendidos (arcillas, grava, arena y partículas minerales más o menos finas) con el uso de desarenadores, presedimentadores, prefiltros y microtamices.

2.3.2 Tratamiento. Los tratamientos que comprenden todo el proceso de potabilización de agua se centran en dos propósitos: la mejora de su aspecto físico (turbidez) con la remoción de sólidos, y la inactivación de organismos tóxicos, los cuales tienen una relación con el contenido de los materiales sólidos presentes en aguas superficiales. El sistema generalmente usado en el tratamiento de agua potable una vez captada del río y conducida a la planta de tratamiento mediante un sistema de aducción es el método convencional de potabilización, el cual cuenta con operaciones unitarias tales como: coagulación, floculación, sedimentación, filtración y desinfección.²⁹

2.3.2.1 Coagulación. Es un proceso por el cual las partículas que no sedimentan de forma simple, debido a su tamaño reducido, son desestabilizadas químicamente por medio de un coagulante que generalmente es un metal trivalente (sulfato de aluminio, cloruro férrico), alterando las características superficiales de los sólidos en suspensión de modo que se adhieren unos a otros y se precipitan. La coagulación se realiza con ayuda de aplicación de la energía de mezclado rápida que puede ser hidráulica o mecánica.³⁰

2.3.2.2 Floculación. Se añaden floculantes (polielectrolitos) con el fin de aglutinar las partículas formadas en la coagulación para dar paso a la formación de otras más grandes llamadas flóculos, sometiendo el agua a una mezcla o agitación lenta. Esta operación se realiza en una unidad conformada por floculadores de acción mecánica con agitadores de paletas rotativas y accionamiento a motor o hidráulica donde el agua pasa a través de placas divisorias, subiendo y bajando por presión hidráulica.³¹

2.3.2.3 Sedimentación. Los flóculos formados por los agentes químicos (coagulantes y floculantes) sedimentan en decantadores o piletas de capacidad variable, donde por la parte superior se obtiene el agua clarificada y por el fondo mediante el accionamiento de válvulas se extrae una corriente de lodos que contiene los flóculos sólidos por conductos especiales de limpieza de forma continua o periódica. Comúnmente la retención de velocidad del agua que se produce en esta zona varía de 40 minutos a 1 hora, y después de éste tiempo el agua clarificada es captada por vertederos y llevada a la zona de filtración.³²

2.3.2.4 Filtración. El objetivo es separar las partículas coloidales y microorganismos objetables, que no han quedado retenidos en los anteriores

²⁹ HENRY, Glynn y HEINKE, Gary. Abastecimiento De Agua. En: [Anónimo] Ingeniería Ambiental. 1999.

³⁰ ARBOLEDA VALENCIA, Op.cit.,p.99

³¹ Ibid.,p100.

³² ROMERO ROJAS,Op.cit.,p.67

procesos, mediante un medio poroso llamado lecho filtrante que permite el paso del líquido, pero no el de las partículas sólidas, quedando retenidas en el medio filtrante (arena, carbón activo granular). Según la cantidad de flujo por unidad de área, los filtros pueden ser lentos los cuales operan a velocidades de 3 a 4 l/min/m² o rápidos que operan de 80 a 160 l/min/m².³³

Una buena filtración reducirá considerablemente la demanda de desinfectante (cloro) en la etapa posterior y permitirá una dotación de agua de calidad con buenas propiedades organolépticas a la población.

2.3.2.5 Desinfección. Es el último proceso de tratamiento que consiste generalmente en la adición de cloro (gaseoso o líquido), y en ocasiones con ozono y rayos ultravioleta con el fin de garantizar la potabilidad del agua desde el punto de vista microbiológico, asegurando la ausencia de microorganismos patógenos.

El cloro es inyectado a través de dosificadores automáticos en cantidades de 0,5 y 0,8 mg/l.

³³ ARBOLEDA VALENCIA, Op.cit., p.363

3. MARCO LEGAL

La realización de este proyecto debe tener relación tanto con los requisitos legales como normativos de la actualidad, para así garantizar una viabilidad normativa. Existen diferentes leyes y decretos que tienen como fin normalizar el abastecimiento de agua potable, dentro de los aspectos legales que se emplearan como apoyo para el desarrollo de éste y el normal funcionamiento de la planta regional del municipio de Cogua, se encuentran las disposiciones que regulan las acciones en cuanto al tratamiento del agua y la calidad para consumo humano. Las disposiciones legales nacionales para el proyecto son las mostradas en la figura 2.

Figura 2. Disposiciones legales nacionales.

| | |
|--|---|
| Resolución 2115 del 22 de junio del 2007 | <ul style="list-style-type: none">• Señala las características (físicas, químicas y microbiológicas) indicando los valores máximos permitidos de cada elemento y/o compuesto; instrumentos básicos y frecuencias del sistema de control y vigilancia para la calidad del agua apta para consumo humano. |
| Resolución 1096 del 17 de mayo del 2000 | <ul style="list-style-type: none">• Adopta el Reglamento Técnico para el Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico RAS-2000 |
| Decreto 1575 del 9 de Mayo de 2007 | <ul style="list-style-type: none">• Establece el Sistema para la Protección y Control de la Calidad del Agua para Consumo Humano. |

Según la Resolución 2115 del 2007, los estándares de calidad del agua para consumo humano son los siguientes³⁴:

Las **características físicas** no podrán sobrepasar los valores máximos aceptables que se muestran a continuación:

³⁴ MINISTERIO DE LA PROTECCIÓN SOCIAL, MINISTERIO DE AMBIENTE, VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL. Resolución 2115 de 2007. República de Colombia. [En línea] <<http://www.minproteccionsocial.gov.co/VBeContent/NewsDetail.asp?ID=16364&IDCompany=3>> [Citado el 10 de Marzo de 2016].

Tabla 4. Características físicas del agua para consumo humano.

| CARACTERÍSTICAS FÍSICAS | EXPRESADA COMO | VALOR MÁXIMO |
|-------------------------|--|--------------|
| Color aparente | Unidades de Platino Cobalto (UPC) | 15 |
| Olor y sabor | Aceptable ó no aceptable | Aceptable |
| Turbiedad | Unidades Nefelométricas de turbiedad (UNT) | 2 |
| Sólidos totales | mg/l | 250 |
| Conductividad | microsiemens/cm | 1000 |
| pH | - | 6,5-9,0 |

Fuente. Resolución 2115/07. República de Colombia.

Por medio de los artículos 5, 6 y 7 se establecen las **características químicas** aceptables del agua para consumo humano en relación con los elementos, compuestos químicos y mezclas de compuestos químicos que tienen efecto adverso, implicaciones y consecuencias económicas e indirectas sobre la salud humana, respectivamente. A continuación, se muestran las tablas correspondientes a los artículos mencionados.

Tabla 5. Características químicas que tienen efecto adverso sobre la salud humana.

| ELEMENTOS, COMPUESTOS QUÍMICOS Y MEZCLAS DE COMPUESTOS QUÍMICOS | EXPRESADAS COMO | VALOR MÁXIMO (MG/L) |
|---|-----------------|---------------------|
| Antimonio | Sb | 0,02 |
| Arsénico | As | 0,01 |
| Bario | Ba | 0,7 |
| Cadmio | Cd | 0,003 |
| Cianuro libre y dissociable | CN ⁻ | 0,05 |
| Cobre | Cu | 1,0 |
| Cromo total | Cr | 0,05 |
| Mercurio | Hg | 0,001 |
| Níquel | Ni | 0,02 |
| Plomo | Pb | 0,01 |
| Selenio | Se | 0,01 |
| Trihalometanos totales | THMs | 0,2 |
| Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos (HAP) | HAP | 0,01 |

Fuente. Resolución 2115/07. República de Colombia.

Tabla 6. Parámetros químicos que tienen implicaciones sobre la salud humana.

| CARACTERÍSTICAS FÍSICAS | EXPRESADA COMO | VALOR MÁXIMO |
|-------------------------|------------------------------|--------------|
| Carbono Orgánico Total | COT | 5,0 |
| Nitritos | NO ₂ ⁻ | 0,1 |
| Nitratos | NO ₃ ⁻ | 10 |
| Fluoruros | F ⁻ | 1,0 |

Fuente. Resolución 2115/07. República de Colombia.

Tabla 7. Características químicas que tienen mayores consecuencias económicas e indirectas sobre la salud humana.

| ELEMENTOS, COMPUESTOS QUÍMICOS Y MEZCLAS DE COMPUESTOS QUÍMICOS DIFERENTES A LOS PLAGUICIDAS Y OTRAS SUSTANCIAS | EXPRESADAS COMO | VALOR MÁXIMO ACEPTABLE (MG/L) |
|---|-------------------------------|-------------------------------|
| Calcio | Ca | 60 |
| Alcalinidad Total | CaCO ₃ | 200 |
| Cloruros | Cl ⁻ | 250 |
| Aluminio | Al ⁺³ | 0,2 |
| Dureza Total | CaCO ₃ | 300 |
| Hierro Total | Fe | 0,3 |
| Magnesio | Mg | 36 |
| Manganeso | Mn | 0,1 |
| Molibdeno | Mo | 0,07 |
| Sulfatos | SO ₄ ⁻² | 250 |
| Zinc | Zn | 3 |
| Fosfatos | PO ₄ ⁻³ | 0,5 |

Fuente. Resolución 2115/07. República de Colombia.

El artículo 11 establece que las **características microbiológicas** del agua para consumo humano deben enmarcarse dentro de los siguientes valores máximos aceptables, los cuales son establecidos teniendo en cuenta los límites de confianza del 95% y para técnicas con habilidad de detección desde 1 Unidad Formadora de Colonia (UFC) ó 1 microorganismo en 100 cm³ de muestra:

Tabla 8. Características microbiológicas del agua para consumo humano.

| TÉCNICAS UTILIZADAS | COLIFORMES TOTALES | ESCHERICHIA COLI |
|-------------------------|--|------------------|
| Filtración por membrana | 0 UFC/100 cm ³ | |
| Enzima sustrato | < de 1 microorganismo en 100 cm ³ | |
| Sustrato Definido | 0 microorganismo en 100 cm ³ | |
| Presencia-Ausencia | Ausencia en 100 cm ³ | |

Fuente. Resolución 2115/07. República de Colombia.

4. DIAGNÓSTICO ACTUAL

Para conocer el estado actual de la Planta Regional del Acueducto de Zipaquirá, se hizo una visita a ésta con el fin de conocer las instalaciones, equipos, materiales, insumos, el respectivo proceso que se lleva a cabo y del mismo modo identificar los puntos críticos del proceso.

La empresa de Acueducto, Alcantarillado y Aseo de Zipaquirá (EAAAZ) suministra el agua potable para los municipios de Cogua, Nemocón, Zipaquirá y cuenta con la planta regional (convencional y compacta), la planta Galán y Alto del Águila.

4.1 INFORME TÉCNICO

La planta de tratamiento de agua regional de la Empresa de Acueducto Alcantarillado y Aseo cuenta con una planta convencional y una compacta, donde la vista general de ésta se observa en la figura 3. La unidad de tratamiento compacta fue diseñada para trabajar un caudal de 160 l/s a condiciones normales, pero es posible trabajar con 10% adicional a su capacidad nominal sin alterar las propiedades y características del agua tratada. El agua cruda que entra a la planta no tiene totalmente características aptas para consumo humano, por lo que se hace necesario realizar un tratamiento preciso y un seguimiento continuo debido a que las características pueden variar en cualquier momento ya sea en época de lluvia o verano; esta agua es tratada y apta para consumo humano cumpliendo con los estándares de calidad establecidos por el Ministerio de Salud (Resolución 2115 de 2007) los cuales se encuentran en el marco legal.

Figura 3. Vista general de la Planta Regional



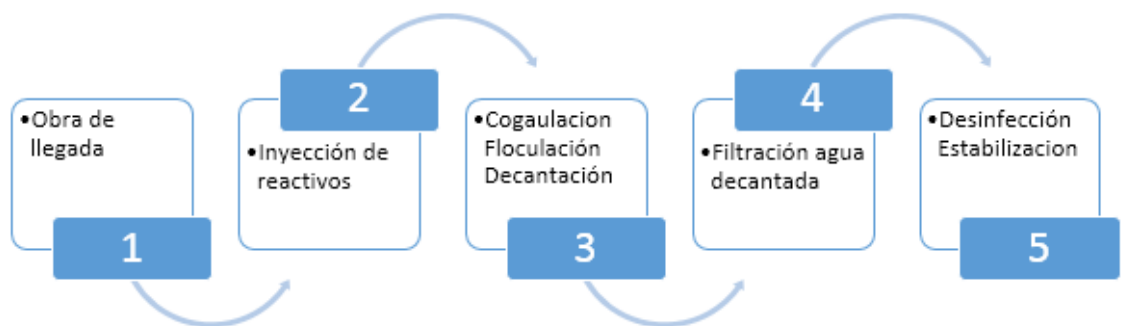
Fuente. EAAAZ

4.1.1 Tecnología de tratamiento. Este tratamiento corresponde al sistema Pulsator donde hay un depósito de fondo plano (decantador) con tubos perforados que tienen como función distribuir el agua cruda uniformemente en el fondo. En la parte superior tiene canaletas que recogen uniformemente el agua decantada evitando irregularidades en las velocidades de las partes del equipo. Para alimentar el colector inferior de manera discontinua, se utiliza el almacenamiento alrededor de 40 segundos del 30% del caudal total de agua cruda, el cual se hace penetrar lo más rápido posible en el aparato.

Como se expuso anteriormente, el sistema consiste en almacenar un determinado volumen de agua cruda en la campana de vacío, el cual es posible gracias a la extracción de aire que se hace por medio de la bomba extractora. En estas condiciones el nivel de agua cruda aumenta de manera progresiva entro de la campana, cuando alcanza una altura comprendida entre 0,6 y 1m por encima del nivel de agua del decantador, se efectúa la apertura de una de las válvulas de comunicación de campana con la atmosfera, por medio del flotador instalado en la campana el cual está censando constantemente el nivel de la campana; la presión atmosférica actúa inmediatamente sobre el agua almacenada en la campana que penetra al decantador con gran velocidad. Los aparatos anteriormente nombrados, se regulan con el fin de que el vaciado de la campana al decantador se efectué en 5 a 10 segundos, y el tiempo de llenado de la campana dure de 30 a 40 segundos.

El sistema de tratamiento está compuesto por las unidades mostradas en la figura 4, las cuales se explicarán más adelante.

Figura 4. Unidades del sistema de tratamiento del agua en la planta regional.



4.1.2 Descripción

4.1.2.1 Pre- tratamiento. El agua cruda proveniente del embalse del Neusa mediante tuberías llega a la planta a la unidad de pre tratamiento constituida por una serie de varillas de $\frac{1}{2}$ " con separación entre ellas de 1 a 1.5 cm. En esta misma unidad se lleva a cabo una mezcla rápida causada por la caída del agua a través de

un vertedero longitudinal y se aprovecha para la adición del coagulante PAC (Policloruro de aluminio) que es de 10mg/l.

4.1.2.2. Campana de vacío (C). Es de las partes más importantes del tratamiento, en esta se producen las mezclas generando la floculación del agua cruda, además mantiene activo el manto de lodos en la zona de sedimentación producto de las pulsaciones generadas. Se comunica con el decantador por las ramificaciones inferiores que se encargan de distribuir el agua cruda mezclada con los reactivos químicos.

4.1.2.3. Bomba de vacío (B). Esta encargada de la aspiración del aire contenido en la campana y con ciclos de apertura y cierre de las válvulas de vacío permiten las pulsaciones de la planta, el caudal del aire extraído es inferior al caudal de agua entrante a la campana hasta la apertura de la válvula. El funcionamiento es continuo en el proceso por lo que hay un equipo continuo y uno en stand-by. La selección se da desde el tablero electrónico de control.

4.1.2.4. Válvulas de vacío (V). Son dispositivos de funcionamiento electromagnético, al energizar la bobina interna acciona la compuerta. Las válvulas tienen un diámetro de 4", están ubicadas en la parte superior de la campana con la función de poner a la atmosfera la campana de vacío cuando se produce la carga, estas son controladas por un flotador de pera que se calibra para aumentar o disminuir la carga de la campana y realizar las pulsaciones de la planta.

4.1.2.5. Colector Principal (K). Está situado en la parte inferior del decantador y conectado de forma directa a la campana de vacío, y es el encargado de recibir el agua mezclada y repartirla por cada uno de los distribuidores.

4.1.2.6. Tuberías Distribuidoras Inferiores (D). Están constituidos por 40 tubos de PVC perforados con agujeros de diámetro de $\frac{3}{4}$ pulgadas, distribuidos en toda el área del decantador permitiendo una distribución homogénea y simultánea del caudal de agua que entra a éste. Los agujeros de salida están orientados hacia el piso del decantador cuyo fin es cumplir con la función de limpieza y renovación continua del manto de lodos de abajo hacia arriba.

Por otra parte, estas tuberías tienen incorporado un sistema de limpieza interna que se debe realizarse periódicamente para evitar obstrucciones en los agujeros por sólidos de mayor tamaño que no hayan alcanzado a pasar las rejillas.

4.1.2.7. Tranquilizadores (T). Son placas en forma de "V" invertidas, fabricadas en material de fibra de vidrio, distribuidas en toda el área del decantador y ubicadas encima de las tuberías distribuidoras con la finalidad de garantizar un amortiguamiento de las descargas producidas en el sistema y así mismo una distribución adecuada de los caudales entrantes.

4.1.2.8. Tolvas de Sedimentación de lodos (S). Se cuenta con 6 tolvas ubicadas longitudinalmente a lo largo del decantador, que tienen como función almacenar y permitir un aumento de la concentración de lodos, gracias a su estructura cónica.

4.1.2.9. Tuberías de Extracción de Lodos (L). Las extracciones de lodos están conformadas por tuberías de acero de diámetro 4", que se encuentran conectadas directamente con cada una de las seis (6) tolvas de almacenamiento de lodos, para permitir la evacuación del exceso de lodos del sistema.

La operación de extracción de lodos está controlada por un sistema automático que permite su regulación en cuanto a las necesidades, y un controlador o PLC que tiene como función accionar una electroválvula ubicada en cada una de las extracciones, permitiendo a su vez la apertura de una válvula de diafragma produciendo la extracción de lodos del sistema. El programador de tiempo de extracción de lodos, está ubicado en el tablero eléctrico de la planta, donde cada extracción puede ser controlada de forma independiente manual o automáticamente mediante los selectores ubicados en el tablero de control eléctrico.

4.1.2.10. Canaletas de Recolección de Agua Clarificada (A). Se encuentran en la parte superior del decantador, acondicionadas con una serie de orificios por medio de los cuales se consigue una recolección uniforme del agua decantada, evitando cualquier irregularidad de velocidad en las diferentes partes del decantador.

4.2 FILTROS

La planta regional cuenta con un total de cuatro (4) filtros tipo T, los cuales se caracterizan por:

- Tener un lecho filtrante de arena y otro de soporte, de granulometría variada la cual permanece estable después del lavado.
- Un lavado por retorno de simultáneo de aire a fuerte caudal y uno de agua a caudal reducido, seguido de un aclarado a caudal medio que no provoca expansión de lecho.
- Una altura de agua por encima de la arena 0,50m.
- Una caída geométrica reducida en general 2m, que evita que se produzca una considerable desgasificación del agua debido a un estancamiento excesivo. Según la naturaleza del agua y su aptitud para desgasificarse, la velocidad máxima de filtración puede ser de 7 a 10 m/h.
- Poseen un falso fondo que soporta el material filtrante.
- Están equipados con una serie de boquillas o toberas colectoras de cola larga tipo D20, atornilladas al falso fondo desmontable para facilitar su reposición y mantenimiento.

Para que la operación de los filtros sea la más adecuada, éstos vienen acondicionados con una caja de parcialización que regula el caudal de aire que se

introduce en la parte superior del sifón; y así mismo consigue una compensación automática del atascamiento del filtro. Con ésta caja también es posible adecuar el caudal del filtro al caudal total a filtrar haciendo que la cota del punto donde se suspende el resorte varíe en función del nivel de flotación del flotador de la caja.

Un aumento del caudal corresponde a una elevación del punto donde se suspende el resorte y a la disminución de la cantidad de aire que penetra en el sifón. La pérdida de carga disminuye dando lugar a un aumento del caudal evacuado por el sifón.

4.2.1 Bomba de Lavado de Filtros. Ésta bomba tiene como función suministrar agua filtrada en contra corriente al filtro con el fin de eliminar todas las impurezas retenidas por éste durante el proceso de filtración.

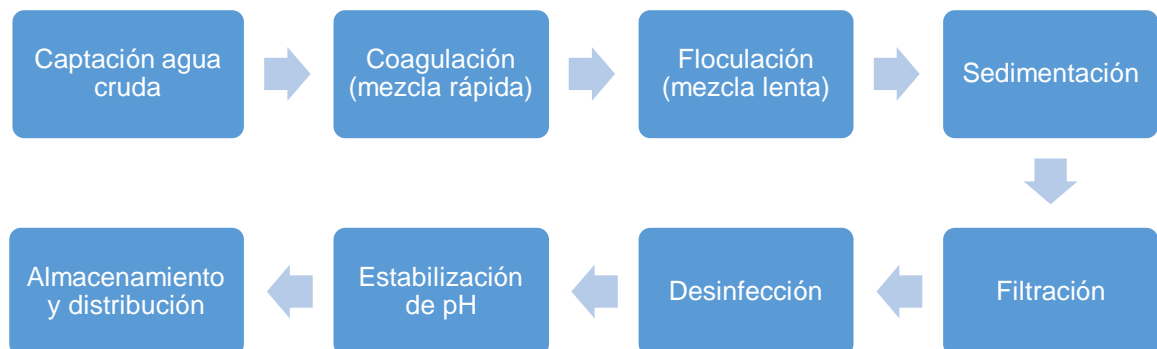
El caudal de lavado de estos filtros es mínimo, al ser comparado con los filtros a presión en los cuales se debe suministrar tres (3) veces el caudal de tratamiento para su lavado, mientras que en los abiertos solo se requiere de 5m³/h por m² de filtro, debido a la conjugación de agua-aire, donde el mayor participante durante el lavado es el aire.

Cuando las impurezas separadas del material filtrante se acumulan entre el agua superficial de los filtros, se hace necesario realizar un aclarado, reemplazando el agua fangosa por agua clara una vez suspendida la entrada de aire, manteniendo constante el caudal de agua de lavado hasta que el agua evacuada por la canaleta sea clara.

4.3 DIAGNÓSTICO OPERATIVO

El proceso de potabilización de agua en la Planta Regional se desarrolla bajo un sistema de tratamiento conformado por las etapas que se muestran en la figura 5.

Figura 5. Etapas tratamiento de agua en la Planta Regional.



El Acueducto Regional Zipaquirá – Cogua y Nemocón trata el agua proveniente del Río del Neusa el cual se observa en la figura 6 (aguas abajo de la descarga de fondo del embalse del Neusa), donde se localiza la bocatoma del Acueducto

Regional de Zipaquirá (suministra agua cruda a las veredas la Plazuela y el Olivo pertenecientes a Cogua y a la planta de tratamiento de Zipaquirá, desde donde se distribuye a Zipaquirá, Cogua y Nemocón). El agua es conducida desde el embalse hasta la planta de tratamiento por medio de tubos de asbesto, cemento y PVC.

Figura 6. Embalse del Neusa.



Fuente. EAAAZ

4.3.1 Estructura de llegada. La estructura de llegada a la planta cuenta con una cámara de aquietamiento, que tiene 4,55m de profundidad total, que descarga por un rebose sin contracciones de pared gruesa a un canal de 1,55m de largo, 1,7m de ancho, y una profundidad total de 0,50m, donde la profundidad efectiva esta dada por la canaleta Parshall ubicada posteriormente que ocasiona una generación de turbulencia adicional al ingreso a la Parshall como se observa en la figura 7.

Figura 7. Rejilla y canaleta Parshall a la entrada de la planta convencional.



Para el caudal de trabajo (150l/s o $0,15\text{m}^3/\text{s}$) se tiene una altura en la sección convergente de 0,37m, por lo tanto, se tiene que la velocidad sobre la estructura de llegada es de:

$$v = \frac{Q}{A} = \frac{0,15\text{m}^3/\text{s}}{1,7\text{m} * 0,37\text{m}} = 0,24\text{m/s}$$

La velocidad típica especificada para el tipo de estructura empleada debe ser menor a 1,0m/s, por lo tanto se puede asumir que el canal de quietamiento tiene el ancho requerido, sin embargo debido a que el agua llega a esta estructura como descarga de un vertedero, la turbulencia con la que llega a la canaleta es alta, presentando ondulaciones en la superficie del agua e imposibilitando una medición óptima del nivel de agua en la zona de convergente, por ende se requeriría un canal de quietamiento de mayor longitud y presentar una pendiente positiva en el fondo del 25% justo antes de ingresar a la zona convergente de la canaleta en donde también se reduce el ancho en un ángulo de 45°, sin embargo éstas características no se encuentran en la estructura actual.

4.3.2 Criba de sólidos gruesos. El agua cruda entra a la planta convencional con un caudal entre 150 l/s y 185 l/s que ha sido sometida previamente a un pretratamiento pasando por unas rejillas de 3 cm de paso para retener los sólidos (criba de sólidos gruesos), los cuales deben ser removidos periódicamente a fin de evitar que se introduzcan en los distribuidores inferiores y generen la obstrucción de los orificios de salida de agua mezclada. Cabe resaltar que ésta estructura, por contar con una unidad desarenadora en la captación, debe retener solo partículas livianas, de fácil arrastre por la corriente, como son las hojas y ramas pequeñas, pues si no son retirados de la corriente influente pueden llegar a ocasionar atascamientos en diversos puntos posteriores como los pasos al sedimentador o en las compuertas de paso entre las diferentes estructuras, generando deficiencias en los sellos de las mismas.

4.3.3 Cámara de medición y mezcla rápida. Actualmente esta estructura no se emplea para las funciones de mezcla rápida ni medición de caudal, debido a los siguientes aspectos:

- No se puede emplear como medición de caudal porque el agua llega a este punto con una alta turbulencia afectando la medición de la altura real en el punto de medición.
- El canal de quietamiento no cuenta con las dimensiones y pendientes adecuadas para las Canaletas Parshall estandarizadas.
- Después de la Canaleta Parshall (ver figura 8) no existe un canal en donde se pueda regular la sumergencia de la canaleta y por consiguiente el punto de aplicación de los coagulantes.

Como cámara de mezcla rápida hay que tener en cuenta que existen dos tipos de coagulación: la de adsorción-neutralización, la cual se realiza en un tiempo de 0,01 a 1 segundo, y la de barrido que se presenta cuando hay precipitación masiva de hidróxido de aluminio que atrapa e incorpora los coloides en dicho precipitado y se completa en 1 a 7 segundos.

La canaleta Parshall permite calcular el caudal de entrada por medio de una curva nivel/caudal y genera una turbulencia suficiente que es aprovechada para suministrar el coagulante Policloruro de Aluminio (PAC) diluido al 10% a manera de chorro como se observa en la figura 6, utilizando el tipo de coagulación de adsorción-neutralización, la cual se realiza en un tiempo de 0,01 a 1 segundo provocando una etapa de mezcla rápida entre coagulante-agua cruda que da paso a la aglutinación de partículas, que tienden a unirse por sucesivas colisiones hasta iniciar la formación de flóculos o grumos que crecen con el tiempo.

Figura 8. Suministro PAC planta convencional y canaleta Parshall



4.3.4 Floculador. Los floculadores son los órganos de tratamiento donde se realiza la mezcla lenta decreciente para lograr y completar la formación de los flóculos hasta un tamaño que permita su sedimentación posterior.

Los gradientes de velocidad influyen notablemente en la eficiencia de la floculación, dado que, si el gradiente de velocidad es mayor del que pueden soportar las partículas, no se forma un floc de tamaño adecuado, sino que al llegar éste a un tamaño límite, se desintegra quedando muchos fragmentos flotando en el agua sin que interacciones con los demás flóculos que se están formando. Al contrario, cuando el gradiente es más bajo que el requerido, se producen flóculos esponjosos, con gran cantidad de agua mezclada en ellos, los cuales van a tener tendencia a decantar lentamente, y no van a poseer la suficiente resistencia para soportar los esfuerzos cortantes a los que son sometidos en los lechos filtrantes debido a su baja cohesión, lo que hará que se rompan y salgan con el efluente disminuyendo la calidad del filtrado.

En general, cuando existe una alta concentración de sólidos, éstos se encuentran poco distantes lo que hace que la energía que se necesita introducir para conseguir sus choques, es menor que cuando existe una menor concentración de partículas en el agua. Por consiguiente, para turbiedades altas, deben trabajarse los floculadores con gradientes de velocidad bajos, mientras que para turbiedades bajas, con gradientes de velocidad altos.

El agua del embalse del Neusa, generalmente presenta problemas de remoción de impurezas, pues posee una gran cantidad de agua cruda la cual tiende a producir un floc liviano y de baja velocidad de decantación que requiere gradientes entre 30 y 40 s^{-1} , para la etapa de formación. Sin embargo, una vez formados los floculos se debe disminuir el gradiente de velocidad hasta valores menores a 25 s^{-1} , con el fin de mantenerlos en crecimiento y que no se rompan una vez formados lo cual sucede si se incrementa el gradiente nuevamente.

En la Planta Regional el floculador es hidráulico de flujo horizontal, donde la energía para la agitación de la masa líquida la deriva de la carga de velocidad que el flujo adquiere al pasar por el conducto y el sentido de flujo del agua es horizontal. Éste floculador fue diseñado inicialmente para un caudal de 150l/s, con tres secciones independientes que pueden trabajar en serie o en paralelo o prescindir de alguna de ellas en caso de requerirse por mantenimiento, por características del agua o debido a fallas en las estructuras, sin embargo, dicha independencia está sujeta al buen desempeño de las compuertas de ingreso y descarga. Cada una de las estructuras de floculación, están separadas en diferente número de cámaras en línea como se puede ver en la figura 9, de tal manera que las condiciones hidráulicas permiten la formación adecuada del floc para sedimentación.

Figura 9. Floculadores de flujo horizontal.



4.3.5 Canal de distribución a sedimentadores. El diseño de la zona de entrada a los sedimentadores es más importante para prevenir los cortos circuitos que la zona de salida. Por lo tanto, el propósito de la estructura de entrada es distribuir el agua tan uniformemente como sea posible en toda el área transversal del sedimentador, evitar chorros de agua que puedan provocar corrientes, disipar la energía que trae el agua para pasar de un gradiente de 20 a 40 s^{-1} a gradientes menores a 1 s^{-1} y evitar altas velocidades que puedan perturbar los sedimentos del fondo. Así pues, se debe tener en cuenta que el gradiente de velocidad en el paso del floculador a los sedimentadores debe ser menor o por lo menos igual al presentado en la última cámara del floculador o de lo contrario el floc se romperá en el paso al sedimentador.

4.3.6 Sedimentación. La función de esta cámara es la sedimentación de los flóculos formados en la cámara anterior (coagulación-floculación). En la Planta Regional se tienen 12 unidades de sedimentación rápida, y se observan 2 unidades de sedimentación de tipo flujo laminar o alta tasa (alta rata) con placas inclinadas, donde para éstos sedimentadores lo más importante es conseguir una distribución del flujo uniforme en todo el fondo del sedimentador y una recolección igualmente uniforme del efluente encima de las placas a través de toda el área del decantador como se observa en la figura 10. Las canaletas de recolección del agua decantada deben ser sometidas a limpiezas periódicas a fin de evitar la adherencia de materiales no deseables para el tratamiento.

Figura 10. Sedimentadores de placas inclinadas



En la planta compacta Degremont, al igual que la convencional capta el agua del embalse del Neusa la cual ingresa de forma ascendente por medio de una cámara de entrada la cual genera turbulencia para así, poder agregar el coagulante que actualmente es PAC produciendo una mezcla entre el agua cruda y el coagulante como se observa en la figura 11.

Figura 11. Suministro de coagulante planta Compacta.



La etapa de floculación se lleva a cabo a través de un tanque en el que se produce vacío por medio de unas bombas que extraen el aire de dicho tanque (ver figura 12), haciendo que el nivel del agua ascienda para que posteriormente se abran las válvulas electromecánicas permitiendo la recuperación de la presión y el descenso del agua, y así sucesivamente con el ascenso – descenso se produce la floculación.

Figura 12. Estructura bomba de vacío de Planta Compacta



El sedimentador es del tipo manto de lodos (flujo vertical) y funciona de manera hidráulica. Básicamente consiste en un cono donde el agua floculada ingresa por el fondo y a medida que asciende, las partículas más pesadas se van decantando y el agua clarificada es recogida por canaletas ubicadas en la superficie del sedimentador. Es importante resaltar que el manto de lodos cumple uno de los papeles más importantes dentro del tratamiento, puesto que funciona como un lecho filtrante, reteniendo aquellos flocs finos y provoca la adherencia entre las partículas para que estas tomen un gran tamaño y peso suficientes para mantenerlos en el fondo del decantador.

Uno de los aspectos críticos en la operación de las plantas de tratamiento es el manejo de los lodos producidos en el proceso de sedimentación los cuales constituyen entre el 60 y 70% de los sólidos totales, por lo cual se realiza un desagüe de lodos cada 3 horas aproximadamente, dejando escurrir gravitacionalmente el lodo hasta las bocas de salida, por su propio peso y de ahí extraerlo (ver figura 13).

Figura 13. Desagüe de lodos de planta convencional y compacta.



4.3.7 Filtración de agua decantada. La función de los filtros es separar las partículas y microorganismos que no han quedado retenidos en los procesos de coagulación-floculación y sedimentación, por lo tanto, el trabajo que desempeñan los filtros depende directamente de la eficiencia de los procesos anteriores, lo que hace que la sedimentación y la filtración sean considerados como procesos complementarios puesto que ambos producen la separación de las partículas coaguladas.

El agua decantada tanto de la planta compacta como convencional pasa a una batería de 4 filtros rápidos de taza declinante y lecho mixto, elaborados en concreto reforzado, con un canal de desagüe lateral para el lavado y acondicionados de una serie de boquillas como se observa en la figura 15, las cuales permiten retener el lecho filtrante.

Cada filtro consta de un falso fondo tipo Leopold cerámico de 0,29cm de altura, paso cuadrado de 44mm con orificios de 4mm de diámetro, con el fin de recolectar y extraer el agua filtrada y además para distribuir uniformemente el agua de lavado en el lecho filtrante. En la parte superior del falso fondo se encuentra una capa de grava de 0,39m, 0,25m de arena y 0,45m de antracita.

El agua filtrada (ver figura 14) pasa a una cámara de recolección que se conecta al canal de agua filtrada mediante válvulas que permiten el control de lavado, el cual se realiza devolviendo parte del agua previamente filtrada.

Figura 14. Filtración del agua.



Figura 15. Estructura de filtros



Dada la tecnología de los filtros, se realiza una mezcla de agua-aire mediante las válvulas de control (ver figura 16) donde se cierra la válvula de salida del agua filtrada, se pone en funcionamiento el compresor de aire de lavado, se abre la válvula de entrada de aire y se pone en marcha la bomba de agua de lavado. Cuando el aire se encuentra uniformemente repartido a lo largo de la superficie del filtro, manteniendo el nivel del agua por debajo de los vertederos de lavado, se abre ligeramente la válvula de entrada de lavado.

Figura 16. Válvulas de control planta compacta.



Al cabo de 10 minutos se cierra la válvula de entrada de aire, se detiene el compresor y se abre completamente la válvula de entrada de agua de lavado. Cuando el agua que se envía al drenaje está limpia, se cierra la válvula de entrada de agua de lavado, quedando así el filtro en condiciones de ser puesto en servicio, dando paso a la abertura de la válvula de salida de agua filtrada.

4.3.8 Desinfección. Una vez obtenida el agua filtrada se procede a realizar la desinfección, con el fin de eliminar factores o contaminantes microbiológicos que pueda presentar el agua; por lo tanto, se suministra cloro en estado gaseoso, cuya dosificación depende de las necesidades que se tengan, ya sea para almacenamiento o para conducción en tuberías, el cual se dispone en tanques como se observa en la figura 17.

Figura 17. Tanque de cloro gaseoso.



El suministro del cloro tiene como propósito desinfectar el agua, luego se realiza la etapa de estabilización con soda cáustica con el fin de mantener el pH dentro de los rangos de 6,5-9 según el decreto 2115 de 2007, para que el agua sea apta para el consumo humano

Finalmente, el agua tratada es distribuida a los municipios de Zipaquirá, Cogua y Nemocón a través de tuberías de diámetro 14" (en A.C. y PVC), 6" (PVC) y 8" (PVC), respectivamente, con sus correspondientes válvulas de control a la salida, circulando unos 26 l/s en promedio para cada localidad.

5. PLANTEAMIENTO DE ALTERNATIVAS

Para la identificación y conocimiento de los insumos a utilizar para la mejora del proceso de potabilización de la Planta Regional de Zipaquirá, se lleva a cabo una investigación teórica sobre los diferentes insumos que pueden ser utilizados en las etapas de coagulación, floculación, desinfección y estabilización con el fin de encontrar los más adecuados a las condiciones y requerimientos para el tratamiento, y así mismo realizar el planteamiento de las 3 alternativas para la experimentación.

5.1 SELECCIÓN DE INSUMOS

Existe gran variedad de coagulantes, floculantes, desinfectantes y estabilizantes que pueden ser empleados en el tratamiento para la potabilización del agua, por tal razón para la selección de los insumos a ser evaluados experimentalmente, se realiza un análisis de los distintos insumos los cuales se listan en la tabla 10.

Tabla 9. Identificación de los insumos para las etapas establecidas.

| Coagulantes | |
|--|--|
| Sales de aluminio | Sulfato de aluminio: $Al_2(SO_4)_3 \cdot 14H_2O$ Policloruro de aluminio |
| Sales de hierro | Cloruro férrico: $FeCl_3$ Sulfato ferroso: $FeSO_4 \cdot 7H_2O$ Sulfato férrico: $Fe_2(SO_4)_3$ |
| Floculantes (coadyuvantes) | |
| Minerales | Sílice activada |
| Orgánicos Naturales | Alginatos: Ácido manuránico Ácido glucónico |
| Orgánicos de síntesis | Aniónicos (generalmente copolímeros de la acrilamida y del ácido acrílico). Neutros o no iónicos (poliacrilamidas). Catiónicos (copolímero de acrilamidas + un monómero catiónico) |
| Desinfectantes | |
| Halógenos (cloro, bromo y yodo) | Ozono (O_3) |
| Peróxido de hidrogeno (H_2O_2) – iones metálicos | Permanganato de potasio- $KMnO_4$ |
| Estabilizante pH | |
| Neutralización con una base | Cal hidratada- $Ca(OH)_2$ Soda cáustica- $NaOH$ |
| Neutralización con carbonato alcalino | Bicarbonato de sodio: $NaHCO_3$ Carbonato de sodio: Na_2CO_3 Carbonato de calcio : $CaCO_3$ |

La tabla 9 se obtiene de la revisión bibliográfica que permite realizar un análisis de las diferentes ventajas y desventajas a fin de seleccionar los diferentes insumos, para que posteriormente sean evaluados de manera experimental. A continuación, se presentan las características más importantes de los diferentes insumos en las etapas que se han establecido.

5.1.1 Selección de coagulante. Para seleccionar las sustancias químicas utilizadas como coagulantes se tiene en cuenta el pH, que es función del tipo de coagulante a ser utilizado y de la naturaleza del agua a tratar; así como el tipo de agua según la turbiedad y la alcalinidad que presenta el agua cruda en la planta de tratamiento.³⁵

En la tabla 10 se describen algunas de las ventajas y desventajas de los diferentes coagulantes que sirven como base para la selección del adecuado.

Tabla 10. Comparación entre diferentes tipos de coagulantes.

| COAGULANTE | VENTAJAS | DESVENTAJAS |
|---------------------------------------|---|--|
| Sulfato de aluminio o alumbre | Se usa con mayor frecuencia dado su bajo costo y manejo relativamente sencillo | Muchas veces requiere un ayudante (polímero) para la floculación. |
| Sulfato de aluminio o alumbre | Se usa con mayor frecuencia dado su bajo costo y manejo relativamente sencillo. Forma flóculo blanco casi invisible. Disponible en diferentes grado de pureza (estado sólido o líquido) | Muchas veces requiere un ayudante (polímero) para la floculación. Problemas con alto contenido de aluminio residual Generalmente requiere de un control de pH. |
| Hidroxiclورو de aluminio (PAC) | Muy versátil para tratar aguas de variada turbiedad, alcalinidad y contenido de materia orgánica. Efectivo sobre un amplio rango de pH. Especial para aguas con alto contenido de hierro y metales pesados. Menor consumo de polímero si se requiere | Precio más alto por kg que el alumbre (compensado con una menor dosis) Un pH demasiado alto para la coagulación puede disminuir la remoción de sustancia orgánica. En algunas combinaciones puede presentar flocs livianos que tardan más en sedimentar. |

³⁵ SEDAPAL. Evaluación de Platas y Desarrollo Tecnológico. TRATAMIENTO DE AGUA: COAGULACIÓN FLOCULACIÓN [en línea] < http://www.sedapal.com.pe/c/document_library/get_file?uuid=2792d3e3-59b7-4b9e-ae55-56209841d9b8&groupId=10154 > [consultado el 3/29/2016]

Tabla 10. (Continuación)

| COAGULANTE | VENTAJAS | DESVENTAJAS |
|------------------------|---|---|
| Cloruro férrico | No tiene problemas de aluminio residual. Muchas veces eficiente sin ayudante de floculación (polímero). | Muy corrosivo para manejar (disponible solo en presentación líquida) y almacenar. Normalmente es usado en aguas ácidas, blandas y fuertemente coloreadas, por lo que es limitado para el tratamiento del agua proveniente de embalses. |
| Sulfato ferroso | Se usa normalmente para agua turbia y muy alcalina. Fuente de hierro más económico. | Debe existir oxidación del ion ferroso a ion férrico insoluble para que sea útil. Se usa generalmente junto con la cal (CaO) o con cloro para llevar a cabo una coagulación efectiva. |
| Sulfato férrico | Generalmente es eficiente sin ayudante de floculación (polímero). Fácil almacenamiento y manejo. Producen flóculos grandes y densos que decantan rápidamente, de aguas residuales urbanas o industriales. | Puede producir problemas de coloración. No es tan corrosivo como el cloruro férrico, aunque debe manejarse con equipo resistente a la corrosión. El producto sólido necesita una muy buena mezcla en la unidad de dilución. Requiere un mejor diseño de proceso que el PAC y el sulfato de aluminio. |

Fuente. Autores por medio de XXII Congreso de Centroamérica y Panamá de Ingeniería Sanitaria y Ambiental “Superación Sanitaria y Ambiental: El Reto”³⁶

El agua cruda proveniente del embalse del Neusa tiene un pH promedio de 7,01; por lo tanto, es un factor determinante en el proceso, pues si no se tiene el pH adecuado para el coagulante a emplear, la clarificación es pobre y en el agua se puede solubilizar ya sea el hierro o aluminio afectando al usuario.

En general, las sales de aluminio forman un floc ligeramente pesado, pero si se emplea una dosis ya sea excesiva o insuficiente, se puede presentar la formación de aluminatos (sales básicas o ácidas de aluminio) solubles en el agua, que pueden atravesar la etapa de filtración ocasionando indicios de aluminio en el agua filtrada, mientras que si se forma hidróxido de aluminio a un pH dentro del rango del pH

³⁶ XXII CONGRESO DE CENTROAMERICA Y PANAMA DE INGENIERIA SANITARIA Y AMBIENTAL “SUPERACION SANITARIA Y AMBIENTAL: EL RETO”. Potabilización con diferentes coagulantes de aluminio y hierro [en línea] <http://www.bvsde.paho.org/bvsaidis/centroa22/Ponencia18.pdf>,p.4-5 [Consultado el 4/10/2016].

efectivo, difícilmente podrá pasar la etapa de filtración porque no es soluble³⁷. Por lo tanto para tener una buena coagulación con sales de aluminio se debe trabajar a un pH que comprende la hidrólisis de la sal (6.5 a 7.0) y el de coagulación (6.5 a 8.0).

Por otro lado, las sales de hierro forman un floc más pesado y de mayor velocidad de asentamiento que las sales de aluminio, siendo eficiente en un rango de pH bajo entre 3.5 y 7.0 lo que permite la eliminación de sustancias orgánicas y la remoción de bacterias o en un rango más alto entre 8.0 y 9.5 para la eliminación de hierro y manganeso³⁸. En el caso de las sales férricas, estas presentan una mayor eficiencia sobre las sales ferrosas; sin embargo, estos tipos de sales hacen que el proceso se vea más sucio y el agua tratada puede tomar alguna coloración.

Es importante resaltar que cuando el coagulante empleado es una sal de aluminio, el pH efectivo se encuentra entre 6.0-7.0 para la remoción de turbiedad y 5.0-6.0, para la remoción de color; mientras que si se emplea una sal de hierro (Fe^{+3}), el pH eficaz para la remoción de turbiedad se encuentra entre 2.0-7.0 y para el color entre 3.2-4.5³⁹, encontrando que las sales de hierro son más eficientes que las de aluminio para la remoción de las partículas coloidales (color indeseable), solo si se aplica la dosis adecuada puesto que si la excede va a presentarse un alto contenido de hierro en el agua.

Así pues, el rango de pH en el cual es posible llevar a cabo el proceso de coagulación depende de la dosis del insumo, cuanto mayor es la dosis mayor es el rango de pH eficaz. Sin embargo, es importante conocer el pH efectivo, porque dentro de éste rango se consume la menor cantidad de coagulante y se obtiene el mejor resultado del proceso gracias a la hidrólisis completa del coagulante.

En las tablas 11 y 12 se aprecia el rango de pH efectivo para cada uno de los coagulantes especificados, y según el tipo de agua las condiciones de las sales de aluminio y férricas; respectivamente⁴⁰.

³⁷ PROYECTO DE GESTIÓN INTEGRADA Y PLAN MAESTRO DE LA CUENCA DEL RÍO PILCOMAYO. Monitoreo de la contaminación minera y de medio ambiente de la Cuenca del Río Pilcomayo. [en línea] http://www.pilcomayo.net/media/biblioteca/libro_700_MA-069.pdf [Consultado el 4/10/2016].

³⁸ ARBOLEDA VALENCIA, Jorge. Teoría y práctica de la purificación del agua, Tomo 1, Editorial Mc Graw Hill-Interamericana, 3a Edición, Bogotá, Colombia, 2000, p.99-110.

³⁹ Ibid., p 80.

⁴⁰ ROMERO ROJAS, Op.cit.,p.138

Tabla 11. pH efectivo de coagulantes.

| COAGULANTE | RANGO PH |
|-------------------------|----------------|
| Sulfato de aluminio | 4,0-7,0 |
| Policloruro de aluminio | 6-9 |
| Sulfato ferroso | <8,5 |
| Sulfato férrico | 3,5-7,0 y >9,0 |
| Cloruro férrico | 3,5-6,5 y >8,5 |

Fuente. Romero Rojas Jairo Alberto, “Calidad Del Agua”, Escuela Colombiana de Ingeniería, 2000

Tabla 12. Consideraciones para selección de coagulante.

| TIPO DE AGUA | SALES DE ALUMINIO | SALES DE HIERRO |
|---|--|--|
| Turbiedad alta (>100UNT) Alcalinidad alta(>250mg/l) (Las más fáciles de coagular) | Efectivo para pH de 5 a 7. No requiere agregar alcalinidad ni ayudante de coagulación. | Efectivo para pH de 6 a 7. No requiere agregar alcalinidad ni ayudante de coagulación. |
| Alta turbiedad (>100UNT) Alcalinidad baja (<50mg/l) | Efectivo para pH de 5 a 7. Puede requerir adición de alcalinidad si el pH disminuye durante el tratamiento. | |
| Baja turbiedad (<10UNT) Alta alcalinidad (>250mg/l) | Efectivo en dosis altas. Puede requerir ayuda de coagulación. | Efectivo en dosis bajas. Debe agregarse ayuda de coagulación para hacer el floc más pesado. |
| Baja turbiedad (<10UNT) Baja alcalinidad (<50mg/l) (Más difíciles de coagular) | Efectivo gracias a floc de barrido. Debe agregarse alcalinidad o arcilla. | |

Fuente. Romero Rojas Jairo Alberto, “Calidad Del Agua”, Escuela Colombiana de Ingeniería, 2000.

La tabla 11 evidencia los rangos de pH adecuados para suministrar cada coagulante, así pues de acuerdo al pH de entrada del agua cruda, se calcula un promedio para un periodo de tiempo comprendido entre Enero 2014 y Marzo 2016, datos que se evidencian en el Anexo A , obteniéndose un valor de 7,01; lo que permite observar en la tabla 11 que para este pH son adecuados tanto el sulfato de aluminio (sólido y líquido) como el sulfato férrico, mientras que el sulfato ferroso y

cloruro férrico se encuentran por fuera del rango eficaz según el pH que posee el agua cruda.

En la tabla 12 se establecen los parámetros de pH y algunas especificaciones de acuerdo al tipo de agua según la turbiedad y la alcalinidad, por tal razón al agua cruda obtenida del Embalse del Neusa, durante un periodo que comprende los meses de Enero 2015 hasta Marzo 2016, se le realiza un análisis midiendo los aspectos como el color, turbiedad y alcalinidad, encontrando una turbiedad y alcalinidad promedio de 2,3 UNT y 10,086 mg/L respectivamente (ver Anexo A); donde según la tabla 12 se considera como agua de baja alcalinidad y turbiedad las cuales son más difíciles de coagular respecto a las demás. En este tipo de agua las sales de aluminio y de hierro reaccionan similarmente, por lo que ambos tipos de sales son aptos para este tipo de agua.

De acuerdo a la teoría planteada se denota que los coagulantes que presentan mejores propiedades para ser empleados son el sulfato de aluminio y el sulfato férrico puesto que se encuentran dentro del pH efectivo y de igual forma son adecuados para el tipo de agua según la alcalinidad y turbiedad. Sin embargo para seleccionar el coagulante que mejor se adapta para el tratamiento del agua se tiene en cuenta la información que se presenta en la tabla 10 descartando las sales de hierro (sulfato férrico) puesto que aunque la coagulación con éstas sales presenta bajos costos, generan color, precipitación y es muy corrosivo causando deterioro en los sistemas de dosificación; y además, mientras el ión Al^{+3} actúa como contra-ión frente a los coloides y se adhiere a ellos neutralizando su carga y provocando que se unan, el ión SO_4^- no permite la reestabilización de éstos y acelera la cinética de la formación de precipitados⁴¹. Por tal razón se escogen las sales de aluminio puesto que presentan un rango de pH amplio, buena remoción de la turbiedad y color, y es usado en aguas claras.

Dentro de las sales de aluminio se encuentra el sulfato de aluminio y el hidroxiclорuro de aluminio los cuales vienen en presentación sólida y líquida. El sulfato de aluminio viene en diferentes grados de pureza: producto estándar con un alto contenido de hierro residual (tipo B), y producto libre de hierro, que prácticamente no contiene nada de hierro (tipo A). El sulfato de aluminio ha sido el coagulante más usado, gracias a su disponibilidad en todo el mundo con un costo razonable encontrando que la mayoría de las plantas están diseñadas para operar con alumbre, y el personal está capacitado para usarlo. Sin embargo aun manteniéndose el alumbre en su posición como un producto útil, se han desarrollado e introducido varios coagulantes en el mercado, como el caso del hidroxiclорuro de aluminio que se obtiene a través de la polimerización del hidróxido de aluminio

⁴¹ VELASQUEZ RESTREPO, Jesús Salvador. Propuesta para el mejoramiento del sistema de tratamiento de agua de la Empresa de Servicios Públicos Tribunas Córcega E.S.P. en los procesos de coagulación, filtración y desinfección. Pereira, 2008. Proyecto de Grado (Químico Industrial). Universidad Tecnológica de Pereira. Facultad de Tecnologías. Disponible en el catálogo en línea de la Universidad Tecnológica de Pereira <http://repositorio.utp.edu.co/dspace/handle/11059/1680>

normalmente con el ácido clorhídrico, el cual es menos ácido que el sulfato de aluminio⁴².

Para la selección final de los coagulantes, es necesario realizar una pre-experimentación con los coagulantes (sales de aluminio) suministrados a la EAAAZ por parte de la empresa Productos Químicos Panamericanos (P.Q.P), a fin de seleccionar los que presentan mejores resultados, y así mismo observar si le resulta factible a la EAAAZ reemplazar los insumos utilizados actualmente por los de la empresa P.Q.P; de no ser así la EAAAZ seguiría manejando la línea de insumos actual.

Por parte de la empresa se descarta el sulfato de aluminio tipo B debido a que éste era usado anteriormente y tuvo que ser cambiado porque aumentaba el aluminio residual. Por tal razón los coagulantes empleados para realizar la selección mediante un ensayo de jarras cuyo procedimiento de los métodos analíticos que hacen parte de ésta prueba se encuentra en el ANEXO B son: el sulfato de aluminio tipo A sólido y líquido, Ultrafloc 110 (coagulante catiónico) y el hidroxiclорuro de aluminio el cual viene en presentación líquida comercial con los nombres de Ultrafloc 100, 200 y 300.

La concentración de trabajo para estos coagulantes se prepara agregando agua destilada a 100 g en el caso de que el coagulante sea sólido hasta completar el volumen de 1.000 ml. con lo que se obtiene una solución de 10% que se puede conservar como solución patrón, por uno, dos o tres meses.⁴³ Para el ensayo de prueba de jarras se diluye 10ml de la solución patrón hasta completar 100ml con agua destilada, quedando una solución al 1% que no se puede conservar por más de 24 horas porque corre el riesgo de hidrolizarse y perder buena parte de su capacidad de coagulación. La preparación de cada uno de los coagulantes de la pre-experimentación se muestra en el ANEXO C y las respectivas fichas técnicas de cada uno se en el ANEXO D.

Para estos ensayos se emplea para cada coagulante un rango de dosis entre 10 y 60ppm, teniendo en cuenta la tabla 13 la cual especifica la dosis de coagulante recomendada para cada tratamiento, donde en este caso se trata de un tratamiento completo el cual consta de las etapas de coagulación, floculación, sedimentación, filtración, desinfección y estabilización; y la tabla 14 que establece las dosis recomendadas para diferentes tipos de coagulantes⁴⁴.

⁴² XXII CONGRESO DE CENTROAMERICA Y PANAMA DE INGENIERIA SANITARIA Y AMBIENTAL "SUPERACION SANITARIA Y AMBIENTAL, Op.cit, .p 3.

⁴³ OPS/CEPIS/PUB/04.109.Tratamiento de agua para consumo humano [en línea] http://www.bvsde.paho.org/bvsatr/fulltext/tratamiento/manual1/tomol/ma1_tomo1_indice.pdf [Citado el 10 de Marzo del 2016] Cap.11.

⁴⁴ INGENIERÍA DE TRATAMIENTO Y ACONDICIONAMIENTO DE AGUAS. Separación de sólidos suspendidos por sedimentación [en línea] <http://www.oocities.org/edrochac/sanitaria/sedimentacion3.pdf> [Citado el 10 de Marzo del 2016].

Tabla 13. Rango de dosis recomendadas de coagulante según el tratamiento.

| Tratamiento | Dosis de AL ⁺³ (mg/l) | Control de pH |
|-------------------------|----------------------------------|------------------|
| Completo | 10-100 | No necesita |
| Filtración directa | 2-5 | Estricto 7,0-7,5 |
| Filtración por contacto | 2-5 | Estricto 7,0-7,5 |

Fuente. Adaptada del Metcalf y Eddy, 2000

Tabla 14. Dosis recomendadas para diferentes insumos

| Reactivo | Dosis recomendada |
|--------------------|-------------------|
| Sales de aluminio | 10-50 ppm |
| Sales de hierro | 10-50 ppm |
| Cal | 10-50 ppm |
| Carbonato de sodio | 5-20 ppm |
| Floculante | 0.5-5 ppm |

Para la selección de los coagulantes a analizar en las alternativas se escogen los que presenten mayores porcentajes de remoción de turbiedad y color, y que presenten un pH similar al del agua cruda, es decir que el cambio con respecto al pH inicial no supere la unidad. Los rangos de los parámetros para la selección de los coagulantes deben ser los que se presentan en la tabla 15 los cuales cumplen con la Resolución 2115 de 2007⁴⁵.

Tabla 15. Rango de parámetros para selección de coagulantes.

| PARÁMETRO | RANGO |
|-----------|-----------|
| Turbiedad | <2 UNT |
| Color | <15 UPC |
| pH | 6-9 |
| Hierro | <0,3 mg/L |

Fuente. Resolución 2115/07. República de Colombia

5.1.1.1 Cálculos de variables de interés para selección de coagulantes. El porcentaje de remoción de color, turbiedad y pH se calculan mediante las siguientes formulas.

$$\% \text{ Remoción de Turbiedad} = \left(\frac{\text{Turbiedad}_{\text{inicial}} - \text{Turbiedad}_{\text{final}}}{\text{Turbiedad}_{\text{inicial}}} \right) * 100\%$$

$$\% \text{ Remoción de Color} = \left(\frac{\text{Color}_{\text{inicial}} - \text{Color}_{\text{final}}}{\text{Color}_{\text{inicial}}} \right) * 100\%$$

⁴⁵ MINISTERIO DE LA PROTECCIÓN SOCIAL, MINISTERIO DE AMBIENTE, VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL. Op.cit.,p.3

$$\% \text{ Cambio de pH} = \left(\frac{\text{pH}_{\text{inicial}} - \text{pH}_{\text{final}}}{\text{pH}_{\text{inicial}}} \right) * 100\%$$

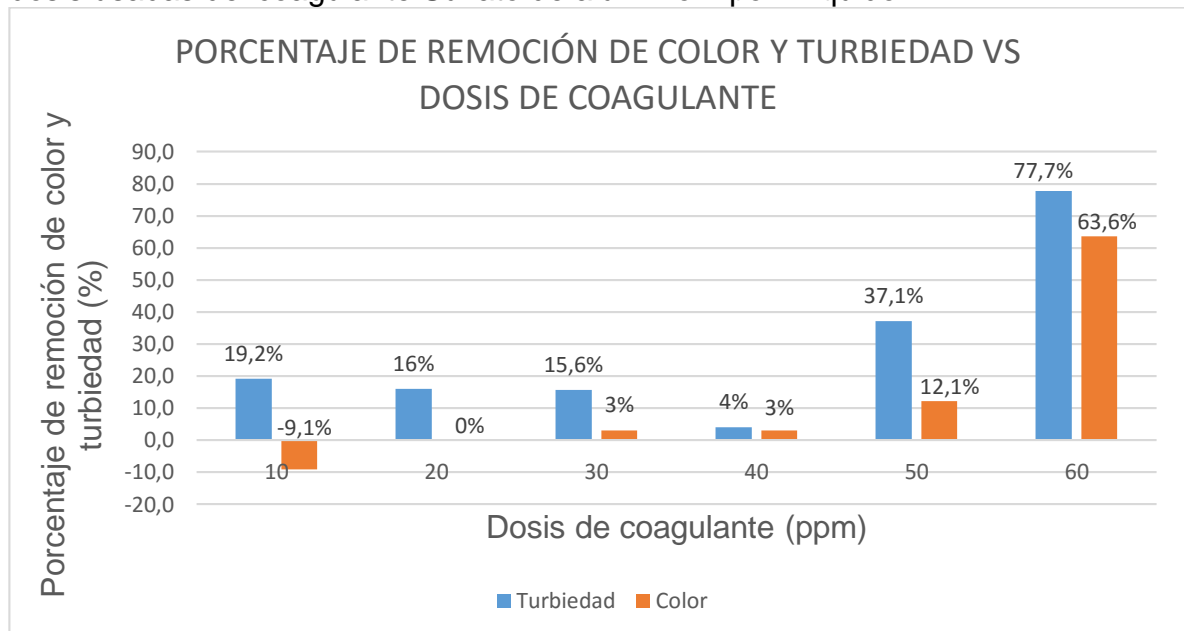
Los resultados de la pre-experimentación de cada uno de los coagulantes se muestran en el ANEXO E y por medio de los datos obtenidos se grafica mediante un histograma los porcentajes de remoción de color y turbiedad a las diferentes dosis de cada coagulante a fin de seleccionar los rangos de dosis más adecuados a emplear en el desarrollo de las alternativas. Se tiene en cuenta que la dosis adecuada es la que presente mayores porcentajes de remoción tanto de color como turbiedad, y que el porcentaje de variación de pH no supere el 10%. Para la muestra de cálculos de los valores obtenidos se toma como referencia el coagulante policloruro de aluminio (Ultrafloc 200) con una dosis de 20ppm teniendo en cuenta el análisis inicial del agua cruda.

$$\% \text{ Remoción de Turbiedad} = \left(\frac{7,96 - 1,25}{7,96} \right) * 100\% = 84,2965\%$$

$$\% \text{ Remoción de Color} = \left(\frac{39 - 6}{39} \right) * 100\% = 84,6154\%$$

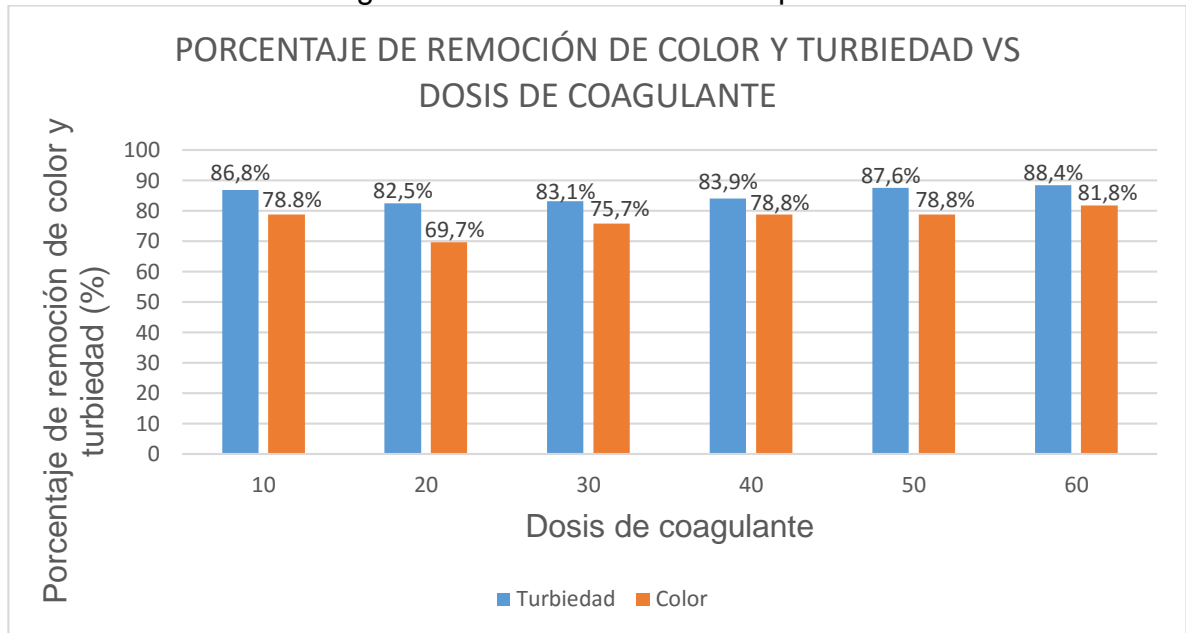
$$\text{Cambio de pH} = \text{ABS} \left(\frac{7,15 - 7}{7,15} \right) * 100\% = 2,098\%$$

Gráfica 1. Comparación de los porcentajes de remoción de turbiedad y color de las dosis usadas del coagulante Sulfato de aluminio Tipo A líquido.



En la gráfica 1 se observa claramente que el mayor porcentaje de remoción tanto de color como de turbiedad del sulfato de aluminio líquido tipo A se obtiene a una dosis de 60ppm (jarra 6) con valores de 63,64% y 77,75%, respectivamente; sin embargo, en la tabla 42 del ANEXO E se evidencia que en esta jarra se presenta la mayor variación de pH con respecto a la del agua cruda con un porcentaje de variación del 9,2946%. Por otro lado, con el uso de dosis de 10 a 50ppm (jarras de 1 a 5) los porcentajes de remoción son muy escasos, e incluso negativos como en el caso de la remoción de color con una dosis de 10ppm se presenta un aumento de 33 a 36 UPC. La cantidad de hierro para las dosis comprendidas entre 10 y 50ppm supera la cantidad establecida según la tabla 15. Aunque la dosis de 60ppm presenta el mejor resultado con una turbiedad de 1,54 UNT, color de 12 UPC y una cantidad presente de hierro de 0,28mg/l supera la dosis recomendada según la tabla 15, por lo que se descarta como coagulante a emplear.

Gráfica 2. Comparación de los porcentajes de remoción de turbiedad y color de las dosis usadas del coagulante Sulfato de aluminio Tipo A sólido.

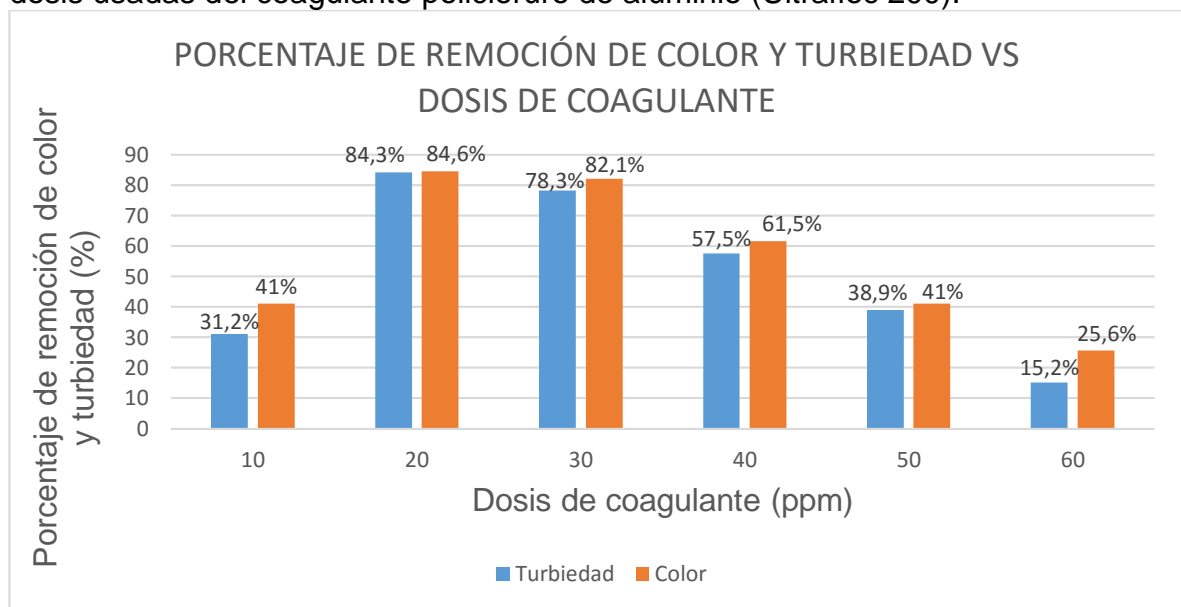


En la tabla 43 del ANEXO E se aprecia que la turbiedad del agua en todas las jarras disminuye, obteniendo valores menores a 2 UNT, que cumplen con la normatividad establecida, el color se encuentra en el rango < 15 UPC, y la cantidad de hierro se cumple en todas las dosis menos en la de 20ppm al emplear como coagulante el sulfato de aluminio tipo A sólido. Los porcentajes de cambio de pH que presentan las dosis de 20 a 60ppm son mayores al 10%, mientras que la jarra 1 con dosis de 10ppm presenta un cambio inferior a éste porcentaje.

En la gráfica 2 se observa que los porcentajes más altos de remoción de turbiedad se alcanzan con dosis de 10, 50 y 60 ppm y de remoción color con dosis de 60ppm, seguida de la de 10, 40 y 50 ppm. Sin embargo, el cambio de pH en todas las jarras

excepto en el número 1, se redujo a valores fuera del rango establecido (6,5-9,0), por lo que las dosis comprendidas entre 20 y 60ppm no se ajustan a los requerimientos de la norma. Aunque la dosis más adecuada en este caso es a 10ppm (la más baja) con un porcentaje de remoción de color y turbiedad de 78,79% y 86,84%, respectivamente, un pH de 6,547 y una cantidad de hierro de 0,26mg/l, este coagulante no es implementado en el desarrollo de las alternativas debido a que presenta cambios de pH significativos (porcentajes de cambio mayores a 10%), lo que ocasiona un aumento de consumo de soda cáustica para ajustar el pH a lo estipulado por la norma vigente.

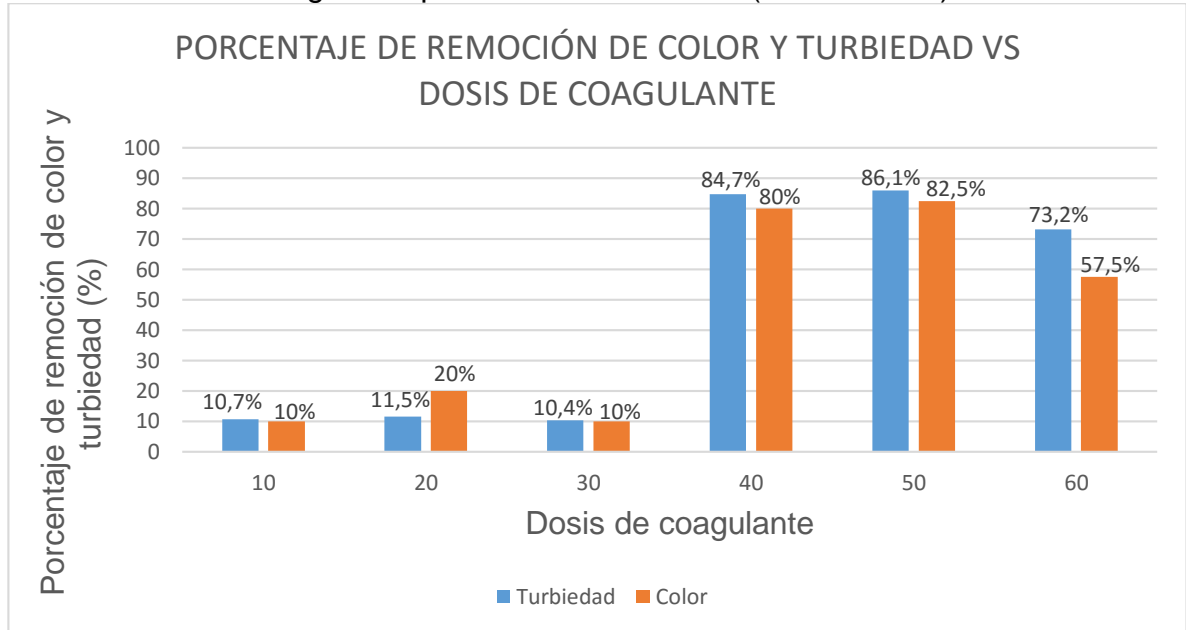
Gráfica 3. Comparación de los porcentajes de remoción de turbiedad y color de las dosis usadas del coagulante policloruro de aluminio (Ultrafloc 200).



En cuanto a los valores obtenidos de color y turbiedad al usar policloruro de aluminio (Ultrafloc 200), según la tabla 44 del ANEXO E los valores más altos se presentan para dosis de 10, 40, 50 y 60 ppm los cuales están fuera de los rangos de color, hierro y turbiedad según la tabla 15. En todas las dosis el pH se mantuvo en valores cercanos a un pH neutro (7) cumpliendo con la norma establecida, y los porcentajes de cambio con respecto al pH inicial no superan el 10%. En el caso del hierro las dosis de 20 y 30ppm cumplen con éste parámetro, mientras que las demás presentan valores mayores al establecido.

Por medio de la gráfica 3 se establece que las dosis que presentan mejores porcentajes de remoción tanto de color como turbiedad son las de 20 y 30ppm, con valores respectivos de 84,62% - 84,3% para la dosis de 20mg/L y 82,05%-78,27% para la de 30ppm. Como las dosis que presentan los mejores resultados están dentro de la dosis recomendada según la tabla 15 éste coagulante se escoge para el desarrollo de las alternativas a fin de encontrar la dosis efectiva.

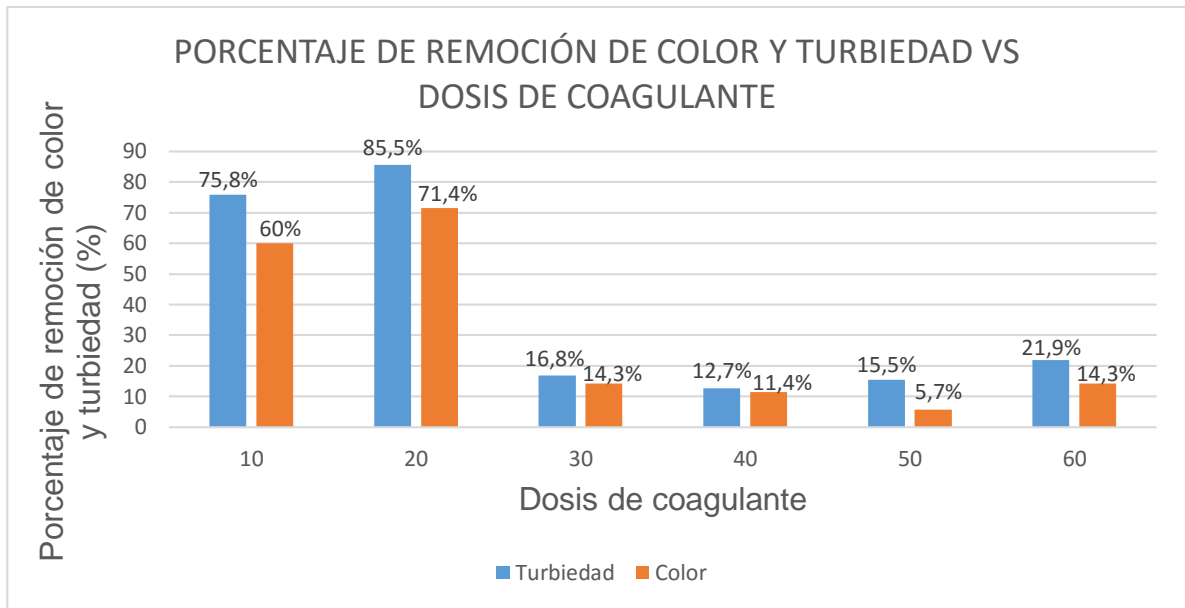
Gráfica 4. Comparación de los porcentajes de remoción de turbiedad y color de las dosis usadas del coagulante policloruro de aluminio (Ultrafloc 300).



De acuerdo a la tabla 45 del ANEXO E para el coagulante policloruro de aluminio (Ultrafloc 300) se obtienen valores de color y turbiedad que están dentro de los parámetros especificados por la norma para dosis de 40 y 50ppm, mientras que las demás dosis presentan valores fuera de los rangos establecidos; de igual manera la cantidad presente de hierro una vez finalizado el ensayo solo es apta para las dosis de 40 y 50ppm siendo menores a 0,3mg/l, mientras que las demás jarras dan como resultado valores superiores al establecido por la Resolución 2115 del 2007. Según el pH, todas las dosis cuentan con valores de pH dentro de lo establecido y no presentan porcentajes de cambios de pH superiores al 5%.

En la gráfica 4, se observa que los mayores porcentajes de remoción de color y turbiedad los presenta la jarra 5 con una dosis de 50ppm seguida de la jarra 4 con una de 40ppm; mientras que las dosis de 10, 20 y 30ppm presentan porcentajes de remoción menores al 20%. Por tal razón, las dosis que tienen mejores resultados son: la de 40ppm con remoción de color del 80% y turbiedad del 84,69% y la de 50ppm con remociones de turbiedad y color de 86,05% y 82,5%, respectivamente. Sin embargo, aunque se obtienen buenos resultados en el rango de dosis de 40 a 50ppm, estas dosis son altas en comparación con las obtenidas con el Sulfato de aluminio sólido y policloruro de aluminio Ultrafloc 200, por lo que al ser mayor la dosis mayor es su costo, y por ésta razón no se escoge para el planteamiento de las alternativas.

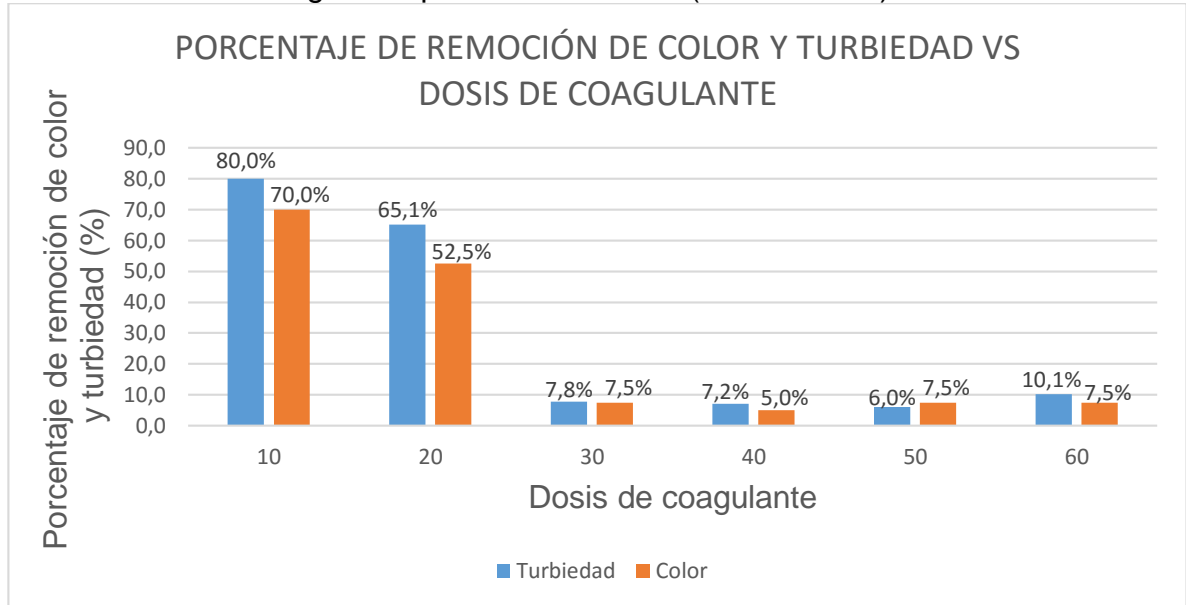
Gráfica 5. Comparación de los porcentajes de remoción de turbiedad y color de las dosis usadas del coagulante policloruro de aluminio (Ultrafloc 100).



Como se indica en la gráfica 5, el coagulante policloruro de aluminio (Ultrafloc 100) no presenta buenos resultados en el rango de dosis de 30 a 60ppm debido a que luego de la prueba de jarras, los porcentajes de remoción de color y turbiedad presentan valores menores respecto a las demás dosis, pues para el caso del color no superan el 16% y para la turbiedad el 22%, lo que significa que estos parámetros varían poco con respecto a los valores iniciales. Mientras que en el caso de las dosis de 10 y 20 ppm los porcentajes de remoción tanto de color como turbiedad superan el 50% en ambos casos, presentando una mayor remoción de ambos parámetros la dosis de 20ppm.

En la tabla 46 del ANEXO E se aprecia que el color y turbiedad después del ensayo para las dosis de 10 y 20ppm se encuentran dentro de los parámetros establecidos, mientras que las demás dosis no cumplen con ninguno de los valores para éstos parámetros y tampoco con la cantidad de hierro permitida. Por ende, la dosis más adecuada es la de 20ppm respecto a la de 10ppm porque presenta mayores porcentajes de remoción de color y turbiedad de 71,43% y 85,53% respectivamente, presenta un porcentaje de cambio de pH del 1%, el cual es el menor con respecto a las demás dosis, y cumple con el valor de hierro permitido mientras que la dosis de 10ppm supera el valor permitido.

Gráfica 6. Comparación de los porcentajes de remoción de turbiedad y color de las dosis usadas del coagulante polímero catiónico (Ultrafloc 110).



Los valores de color, hierro y turbiedad al emplear un polímero catiónico (Ultrafloc 110), según la tabla 47 del ANEXO E para las dosis de 20 a 60ppm están fuera de permitido; mientras que el pH en todas las dosis se encuentra dentro de lo estipulado, lo que quiere decir que la dosis que cumple con todos los parámetros es la de 10ppm.

Según la gráfica 6, se comprueba que la dosis que presenta el mejor resultado es a 10ppm con porcentajes de remoción de turbiedad de 80% y de color de 70%, seguida de la jarra 2 con una dosis de 20ppm la cual presenta porcentajes de remoción aceptables aunque los valores de los parámetros no se encuentran dentro de los rangos, y finalmente las dosis de 30 a 60ppm las cuales no presentan variaciones significativas de turbiedad ni color con respecto a los valores iniciales, pues el valor inicial del color y turbiedad es de 40UPC y 8,1UNT, respectivamente, y éstas dosis después del ensayo de jarras presentan valores de 37-38UPC y 7,28-7,51UNT, por lo que los porcentajes de remoción no superan el 20% en ninguno de los casos. La dosis de 10ppm presenta los mayores porcentajes de remoción con valores de 70% para el color y 80% para la turbiedad, donde según la tabla 15 ésta es la mínima cantidad recomendada de coagulante, por lo cual se selecciona como insumo a emplear en el desarrollo experimental.

Los coagulantes a emplear en el planteamiento de las alternativas son: el policloruro de aluminio en presentaciones de Ultrafloc 200 y Ultrafloc 100, y un polímero catiónico Ultrafloc 110, pues con éstos se obtienen buenos resultados con las menores dosificaciones.

5.1.2 Selección de floculante. En la selección del coadyudante de la etapa de coagulación para una mejor formación del floc se tiene en cuenta las ventajas y desventajas de cada uno de los floculantes más conocidos presentados en la tabla 16⁴⁶.

Tabla 16. Características de floculantes.

| FLOCULANTE | VENTAJAS | DESVENTAJAS |
|--|--|---|
| Sílice activada | Presenta una alta efectividad como auxiliar del tratamiento con alumbre. Fortalece el floc, haciéndolo más denso, grande y de asentamiento más rápido. | Presenta riesgo de gelatinización, y debe ser preparada justo antes de emplearse. |
| Alginatos | Se utilizan especialmente como ayudantes de floculación de las sales férricas. | Se extrae de algas marinas (en especial, del género Laminaria). Su eficacia es baja. |
| Aniónicos | Se usa en la etapa de pretratamiento para la reducción de la alta turbiedad presente durante los meses de verano. Usados para remover sólidos de carga positiva, generalmente acompañados de alumbre o una sal de hierro, y su acción es independiente de la alcalinidad. | |
| Neutros o no iónicos (poliacrilamidas). | Es ideal en procesos de coagulación en los que no se dispone de tiempo de contacto entre la coagulación y la floculación. | Al ser no iónicos, no son tan potentes para aplicaciones de floculación. La dosis empleada es mayor comparada con los polielectrolitos catiónicos o aniónicos. |
| Catiónico | Usado normalmente en aguas naturales Generalmente se emplea con el sulfato de aluminio o sulfato férrico. Utilizado como floculante en las unidades de decantador de manto de lodos en dosis de 0.15 a 0.25 ppm. | Los coagulantes con carga catiónica producen mayor ensuciamiento en comparación con los aniónicos |

Fuente. Tratamiento de agua: coagulación-floculación. SEDEPAL

En el caso de los floculantes como se observa en la tabla 16 se encuentra la sílice activada (floculante mineral), el cual fue el primer floculante empleado y sigue siendo el que mejores resultados puede dar cuando se emplean sales de aluminio,

⁴⁶ SEDAPAL. Op.cit.,p.34

pero se descarta debido a su inestabilidad porque se requiere de un control cuidadoso a lo largo tanto de su preparación como de su dosificación. Los floculantes orgánicos naturales (derivados de almidón y celulosa) que son polímeros extraídos de granos semillas y corteza de origen vegetal, así como varios tipos de suelos, son también descartados, dada su difícil adquisición y que generalmente no tienen un peso molecular tan alto como los polímeros orgánicos sintéticos. Así pues, para la selección del coadyuvante se tiene en cuenta que los floculantes orgánicos de síntesis son los más utilizados actualmente, dado que forman puentes más largos entre las partículas y/o floc pequeños, ayudando al crecimiento de éstos. Los polímeros orgánicos sintéticos se clasifican según su carga (un polímero puede tener o no carga eléctrica). Los que no la tienen se llaman no iónicos, y los que la tienen pueden ser catiónicos (carga positiva) o aniónicos (carga negativa) y, debido a la multiplicidad de grupos iónicos presentes en las cadenas poliméricas reciben el nombre genérico de polielectrolitos. Los derivados de la poliacrilamida son no iónicos y los de la poliacrilamida hidrolizada son aniónicos, mientras que los compuestos catiónicos son usualmente derivados de amonio cuaternario o de imina de polietileno.⁴⁷

Los polímeros pueden ser añadidos al agua de tres formas distintas:

a. Como coagulantes. El polímero es agregado al agua como único coagulante en vez del coagulante metálico. Cuando se agregan como únicos coagulantes, a no ser que se use una cantidad masiva, el número de cadenas poliméricas que puede adherirse a las partículas en un tiempo económicamente aceptable y con los gradientes de velocidad usuales no es suficiente y la coagulación no se realiza o se realiza pobremente.

b. Como ayudantes de coagulación. El polímero es agregado antes del coagulante metálico. Cuando se agregan como ayudante de coagulación, los polielectrolitos se adhieren a las partículas, antes que los coagulantes metálicos, compitiendo por los sitios de adsorción. Parte de los productos de las hidrólisis de Al^{+3} y Fe^{+3} , pueden ser adsorbidos por los sitios vacantes en las macromoléculas poliméricas (especialmente si son aniónicos o no iónicos) restándole eficiencia al proceso de coagulación. Pocos polielectrolitos resultan muy efectivos cuando se usan en esta forma.

c. Como ayudantes de floculación. El polímero es agregado después del coagulante metálico. Cuando los polielectrolitos se añaden como ayudante de floculación los microflocs tiene oportunidad de formarse primero y los polielectrolitos intervienen después sólo para reforzar las uniones y aumentar el número de núcleos que integran cada floc. En este caso los polímeros se agregan de 15 a 60 segundos

⁴⁷ ARBOLEDA VALENCIA, Op.cit., p.39. Cap.2

después que los coagulantes metálicos, antes que estos hayan ocupado todos los sitios de adsorción y formado completamente el flóculo.⁴⁸

Como la mayoría de los polielectrolitos dan mucho mejor resultado utilizándolos como ayudante de floculación, se emplearan de esa manera. Para la selección del floculante a emplear se tiene en cuenta el rango de pH al cual se debe llevar a cabo el proceso según el tipo de polielectrólito y el peso molecular, pues cuanto mayor es el peso molecular mayor la acción de floculación, los cuales se observan en la tabla 17 cuyos valores son extraídos de las fichas técnicas de P.Q.P

Tabla 17. Propiedades de floculantes.

| Floculante-Tipo | pH | Peso molecular |
|-------------------------|-----|----------------|
| Rapised 1084- Aniónico | 7-9 | Ultra alto |
| Rapised 3014- No Iónico | 3-7 | Medio-Muy alto |
| Rapised 2080- Catiónico | 3-5 | Medio |

Según la tabla 17, el floculante escogido para el desarrollo experimental es el de tipo aniónico debido a que tiene el mayor peso molecular por lo que va a tener una mejor acción de floculación con respecto a los otros, y porque el rango de pH se ajusta al agua proveniente del embalse del Neusa.

5.1.3 Selección de desinfectante. La desinfección del agua tiene como propósito impedir la propagación de enfermedades hídricas, lo cual hace necesario realizar un tratamiento donde pueden ser empleados los químicos que se muestran en la tabla 18⁴⁹.

Tabla 18. Características de desinfectantes.

| DESINFECTANTE | VENTAJAS | DESVENTAJAS |
|---------------|---|--|
| Cloro | Oxidante poderoso (oxida fácilmente al hierro, sulfuros y algo más limitado al manganeso) es el desinfectante más utilizado y conocido. Mejora generalmente la reducción del color, olor y sabor Proporciona un residual en el sistema de abastecimiento y mejora los procesos de coagulación y filtración. | Forma subproductos halogenados, tanto con precursores procedentes del agua bruta como en la propia red. En algunos casos puede provocar problemas de olor y sabor, dependiendo fundamentalmente de la calidad del agua El cloro gas es peligroso y corrosivo |

⁴⁸ARBOLEDA VALENCIA,Op.cit.,p.39. Cap.2

⁴⁹ LENNTECH. Introducción a la desinfección del agua [en línea] <http://www.lenntech.es/productos-quimicos-tratamiento-agua.htm#Desinfectantes> [Citado el 10 de Abril del 2016].

Tabla 18. (Continuación)

| DESINFECTANTE | VENTAJAS | DESVENTAJAS |
|---|--|---|
| Bromo | Su efectividad es en algunos aspectos similar a la del cloro o yodo. | Su costo es alto y comercialmente escaso, por lo que su uso se limita. |
| Yodo | Por su bajo poder de oxidación, resulta más estable (sus residuales se conservan por mucho más tiempo que el cloro). No reacciona con los compuestos de nitrógeno, ni forma yodaminas | No es un buen candidato para reemplazar el cloro, dado su alto costo y baja disponibilidad comercial |
| Peróxido de hidrogeno (H₂O₂) – iones metálicos | Se ve menos afectado por el pH que otros desinfectantes como el cloro. Es un producto con un gran poder oxidante, lo que le hace muy reactivo frente a un amplio rango de organismos: bacterias, hongos, virus y esporas. No forma residuos halogenados precursores de los THM (trihalometanos). | Es más costoso que los compuestos de cloro. Tener control de la dosis agregada, dado que la cuantificación de cloro libre residual es fácil de realizar pero no la de peróxido. |
| Permanganato de potasio- KMnO₄ | Es fácil de aplicar en cuanto a las instalaciones requeridas No forma los subproductos de los demás oxidantes | Antes de usarse necesita ser mezclado con agua para reducir su toxicidad. Puede teñir el agua de un ligero color rosado si se dosifica en exceso No se descompone significativamente en el agua pura durante varios días (largo tiempo de contacto) |
| Ozono (O₃) | Actúa con gran eficiencia como desinfectante y se constituye como el más serio competidor del cloro. Esta molécula es sumamente reactiva, y tiene un potencial de oxidación mayor que el cloro. | En su aplicación, se pierde aproximadamente el 10% por volatilización. No tiene poder residual, y no se cuenta con total información sobre la toxicidad de sus productos derivados como los aldehídos, los ácidos carboxílicos, los bromatos. |

Fuente. Introducción a la desinfección del agua. LENNTECH

Para la etapa de desinfección los de mayor importancia son los halógenos (yodo, cloro, bromo) en los cuales el efecto germicida y de penetración de estos aumenta con su peso atómico. Sin embargo, aunque el yodo necesita un tiempo de contacto de media hora es un buen desinfectante siendo eficaz contra las bacterias, los virus, los quistes de amibas y otros microorganismos de enfermedades transmitidas por el agua, pero su disponibilidad y uso han sido limitados al igual que el bromo porque su costo es de 6 hasta 10 veces mayor que el cloro, por tal razón es que son descartados como opciones para ser evaluados.

En el caso del permanganato de potasio el cual es un oxidante enérgico, que actúa rápidamente sobre la materia orgánica, y no le confiere sabor ni olor al agua no se considera un desinfectante muy satisfactorio para abastecimientos públicos de agua debido a la toxicidad que presenta, por su difícil descomposición en el agua, ya que no tiene acción residual.

Por otro lado, aunque el ozono tiene una alta eficiencia como desinfectante al igual que el cloro, destruyendo o inactivando las enzimas de los microorganismos, y presenta ventajas sobre éste como la oxidación simultánea que produce de la materia orgánica, evitando la formación de trihalometanos (THM), se excluye debido a la falta de información sobre los niveles de toxicidad de los productos generados por su uso, ya que no tiene efecto residual, y a que su gran inestabilidad, hace que sea necesario producirlo en el mismo sitio de uso, y para ello se debe contar con equipos que produzcan ozono en cantidades desde g/h hasta kg/h con los cuales no cuenta la planta de tratamiento.

En cuanto al peróxido de hidrógeno, aunque tiene como ventaja en la desinfección de agua no formar residuos halogenados precursores de los THM, su alto costo es una de las principales razones por las cuales no se emplea extensivamente en la desinfección de aguas potables junto con su tiempo de exposición que es mayor a 3 horas. También como el agente activo en la desinfección es el oxígeno generado en la reacción de descomposición del peróxido, este se pierde rápidamente y no tiene efecto residual, por lo que no es conveniente emplearlo si el agua no se consume inmediatamente y se almacena para su posterior consumo. Por las anteriores razones y el control que se le debe dar a la dosis agregada de peróxido, es que este desinfectante no es considerado en el estudio del desarrollo experimental.

Sabiendo que el desinfectante a emplear será un compuesto clorado, es necesario conocer y comparar las características principales, estabilidad y seguridad de los mismos, que se presentan en la tabla 19⁵⁰.

⁵⁰ OPS/CEPIS/PUB/04.109.Op,cit.,.cap 3. p.3.

Tabla 19. Compuestos clorados empleados para desinfección.

| NOMBRE | NOMBRE COMÚN | CARACTERÍSTICAS | %CLORO ACTIVO | ESTABILIDAD EN EL TIEMPO | SEGURIDAD |
|------------------------------|---|---|---|--|----------------------|
| Cloro gas | Cloro licuado. Cloro gaseoso. | Gas licuado a presión | 99.5% | Muy buena | Gas altamente toxico |
| Cal clorada | Cal clorada, hipoclorito de cal, cloruro de cal | Polvo blanco seco | 15 a 35% | Media, se deteriora rápidamente cuando se expone a temperatura alta, humedad y/o luz solar | Corrosivo |
| Hipoclorito de sodio | Hipoclorito de sodio, blanqueador líquido, agua lavandina | Solución líquida amarillenta | 1 a 15% como máximo. Concentraciones mayores a 10% inestables | Baja. Perdida de 2-4% por mes, mayor si la temperatura excede 30°C | Corrosivo |
| | Hipoclorito de sodio por electrolisis in situ | Solución líquida amarillenta | 0,1 a 0,6% | Baja | Oxidante |
| Hipoclorito de calcio | Perclorón | Polvo, gránulos y tabletas. Solido blanco | Polvo 20-35% Granulado 65 – 70% Tabletas 65 – 70% | Buena. Perdida de 2 a 2,5% por año | Corrosivo. |

Fuente. Tratamiento de agua para consumo humano. BVSDE

Como se observa en la tabla 19, el desinfectante puede ser usado como hipoclorito de sodio, hipoclorito de calcio y dióxido de cloro, los cuales suministran cloro inerte y tienen prácticamente la misma efectividad debido a que son equivalentes químicamente.

El hipoclorito de calcio se descompone fácilmente en el agua liberando oxígeno y cloro. Aunque es un buen desinfectante, bactericida, alguicida, funguicida y

blanqueador, su composición química se altera cuando es almacenado en lugares húmedos (producto higroscópico) y es inestable cuando se expone a la luz solar y a fuentes térmicas.⁵¹

El dióxido de cloro es eficaz contra bacterias, virus y en alguna medida, contra *Cryptosporidium*. Sin embargo, el proceso de crear dióxido de cloro es complicado pues éste requiere de técnicos especializados y monitoreo cuidadoso. Estos requisitos técnicos limitan su utilidad práctica para muchos sistemas pequeños⁵²

El hipoclorito de sodio o lejía representa seguramente uno de los más potentes y eficaces germicidas de amplio espectro descubiertos por el hombre, teniendo la capacidad de destruir hasta el 99.99% de los gérmenes, bacterias, virus, algas, huevos, esporas y protozoos, si se respetan las condiciones de uso correctas, como la concentración y el tiempo de contacto entre el desinfectante y el material a tratar.⁵³ Por la la facilidad de manejo del hipoclorito de sodio, la disponibilidad del producto así como de partes y accesorios del equipo de dosificación, son lo que hacen muy conveniente el uso de este agente de desinfección.

Es importante resaltar la ventaja que tiene el hipoclorito de sodio sobre el de calcio, y es la que el hipoclorito de sodio puede administrarse directamente o en dilución, mientras que el hipoclorito de calcio se inyecta en solución y tiene la desventaja de poseer una solubilidad muy baja (26mg/L a 20°C) y lenta, por lo que necesita un tiempo de agitación y retención suficiente antes de iniciar el proceso de desinfección. Para este caso, el hipoclorito de sodio que se va a analizar fue suministrado por la Empresa Brinsa.

5.1.4 Selección de estabilizante. Para la etapa de estabilización del pH existen varios productos químicos utilizados que incrementan la alcalinidad del agua, alterando el pH del agua y la distribución de las especies de carbonato los cuales incluyen la neutralización ya sea con un carbonato alcalino o una base como se muestra en la tabla 20⁵⁴.

⁵¹ QUIMPAC, Hipoclorito de Calcio [en línea] Perú [citado el 11 de Abril del 2016]. Disponible en: <http://www.quimpac.com.pe/hipocalcio.html>

⁵² NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES El Agua Potables segura es Esencial. [en línea] <http://www.koshland-science-museum.org/water/html/es/Treatment/Chemical-Disinfection-Oxidants-technologies.html#tech0> [Citado el 11 de Abril del 2016]

⁵³ PROTECT, Hipoclorito de Sodio [en línea] <http://www.pqs.org/espa.htm> [Citado el 11 de Abril del 2016].

⁵⁴ BUENO ZABALA, Karen Alejandra. Evaluación del proceso de estabilización del pH del agua tratada del Río Cauca.Cali,2014. Trabajo de Investigación (Ingeniera Sanitaria). Universidad del Valle. Facultad de Ingeniería. Disponible en <http://bibliotecadigital.univalle.edu.co/bitstream/10893/7650/1/7720-0446364.pdf>

Tabla 20. Características de estabilizantes.

| ESTABILIZANTE | VENTAJAS | DESVENTAJAS |
|-----------------------------|---|--|
| Cal hidratada | Considerada uno de los alcalinizantes más económicos (fácil adquisición). Más utilizado para neutralizar el CO ₂ libre. | Es un producto con baja solubilidad y requiere de grandes cantidades para obtener un resultado razonable. |
| Soda Cáustica | Es apropiado para aguas con baja alcalinidad, utilizando generalmente CO ₂ libre para formar carbonato de sodio soluble o bicarbonato. No forma sales insolubles. | Una sobredosificación del producto ocasionaría un incremento súbito del pH. |
| Bicarbonato de sodio | Fácil manipulación y bastante soluble. Aumenta la alcalinidad del agua y/o eleva el pH (se usa especialmente para mejorar el pH en el proceso de coagulación/floculación). | No reacciona con el CO ₂ y se recomienda su uso para pequeñas instalaciones o cuando la dosificación de la cal está generando problemas. |
| Carbonato de sodio | Aumenta la alcalinidad total mediante la introducción de los iones bicarbonato, carbonato e hidroxilo. Su uso es sencillo. | En Colombia se requiere de permisos especiales para su uso al ser una sustancia controlada |
| Carbonato de calcio | Al ser usado en el proceso de estabilización, además de incrementar el pH también incrementa la dureza del agua. | Es un producto poco soluble, que se disuelve muy lentamente en el agua consumiendo iones hidrógeno y reaccionando con el CO ₂ . Al tener una solubilidad muy baja se requiere acidificar el agua en un reactor de disolución con ácido sulfúrico o CO ₂ . |

Fuente. Evaluación del proceso de estabilización del pH del agua tratada del río Cauca.

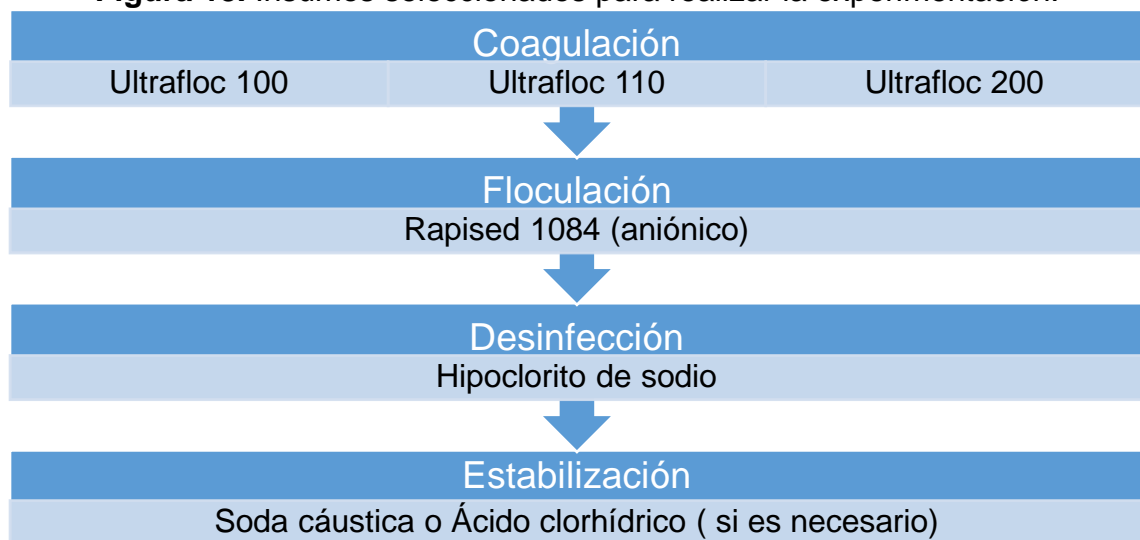
Finalmente, para seleccionar el estabilizante a emplear para la etapa de acondicionamiento del pH, se descartan en primera instancia: el carbonato de sodio debido a los permisos requeridos para su uso, el carbonato de calcio porque para que su uso sea eficiente se requiere de un equipo especial (reactor) que no posee la planta de tratamiento, y el bicarbonato de sodio dado que su uso va dirigido generalmente a pequeñas instalaciones.

Aunque la cal hidratada se considera como uno de los estabilizantes más económicos, para que ésta sea efectiva se requiere de grandes cantidades por lo

cual es excluida, siendo la opción más viable a analizar la soda cáustica. Sin embargo, hay que tener en cuenta si lo que se desea es aumentar o disminuir el pH para que cumpla con el parámetro según la Resolución 2115 (pH= 6,5 -9), pues para el caso de un aumento de pH se usa la soda cáustica, mientras que para la declinación del nivel de pH es empleado el ácido sulfúrico diluido (H₂SO₄) o ácido clorhídrico diluido (HCl), siempre y cuando sea necesario para el cumplimiento de la norma vigente, de lo contrario si el pH del agua después de la etapa de desinfección cumple con la norma, no será necesario el empleo de un estabilizante.

En la figura 18, se evidencia por etapa los insumos a emplear en las diferentes alternativas.

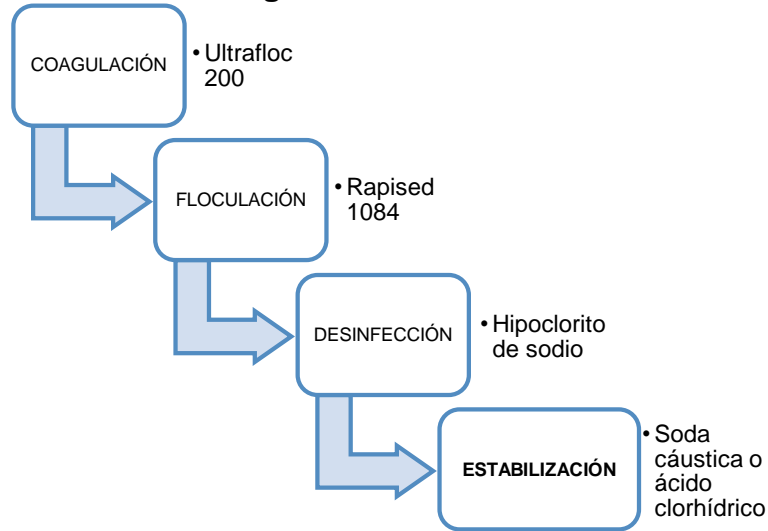
Figura 18. Insumos seleccionados para realizar la experimentación.



Con los insumos obtenidos, se establecen 3 alternativas las cuales contemplan 4 etapas que conforman el proceso de potabilización del agua, donde cada alternativa se desarrolla a nivel laboratorio con sus respectivas propuestas económicas con el fin de considerarlas como una propuesta de cambio para la línea de potabilización actual.

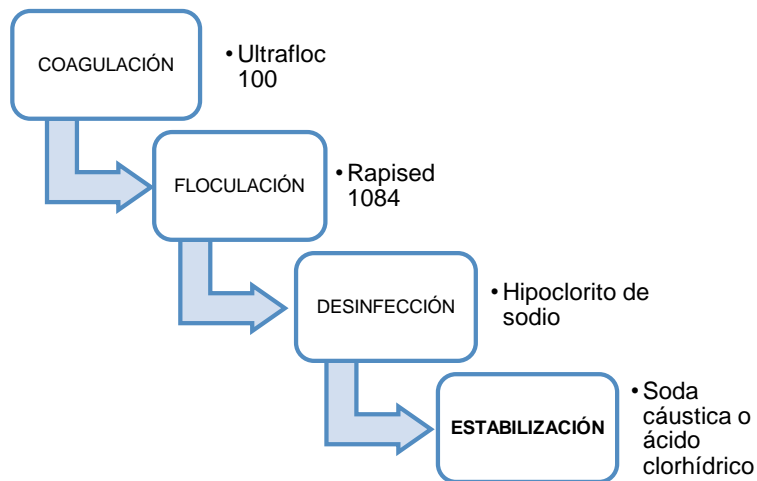
La primera alternativa (1) propuesta que se observa en la figura 19 contempla la implementación de policloruro de aluminio con nombre comercial de Ultrafloc 200 como agente coagulante y la incorporación de un floculante polimérico de tipo aniónico (Rapised 1084) en el proceso de clarificación del agua, y finalmente del uso de hipoclorito de sodio para la etapa de desinfección y si es necesario, se emplea soda cáustica o ácido clorhídrico para ajustar el pH.

Figura 19. Alternativa 1



La segunda alternativa (2) propuesta presentada en la figura 20 contempla igualmente la implementación de un polímero catiónico con nombre comercial de Ultrafloc 110 como coagulante y el uso de un floculante polimérico de tipo aniónico (Rapised 1084) en el proceso de clarificación del agua. En la etapa de desinfección se emplea hipoclorito de sodio y si se requiere realizar la etapa de estabilización de pH se usa soda cáustica o ácido clorhídrico según el requerimiento.

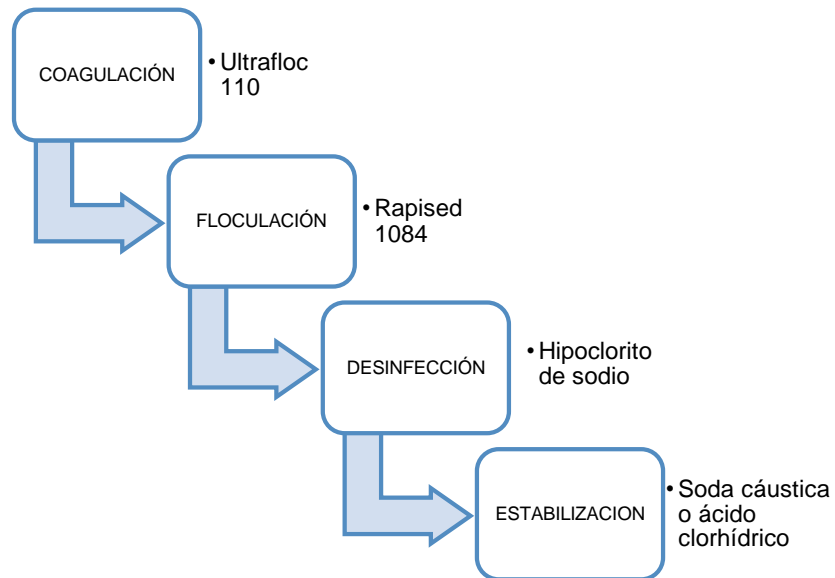
Figura 20. Alternativa 2



La tercera alternativa (3) contempla como químico de coagulación para la mejora de la línea de insumos un polímero catiónico (Ultrafloc 110), y un floculante como en las alternativas 1 y 2 de tipo aniónico (Rapised 1084), puesto que éste tipo es el único que se ajusta a las condiciones del agua a tratar. Como desinfectante se emplea hipoclorito de sodio y si se requiere estabilizar el pH una base (soda

cáustica) para aumentar el pH o un ácido (ácido clorhídrico) para disminuirlo como se presenta en la figura 21.

Figura 21. Alternativa 3



Con el desarrollo del planteamiento de las 3 alternativas, las cuales están conformadas por una línea de insumos que comprenden 3 diferentes coagulantes, un tipo de floculante, un químico desinfectante y 2 tipos de estabilizantes (base o ácido) según el requerimiento, se logran establecer éstas alternativas para realizar la experimentación que se mostrará en el ítem 6 con el fin de determinar el costo de operación y así mismo la viabilidad de cada una.

6. DESARROLLO EXPERIMENTAL

La metodología empleada para el desarrollo de este proyecto, se centra en la realización de un estudio teórico- experimental del sistema de tratamiento de agua potable de la Planta Regional de E.A.A.Z con el fin de establecer las mejores condiciones de operación que garanticen la calidad del agua suministrada a los municipios de Cogua, Nemocón y Zipaquirá.

A continuación, se presentan las diferentes actividades realizadas en la planta de tratamiento para la mejora del proceso de potabilización.

6.1 PREPARACIÓN EN TÉCNICAS DE ANÁLISIS Y ENSAYO DE JARRAS

En la ejecución de la visita e inspección a la planta también se realiza una preparación, por parte de los operarios de la planta de tratamiento, donde es posible identificar las técnicas y equipos empleados en el laboratorio para los análisis que se llevan a cabo diariamente, encontrando dentro de éstos la determinación de turbidez, alcalinidad, pH, hierro y color mediante ensayos de jarras.

6.2 INFORMACIÓN HISTÓRICA DE CALIDAD DEL AGUA

Para determinar la calidad del agua es necesario comparar tanto las características fisicoquímicas como biológicas del afluente con respecto a los valores admisibles para el agua potable según la Resolución 2115 del 2007 por medio de recopilación de los datos históricos suministrados por la planta de tratamiento.

El agua cruda que entra a la planta es llevada por un análisis que permite cuantificar y cualificar la calidad de la misma, por lo tanto, se calculó un promedio de los datos obtenidos en el presente año durante los meses de Enero, Febrero y Marzo obteniendo los datos de la tabla 21.

Tabla 21. Promedio de parámetros analizados para el agua cruda en el 2016.

| PARÁMETRO | UNIDADES | ADMISIBLE | ENERO | FEBRERO | MARZO |
|----------------------|----------|-----------|---------------|---------------|---------------|
| pH | | 6.5 - 9.0 | 6,87 | 6,81 | 6,83 |
| OLOR Y SABOR | | Aceptable | No Aceptables | No Aceptables | No Aceptables |
| SUSTANCIAS FLOTANTES | | Ausentes | Presentes | Presentes | Presentes |
| CONDUCTIVIDAD | mS/cm | ≤ 1000 | 60,74 | 61,14 | 62,41 |
| COLOR | UPC | ≤ 15 | 10,03 | 9,90 | 15,39 |
| TURBIEDAD | UNT | ≤ 2 | 1,43 | 1,63 | 2,97 |
| HIERRO | mg/L Fe | 0,30 | 0,27 | 0,31 | 0,70 |
| ALCALINIDAD | mg/L | 200 | 8,63 | 8,90 | 10,59 |

Fuente: EAAAZ

Los parámetros principales y determinantes en el proceso para el agua potable son el color, hierro, turbiedad y pH, debido a que estos no se encuentran en los rangos aptos para el consumo humano, se lleva a cabo el proceso de potabilización donde se obtienen los datos de la tabla 22.

Tabla 22. Promedio de parámetros analizados para el agua potable en el 2016.

| PARÁMETRO | UNIDADES | ADMISIBLE | ENERO | FEBRERO | MARZO |
|----------------------|----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| pH | | 6.5 - 9.0 | 6,98 | 7,03 | 7,25 |
| OLOR Y SABOR | | Aceptable | Aceptable | Aceptable | Aceptable |
| SUSTANCIAS FLOTANTES | | Ausentes | Ausentes | Ausentes | Ausentes |
| COLOR | UPC | ≤ 15 | 5,76 | 4,98 | 5,18 |
| TURBIEDAD | UNT | ≤ 2 | 0,83 | 0,66 | 0,61 |
| HIERRO | mg/L Fe | 0,30 | 0,13 | 0,11 | 0,15 |
| CLORO RESIDUAL | mg/L Cl | 0,3-2,0 | 1,53 | 1,50 | 1,40 |

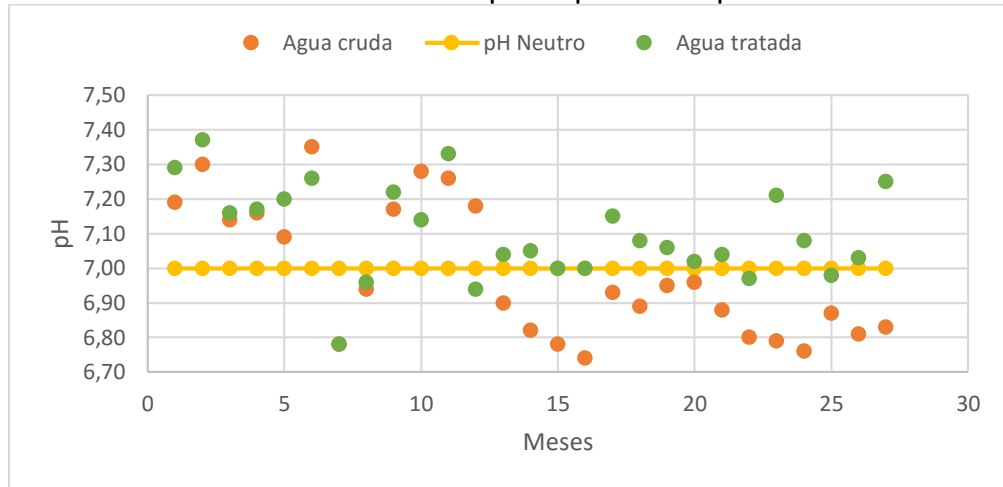
Fuente: EAAAZ

Los valores promedio de las pruebas realizadas en el laboratorio de la Planta Regional, indican que las características analizadas se encuentran en los rangos admisibles establecidos según la Resolución 2115 de 2007, lo que quiere decir que el agua suministrada a los habitantes de los municipios de Cogua, Nemocón y Zipaquirá es apta para el consumo humano.

Tomando un rango de tiempo más amplio, comprendido entre el mes de Enero del 2014 y el mes de Marzo del 2016, se grafican los valores de pH, hierro, color y turbiedad con respecto al tiempo (27 meses) y estos valores se presentan en el ANEXO A.

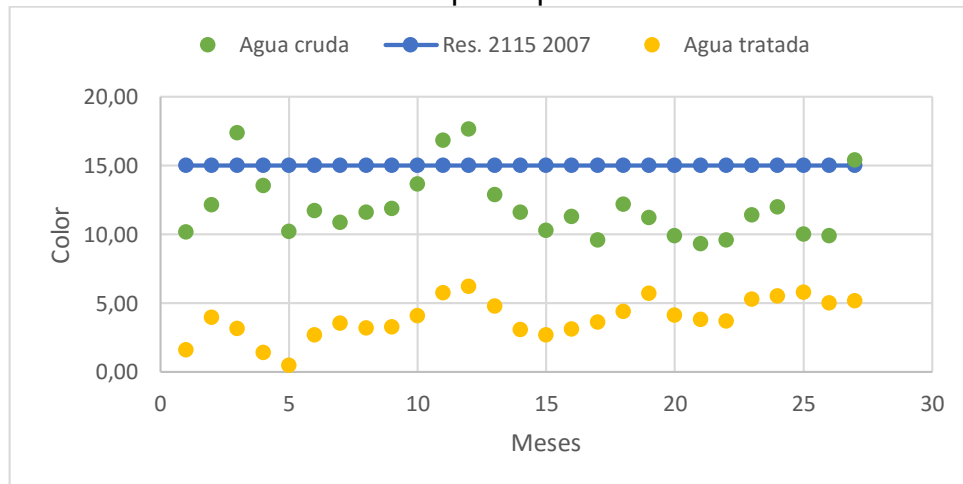
En la gráfica 7 se evidencia la variación del pH a lo largo del tiempo establecido para el agua cruda y el agua tratada; el potencial de hidrógeno según la Resolución 2115 del 2007 debe estar entre 6,5 y 9 unidades. De los datos obtenidos, se tiene que el agua que entra al proceso de potabilización tiene un pH promedio de 6,95 y uno de salida de 7,10; dichos valores presentan variaciones en valores cercanos a un pH neutro, lo que permite indicar que no es ni básico ni alcalino y a pesar de que este no es exactamente 7, hay cambios, pero aun así se mantiene en el rango establecido.

Gráfica 7. Tiempo vs promedio pH.



El color del agua depende del tipo de sustancias que contiene tanto disueltas como suspendidas, este se debe encontrar para el agua potable en un valor menor a 15 UPC, en la gráfica 8, se presentan los valores para el color del agua de entrada que tiene valores superiores con respecto al agua tratada porque ésta fue llevada por distintos procesos que ayudaron a disminuir el valor del color ayudando a la potabilización de la misma.

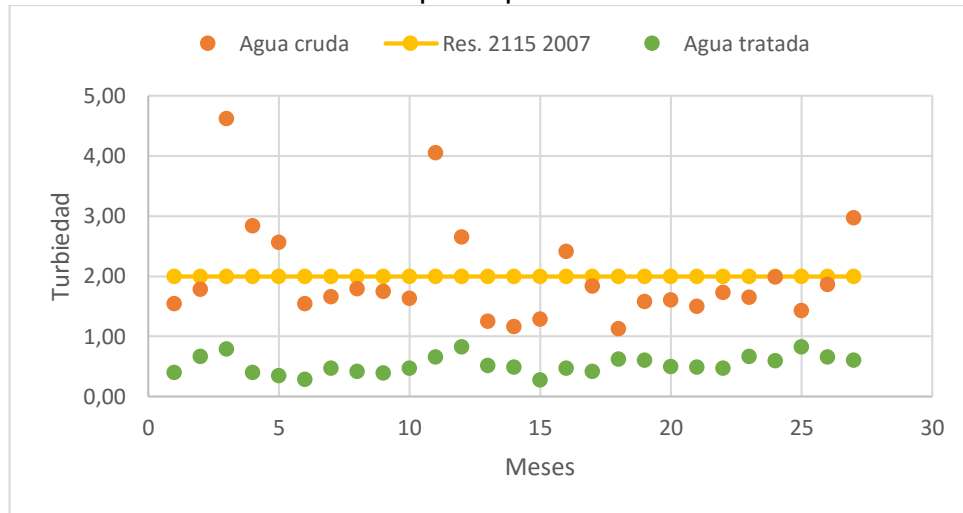
Gráfica 8. Tiempo vs promedio color.



La turbiedad, es la dificultad que posee el agua para transmitir la luz, para ésta se calculó la variación promedio a lo largo de 27 meses y en la gráfica 9 se muestra la variación del tiempo con los valores de turbiedad obtenidos, puesto que esta variable fluctúa en función de la temporada (verano o invierno). Con base en la Resolución 2115 del 2007, la turbiedad puede tener un valor máximo de 2 UNT, y para los periodos de tiempo analizados, algunos valores de turbiedad del agua de entrada se encuentran por encima del establecido, pero al ser tratada dicha agua,

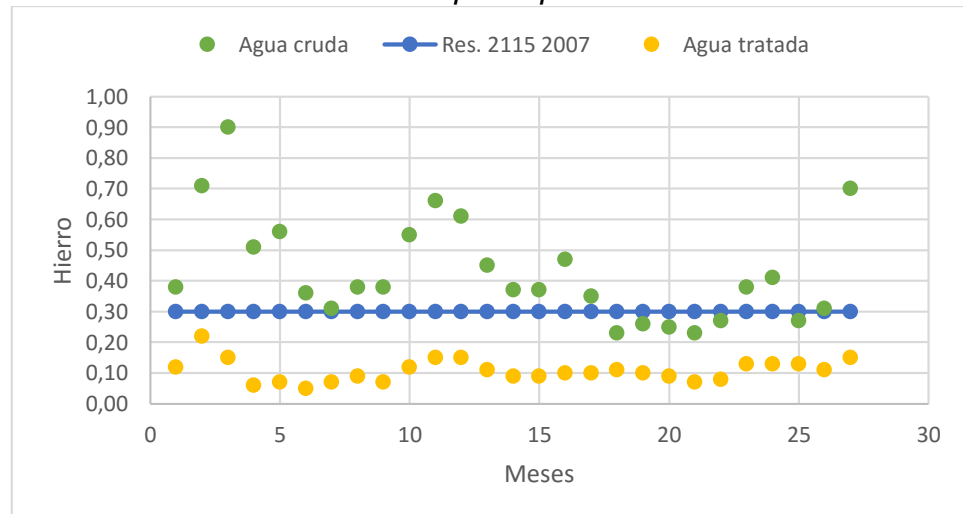
el valor disminuye a los rangos establecidos lo que permite considerarla como potable.

Gráfica 9. Tiempo vs promedio turbiedad.



El hierro presente en el agua en concentraciones mayores a 0,3 g/l puede provocar manchas en la ropa y cierto sabor apreciable al agua, por lo tanto, la concentración máxima según la Resolución 2115 del 2007 es 0,3 mg/l. En el año 2014 el agua cruda presentó los valores más elevados y en el 2015 los menores valores en los últimos meses. El agua tratada para el periodo de tiempo comprendido entre enero del 2014 y marzo del 2016 se encuentra en el rango establecido por la Resolución y los resultados se muestran en la gráfica 10.

Gráfica 10. Tiempo vs promedio hierro.



Los parámetros analizados se encuentran de acuerdo a los establecidos en la Resolución 2115 del 2007 para que se considere agua potable, al emplear los químicos actuales.

6.3 RECOLECCIÓN DE MUESTRAS DE AGUA

Las muestras de agua empleadas para la evaluación de las 3 alternativas planteadas son tomadas a la entrada del proceso en la Planta Regional de Zipaquirá, se recolectan 20 muestras de agua cruda de 15 litros cada una.

6.4 EVALUACIÓN DE LAS ALTERNATIVAS

La finalidad de estos ensayos a nivel laboratorio fue la comparación del comportamiento de los insumos que conforman las alternativas a evaluar para la mejora del proceso de potabilización de la planta.

6.4.1 Evaluación de coagulantes. Se realiza por medio de la determinación de la dosis que produce la desestabilización de las partículas coloidales en el menor tiempo haciendo que se forme un floc pesado y consistente de tal forma que con mayor facilidad éste quede retenido en los sedimentadores y no se destruya al pasar por los filtros.

6.4.2 Evaluación de floculantes. Se evalúan mediante un ensayo de jarras donde se determinan parámetros como lo son: dosis óptima y relación coagulante/floculante con el fin de comparar la eficiencia en la remoción de turbiedad y color.

6.4.4 Evaluación de estabilizantes. Su dosificación se efectúa en el agua que ha sido sometida al proceso de desinfección para ajustar el pH si es necesario, con el fin de prevenir corrosión en la red de distribución y así mismo cumplir con las normas establecidas.

6.4.3 Evaluación de desinfectantes. Se realiza mediante un ensayo de demanda de cloro con muestras de agua filtrada el cual proporciona la dosis adecuada, después de que se han completado las reacciones correspondientes entre el oxidante y las sustancias del agua; donde la demanda de cloro se obtiene por la diferencia entre la dosis añadida y el contenido del residual al cabo de un tiempo de contacto suficiente para completar las reacciones.

Para la experimentación se empleará hipoclorito de sodio suministrado por la empresa Brinsa S.A.

6.5 METODOLOGÍA EVALUACIÓN DE ALTERNATIVAS

En este ítem se define la metodología para la evaluación de los insumos que conforman las alternativas.

6.5.1 Ensayo de jarras. Es la técnica más usada para determinar la dosis de químicos y otros parámetros para la potabilización del agua. En este ensayo se simulan los procesos de coagulación, floculación y sedimentación a nivel de laboratorio con el fin de determinar las variables físicas y químicas de los procesos nombrados; tales como: selección del coagulante-floculante, pH óptimo; gradientes y tiempos de mezcla rápida y floculación y correlación de las velocidades de sedimentación y la eficiencia de remoción.

Para llevar a cabo este ensayo se emplean dos equipos de Prueba de Jarras que son propiedad del acueducto; como se muestra en la figura 22 y 23, los cuales constan de 4 y 6 envases, respectivamente, paletas de agitación que son programadas para trabajar a determinada velocidad en un intervalo de tiempo establecido, en las que se transmite el movimiento por piñón lo que hace que todas se muevan a la misma velocidad.

Figura 22. Equipo de prueba de jarras automática.



Figura 23. Equipo de prueba de jarras manual.



Los parámetros de operación con los que se realizaron las pruebas en el desarrollo de este estudio y sus respectivos valores se muestran en la tabla 23.

Tabla 23. Parámetros de operación para las pruebas de jarras.

| Parámetro operacional | Valor fijado |
|--|--------------|
| Velocidad de agitación en la coagulación (mezcla rápida) | 100 rpm |
| Tiempo de mezcla rápida | 1 min |
| Velocidad de agitación en la floculación (mezcla lenta) | 40 rpm |
| Tiempo de floculación | 15 min |
| Velocidad de agitación en sedimentación (reposo) | 0 rpm |
| Tiempo de sedimentación | 15 min |
| Concentración de coagulante | 1% |
| Concentración de floculante | 0,10% |

Para llevar a cabo en su totalidad el ensayo se requiere de los materiales y equipos que se definen a continuación:

Tabla 24. Materiales, equipos y reactivos para prueba de jarras.

| Tipo | Especificación |
|----------------------------------|--|
| Equipos | Prueba de Jarras (Jar Test) |
| | Turbidímetro |
| | pH-metro |
| | Espectrofotómetro |
| | Conductivímetro |
| | Balanza manual |
| Reactivos | Policloruro de aluminio-Ultrafloc 100 |
| | Polímero catiónico-Ultrafloc 110 |
| | Policloruro de aluminio- Ultrafloc 200 |
| | Rapised 1084 |
| | Hipoclorito de sodio |
| | Indicador Tashiro |
| | Hierro |
| | Cloro |
| Agua cruda (entrada a la planta) | |

Tabla 24. (Continuación)

| Tipo | Especificación |
|-------------------|-------------------------------|
| Materiales | Vasos de precipitado |
| | Bureta |
| | Espátulas |
| | Probeta |
| | Balones aforados |
| | Vidrio reloj |
| | Pipeta graduada (con succión) |
| | Cronómetro |

6.5.1.1 Procedimiento prueba de jarras para determinar la dosis óptima de coagulante. Se desarrolla de la siguiente manera:

- a. Determinar la turbidez, color, alcalinidad, pH y conductividad del agua cruda.
- b. Colocar en cada vaso 1 litro (medida con una probeta graduada) de agua cruda.
- c. Especificar la cantidad de coagulante que se debe añadir a cada vaso, la cual variará de vaso en vaso.
- d. Colocar las paletas de agitación dentro de los vasos, y por medio de jeringas, añadir el coagulante en cantidades crecientes en cada uno de los vasos. Así: 10 mg/l en el vaso #1, 20 mg/l en el vaso #2, etc.
- e. Simultáneamente poner en marcha el agitador y operarlo durante un minuto a 100rpm (mezcla rápida).
- f. Disminuir la velocidad de agitación a 40 rpm y continuar la agitación durante 15 min. (Condiciones de operación de la floculación de la planta).
- g. Una vez que transcurre el tiempo de agitación, se detiene el agitador, se deja sedimentar.
- h. Después de permitir que el flóculo sedimente por 15 min, se determina el color, pH y la turbiedad del sobrenadante (el líquido por encima de los flóculos), y se anota el tamaño de flóculo obtenido.
- i. Anotar los resultados y de acuerdo a estos, determinar la dosis adecuada de coagulante.

Nota. La jarra que proporcione los mejores resultados indica la dosis adecuada del coagulante para la planta de tratamiento.

6.5.1.2 Procedimiento de las pruebas de jarras para definir la relación coagulante/floculante. Se desarrolla de la siguiente manera:

- a. Conociendo la dosis adecuada del coagulante se procede a realizar el paso b del numeral 5.5.1.1.
- b. Colocar las paletas de agitación dentro de los vasos y añadir con jeringas en todas las jarras la dosis de coagulante determinada.
- c. Simultáneamente poner en marcha el agitador y operarlo durante un minuto a 100rpm (mezcla rápida).
- d. Diez segundos después agregar las diferentes dosis de floculantes a las jarras (raras veces exceden de 1mg/l).
- e. Se realizan los pasos f,g,h del numeral 6.5.1.1
- f. Se anotan los resultados y de acuerdo a estos, se determina el mejor porcentaje de relación de acuerdo a la jarra que ofrece mejores condiciones para el tratamiento.

6.5.1.3 Procedimiento Prueba de Demanda de Cloro (Método del Punto de Ruptura). La demanda de cloro se determina con base al método del punto de ruptura, el cual se fundamenta en la reacción que tiene el cloro en presencia de materia orgánica y otras sustancias inorgánicas en el agua.

- a. Se dispone de 6 vasos precipitados, previamente lavados con agua destilada.
- b. El agua obtenida con la dosis adecuada de coagulante y floculante es filtrada con un embudo y papel de filtro.
- b. Colocar en cada vaso 200 mililitros (medida con una probeta graduada) de agua filtrada obtenida.
- c. Adicionar cantidades crecientes del desinfectante (hipoclorito de sodio) a cada uno de los vasos y agitar por 1 minuto a 100rpm.
- d. Se dejan reposar las muestras durante 5-10 minutos aproximadamente como tiempo de reacción, sin que le afecte la luz del sol directamente.
- e. Determinar la concentración del cloro residual de cada una, añadiendo en un tubo de ensayo 10ml del agua a analizar y posteriormente agregar una microcucharada de indicador de cloro y agitar fuertemente.
- f. Realizar las mediciones correspondientes utilizando el método 019 del fotómetro que corresponde al cloro y anotar los datos obtenidos en mg/l.
- g. Con los valores del cloro residual y las concentraciones de cloro añadidas, se elaboraron las graficas de cloro residual vs dosis de cloro añadida, donde la gráfica permitirá obtener la demanda de cloro en el punto de ruptura.

Nota. Las dosificaciones se desfasan 5 minutos entre un frasco y otro para poder llevar un control más riguroso del tiempo de reacción.

6.5.1.4 Procedimiento para estabilización de pH. Se realiza la estabilización del pH con base en la curva de neutralización que facilita el ajuste del pH del efluente

a. Se toma una muestra de agua obtenida con las dosis de coagulante, floculante y desinfectante adecuadas.

b. Se mide el pH y la alcalinidad de la muestra.

c. Se añade a la muestra soda caustica o ácido clorhídrico al 1% según el requerimiento y nuevamente se mide el pH y la alcalinidad.

d. Con los valores obtenidos, se grafican las partes por millón del estabilizante usado vs pH y alcalinidad lo que permite obtener la dosis a emplear del estabilizante.

7. ANÁLISIS Y RESULTADOS

La experimentación realizada permitió ver la variación de los parámetros iniciales del agua cruda como el color, pH, turbiedad y alcalinidad durante el periodo de desarrollo de las alternativas, donde se encontró que el pH osciló entre 7,15 y 7,466, la alcalinidad presentó un valor casi constante de 11 mg CaCO₃/L, la turbiedad entre 5,83 y 7,36 UNT y el color entre 31 y 40 UPC.

7.1 DESARROLLO DE ALTERNATIVAS

Durante el desarrollo de la investigación se emplea como coagulante la sal metálica hidrolizada Policloruro de Aluminio (PAC) en presentaciones de Ultrafloc 200 y 100, la cual tiene en la actualidad una amplia difusión en el mercado por sus bajos costos respecto a los demás coagulantes, ofrece eficiencia en la remoción de turbiedad generando una buena calidad del floc con volúmenes de lodo inferiores a los producidos por otros coagulantes; y adicionalmente posee la ventaja de ser comercializado en fase líquida, lo cual brinda facilidades operativas para su preparación y dosificación⁵⁵, a parte de estos dos coagulantes también se emplea un polímero catiónico (Ultrafloc 110). Los coagulantes empleados se preparan con una concentración del 1%, mientras que el floculante Rapised 1084 e hipoclorito de sodio con una concentración de 0,1% como se describe en el ANEXO C.

7.1.1 Determinación de la dosis adecuada de los coagulantes. El objetivo de este ensayo es determinar la dosis adecuada de cada coagulante que corresponde a la muestra que produce con la menor dosis los menores valores de color, hierro y turbiedad.

7.1.1.1 Dosis adecuada de Policloruro de Aluminio (PAC-Ultrafloc 100). De acuerdo a los resultados obtenidos en la pre-experimentación, el coagulante Ultrafloc 100 presenta los mejores resultados con dosis de 20ppm seguida de la de 10ppm, por lo tanto, para obtener una dosis que presente mejores resultados se realiza un ensayo evaluando un rango de dosis comprendido entre 11ppm y 24ppm, donde los resultados se presentan en la tabla 48 del Anexo F.

Según éstos resultados, el color y la turbiedad de todas las dosis se encuentran dentro de los parámetros establecidos, excepto las dosis de 21 y 15ppm donde la primera presenta valores de turbiedad y color que superan lo permitido para que se considere agua potable, mientras que la segunda, aunque tiene un color de 14UPC este se acerca al valor máximo permitido obteniendo una turbiedad mayor a la establecida. La cantidad de hierro presente al finalizar la etapa de coagulación, para las dosis de 15, 21, 22 y 24ppm superan el valor máximo permitido para este parámetro, mientras que las demás se encuentran dentro de los valores permitidos.

⁵⁵ MANCIPE, Néstor y WOLF, Andrea. Evaluación de la floculación lastrada en aguas residuales domésticas. Bogotá: Universidad de la Salle, 2005.

La dosis que produce la menor turbiedad también produce el menor valor de color, encontrándose dentro de los rangos establecidos por la Resolución 2115 del 2007, es decir que para este caso el mayor porcentaje de remoción de turbiedad y color se obtuvo con una dosis de 11 mg/l, con valores de 88,81% y 88,57% respectivamente. El pH de ésta dosis después del ensayo no tuvo una variación significativa con respecto al inicial y el hierro presente es menor al inicial, equivalente a 0,08mg/l, por lo tanto, la dosis de 11ppm es la dosis adecuada.

7.1.1.2 Dosis adecuada polímero catiónico (Ultrafloc 110). Con base en los resultados obtenidos en la pre-experimentación, este coagulante presenta el mejor comportamiento con una dosis de 10ppm seguida de la de 20 ppm pero con porcentajes de remoción tanto de color como de turbiedad menores, así pues con el fin de conocer la mejor dosis se realiza una prueba de jarras tomando rango de dosis de 10ppm a 19ppm, puesto que con dosis superiores según la pre-experimentación realizada los parámetros de color, hierro y turbiedad no cumplen con la norma. Los resultados de este ensayo se muestran en la tabla 49 del Anexo F, en la cual se observa que todas las dosis cumplen con los parámetros tanto de color como de turbiedad, a excepción de la dosis de 19ppm que excede el valor de la turbiedad, pero en una cantidad baja pues el valor máximo permitido es de 2UNT y ésta presenta un valor de 2,1 UNT, y que los porcentajes de remoción obtenidos en todos los casos superan el 70%.

Sin embargo, los mejores resultados se obtienen con una dosis de 12ppm que presenta turbiedad de 0,99 UNT y color de 4 UPC con porcentajes de remoción de 86,55% para la turbiedad y 85,57% para el color. En cuanto al pH ésta dosis es la que presenta un porcentaje del cambio de pH menor con respecto al inicial y así mismo se obtiene una cantidad de hierro menor respecto a las demás dosis, cumpliendo así con los parámetros establecidos por la norma, por lo que es escogida como la dosis adecuada.

7.1.1.3 Dosis adecuada de Policloruro de Aluminio (PAC-Ultrafloc 200). En los resultados obtenidos en la pre-experimentación para la selección de los coagulantes a emplear, el Ultrafloc 200 presenta los mejores resultados con dosis de 20ppm y 30ppm, por tal razón para encontrar la dosis adecuada que produzca el mejor porcentaje de remoción tanto de turbiedad como de color, y así mismo obtenga una cantidad de hierro menor o igual a la establecida por la norma vigente y el pH final se asemeje al inicial, se realizan dos pruebas de jarras con diferentes dosificaciones que comprenden dosificaciones entre 11 y 30 ppm, donde la primera prueba se realiza con las dosis impares y la segunda con las pares, obteniendo como resultados los datos que se observan en las tablas 50 y 51 del Anexo F.

Para el caso de las dosificaciones pares que comprenden dosis de 12 a 30ppm, se observa en la tabla 50 que los porcentajes de remoción de color y turbiedad son similares en las dosis de 24 y 26ppm donde lo que difiere es la turbiedad final obtenida, pues para la dosis de 24ppm es de 1,08UNT y para la de 26ppm 1,1UNT.

Con las dosificaciones empleadas en este caso se encuentra que todas las dosis excepto la de 12ppm cumplen con los parámetros permitidos de color y turbiedad. En cuanto a la cantidad de hierro presente al finalizar la prueba, las dosis de 12,16,18, 20 y 22ppm no cumplen con este parámetro, por lo tanto las dosis que mejores resultados presentan en cuanto a los parámetros establecidos por la norma son las dosis de 14,24,26,28 y 30ppm. En este caso como las dosis que presenta mejores porcentajes de remoción de turbiedad y color son las de 24 y 26ppm, se escoge como la dosis más adecuada la dosis de 24ppm, debido a que presenta una menor cantidad de hierro y así mismo el porcentaje de cambio de pH con respecto al inicial es menor, siendo el porcentaje de remoción de turbiedad del 81,12% y de color del 85,71%.

En la tabla 51 se aprecia que la dosis que produce la menor turbiedad es la misma que produce el menor valor de color, y se encuentra dentro de los rangos establecidos por la Resolución 2115 del 2007. Es decir, para este caso el mayor porcentaje de remoción de turbiedad y color se alcanza con una dosis de 19 mg/l, con valores de 84,69% y 86,49% respectivamente, el porcentaje de cambio de pH con respecto al inicial es de 1% aproximadamente y el hierro es menor a 0,3mg/l.

Para la selección final de la dosis más adecuada para el Ultrafloc 200 se compara la dosis impar de 19ppm con la de 24ppm, encontrando que aunque el color obtenido con las dos dosis es de 5UPC y la turbiedad es similar (1,08 y 1,09 UNT) los parámetros iniciales del agua cruda son diferentes por lo que se obtiene un mejor porcentaje de remoción tanto de color como de la turbiedad con la dosis menor que es de 19ppm.

7.1.2 Determinación de la dosis adecuada del floculante para cada coagulante.

Posterior a la determinación de la dosis adecuada de cada coagulante se realizan pruebas de jarras para determinar si es necesario el uso de floculante, fijando la dosis adecuada de coagulante para todas las jarras, y variando la concentración de floculante de 0,5 a 2,5ppm con incrementos de 0,5 unidades de la jarra 2 a la 6, pues la jarra 1 sirve como referencia para comparar los resultados obtenidos con el uso y sin el uso del floculante. La dosis adecuada de floculante es la jarra que presente menor turbiedad y color, y presente valores dentro de los parámetros de hierro.

7.1.2.1 Dosis adecuada del floculante aniónico (Rapised 1084)+ Policloruro de Aluminio (PAC-Ultrafloc 100 a 11ppm).

Al establecer la dosis del coagulante Ultrafloc 100 a emplear en la alternativa 1 que corresponde a 11 ppm, se procede a determinar la cantidad del floculante (Rapised 1084) con una concentración de 0,1% que debe ser suministrado al agua cruda. Los resultados de este ensayo se presentan en la tabla 52 del Anexo F, donde con base en el decreto 1575 y la Resolución 2115 los parámetros de turbiedad, color, hierro y pH para las diferentes dosis empleadas de floculante y con la establecida del coagulante, los resultados analizados se encuentran de acuerdo a los rangos establecidos. El pH en todas las

dosis empleadas son adecuadas, pues permanecen en el rango establecido para que se considere agua potable (6,5-9,0) con valores comprendidos entre 7,3 y 7,4; la cantidad de hierro presente es directamente proporcional con la cantidad de cloro requerida en el proceso de desinfección por lo que se espera bajo contenido de hierro lo que evita un incremento en la dosis del desinfectante. Con la experimentación realizada se esperan los mayores porcentajes de remoción para turbiedad y color los cuales se presentan añadiendo 11 ppm de Ultrafloc 100 y 1 ppm de Rapised 1084 con porcentajes de 89,0% y 87,1% respectivamente.

7.1.2.2 Dosis adecuada del floculante aniónico (Rapised 1084)+ Polímero catiónico (Ultrafloc 110 a 12ppm). Para la segunda alternativa como coagulante se emplea un polímero catiónico (Ultrafloc 110) con la dosis adecuada hallada que corresponde a 12ppm y el mismo floculante aniónico (Rapised 1084). Los parámetros hierro, color y turbiedad son determinantes en el proceso y dichos valores deben estar en los rangos establecidos según la Resolución 2115. Con base en la tabla 53, el valor de color más alto es de 5 UPC que se presenta con dosis de 2,5 ppm de floculante, por lo tanto, se descarta debido a que con menores dosis de floculante el color corresponde a 4 UPC. La turbiedad más baja se presenta cuando se agrega 0,5 ppm del floculante y esta aumenta a medida que aumenta la concentración del floculante, mientras que la turbiedad más alta la presenta la jarra de referencia la cual carece del floculante. La cantidad de hierro presente en los diferentes ensayos se encuentra en el rango establecido y este tiene valores similares en las diferentes pruebas, por lo tanto se escoge la dosis de 0,5 ppm de floculante para 12 ppm de Ultrafloc 110 ya que es la que presenta mayor porcentaje de remoción de color y turbiedad con valores respectivos de 87,10% y 89,54%, y el porcentaje de cambio de pH es el menor de todas las jarras con un valor de 0,1% aproximadamente.

7.1.2.3 Dosis adecuada del floculante aniónico (Rapised 1084)+ Policloruro de Aluminio (PAC-Ultrafloc 200 a 19ppm). Para la tercera alternativa se tiene como coagulante Ultrafloc 200 con dosis adecuada de 19 ppm y se agrega el floculante Rapised 1084 en las dosificaciones establecidas. Los resultados se evidencian en la tabla 54 del Anexo F, donde se observa que las diferentes dosis empleadas se encuentran en los rangos establecidos, pero al emplear 19 ppm de coagulante y 0,5 ppm del floculante se presenta la mayor remoción de turbiedad con 91,55% y color con 96,77% , el pH de salida es de 7,475 que con respecto al pH del agua de entrada presenta un porcentaje de cambio de 0,12% y se encuentra en el rango establecido (6,5-9,0), la cantidad de hierro es de 0,16mg/l, lo que indica que requiere menor cantidad de desinfectante (hipoclorito de sodio) y el color tiene un valor de 2 UPC el cual es menor con respecto al de la norma que es 15 UPC.

7.1.3 Determinación de la dosis adecuada de hipoclorito de sodio. Para determinar la dosis adecuada de desinfectante, se realizan ensayos agregando cantidades crecientes de cloro al agua y midiendo su concentración a través del tiempo. La dosis adecuada va a ser la que produzca un residual de cloro libre

comprendido entre 0,3 y 2,0 mg/L según la Resolución 2115 del 2007. En la tabla 25 se presentan las dosis típicas de cloro (en sus diferentes formas) usadas en plantas potabilizadoras

Tabla 25. Dosis de cloro aplicadas en plantas potabilizadoras

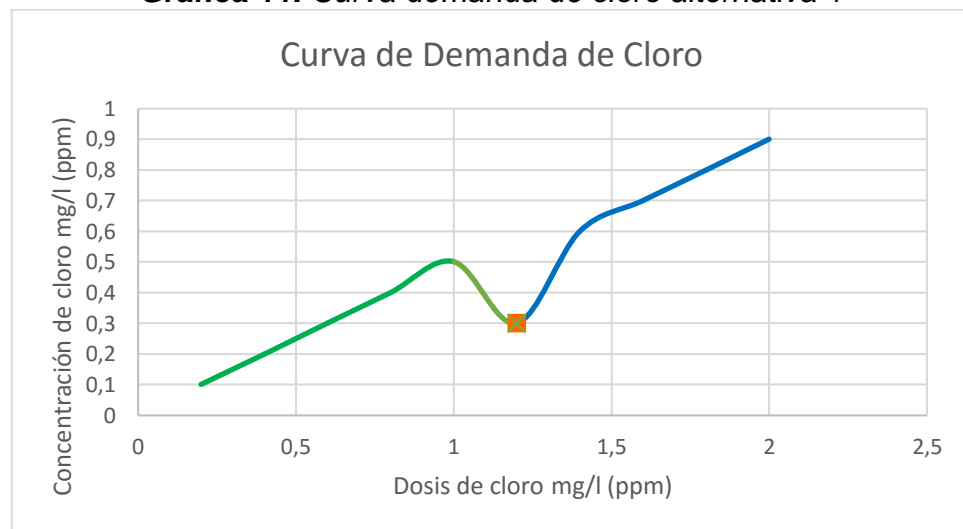
| COMPUESTO DE CLORO | DOSIS (MG/L) |
|-----------------------|--------------|
| Cloro gas | 1-16 |
| Hipoclorito de sodio | 0,2-2 |
| Hipoclorito de calcio | 0,5-5 |

Fuente. EPA, 1999

Siguiendo lo recomendado por la tabla 25, se añaden cantidades crecientes en el rango establecido con incrementos de 0,2 unidades, donde los resultados para cada alternativa se presentan en el ANEXO F.

7.1.3.1 Dosis adecuada de hipoclorito de sodio+ floculante aniónico (Rapised 1084 al 1%)+ Policloruro de aluminio (PAC-Ultrafloc 100 a 11ppm). Al dosificar hipoclorito de sodio, suceden una serie de reacciones donde en el grafico 11, obtenido con los datos de la tabla 55 del Anexo F, se observa que la línea verde corresponde a la oxidación de la materia orgánica por el cloro, el cual a su vez reacciona con compuestos nitrogenados para formar monocloraminas. Al seguir añadiendo cloro éste empieza a oxidar las mono-cloraminas a dicloraminas, luego a tricloraminas, y finalmente a nitrógeno (punto naranja) el cual corresponde al punto de quiebre “break point”, donde todos los compuestos nitrogenados se han destruido y por lo tanto el cloro añadido cumple con el rol como desinfectante. Después de este punto, cualquier adición de cloro, produce un incremento en el nivel de cloro libre del agua (línea azul).

Gráfica 11. Curva demanda de cloro alternativa 1



Para el coagulante Ultrafloc 100 la dosis de cloro es de 1,2mg/l, con un cloro residual de 0,3mg/l y demanda de cloro de 0,9 mg/l, donde los resultados se expresan en la tabla 26.

Tabla 26. Datos obtenidos para la curva de demanda de cloro alternativa 1

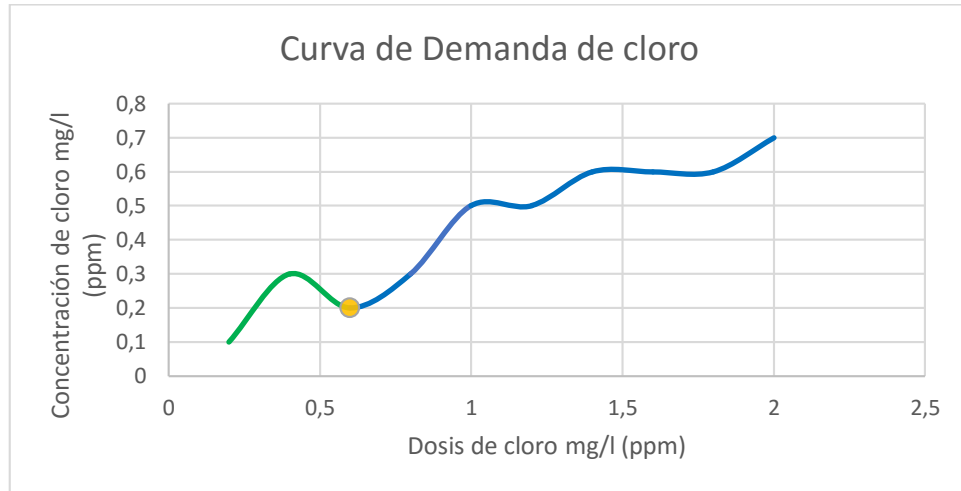
| | | | | | | | | | | |
|-------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| Dosis de cloro (mg/l) | 0,2 | 0,4 | 0,6 | 0,8 | 1 | 1,2 | 1,4 | 1,6 | 1,8 | 2 |
| Cloro residual (mg/l) | 0,1 | 0,2 | 0,3 | 0,4 | 0,5 | 0,3 | 0,6 | 0,7 | 0,8 | 0,9 |
| Demanda de cloro (mg/l) | 0,1 | 0,2 | 0,3 | 0,4 | 0,5 | 0,9 | 0,8 | 0,9 | 1 | 1,1 |

Como la demanda de cloro es la diferencia entre la dosis aplicada y el cloro residual, se puede considerar que la demanda de cloro coincide con la dosis a la que se alcanza el punto de ruptura. Sin embargo, para que la cloración del agua sea eficaz es necesario añadir una cantidad de cloro mayor a la necesaria para alcanzar el punto de ruptura para que se realice la desinfección correcta y quede disponible una cierta cantidad de cloro residual libre necesario para completar la oxidación de los compuestos difíciles de degradar y para prevenir cualquier contaminación posterior en depósitos de almacenamiento o red de distribución.

El punto de ruptura se consigue con una dosis de 1,2mg/l, pero para que la desinfección se logre con toda seguridad se toma una dosis superior a este punto que equivale a 1,4mg/l la cual da una cantidad de cloro residual libre.

7.1.3.2 Dosis adecuada de hipoclorito de sodio+ floculante aniónico (Rapised 1084 al 0,5%)+ Polímero catiónico (Ultrafloc 110 a 12ppm). Al graficar los datos obtenidos en la tabla 56 del Anexo F, se observa en la gráfica 12 un incremento (línea verde) debido a que el cloro reacciona con todo el amoniacco y las aminas orgánicas presentes formando un residual de cloro combinado. Al terminar esta reacción se empieza a producir residual de cloro libre el cual oxida las cloraminas generando un descenso en la curva, hasta el punto de ruptura (punto naranja) y es a partir de este momento en que todo el cloro agregado desarrolla un residual de libre presentando otro incremento.

Gráfica 12. Curva demanda de cloro alternativa 2.



Como el “break-point” es el punto en el cual la oxidación de los productos del amoníaco es completa, se determina la demanda de cloro dando como resultados los presentados en la tabla 27.

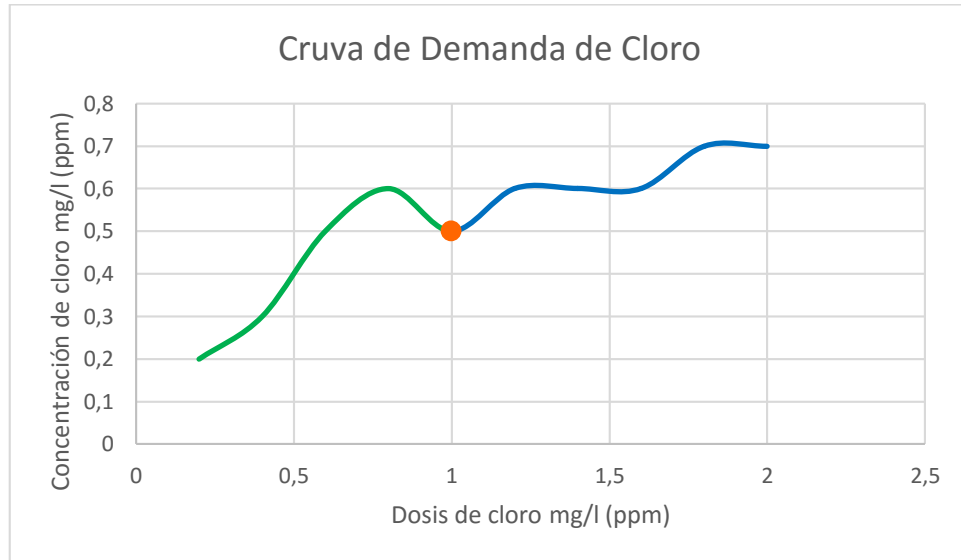
Tabla 27. Datos obtenidos para la curva de demanda de cloro alternativa 2

| | | | | | | | | | | |
|-------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| Dosis de cloro (mg/l) | 0,2 | 0,4 | 0,6 | 0,8 | 1 | 1,2 | 1,4 | 1,6 | 1,8 | 2 |
| Cloro residual (mg/l) | 0,1 | 0,3 | 0,2 | 0,3 | 0,5 | 0,5 | 0,6 | 0,6 | 0,6 | 0,7 |
| Demanda de cloro (mg/l) | 0,1 | 0,1 | 0,4 | 0,5 | 0,5 | 0,7 | 0,8 | 1 | 1,2 | 1,3 |

Como la dosis de cloro debe ser suficiente para satisfacer la demanda de cloro y mantener un residual de cloro suficiente para inactivar o eliminar organismos patógenos, se escoge una dosis superior a 0,6mg/l a la cual se presenta el punto de ruptura. Por lo tanto, la dosis escogida es de 0,8mg/l con una concentración de cloro residual y demanda de cloro de 0,3mg/l y 0,5mg/l, respectivamente. Como la dosis de cloro debe ser suficiente para satisfacer la demanda de cloro y mantener un residual de cloro suficiente para inactivar o eliminar organismos patógenos, se escoge una dosis superior a 0,6mg/l a la cual se presenta el punto de ruptura. Por lo tanto, la dosis escogida es de 0,8mg/l con una concentración de cloro residual y demanda de cloro de 0,3mg/l y 0,5mg/l, respectivamente.

7.1.3.3 Dosis adecuada de hipoclorito de sodio+ floculante aniónico (Rapised 1084 al 0,5%)+ Policloruro de aluminio (PAC-Ultrafloc 200 a 19ppm). La determinación de la dosis adecuada del hipoclorito de sodio, se lleva a cabo como en las alternativas 1 y 2, agregando cantidades crecientes de cloro al agua y midiendo la concentración de cloro residual después del tiempo de contacto con el desinfectante, donde la gráfica 13 representa los datos obtenidos que se presentan en la tabla 57 del Anexo F.

Gráfica 13. Curva demanda de cloro alternativa 3.



La interpretación, en cuanto a las reacciones químicas es la misma que la de los gráficos 11 y 12, donde según la gráfica 13 se presenta un crecimiento desde la dosis de 0,2mg/l hasta la de 0,8mg/l donde el cloro se combina con compuestos nitrogenados (inorgánicos y orgánicos), formando las cloraminas, luego se observa que al aumentar la dosis, la cantidad de cloro residual que se mide va en descenso hasta llegar al punto de ruptura (punto naranja) que es de 1mg/l, y finalmente después de este punto se desarrolla un residual de cloro libre.

El coagulante Ultrafloc 200 presenta un punto de ruptura con una dosis de 1mg/l, con cloro residual y demanda de cloro de 0,5 mg/l, donde los resultados a las diferentes dosis se muestran en la tabla 28.

Tabla 28. Datos obtenidos para la curva de demanda de cloro alternativa 3

| | | | | | | | | | | |
|-------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| Dosis de cloro (mg/l) | 0,2 | 0,4 | 0,6 | 0,8 | 1 | 1,2 | 1,4 | 1,6 | 1,8 | 2 |
| Cloro residual (mg/l) | 0,2 | 0,3 | 0,5 | 0,6 | 0,5 | 0,6 | 0,6 | 0,6 | 0,7 | 0,7 |
| Demanda de cloro (mg/l) | 0 | 0,1 | 0,1 | 0,2 | 0,5 | 0,6 | 0,8 | 1 | 1,1 | 1,3 |

Como dosis adecuada se escoge una mayor a la que presenta el punto de ruptura como se hizo en las anteriores alternativas, que pertenece a una dosis de cloro de 1,2mg/l con una concentración tanto de cloro residual como de demanda de cloro de 0,6mg/l.

8. BALANCE DE MATERIA

Con la experimentación realizada y con base en el caudal de entrada de la planta regional (convencional y compacta) de 353 l/s se calcula la cantidad de hierro presente en el agua a la entrada, después de la coagulación-floculación y finalmente al agua filtrada; y la cantidad de cloro residual al añadir el hipoclorito de sodio. Dichos valores son obtenidos a partir del Anexo I; los cuales son consolidados en la tabla 29.

Tabla 29. Valores obtenidos del balance de materia.

| Alternativa | Agua entrada | Hierro entrada | Hierro después de coagulación y floculación | Hierro agua filtrada | Cloro residual |
|-------------|----------------------------|------------------------|---|-----------------------|------------------------|
| 1 | $30.499.200 \frac{L}{dia}$ | $40,25 \frac{kg}{dia}$ | $3,66 \frac{kg}{dia}$ | $0,61 \frac{kg}{dia}$ | $6,1 \frac{kg}{dia}$ |
| 2 | $30.499.200 \frac{L}{dia}$ | $40,26 \frac{kg}{dia}$ | $4,27 \frac{kg}{dia}$ | $0,61 \frac{kg}{dia}$ | $15,25 \frac{kg}{dia}$ |
| 3 | $30.499.200 \frac{L}{dia}$ | $40,25 \frac{kg}{dia}$ | $3,66 \frac{kg}{dia}$ | $1,83 \frac{kg}{dia}$ | $9,15 \frac{kg}{dia}$ |

Como la cantidad de agua cruda empleada para las 3 alternativas es la misma, la cantidad de hierro a la entrada es de 40,25 kg/día para las 3 alternativas, pero esta cambia al emplear distintos coagulantes, obteniéndose la mayor cantidad de hierro en la alternativa 2 con un valor de 4,27 kg/día después del proceso de coagulación-floculación para la cual se emplea polímero catiónico Ultrafoc 110 y el floculante aniónico Rapised 1084, mientras que para las alternativas 1 y 3 se obtiene una cantidad de 3,66 kg de hierro por día.

Al filtrar el agua, la cantidad de hierro en las alternativas 1 y 2 es de 0,61 kg/día, mientras que para la alternativa 3 es de 1,83 kg/día. Teniendo en cuenta que la cantidad de hierro para la alternativa 2 es mayor que para las alternativas 1 y 3 a la salida del proceso de coagulación-floculación y al ser filtrada se obtiene un valor menor que el obtenido en la alternativa 3.

En cuanto a la cantidad de cloro residual para las alternativas se encuentra de acuerdo a lo establecido por la Resolución 2115 del 2007, presentando la mayor cantidad de cloro residual la alternativa 2 con un valor de 15,25 kg/día, seguida de la alternativa 3 donde se obtiene 9,15 kg/día y finalmente la alternativa 1 con 6,1 kg/día.

Las diferentes alternativas desarrolladas experimentalmente cumplen con la normatividad nacional, por lo tanto, se puede determinar tanto una ventaja operativa como una económica.

9. EVALUACIÓN FINANCIERA

La inversión realizada, se limita a los químicos que se deben utilizar en las 3 alternativas desarrolladas anteriormente ya que no se proponen cambios en la infraestructura de la planta ni la implementación de tanques adicionales puesto que la empresa de acueducto, alcantarillado y aseo tiene a su disposición tanques para preparar las soluciones de coagulantes, floculantes y desinfectantes que se requieren para la potabilización del agua cruda.

Estimando un caudal de 353 l/s para la planta regional (convencional y compacta) y con las dosificaciones definidas para cada alternativa, las cuales se muestran en la tabla 30 se puede conocer el consumo y el costo para cada alternativa.

Tabla 30. Concentración de los químicos empleados en las diferentes alternativas.

| Caudal | | | | |
|----------------------|-----------------|----------------------|----------------------|----------------------|
| Agua cruda | l/s | 353 | | |
| | l/día | 30.499.200 | | |
| Insumo | Unidades | Alternativa 1 | Alternativa 2 | Alternativa 3 |
| Coagulante | mg/l | 11 | 12 | 19 |
| Floculante | mg/l | 1 | 0,5 | 0,5 |
| Desinfectante | mg/l | 1,4 | 0,8 | 1,2 |

Con las dosificaciones diarias para cada alternativa definidas a partir del balance de materia evidenciado en el Anexo I, se consolidan de la siguiente manera para las tres (3) alternativas desarrolladas:

Tabla 31. Dosis diaria para la Alternativa 1.

| | Insumo | Cantidad | Unidades |
|----------------------|----------------------|-----------------|-----------------|
| Coagulante | ULTRAFLOC 100 | 335,49 | kg/día |
| Floculante | RAPISED 1084 | 30,49 | kg/día |
| Desinfectante | HIPOCLORITO DE SODIO | 2,37 | l/día (15%) |

En la tabla 31 se presentan las dosificaciones de la alternativa 1 para tratar un caudal de agua cruda de 30.499.200 l/día. Estas dosis calculadas se multiplican por 30 días y posteriormente por 12 meses lo que permite obtener la dosis anual. Se obtiene una dosis de 120.776,83 kg del coagulante Ultrafloc 100, 10.979,71 kg de Rapised 1084 y 854,02 l de Hipoclorito de sodio al 15%. En el Anexo J se presenta la cotización para el coagulante y floculante que son empleados en esta alternativa y con base en el costo de los químicos del Anexo K de la empresa, se tiene un costo de \$1.706,1 por cada kg de coagulante, \$17.794 por cada kg de floculante y \$2.140,0 por cada l de hipoclorito de sodio al 15%; con lo cual se puede calcular el costo anual al emplear la alternativa 1, el cual se muestra en la tabla 32 obteniendo un valor de \$ 403.255.053,2 por año sin tener en cuenta el IVA, al tener en cuenta

el impuesto sobre el valor agregado que corresponde a una tarifa general del 16% tiene un costo anual de \$ 467.775.861,7.

Tabla 32. Costo insumos alternativa 1.

| | Ultrafloc 100 | Rapised 1084 | Hipoclorito de sodio 15% | |
|--------------------------|----------------------|---------------------|---------------------------------|-------------------------|
| Unidades | kg | kg | l | |
| Costo | \$1.706,1 | \$17.794,0 | \$2.140,0 | |
| Cantidad diaria | 335,49 | 30,50 | 2,37 | |
| Cantidad anual | 120.776,83 | 10.979,71 | 854,02 | |
| Costo antes IVA | \$ 206.054.454,4 | \$ 195.372.995,3 | \$ 1.827.603,4 | \$ 403.255.053,2 |
| Costo despues IVA | \$ 239.023.167,1 | \$ 226.632.674,6 | \$ 2.120.020,0 | \$ 467.775.861,7 |

Para la segunda alternativa desarrollada se emplea como coagulante un polímero anionico Ultrafloc 110, un floculante aniónico Rapised 1084 y desinfectante hipoclorito de sodio. Del mismo modo, se calculan los requerimientos de cada uno de estos insumos para tratar 30.499.200 l/día y se evidencian en la tabla 33.

Tabla 33. Dosis diaria para la Alternativa 2.

| | Insumo | Cantidad | Unidades |
|----------------------|----------------------|-----------------|-----------------|
| Coagulante | ULTRAFLOC 110 | 365,99 | kg/día |
| Floculante | RAPISED 1084 | 15,25 | kg/día |
| Desinfectante | HIPOCLORITO DE SODIO | 1,36 | l/día (15%) |

Con base en la tabla 33, se procede a calcular los requerimientos anuales multiplicando la dosis de coagulante, floculante y desinfectante por 30 días y 12 meses, obteniendo anualmente 131.756,54 kg de Ultrafloc 110, 5.489,86 kg de Rapised 1084 y 488,01 l de Hipoclorito de sodio al 15%. Se tiene un costo de de \$2.688,9 por cada kg de coagulante, \$17.794 por cada kg de floculante y \$2.140,0 por cada L de hipoclorito de sodio al 15%, dichos valores se evidencian en el Anexo H con la cotización realizada en PQP y en el Anexo K se presenta el costo de químicos empleados por la empresa, lo que permite calcular un costo anual para la alternativa de \$ 525.490.330,4 incluyendo el impuesto sobre el valor agregado, los cuales se señalan en la tabla 34.

Tabla 34. Costo insumos alternativa 2.

| | Ultrafloc 110 | Rapised 1084 | Hipoclorito de sodio 15% | |
|--------------------------|----------------------|---------------------|---------------------------------|-------------------------|
| Unidades | kg | kg | l | |
| Costo | \$ 2.688,9 | \$ 17.794,0 | \$ 2.140,00 | |
| Cantidad diaria | 365,99 | 15,25 | 1,36 | |
| Cantidad anual | 131.756,54 | 5.489,86 | 488,01 | |
| Costo antes IVA | \$ 354.278.063,1 | \$ 97.686.497,7 | \$ 1.044.344,8 | \$ 453.008.905,5 |
| Costo despues IVA | \$ 410.962.553,1 | \$ 113.316.337,3 | \$ 1.211.440,0 | \$ 525.490.330,4 |

En el desarrollo de la tercera alternativa, se usa como coagulante policloruro de aluminio Ultrafloc 200, un floculante aniónico Rapised 1084 y como desinfectante hipoclorito de sodio al 15%. Para lo cual se calculan los requerimientos diarios para tratar 30.499.200 l/día con dichos insumos, los cuales se consolidan en la tabla 35.

Tabla 35. Dosis diaria para la Alternativa 3.

| | Insumo | Cantidad | Unidades |
|----------------------|----------------------|-----------------|-----------------|
| Coagulante | ULTRAFLOC 200 | 579,48 | kg/día |
| Floculante | RAPISED 1084 | 15,25 | kg/día |
| Desinfectante | HIPOCLORITO DE SODIO | 2,03 | l/día (15%) |

Con los requerimientos diarios para los insumos de la tabla 35, se procede a calcular las cantidades anuales multiplicando por 12 meses y por 30 días.

El Anexo H presenta la cotización realizada a la empresa PQP para calcular el costo por kilogramo de Ultrafloc 200 (\$ 1.623,5) y de Rapised 1084 (\$ 17.794) y en el Anexo K el costo de químicos empleados por EAAAZ donde cada litro de hipoclorito de sodio al 15% tiene un costo de \$2.140,0, lo cual permite calcular el costo anual al emplear los insumos de la alternativa 3 de \$437.934.528,8; costo al cual se le incrementa el impuesto sobre el valor añadido dando un total de \$ 508.004.053,4.

Tabla 36. Costo insumos alternativa 3.

| | Ultrafloc 200 | Rapised 1084 | Hipoclorito de sodio 15% | |
|--------------------------|----------------------|---------------------|---------------------------------|-------------------------|
| Unidades | kg | kg | l | |
| Costo | \$ 1.623,5 | \$ 17.794,0 | \$ 2.140,00 | |
| Cantidad diaria | 579,48 | 15,25 | 2,03 | |
| Cantidad anual | 208.614,53 | 5.489,86 | 732,02 | |
| Costo antes IVA | \$ 338.681.513,9 | \$ 97.686.497,7 | \$ 1.566.517,2 | \$ 437.934.528,8 |
| Costo despues IVA | \$ 392.870.556,1 | \$ 113.316.337,3 | \$ 1.817.160,0 | \$ 508.004.053,4 |

Las alternativas presentadas, tienen diferentes cantidades de coagulante, floculante y desinfectante, sin embargo, las tres cumplen con la reglamentación nacional donde es relevante el decreto 1575 y la Resolución 2115; los parámetros hierro, color, pH y turbiedad son determinantes en el proceso y se encuentran en los rangos establecidos.

En la planta regional de la Empresa de Acueducto, Alcantarillado y Aseo de Zipaquirá, para agua cruda con las siguientes características:

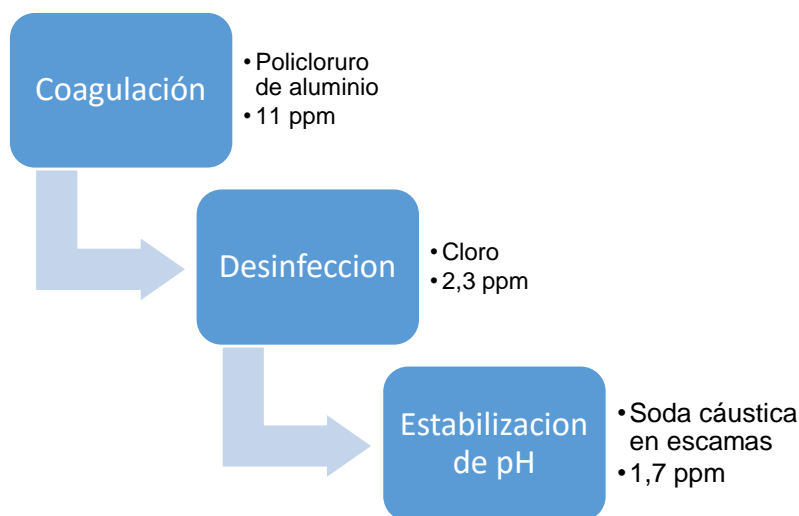
- a. Turbiedad 12 UNT
- b. Hierro 1,22 mg/l
- c. pH 7,22
- d. Alcalinidad 11 mg CaCO₃/l
- e. Color 19 UPC

Se realiza un test de jarras para determinar las cantidades de los insumos actuales, y poder tratar un caudal de 353 l/s, dando como resultados los valores presentados en la figura 24.

De tal manera que el agua tratada con dichas cantidades se encuentre de acuerdo a los parámetros establecidos por el decreto 2115 del 2007, haciendo ésta agua apta para el consumo humano con las siguientes características:

- a. Turbiedad 0,35 UNT
- b. Hierro 0,10 mg/l
- c. pH 7,26
- d. Color 4 UPC

Figura 24. Cantidades de insumos empleados actualmente en el proceso.



Con las dosificaciones obtenidas, se calcula el costo para el proceso de potabilización actual con base en el Anexo K, donde se indican los valores para los químicos empleados en la planta, obteniendo un valor de \$548.327.915,3 y con el impuesto al consumo se tiene un valor total de \$ 636.060.381,7, que se presentan en la tabla 37.

Tabla 37. Dosificación y costos de insumos actual.

| | Policloruro de aluminio | Cloro gaseoso | Soda en escamas | |
|--------------------------|--------------------------------|----------------------|------------------------|-------------------------|
| UNIDADES | Kg | Kg | Kg | |
| COSTO | \$3.050,00 | \$4.687,00 | \$3.300,00 | |
| CANTIDAD DIARIA | 335,49 | 70,1482 | 51,8486 | |
| CANTIDAD ANUAL | 120776,832 | 25253,3376 | 18665,5104 | |
| COSTO ANTES IVA | \$368.369.337,60 | \$118.362.393,33 | \$61.596.184,32 | \$548.327.915,25 |
| COSTO DESPUES IVA | \$427.308.431,62 | \$137.300.376,26 | \$71.451.573,81 | \$636.060.381,69 |

Con base en las tablas 32, 34 y 36 se realiza un consolidado sobre los costos para las alternativas presentadas y se compara con el costo actual evidenciado en la tabla 38. Dichos valores se presentan en la tabla 38.

Tabla 38. Consolidado de costos para las alternativas.

| | Antes de IVA | Después de IVA |
|-------------------------|---------------------|-----------------------|
| Alternativa 1 | \$ 403.255.053,2 | \$ 467.775.861,7 |
| Alternativa 2 | \$ 453.008.905,5 | \$ 525.490.330,4 |
| Alternativa 3 | \$ 437.934.528,8 | \$ 508.004.053,4 |
| Insumos actuales | \$ 548.327.915,3 | \$ 636.060.381,7 |

Cambiando el coagulante y desinfectante, e implementando el floculante aniónico en el proceso, la alternativa que tiene un menor costo para tratar un caudal promedio de 30.499.200 l/día es la alternativa 1, donde se emplea 11ppm de Ultrafloc 100, 1ppm de Rapised 1084 y 1,4ppm de hipoclorito de sodio, con un costo anual de \$467.775.861,7, seguida de la alternativa 3 con un costo de \$508.004.053,4 usando 19ppm de Ultrafloc 200, 0,5ppm de Rapised 1084 e hipoclorito de sodio (0,8ppm) y finalmente la alternativa 2 con 12ppm de Ultrafloc 110, 0,5ppm de Rapised 1084 y 1,2ppm de hipoclorito de sodio con un costo anual de \$525.490.330,4.

En la tabla 38 se observa que las tres alternativas planteadas presentan un menor costo que el presentado por la línea de insumos actual, por lo que cualquiera de las 3 alternativas puede traer beneficios económicos a la empresa y por consiguiente la estabilidad e inclusive la disminución de las tarifas en pro de la sociedad.

10. CONCLUSIONES

- Por medio del diagnóstico del estado actual de la planta de potabilización regional se concluye que el tratamiento se basa en las operaciones unitarias de coagulación, floculación, filtración, desinfección y estabilización de pH y con los insumos empleados en las diferentes etapas se puede obtener agua con una turbiedad de 0.35 UNT, hierro 0,10 mg/l, pH 7.26 y color 4 UPC, por lo tanto, cumple con los estándares establecidos por la normatividad nacional.
- En el proceso de potabilización se contemplan las etapas de coagulación, floculación, desinfección y estabilización; se analizaron diferentes coagulantes donde los parámetros determinantes tales como hierro, turbiedad, pH y color presentaron mayor remoción para el Ultrafloc 100, 110 y 200; en la etapa de floculación se empleó un floculante aniónico debido a que era el único que se ajustaba al pH del agua cruda (7.01), para la etapa de desinfección se empleó hipoclorito de sodio donde el pH resultante de ésta etapa para las alternativas en promedio es de 7,646 el cual se encuentra de acuerdo al establecido según la norma, y no se hace necesaria la etapa de estabilización de pH.
- Las etapas del proceso de potabilización se llevan a cabo en condiciones ambientales, por lo tanto, las alternativas presentadas modifican los insumos empleados y al realizar dichas modificaciones en coagulación, floculación y desinfección se puede obtener agua con un color para las alternativas 1,2 y 3 de 2 UPC, 1 UPC y 1 UPC respectivamente, los cuales son menores que el presentado con los insumos actuales ya que es de 4 UPC. Por esto, las alternativas brindan una mayor remoción de color y los demás parámetros analizados se encuentran de acuerdo a la norma; lo cual indica una ventaja operativa.
- Con respecto al costo de los insumos empleados actualmente, se puede decir que las tres alternativas presentan una ventaja económica. Ya que el costo de los insumos actuales es de \$ 636.060.381,7; y el costo de la alternativa 1 es de \$467.775.861,7, de la alternativa 2 es de \$525.490.330,4 y finalmente la alternativa 3 de \$508.004.053,4; teniendo en cuenta que los costos presentados permiten tratar un caudal diario de 30.499,2 m³

11. RECOMENDACIONES

- Realizar habitualmente análisis de pruebas de jarras para verificar la dosificación de los químicos empleados en las etapas de tratamiento, ya que las condiciones del agua no permanecen constantes y la dosis de los insumos pueden variar y dar como resultado agua que no cumple con los criterios establecidos para ser considerada como potable.
- Se recomienda como mecanismo de emergencia la adquisición de una planta generadora de energía eléctrica con el fin de garantizar el tratamiento y suministro de agua potable, y para llevar a cabo los ensayos de jarras sin ningún inconveniente.
- Elaborar un manual de operación y mantenimiento donde se consigne la información relacionada con planos, diseños, memorias y los procedimientos involucrados en el sistema de potabilización de la EAAZ.
- Se hace necesario que la planta cuente con un sistema de medición para tener mayor precisión del caudal a tratar y la cantidad de insumos a añadir.
- Realizar un mantenimiento continuo de las tuberías que conducen el agua tratada desde la planta de tratamiento hasta las redes domiciliarias, para asegurar y garantizar su calidad.
- Se recomienda dar mantenimiento mensual al dispositivo de dosificación de coagulante para evitar un incorrecto funcionamiento debido a que suelen haber impurezas en el dosificador que puede afectar su trabajo.
- Si la empresa desea implementar alguna de las alternativas propuestas, se hace necesario realizar un ensayo piloto para ajustar las dosis de los insumos, las cuales no deben variar mucho de las obtenidas previamente; puesto que las pruebas de laboratorio proporcionan información sobre las dosis más adecuadas para el tratamiento del agua, pero cuando estos datos se trasladan a la práctica en la planta de tratamiento generalmente no se obtienen efluentes de la misma calidad, ya que es muy difícil reproducir en el laboratorio los factores ambientales, las condiciones hidráulicas y la dinámica de los fluidos en la planta de tratamiento.
- Para posteriores análisis es necesario recolectar un mayor volumen de agua cruda para la realizar los ensayos de una forma repetitiva y así lograr una mayor confiabilidad en los resultados obtenidos.
- Es necesario realizar una inversión en equipos y material de laboratorio para tener un mejor control en del proceso de potabilización que garantice que el agua

suministrada a la población esté libre de impurezas que puedan tener efectos adversos sobre la salud.

- Se recomienda realizar un estudio de costos del equipo necesario para implementar una la nueva línea de insumos, que incluya un sistema automático de preparación y dosificación de polímeros (floculante viscoso).
- Se recomienda realizar un estudio sobre los trihalometanos (subproductos) que se forman en el agua por la combinación de materia orgánica y el cloro empleado en la etapa de desinfección.

BIBLIOGRAFÍA

ALCALDÍA DE COGUA-CUNDINAMARCA. Nuestro Municipio [en línea] http://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:pv1gjBaTR10J:www.cogua-cundinamarca.gov.co/informacion_general.shtml+&cd=2&hl=es&ct=clnk&gl=co [Citado el 28 de Marzo del 2016].

ALCALDÍA DE NEMOCÓN-CUNDINAMARCA. Nemocón Somos Todos [en línea] <http://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:Lgho8VpRY1UJ:www.nemocon-cundinamarca.gov.co/+&cd=1&hl=es&ct=clnk&gl=co#7> [Citado el 28 de Marzo del 2016].

ARBOLEDA VALENCIA, Jorge. Teoría y práctica de la purificación del agua, Tomo 1, Editorial Mc Graw Hill-Interamericana, 3a Edición, Bogotá, Colombia, 2000, p.99-110.

BIBLIOTECA DIGITAL ILCE. El agua y la vida [en línea] http://bibliotecadigital.ilce.edu.mx/sites/ciencia/volumen2/ciencia3/102/html/sec_6.html [Citado el 29 de Marzo del 2016].

BUENO ZABALA, Karen Alejandra. Evaluación del proceso de estabilización del pH del agua tratada del Río Cauca. Cali, 2014. Trabajo de Investigación (Ingeniera Sanitaria). Universidad del Valle. Facultad de Ingeniería. Disponible en <http://bibliotecadigital.univalle.edu.co/bitstream/10893/7650/1/7720-0446364.pdf>

FIGUEREDO, Eliana y CASTIBLANCO, Katherine. Séptimo decálogo Interamericano sobre la gestión del agua. Medellín, 2011. Enfrentando Retos y Necesidades. Universidad Libre. Disponible http://d7.iwrn.org/documentos/documentostematicos/enfrentando_retos_y_necesidades_Ulibre.pdf [Citado el 28 de Marzo del 2016].

GRAU RÍOS, Mario y MUÑOZ CAMACHO, Eugenio. La Hidrosfera Como Materia Prima: Obtención Del Agua y Obtención De Sales. En: [Anónimo] Ingeniería Química. UNED, 2013. ISBN 8436266420, 9788436266429

HENRY, Glynn y HEINKE, Gary. Abastecimiento De Agua. En: [Anónimo] Ingeniería Ambiental. 1999.

INGENIERÍA DE TRATAMIENTO Y ACONDICIONAMIENTO DE AGUAS. Separación de sólidos suspendidos por sedimentación [en línea] <http://www.oocities.org/edrochac/sanitaria/sedimentacion3.pdf> [Consultado el 4/10/2016].

INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACIÓN. Documentación. Presentación de tesis, trabajos de grado, trabajos de investigación NTC-1486. Sexta actualización. Bogotá D.C.: El Instituto, 1998. p.1

_____. Referencias bibliográficas, contenido, formas y estructura. (NTC 4490) Bogotá D.C: El Instituto, 1998. p.2.

_____. Referencias bibliográficas, contenido, formas y estructura. (NTC 5613) Bogotá D.C: El Instituto, 1998. p.1-2.

LENNTECH. Introducción a la desinfección del agua [en línea] <http://www.lennotech.es/productos-quimicos-tratamiento-agua.htm#Desinfectantes> [Citado el 10 de Abril del 2016].

MANCIPE, Néstor y WOLF, Andrea. Evaluación de la floculación lastrada en aguas residuales domésticas. Bogotá: Universidad de la Salle, 2005.

MINISTERIO DE LA PROTECCIÓN SOCIAL, MINISTERIO DE AMBIENTE, VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL. Resolución 2115 de 2007. República de Colombia. [En línea] <http://www.minproteccionsocial.gov.co/VBeContent/NewsDetail.asp?ID=16364&IDCompany=3> [Citado el 10 de Marzo de 2016].

NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES El Agua Potables segura es Esencial. [en línea] <http://www.koshland-science-museum.org/water/html/es/Treatment/Chemical-Disinfection-Oxidants-technologies.html#tech0> [Citado el 11 de Abril del 2016]

OPS/CEPIS/PUB/04.109.Tratamiento de agua para consumo humano [en línea] http://www.bvsde.paho.org/bvsatr/fulltext/tratamiento/manual/tomol/ma1_tomo1_in_dice.pdf [Consultado el 4/10/2016].

ORGANIZACIÓN COLPARQUES. Embalse del Neusa-Colparques [en línea] <http://www.colparques.net/NEUSA> [Citado el 28 de Marzo del 2016].

PALACIOS SIERRA, Andrés Ricardo. Inventario documentado de represas en Colombia. Bogotá,2013. Trabajo de Grado (Ingeniero Civil). Universidad Militar Nueva Granada. Facultad de Ingeniería. Disponible <http://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:http://repository.unimilitar.edu.co/bitstream/10654/11360/1/PalaciosSierraRicardoAndres2013.pdf>

PROGRAMA COOPERATIVO GUBERNAMENTAL FAO. Avances en el manejo y aprovechamiento Acuicola de embalses en América Latina y el Caribe [en línea] <http://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:KeYTumgk0CoJ:www.fao.org/docrep/field/003/ab488s/AB488S05.htm+&cd=1&hl=es-419&ct=clnk&gl=co> [Citado el 28 de Marzo del 2016].

PROTECT, Hipoclorito de Sodio [en línea] <http://www.pqs.org/espa.htm> [Citado el 11 de Abril del 2016].

PROYECTO DE GESTIÓN INTEGRADA Y PLAN MAESTRO DE LA CUENCA DEL RÍO PILCOMAYO. Monitoreo de la contaminación minera y de medio ambiente de la Cuenca del Río Pilcomayo. [en línea] http://www.pilcomayo.net/media/biblioteca/libro_700_MA-069.pdf [Citado el 10 de Abril de 2016].

ROMERO ROJAS, Jairo Alberto. Calidad Del Agua. Tercera edición. Bogotá: Escuela Colombiana de Ingeniería, 2009. ISBN 9789588060

SEDAPAL. Evaluación de Platas y Desarrollo Tecnológico. TRATAMIENTO DE AGUA: COAGULACIÓN FLOCULACIÓN [en línea] <http://www.sedapal.com.pe/c/document_library/get_file?uuid=2792d3e3-59b7-4b9e-ae55-56209841d9b8&groupId=10154> [Citado el 29 de Marzo de 2016]

XXII CONGRESO DE CENTROAMERICA Y PANAMA DE INGENIERIA SANITARIA Y AMBIENTAL “SUPERACION SANITARIA Y AMBIENTAL: EL RETO”. Potabilización con diferentes coagulantes de aluminio y hierro [en línea] <http://www.bvsde.paho.org/bvsaidis/centroa22/Ponencia18.pdf>,p.4-5 [Citado el 10 de Abril de 2016].

VELASQUEZ RESTREPO, Jesus Salvador. Propuesta para el mejoramiento del sistema de tratamiento de agua de la Empresa de Servicios Públicos Tribunas Córcega E.S.P. en los procesos de coagulación, filtración y desinfección. Pereira,2008. Proyecto de Grado (Químico Industrial). Universidad Tecnológica de Pereira. Facultad de Tecnologías. Disponible en el catálogo en línea de la Universidad Tecnológica de Pereira <http://repositorio.utp.edu.co/dspace/handle/11059/1680>.

ZIPAQUIRÁ TURÍSTICA. Nuestra historia [en línea] <http://www.zipaquiraturistica.com/zipa/index.php/es-ES/historia> [Citado el 28 de Marzo del 2016].

ANEXOS

**ANEXO A.
PROMEDIOS HISTÓRICOS**

Tabla 39. Promedio datos históricos agua cruda.

| AGUA CRUDA | PARAMETRO | UNIDADES | ADMISIBLE | AÑO 2014 | | | | | | | | | | | |
|-------------|-------------|-----------|-----------|----------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | | | | ENE | FEB | MAR | ABR | MAY | JUN | JUL | AGO | SEPT | OCT | NOV | DIC |
| | pH | | 6.5 - 9.0 | 7,19 | 7,30 | 7,14 | 7,16 | 7,09 | 7,35 | 6,78 | 6,94 | 7,17 | 7,28 | 7,26 | 7,18 |
| | COLOR | UPC | < 15 | 10,15 | 12,14 | 17,36 | 13,54 | 10,21 | 11,70 | 10,88 | 11,60 | 11,86 | 13,65 | 16,82 | 17,66 |
| | TURBIEDAD | UNT | < 2 | 1,54 | 1,78 | 4,62 | 2,84 | 2,56 | 1,54 | 1,66 | 1,79 | 1,75 | 1,63 | 4,05 | 2,65 |
| | HIERRO | mg/l Fe | 0,30 | 0,38 | 0,71 | 0,90 | 0,51 | 0,56 | 0,36 | 0,31 | 0,38 | 0,38 | 0,55 | 0,66 | 0,61 |
| | ALCALINIDAD | mg/l | 200,00 | 9,74 | 11,14 | 11,42 | 10,65 | 10,54 | 10,60 | 10,04 | 8,86 | 9,86 | 9,95 | 10,25 | 9,71 |
| | PARAMETRO | UNIDADES | ADMISIBLE | AÑO 2015 | | | | | | | | | | | |
| | | | | ENE | FEB | MAR | ABR | MAY | JUN | JUL | AGO | SEPT | OCT | NOV | DIC |
| | pH | | 6.5 - 9.0 | 6,90 | 6,82 | 6,78 | 6,74 | 6,93 | 6,89 | 6,95 | 6,96 | 6,88 | 6,80 | 6,79 | 6,76 |
| | COLOR | UPC | < 15 | 12,90 | 11,60 | 10,30 | 11,30 | 9,60 | 12,20 | 11,20 | 9,91 | 9,30 | 9,60 | 11,40 | 12,00 |
| | TURBIEDAD | UNT | < 2 | 1,25 | 1,16 | 1,29 | 2,41 | 1,84 | 1,13 | 1,58 | 1,61 | 1,50 | 1,73 | 1,65 | 1,99 |
| | HIERRO | mg/l Fe | 0,30 | 0,45 | 0,37 | 0,37 | 0,47 | 0,35 | 0,23 | 0,26 | 0,25 | 0,23 | 0,27 | 0,38 | 0,41 |
| | ALCALINIDAD | mg/l | 200,00 | 10,30 | 10,30 | 10,10 | 11,30 | 10,90 | 9,90 | 8,80 | 8,78 | 9,20 | 8,60 | 9,95 | 9,30 |
| | PARAMETRO | UNIDADES | ADMISIBLE | AÑO 2016 | | | | | | | | | | | |
| | | | ENE | FEB | MAR | | | | | | | | | | |
| pH | | 6.5 - 9.0 | 6,87 | 6,81 | 6,83 | | | | | | | | | | |
| COLOR | UPC | < 15 | 10,03 | 9,90 | 15,39 | | | | | | | | | | |
| TURBIEDAD | UNT | < 2 | 1,43 | 1,86 | 2,97 | | | | | | | | | | |
| HIERRO | mg/l Fe | 0,30 | 0,27 | 0,31 | 0,70 | | | | | | | | | | |
| ALCALINIDAD | mg/l | 200,00 | 8,63 | 8,90 | 11,00 | | | | | | | | | | |

Tabla 40. Promedio datos históricos agua potable.

| AGUA TRATADA | PARAMETRO | UNIDADES | ADMISIBLE | AÑO 2014 | | | | | | | | | | | |
|--------------|-------------|----------|-----------|----------|-------|------|-------|-------|-------|-------|------|------|------|-------|------|
| | | | | ENE | FEB | MAR | ABR | MAY | JUN | JUL | AGO | SEPT | OCT | NOV | DIC |
| | pH | | 6.5 - 9.0 | 7,29 | 7,37 | 7,16 | 7,17 | 7,20 | 7,26 | 6,78 | 6,96 | 7,22 | 7,14 | 7,33 | 6,94 |
| | COLOR | UPC | < 15 | 1,60 | 3,97 | 3,15 | 1,41 | 0,47 | 2,70 | 10,88 | 3,20 | 3,27 | 4,07 | 5,75 | 6,20 |
| | TURBIEDAD | UNT | < 2 | 0,40 | 0,67 | 0,79 | 0,40 | 0,35 | 0,29 | 1,66 | 0,42 | 0,39 | 0,47 | 0,66 | 0,83 |
| | HIERRO | mg/l Fe | 0,30 | 0,12 | 0,22 | 0,15 | 0,06 | 0,07 | 0,05 | 0,31 | 0,09 | 0,07 | 0,12 | 0,15 | 0,15 |
| | ALCALINIDAD | mg/l | 200,00 | 9,26 | 10,41 | 9,92 | 9,74 | 10,42 | 10,55 | 10,04 | 8,67 | 9,41 | 9,95 | 10,13 | 9,29 |
| | PARAMETRO | UNIDADES | ADMISIBLE | AÑO 2015 | | | | | | | | | | | |
| | pH | | 6.5 - 9.0 | 7,04 | 7,05 | 7,00 | 7,00 | 7,15 | 7,08 | 7,06 | 7,02 | 7,04 | 6,97 | 7,21 | 7,08 |
| | COLOR | UPC | < 15 | 4,80 | 3,08 | 2,70 | 3,10 | 3,60 | 4,40 | 5,70 | 4,13 | 3,80 | 3,70 | 5,30 | 5,50 |
| | TURBIEDAD | UNT | < 2 | 0,52 | 0,49 | 0,28 | 0,47 | 0,42 | 0,62 | 0,61 | 0,50 | 0,49 | 0,47 | 0,67 | 0,60 |
| | HIERRO | mg/l Fe | 0,30 | 0,11 | 0,09 | 0,09 | 0,10 | 0,10 | 0,11 | 0,10 | 0,09 | 0,07 | 0,08 | 0,13 | 0,13 |
| | ALCALINIDAD | mg/l | 200,00 | 10,10 | 10,40 | 9,70 | 10,70 | 10,50 | 9,90 | 9,70 | 9,17 | 9,32 | 9,10 | 9,58 | 9,05 |
| | PARAMETRO | UNIDADES | ADMISIBLE | AÑO 2016 | | | | | | | | | | | |
| | pH | | 6.5 - 9.0 | ENE | FEB | MAR | | | | | | | | | |
| COLOR | UPC | < 15 | 6,98 | 7,03 | 7,25 | | | | | | | | | | |
| TURBIEDAD | UNT | < 2 | 5,80 | 5,00 | 5,18 | | | | | | | | | | |
| HIERRO | mg/l Fe | 0,30 | 0,83 | 0,66 | 0,61 | | | | | | | | | | |
| ALCALINIDAD | mg/l | 200,00 | 0,13 | 0,11 | 0,15 | | | | | | | | | | |
| | | | 8,74 | 8,70 | 11,47 | | | | | | | | | | |

ANEXO B. MÉTODOS ANALÍTICOS (ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICO)

Para el total desarrollo de la prueba de jarras es necesario la determinación y medición de los siguientes parámetros, siguiendo el procedimiento que se presenta para cada uno de ellos.

DETERMINACIÓN DE TURBIEDAD

1. Encender el turbidímetro para medir las muestras.
2. Tomar una muestra representativa en un vaso precipitado y agitar.
3. Transvasar la muestra a la celda del equipo hasta el aforo (aproximadamente 30ml),
4. Tomar la celda por la tapa y agitar por inmersión para eliminar las burbujas de aire y limpiar la celda con el paño antiestático (color negro).
5. Colocar la celda dentro del compartimiento del equipo.
6. Esperar que aparezca el valor en la pantalla y registrar el valor de la pantalla.

Nota. La lectura debe hacerse rápido para evitar que las partículas pesadas se sedimenten.

Figura 25. Turbidímetro Merck Turbiquant 1500T.



DETERMINACIÓN DEL COLOR

1. Encender el equipo (fotómetro), para medir las muestras.
2. Seleccionar el método 137 que corresponde al de color.
3. Tomar una muestra representativa (mínimo 25 ml de muestra para cada determinación)
4. Transvasar la muestra a la celda del equipo.
5. Leer un blanco de agua destilada y luego la muestra.

6. La lectura es directa y los resultados se expresan como UPC (unidades platino cobalto)

Nota. La calibración del fotómetro se realiza mediante el blanco (agua destilada), cuando se cambie de método.

Figura 26. Fotómetro Merck SQ118.



DETERMINACIÓN DEL HIERRO

1. Encender el equipo (fotómetro), para medir las muestras.
2. Seleccionar el método 032 que corresponde al de hierro.
3. En un tubo de ensayo añadir 10ml del agua a analizar.
4. Al agua del tubo de ensayo añadir 6 gotas de indicador para hierro y dejar diluir por 3 minutos.
5. Leer un blanco de agua destilada y luego la muestra.
6. La lectura es directa y los resultados se expresan como mg/l

Nota. Para la medición del hierro en el agua cruda es necesario realizar una dilución añadiendo 5ml del agua cruda y 5 ml de agua destilada con el fin de que el fotómetro pueda leer la cantidad de hierro. El resultado arrojado se multiplica por el factor de dilución (para todos los casos es 2)

DETERMINACIÓN DE LA ALCALINIDAD

1. Añadir 100ml de agua a analizar en un Erlenmeyer.
2. Agregar 3 gotas de indicador tashiro (presenta coloración verde)
3. Con agitación constante titular bajo una bureta con solución de H_2SO_4 0,02N gota a gota, hasta que cambie a color rosa.
4. Anotar el volumen de ácido empleado desde el inicio de la determinación hasta el final (consumo total de ácido).

Cálculo

$$\text{Alcalinidad} \left(\frac{\text{CaCO}_3}{l} \right) = \frac{A * N * 50000}{ml \text{ de muestra}}$$

Dónde: A= ml utilizados del ácido (volumen final-volumen inicial)
 N= Normalidad del ácido sulfúrico (N=0,02)

Figura 27. Titulación



DETERMINACIÓN DEL pH

1. Tomar una muestra representativa en un vaso de precipitado de 100ml.
2. Lavar el electrodo con agua destilada e introducirlo en la muestra.
3. Presionar el botón de encendido y el botón Read y esperar a que se estabilice la lectura.
4. Leer directamente en el pHmetro y expresar en unidades de pH.

Nota. Después de cada lectura, lavar con agua destilada, sumergir el electrodo en KCl 3M y apagar el equipo.

Figura 28. pHmetro.



En el análisis fisicoquímico se mide el tamaño de flóculos mediante el índice de floculación de Willcomb como se observa en la tabla 41.

Tabla 41. Determinación del índice de Willcomb.

| Índice | Descripción |
|---------------|---|
| 0 | Floc coloidal. Ningún signo de aglutinación |
| 2 | Visible. Floc muy pequeño, casi imperceptible para un observador no entrenado. |
| 4 | Disperso. Floc bien formado pero uniformemente distribuido. (Sedimenta muy lentamente o no sedimenta). |
| 6 | Claro. Floc de tamaño relativamente claro. Precipita con lentitud. |
| 8 | Bueno. Floc que se deposita fácil pero no completamente. |
| 10 | Excelente. Floc que se deposita todo dejando el agua cristalina. |

Fuente. Jorge Arboleda Valencia

ANEXO C. PREPARACIÓN DE REACTIVOS

PREPARACIÓN DE COAGULANTES (PRE-EXPERIMENTACIÓN)

Es importante tener en cuenta que para la selección del coagulante se realizó una pre-experimentación con 5 coagulantes donde su preparación se hizo con una concentración del 1% de la siguiente manera:

• Sulfato de aluminio sólido (1%p/v)

1. Pesar 1g de Sulfato de Aluminio tipo A (sólido).
2. Disolver el sulfato de aluminio en 100ml de agua destilada y agitar.
3. Dejar reposar 5 minutos antes de utilizar.

• Sulfato de aluminio líquido (1%v/v)

1. Pesar 1g de Sulfato de Aluminio tipo A (líquido).

Nota. Se debe tener en cuenta la densidad para saber los ml de Sulfato de aluminio líquido que corresponden a 1g. $\rho = 1,32\text{g/ml}$

$$\rho = \frac{m}{v} \rightarrow v = \frac{m}{\rho} \rightarrow v = \frac{1\text{g}}{1,32\text{g/ml}} = 0,76\text{ml}$$

2. Disolver 0,76ml de sulfato de aluminio en agua destilada llevándola hasta 100ml y agitar.
3. Dejar reposar 5 minutos antes de utilizar.

• Ultrafloc 100

1. Pesar 1g de policloruro de aluminio líquido (Ultrafloc 100)

Nota. Se debe tener en cuenta la densidad para saber los ml de Ultrafloc 100 líquido que corresponden a 1g. $\rho = 1,30\text{g/ml}$

$$\rho = \frac{m}{v} \rightarrow v = \frac{m}{\rho} \rightarrow v = \frac{1\text{g}}{1,30\text{g/ml}} = 0,77\text{ml}$$

2. Disolver 0,77ml de Ultrafloc 100 en agua destilada llevándola hasta 100ml y agitar.
3. Dejar reposar 5 minutos antes de utilizar.

• **Ultrafloc 200**

1. Pesar 1g de policloruro de aluminio líquido (Ultrafloc 200)

Nota. Se debe tener en cuenta la densidad para saber los ml de Ultrafloc 200 líquido que corresponden a 1g. $\rho = 1,19\text{g/ml}$

$$\rho = \frac{m}{v} \rightarrow v = \frac{m}{\rho} \rightarrow v = \frac{1\text{g}}{1,19\text{g/ml}} = 0,84\text{ml}$$

2. Disolver 0,84ml de Ultrafloc 200 en agua destilada llevándola hasta 100ml y agitar.
3. Dejar reposar 5 minutos antes de utilizar.

• **Ultrafloc 300**

1. Pesar 1g de policloruro de aluminio líquido (Ultrafloc 300)

Nota. Se debe tener en cuenta la densidad para saber los ml de Ultrafloc 300 líquido que corresponden a 1g. $\rho = 1,33\text{g/ml}$

$$\rho = \frac{m}{v} \rightarrow v = \frac{m}{\rho} \rightarrow v = \frac{1\text{g}}{1,33\text{g/ml}} = 0,75\text{ ml}$$

2. Disolver 0,75 ml de Ultrafloc 300 en agua destilada llevándola hasta 100ml y agitar.
3. Dejar reposar 5 minutos antes de utilizar.

• **Ultrafloc 110**

1. Pesar 1g de polímero catiónico de mediano peso molecular (Ultrafloc 110)

Nota. Se debe tener en cuenta la densidad para saber los ml de Ultrafloc 110 líquido que corresponden a 1g. $\rho = 1,30\text{g/ml}$

$$\rho = \frac{m}{v} \rightarrow v = \frac{m}{\rho} \rightarrow v = \frac{1\text{g}}{1,30\text{g/ml}} = 0,77\text{ml}$$

2. Disolver 0,77ml de Ultrafloc 100 en agua destilada llevándola hasta 100ml y agitar.
3. Dejar reposar 5 minutos antes de utilizar.

VOLUMEN ADICIONADO A CADA JARRA

Coagulantes

Para la pre-experimentación se adicionan a las jarras concentraciones de los diferentes coagulantes de 10 a 60ppm teniendo en cuenta la concentración inicial que es 1% (10000ppm) y el volumen de cada jarra que es de 1000ml,

$$V_2 = \frac{1000ml * 10ppm}{10000ppm} = 1ml$$

Esta fórmula es aplicable para todas las diferentes de coagulantes tanto en la pre-experimentación como en la experimentación.

Floculante

En el desarrollo experimental se añaden dosis crecientes de floculante Rapised 1084 de 0,5, 1,0, 1,5, 2,0 y 2,5ppm en cada una de las pruebas de jarras teniendo en cuenta la concentración inicial del 0,1%(1000ppm) y el volumen de cada jarra de 1000ml.

$$V_2 = \frac{1000ml * 0,5ppm}{1000ppm} = 0,5 ml$$

Para conocer los demás volúmenes a añadir se realiza el mismo cálculo.

Desinfectante

Una vez diluido el hipoclorito de sodio para obtenerlo en una concentración del 0,1% (1000ppm) se adiciona el volumen requerido en un intervalo de 0,2 a 2ppm, con incrementos constantes de 2 unidades, para saber el volumen que se añade según la concentración en ppm, se tiene en cuenta que una vez filtrada el agua después de la prueba de jarras se toma en cada vaso precipitado una muestra de 200ml.

$$V_2 = \frac{200ml * 0,2 ppm}{1000ppm} = 0,04 ml$$

PREPARACIÓN DE INSUMOS (EXPERIMENTACIÓN)

Para el desarrollo experimental de las tres (3) alternativas planteadas se prepararon soluciones al 1% para los coagulantes: Ultrafloc 100, Ultrafloc 110 y Ultrafloc 200, y para la demanda de cloro (hipoclorito de sodio); mientras que el floculante Rapised 1084 se preparó a una concentración del 0,1% de la siguiente manera.

Coagulantes

Soluciones madre al 10%

Se obtienen a partir de las muestras de Ultrafloc 100, 110 y 200, donde se tiene en cuenta la densidad de cada uno que son: 1,30 g/ml, 1,30g/ml y 1,19 g/ml, respectivamente. Se toman 77ml de Ultrafloc 100 y 110, y 84ml de Ultrafloc 200, colocando cada uno de los volúmenes en 3 balones aforados de 1000ml y se procede a disolver con agua filtrada hasta el aforo agitando vigorosamente.

***Nota.** Esta solución tendrá una duración de 15 días, después se desecha.*

• Ultrafloc 100,110 y 200 solución al 1%

Estas soluciones se obtienen tomando una alícuota de 10ml de la solución madre de cada coagulante, y se lleva a un volumen de 100ml con agua destilada en una probeta, se agita y se deja reposar unos 5 minutos antes de utilizarla

***Nota.** Esta solución se prepara diariamente, y luego de ser utilizada se desecha. El tiempo máximo de preservación de esta solución es de 8 horas.*

Floculante

• Solución de polímero aniónico (Rapised 1084) al 0.1%

Se pesa en la balanza analítica 0.5 g de la muestra de polímero y se coloca en un vaso con agua aforando a 500ml, luego se agita a 300rpm durante 4 minutos aproximadamente hasta obtener una solución uniforme y se deja reposar aproximadamente 1 hora como tiempo de maduración del floculante. De esta solución se toman los volúmenes a utilizar en las pruebas de jarras.

***Nota.** El tiempo de conservación es de una semana aproximadamente.*

Desinfectante

• Solución patrón hipoclorito de sodio al 1%.

El producto empleado para esta prueba se encontraba a una concentración inicial del 15% (150000ppm) por lo cual fue necesario realizar una dilución para llegar a una concentración del 1%(10000ppm) que significa que cada 100ml de solución contiene 1g de hipoclorito de sodio. La dilución se realizó de la siguiente manera:

$$V_1 * C_1 = V_2 * C_2$$

V_1 = Volumen de la solución de la concentración deseada (1%) a preparar (100ml)

C_1 = Concentración deseada del hipoclorito de sodio (1%)

V_2 = Volumen de la solución conocida al 15% que debe mezclarse con agua destilada

C_2 = Concentración conocida de hipoclorito de sodio (15%)

$$V_2 = \frac{V_1 * C_1}{C_2} = \frac{100ml * 10000ppm}{150000ppm} = 6,67ml$$

Entonces se debe agregar 6,67ml de hipoclorito de sodio comercial al 15% a una probeta y completar con agua destilada hasta 100ml para obtener solución de hipoclorito de sodio a 10000 ppm.

• **Solución de trabajo hipoclorito de sodio al 0,1%.**

Esta solución se obtiene tomando una alícuota de 1ml de la solución patrón de hipoclorito de sodio al 1%, y se lleva a un volumen de 10ml con agua destilada en una probeta.

ANEXO D. FICHAS TÉCNICAS



PRODUCTOS QUÍMICOS PANAMERICANOS S.A.
FICHA TÉCNICA.
POLICLORURO DE ALUMINIO

FT-CC-49
Versión 2
Página 1 de 1

1. ASPECTOS GENERALES.

PROPIEDADES: Nombre comercial ULTRAFLOC 100, 200, 300 y PAC006. Polímero Catiónico inorgánico.

CONTENIDO NETO: No aplica.

USOS:

Tratamiento de agua potable: polímeros cationicos inorgánicos, utilizados como coagulantes o ayudantes de coagulación. Excelente funcionamiento en operaciones de sedimentación por gravedad, cuando se requiere una rápida sedimentación.

Pulpa y papel: ampliamente utilizado para el tratamiento de aguas primarias y aguas efluentes. Solo o en combinación con polímeros orgánicos actúa como barredor de carga aniónica, como agente de retención-drenaje y para promotor de encolado.

Otros: en la industria textil, cerámica, extracción del petróleo.

BONDADES Y/O VENTAJAS DEL PRODUCTO:

Por sus características poliméricas, en aguas con muy alta turbiedad, reduce la producción de lodos por su alta capacidad de compactación.

En combinación con polímeros orgánicos, resulta un coagulante muy efectivo para aguas de pozo con altos contenidos de color y hierro.

Productos con certificación NSF/ANSI Standard 60 - Drinking Water Treatment Chemicals - Health Effects que los avala como productos aptos para el uso en el tratamiento de aguas para consumo humano.

2. ESPECIFICACIONES TÉCNICAS.

(Propiedades fisicoquímicas y/o microbiológicas).

| PROPIEDADES | VALOR Ultrafloc 100 | VALOR Ultrafloc 200 | VALOR Ultrafloc 300 | VALOR PAC006 |
|---|---------------------|---------------------|---------------------|--------------|
| Apariencia | Líquido | Líquido | Líquido | Sólido |
| Densidad a 20°C, Kg/L | 1,30 ± 0,02 | 1,19 ± 0,02 | 1,33 ± 0,02 | N.A |
| Contenido de Al ₂ O ₃ , % | 19,0 ± 1,0 | 10,0 ± 0,5 | 20,0 ± 0,5 | 30,0 ± 1,0 |
| Turbiedad. NTU max | 50 | 50 | 50 | N.A |
| Basicidad % | >70 | 50-70 | >70 | 75-90 |

3. RECOMENDACIONES

PRECAUCIONES PARA EL USO:

Estos productos deben ser manejados como ligeramente corrosivos, utilice guantes de caucho, gafas de seguridad, overol y protección respiratoria durante su manejo.

DOSIS DE APLICACIÓN: Debido a las diferentes características de las aguas a clarificar o lodos por

deshidratar es necesario determinar la dosis específica para cada caso, en el laboratorio o en la planta. Para tratamiento de agua potable la dosis máxima de estos productos es de 141 mg/L.

A temperatura ambiente son completamente estables. Evite que alcance temperaturas mayores a 40°C, a las cuales el producto comienza a ser inestable.

Para mayor información, por favor consultar la hoja de seguridad de los productos.

4. EMPAQUE Y TRANSPORTE.

En presentación líquida son distribuidos a granel mediante carro tanques, en contenedores plásticos de 1000 Kg o en tambores de 55 galones (250 Kg aprox).

En presentación sólida es comercializado en sacos de 25 kilogramos.

Estos productos están clasificados como sustancias químicas peligrosas, por lo tanto están regulados para el transporte terrestre por el decreto 1609 de 2002.

UN 1760

Clase: 8 corrosivo

5. ALMACENAMIENTO.

Estos productos deben ser almacenados en lugares frescos, secos y ventilados. El producto sólido debe ser además almacenado en bodegas cubiertas protegidas de la intemperie.

6. DATOS DEL FABRICANTE: Este producto es fabricado y comercializado por Productos Químicos Panamericanos S.A. Plantas:

Jamundi: dirección, Km 28 Vía Cali- Popayán. Teléfono: (2) 590 17 17 – 591 86 86.

Tocancipá: dirección, Km 42 carretera al norte. Teléfono: (1) 857 43 66- 857 46 07.

Girardota: dirección, Km 22 autopista norte. Teléfono: (4) 289 10 12

Barranquilla: Carrera 67 (Carretera a Eternit) N° Vía 40-437 Zona Industrial La Loma No. 3. Tel (5) 368 67 13/ (5) 368 57 14

7. NOTIFICACIÓN

OBLIGATORIA:

No

SANITARIA

aplica.



PRODUCTOS QUÍMICOS PANAMERICANOS S.A.
FICHA TÉCNICA.
SULFATO DE ALUMINIO SÓLIDO.

FT-CC-12
 Versión 1
 Página 1 de 1

1. ASPECTOS GENERALES.

PROPIEDADES: Nombre comercial: *Sulfato de Aluminio*
 Nombre químico: *Sulfato de Aluminio hidratado*. El producto es *granulado*, soluble en agua, inodoro, de sabor astringente y ligeramente dulce.

CONTENIDO NETO: No aplica.

USOS:

- Tratamiento de agua potable
- Tratamiento de aguas residuales
- Tratamiento de piscinas
- Pulpa y papel
- Industrial del azúcar
- Industrial del petróleo
- Otros como: coagulante en la manufactura de caucho sintético de butadieno estireno, purificación de la glicerina, explotación de pozos, elaboración de polvo químico seco para extintores, agente clarificante de aceites, etc.

BONDADES Y/O VENTAJAS DEL PRODUCTO:

El sulfato de aluminio sólido es uno de los productos más usados en la industria del papel y en tratamiento de aguas, su carácter ácido y su ingrediente activo le confieren propiedades bacteriostáticas y alguicidas, además al ser una sal metálica, reacciona formando floculos de hidróxidos de aluminio al contacto con la alcalinidad de las aguas a tratar, facilitando su limpieza.

2. ESPECIFICACIONES TÉCNICAS.
 (Propiedades fisicoquímicas y/o microbiológicas).

| PROPIEDADES | Tipo A | IRON FREE | TIPO BE | TIPO B |
|---|--|--|--|--|
| Apariencia estándar (*) | Gránulos blancos o ligeramente amarillos. | Gránulos blancos. | Gránulos Café/pardo | Gránulos Café/pardo |
| Contenido de Aluminio, % Al_2O_3 mínimo | 17 | 17 | 16 | 15,2 |
| Contenido de hierro, % Fe_2O_3 máximo. | 0,75 | 0,008 | 1,6 | 2,0 |
| Basicidad, como % de Al_2O_3 Libre mínimo | 0,05 | 0,05 | 0,05 | 0,05 |
| Insolubles en Agua, % máximo. | 0,5 | 0,1 | 5,0 | 8,0 |
| Granulometría | 100%pasa malla 4, 90%pasa malla10, y 90% retenido malla 100. | 100%pasa malla 4, 90%pasa malla10, y 90% retenido malla 100. | 100%pasa malla 4, 90%pasa malla10, y 90% retenido malla 100. | 100%pasa malla 4, 90%pasa malla10, y 90% retenido malla 100. |

(*) De acuerdo con materia prima (bauxita) que se utilice para su fabricación. El sulfato de aluminio sólido PQP se ajustan a las normas de AWWA B40 3, NTC 531. Otras referencias de sulfato de aluminio sólido se fabrican bajo pedido.

3. RECOMENDACIONES Y/O PRECAUCIONES PARA EL USO:

Este producto es irritante de las mucosas y la piel, evitar la formación de nubes de polvo y el contacto directo con él. Usar el equipo de protección que incluya gafas de seguridad, mascarilla para polvos y guantes de goma. Manipular el producto teniendo en cuenta las incompatibilidades expuestas en el numeral 5 de este documento.

El área de trabajo deberá tener fácil acceso a duchas de emergencia y lavajojos.

En caso de presentarse ingestión o inhalación del producto debe buscarse atención especializada inmediatamente, no suministre ningún tipo de bebida.

En caso de contacto de las mucosas o la piel con el producto, lavar con agua abundante durante mínimo 15 minutos, en los ojos, buscar retirar con el agua corriente residuos del producto, lentes u otros objetos extraños; si se presenta irritación, picazón o enrojecimiento, buscar atención médica.

4. EMPAQUE Y TRANSPORTE.

Se suministra en bolsas de polietileno de 2 y 5 Kg y en sacos de polipropileno, en presentaciones de 25 y 50 Kg.

Este producto no está clasificado como sustancia química peligrosa, por lo tanto no está regulado para el transporte terrestre por el decreto 1609 de 2002.

5. ALMACENAMIENTO.

El área de almacenamiento debe estar completamente aireada, alejada de fuentes de calor, llama o chispas y con acceso fácil a duchas de emergencia y lavajojos.

Este producto debe ser almacenado sobre estibas, en zonas cubiertas de la humedad y protegidas del calor y la luz directa del sol, lejos de sustancias oxidantes y reductoras fuertes, ácidos y bases fuertes, sustancias combustibles e inflamables y solventes orgánicos.

6. DATOS DEL FABRICANTE: Este producto es fabricado y comercializado por productos Químicos Panamericanos S.A. Plantas:

Barranquilla: Carrera 67 (Carretera a Eternit) N° Vía 40-437 Zona Industrial La Loma No. 3. Tel (5) 368 67 13/ (5) 368 57 14

Jamundí: dirección: Km 28 Vía Cali- Popayán. Teléfono: (2) 590 17 17 – 591 86 86.

7. NOTIFICACIÓN SANITARIA OBLIGATORIA: No aplica.



PRODUCTOS QUÍMICOS PANAMERICANOS S.A.
FICHA TÉCNICA.
SULFATO DE ALUMINIO LÍQUIDO.

FT-CC-47
Versión 3
Página 1 de 1

1. ASPECTOS GENERALES.

PROPIEDADES: Nombre comercial: *Sulfato de Aluminio* líquido. Líquido blanco o café soluble en agua e insoluble en alcohol.

CONTENIDO NETO: No aplica.

USOS:

- Tratamiento de agua potable
- Tratamiento de aguas residuales
- Tratamiento de piscinas
- Pulpa y papel
- Industrial del azúcar
- Industrial del petróleo
- Otros como: coagulante en la manufactura de caucho sintético de butadieno estireno, purificación de la glicerina, etc.

BONDADES Y/O VENTAJAS DEL PRODUCTO:

El sulfato de aluminio líquido es uno de los productos más usados en la industria del papel y en tratamiento de aguas, su carácter ácido y su ingrediente activo le confieren propiedades bacteriostáticas y alguicidas, además al ser una sal metálica, reacciona formando flóculos de hidróxidos de aluminio al contacto con la alcalinidad de las aguas a tratar, facilitando su limpieza.

Por ser un producto líquido se puede aplicar directamente en línea y no deja producto residual, por lo que puede ser aprovechado 100%.

2. ESPECIFICACIONES TÉCNICAS.

(Propiedades fisicoquímicas y/o microbiológicas).

| PROPIEDADES | VALOR TIPO A | VALOR TIPO AP | VALOR IRON FREE | VALOR TIPO B |
|---|-----------------|---------------|-----------------|--------------|
| Apariencia estándar (*) | Amarillo/blanco | Café/pardo | Amarillo/blanco | Café/pardo |
| Contenido de Aluminio, % Al_2O_3 mínimo | 8,0 | 8,0 | 8,2 | 7,3 |
| Contenido de hierro, % Fe_2O_3 máximo. | 0,4 | 0,5 | 0,004 | 1,2 |
| Insolubles en Agua, % máximo. | 0,1 | 0,1 | 0,05 | 0,1 |
| Basicidad, como % de Al_2O_3 Libre mínimo | (**) | (**) | (**) | (**) |
| Densidad a 25°C, g/ml mín. | No aplica | 1,320 | No aplica | No aplica |

(*) De acuerdo con materia prima (bauxita) que se utilice para su fabricación. (**) Acordado con el cliente. El sulfato de aluminio líquido P.Q.F. se ajustan a las normas de AWWA B40 3, NTC 531. Otras referencias de sulfato de aluminio líquido se fabrican bajo pedido.

3. RECOMENDACIONES Y/O

PRECAUCIONES PARA EL USO:

Este producto es irritante de las mucosas y la piel, evitar el contacto directo con él. Usar el equipo de protección que incluya gafas de seguridad y guantes de goma. Manipular el producto teniendo en cuenta las incompatibilidades expuestas en el numeral 5 de este documento.

El área de trabajo deberá tener fácil acceso a duchas de emergencia y lavaojos.

En caso de presentarse ingestión o inhalación del producto debe buscarse atención especializada inmediatamente, no suministre ningún tipo de bebida.

En caso de contacto de las mucosas o la piel con el producto, lavar con agua abundante durante mínimo 15 minutos, en los ojos, buscar retirar con el agua corriente residuos del producto, lentes u otros objetos extraños; si se presenta irritación, picazón o enrojecimiento, buscar atención médica.

4. EMPAQUE Y TRANSPORTE.

Se suministra a granel en carro tanques, bidones plásticos de 1000Kg y 55 galones (250Kg aprox).

Este producto está clasificado como sustancia química peligrosa, por lo tanto está regulado para el transporte terrestre por el decreto 1609 de 2002.

UN1760

Clase: 8 corrosivo.

5. ALMACENAMIENTO.

El área de almacenamiento debe estar completamente aireada, alejada de fuentes de calor, llama o chispas y con acceso fácil a duchas de emergencia y lavaojos.

Este producto debe ser almacenado en zonas protegidas del calor y la luz directa del sol, lejos de sustancias oxidantes y reductoras fuertes, ácidos y bases fuertes, sustancias combustibles e inflamables y solventes orgánicos.

6. DATOS DEL FABRICANTE: Este producto es fabricado y comercializado por productos Químicos Panamericanos S.A. Plantas:

Girardota: dirección, Km 22 autopista norte, vía Barbosa. Teléfono: (4) 289 10 12.

Barranquilla: Carrera 67 (Carretera a Etermit) N° Vía 40-437 Zona Industrial La Loma No. 3. Tel (5) 368 67 13/ (5) 368 57 14

Jamundí: dirección, Km 28 Vía Cali- Popayán. Teléfono: (2) 590 17 17 – 591 86 86.

7. NOTIFICACIÓN SANITARIA

OBLIGATORIA: No aplica.



FICHA TÉCNICA
ULTRAFLOC 110

1. ASPECTOS GENERALES

PROPIEDADES: El ULTRAFLOC 110 es un coagulante catiónico líquido de mediano peso molecular

CONTENIDO NETO: N.A

USOS: El ULTRAFLOC 110 es recomendado como coagulante o ayudante de coagulación en el proceso de clarificación para el tratamiento de aguas potables, industriales, municipales y residuales.

- Maneja niveles de dosis más bajos que otros coagulantes como el sulfato de aluminio para obtener igual o incluso mejor calidad de agua tratada, lo que proporciona la mejor relación costo-beneficio en el tratamiento.
- Efectivo en aguas de baja y alta turbiedad y alcalinidad.
- Poco o ningún efecto sobre el pH del agua. Reduce o elimina la necesidad de ajustar el pH.
- Posibilidad de trabajar con amplios rangos de pH.
- Forma un coágulo grande, de rápida sedimentación.
- Reduce el volumen de lodo, ahorrando en los costos de eliminación y/o desaguado del lodo.
- Se obtienen mayores carreras de filtración reduciendo el consumo de agua de lavado de filtros.
- El ULTRAFLOC 110 cumple con los requerimientos de la Norma Internacional NSF/ANSI Standard 60: Drinking Water Treatment Chemicals (Químicos para el Tratamiento de Agua Potable).

2. ESPECIFICACIONES TÉCNICAS (Propiedades fisicoquímicas y/o microbiológicas)

| PROPIEDADES | VALOR |
|--------------------|---------------|
| Apariencia | Líquido Ámbar |
| Densidad a 25°C | 1,30 ± 0,01 |
| pH directo | 2,0 – 3,5 |
| Contenido activo % | 18,0 ± 1 |

3. RECOMENDACIONES Y/O PRECAUCIONES PARA EL USO:

DOSIS DE APLICACIÓN: Debido a las diferentes características de las aguas a clarificar o lodos por deshidratar es necesario determinar la dosis específica para cada caso, en el laboratorio o en la planta. Para tratamiento de agua potable la dosis máxima es de 157 mg/L.

En general el ULTRAFLOC 110 elaborado y distribuido por P.Q.P. no es tóxico, pero se debe manejar como producto ligeramente corrosivo.

Consultar la hoja de seguridad del producto para obtener mayor información.

4. EMPAQUE Y TRANSPORTE

Producto distribuido a granel mediante carro tanques o en contenedores plásticos de 1000 Kg, garrafas plásticas de 20 litros o en tambores de 55 galones.

Este producto está clasificado como sustancia química peligrosa, por lo tanto está regulado para el transporte terrestre por el decreto 1609 de 2002

UN 1760

Clase 8. Corrosivo

5. ALMACENAMIENTO

Se debe almacenar en lugares frescos, con mínima humedad y buena ventilación. No es explosivo. Evite que alcance temperaturas mayores a 40 °C. Evite almacenar en materiales como aluminio, latón, acero al carbón, aleaciones de cobre, caucho natural, níquel y acero inoxidable. Se recomienda el almacenamiento en tanques en fibra de vidrio o los envases que dispone PQP.

La aplicación o método de manejo, almacenamiento, uso y disposición del producto y/o sus envases están fuera de nuestro control, por tanto PQP no asume y desconoce toda responsabilidad por pérdida, daño u otra situación relacionada, al comprador o a terceras personas causadas por uso anormal del material y/o sus envases, aun siguiendo procedimientos razonables de seguridad.

Vida útil: 3 meses en condiciones normales de almacenamiento.

6. DATOS DEL FABRICANTE: Este producto es fabricado y comercializado por productos Químicos Panamericanos S.A. Plantas:

Tocancipá: Km 42 carretera al Norte, Tel. (1) 857-41-67

Jamundí: Vía Panamericana Km 28 Cali – Popayán, Tel. (2) 591-86-86

Girardota: Autopista Norte Km 22, Tel. (4) 289-07-26

Barranquilla: Carrera 67 (Carretera a Eternit) N° Vía 40-437 Zona Industrial La Loma No. 3. Tel (5) 368 67 13/ (5) 368 57 14

7. NOTIFICACIÓN SANITARIA OBLIGATORIA: No aplica.



1. ASPECTOS GENERALES.

PROPIEDADES: Polímero tipo poliacrilamida que incrementa el drenaje por gravedad y en combinación con polímeros de alto peso molecular logra un efecto sinérgico en la retención. Serie 1000.

CONTENIDO NETO: No aplica.

USOS:

Este producto está especialmente diseñado para las necesidades de la industria de pulpa y papel, puede ser usado no solo en máquinas papeleras para mejorar el proceso productivo, sino que puede ser enfocado hacia el manejo de aguas en los circuitos papeleros.

Se utiliza como floculante o ayudante de coagulación en una amplia variedad de aguas de consumo, municipal e industrial y aplicaciones en el tratamiento de aguas residuales.

Ha sido aplicado con éxito en todos los sistemas de separación líquido/ sólido incluyendo clarificación, espesamiento, deshidratación y filtración. Puede ser utilizado solo o en combinación con otros coagulantes orgánicos e inorgánicos.

BONDADES Y/O VENTAJAS DEL PRODUCTO:

- Efectiva y rápida separación líquidos/sólidos.
- Proporciona óptima relación costo-beneficio.
- Mejora el drenaje aumentando los ahorros de energía en la formación de hojas y secado.
- Mejora la uniformidad de la hoja y propiedades del papel.
- Mayor retención de fibras y considerable reducción de cenizas.
- Disminuye la DBO y la DQO en el efluente.
- Es de fácil preparación
- Cuenta con aprobación NSF.
- Mejora el desempeño de aditivos (colorantes, encolantes, resinas de resistencia en húmedo y en seco)

2. ESPECIFICACIONES TÉCNICAS.

(Propiedades fisicoquímicas y/o microbiológicas).

| PROPIEDADES | VALOR |
|--------------------------|-----------------------|
| Apariencia | Polvo blanco granular |
| Naturaleza iónica | Aniónica |
| Anionicidad (% w) | 40 |
| pH (0.5% Sin). | 7 - 9 |
| Densidad relativa kg/m3. | 600-900 |
| Peso molecular | Ultra alto |

menor o igual a 0,1% (a través de dilución en línea si es necesario).

Debe ser manipulado con los cuidados propios para los productos químicos, utilizando elementos de protección personal como guantes, gafas de seguridad y mascarilla para polvos. No es inflamable, sin embargo en caso de incendio utilice espuma, CO₂, o métodos químicos secos porque la mezcla de polímero- agua es muy adherente.

Por precaución se debe diluir en una proporción alta. No incorporar a suelos ni acuíferos.

Si al contacto con el producto se presenta alguna reacción, lavar con abundante agua la zona afectada como mínimo durante 15 minutos. Consultar al médico.

4. EMPAQUE Y TRANSPORTE.

Este producto es empacado en sacos de 25 kg y puede ser transportado en vehículos de cualquier tonelaje.

Este producto no está clasificado como sustancia química peligrosa, por lo tanto no está regulado para el transporte terrestre por el decreto 1609 de 2002.

5. ALMACENAMIENTO.

En planta se sugiere el almacenamiento de este producto en bolsas cerradas. Almacenar en un área fría y seca, que no exceda temperaturas de 35°C. No derrame agua en el producto seco debido a que se produce un gel muy compacto y difícil de limpiar. En caso de derrame de soluciones de este producto utilice material absorbente sobre el área afectada y barra dentro de recipientes de disposición de químicos apropiados.


En condiciones apropiadas de almacenamiento el producto es estable por 24 meses.

6. DATOS DEL FABRICANTE: Este producto es comercializado por productos Químicos Panamericanos S.A. regionales:

Barraquilla: dirección, calle 30 N°21-78 bodega 2. Teléfono: (5) 379 75 22

Cali: dirección, Carrera 40 N° 14-51 Acopi-Yumbo. Teléfono (2) 665 29 28.

Sevillana: dirección, carrera 57 N° 45A-94 sur, Bogotá. Teléfono (1) 710 97 70.

| | | |
|--|--|---|
| CÓDIGO: UEQFT0004 Versión: 3,1 Fecha: 05/09/2008 | FICHA TÉCNICA NaClO HIPOCLORITO DE SODIO QUIMICOS |  |
|--|--|---|

FICHA TÉCNICA

| | | | | | |
|--------------------------------------|---|-----------------|-----------------------|------------|----------------------------|
| NOMBRE DEL PRODUCTO | HIPOCLORITO DE SODIO | | | | |
| DESCRIPCIÓN FÍSICA | Solución acuosa, clara, ligeramente amarilla, olor característico penetrante e irritante. Fuertemente oxidante; dependiendo del pH de la solución se presenta disociado en forma de cloro activo, ácido hipocloroso HOCl y/o ión hipoclorito OCl ⁻ . De estas formas de "cloro libre activo" depende su reactividad en las reacciones de oxidación, cloración y acción bioquímica tales como el control bacteriológico y microbiológico. | | | | |
| INGREDIENTES PRINCIPALES | Producto obtenido a partir del hidróxido de sodio (NaOH) en solución acuosa mediante absorción del cloro gaseoso (Cl ₂). | | | | |
| ESPECIFICACIONES DE CONTROL | CARACTERÍSTICA | UNIDADES | ESPECIFICACIÓN | | METODO |
| | | | Min | Máx | |
| | Hipoclorito de sodio | %m/v | 15 | | Titulación potenciométrica |
| | Hidróxido de sodio (alcalinidad Total) | %m/v | | 1 | Titulación potenciométrica |
| | Densidad a 20°C | g/ml | 1.2 | | Frecuencia de Oscilaciones |
| | Apariencia | | Ligeramente amarilla | | Cualitativo |
| EMPAQUE Y PRESENTACIONES | El hipoclorito de sodio se vende a granel en tanques de plástico, fibra de vidrio o en canecas plásticas | | | | |
| VIDA ÚTIL | N/A | | | | |
| IDENTIFICACIÓN DEL LOTE | La identificación del lote: Granel (carros) 15 12 07 30 23 tanque año mes día hora de analisis Tambores 12 07 30 año mes día | | | | |
| LEGISLACIÓN APLICABLE | NTC 2139 | | | | |
| USOS E INSTRUCCIONES | Se destacan las siguientes industrias como principales consumidoras: TRATAMIENTO DE AGUAS Desinfección, esterilización, acción algicida, deoloración y desodorización de aguas industriales, potables y piscinas. PAPELERA En procesos de lavado como blanqueador de celulosa, pulpa de papel y textiles. QUIMICA Hidróxido férrico Fe(OH) ₃ y dióxido de manganeso MnO ₂ , de nitratos, sulfatos y cianatos (por reacción con los cianuros y sulfuros correspondientes), de cloraminas orgánicas e inorgánicas y clorofenoles. | | | | |
| CONDICIONES DE ALMACENAMIENTO | Dado que el NaOCl es una solución muy inestable y se descompone por la acción de impurezas catiónicas como hierro, aniónicas, temperatura, pH y la luz, el producto se debe proteger de estos factores. Se debe almacenar en áreas con excelente ventilación. El piso debe ser incombustible e impermeable. Se deberá disponer de duchas y tomas de agua a presión en sitios de fácil acceso dentro del área. No se debe almacenar con sustancias incompatibles como ácidos y productos orgánicos. Las operaciones de cargue, transvase, dilución, descargue y toma de muestras de los envases o depósitos que contengan hipoclorito de sodio se deben realizar bajo excelente ventilación, utilizando los elementos de protección adecuados: gafas de seguridad y/o careta facial, respirador industrial con absorbente apropiado, guantes, botas y delantal de caucho. | | | | |
| MANEJO Y TRANSPORTE | NOTA: El hipoclorito de sodio se puede descomponer por acción del calor, por contacto con material férrico o por la acción de la luz solar, generando CLORO GASEOSO, altamente oxidante, irritante y corrosivo. Si se mezclan soluciones de hipoclorito de sodio con cualquier ácido, hay desprendimiento de cloro gaseoso. El transporte se efectuará en envases de fibra de vidrio, polipropileno, polietileno o en carro tanques construidos con los mismos materiales. | | | | |
| PRECAUCIONES Y RESTRICCIONES | El hipoclorito de sodio es altamente corrosivo. Su inhalación o ingestión puede provocar desde leves irritaciones cutáneas hasta edemas pulmonares, perforaciones de esófago y estómago. Por contacto puede producir lesiones oculares, cutáneas, pulmonares y digestivas. Se recomienda leer la Hoja de Seguridad y el brochure del producto NOTA: El uso final del producto es de responsabilidad absoluta y aceptada por el cliente. La información se ha consignado a título ilustrativo y no substituye las patentes o licencias sobre el uso del producto. | | | | |
| ATENCIÓN DE EMERGENCIAS | ATENCION DE EMERGENCIAS.Tel: (57 1) 8522566 - 484 6000 Ext. 444. Planta Betania: km. 6 vía Cajicá - Zipaquirá Tels: (+1) 852 2566 - 484 6000 Fax: (+1) 852 3646 Planta Mamonal: km. 11 vía Mamonal - Cartagena Tel: (+5) 668 6212 Fax: (+5) 668 6206 Ext. 1721 Oficina Bogotá Tel: (+1) 635 6080 Fax (+1) 636 1961 Oficina Medellín Tel: (+4) 313 7575 Fax: (+4) 313 9764 Brinsa S.A. Nit: 800-221-789-2 A.A. 3005 Bogotá, D.C. Colombia - Sur América | | | | |

ANEXO E.
RESULTADOS PRE-EXPERIMENTACIÓN DE COAGULANTES

Tabla 42. Datos y resultados del ensayo de jarras con coagulante Sulfato de aluminio tipo A líquido

| SULFATO DE ALUMINIO TIPO A LÍQUIDO AL 1% | | | | | | | | |
|---|------|-------|----------------|-----------------|-------------|---------------|-------|-------------|
| ANÁLISIS INICIAL | | Jarra | Cantidad (ppm) | Turbiedad (UNT) | Color (UPC) | Hierro (mg/L) | pH | Tamaño floc |
| <i>Turbiedad(UNT)</i> | 6,92 | 1 | 10 | 5,59 | 36 | 1,26 | 7,078 | 2 |
| <i>pH</i> | 7,23 | 2 | 20 | 5,81 | 33 | 1,18 | 7,242 | 2 |
| <i>Hierro(mg/L)</i> | 1,42 | 3 | 30 | 5,84 | 32 | 1,22 | 7,249 | 2 |
| <i>Alcalinidad (mg/L)</i> | 10 | 4 | 40 | 6,64 | 32 | 1,2 | 7,19 | 2 |
| <i>Color (UPC)</i> | 33 | 5 | 50 | 4,35 | 29 | 1,06 | 6,859 | 2 |
| <i>Volumen jarra (L)</i> | 1 | 6 | 60 | 1,54 | 12 | 0,28 | 6,558 | 6 |

| JARRAS | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
|-------------------------|---------|---------|---------|--------|---------|---------|
| % Remoción de Turbiedad | 19,2196 | 16,0405 | 15,6069 | 4,0462 | 37,1387 | 77,7457 |
| % Remoción de color | -9,0909 | 0 | 3,0303 | 3,0303 | 12,1212 | 63,6363 |
| %Cambio de pH | 2,1023 | 0,1660 | 0,2628 | 0,5532 | 5,1314 | 9,2946% |

Tabla 43. Datos y resultados del ensayo de jarras con coagulante Sulfato de aluminio tipo A sólido.

| SULFATO DE ALUMINIO TIPO A SÓLIDO AL 1% | | | | | | | | |
|--|------|-------|----------------|-----------------|-------------|---------------|-------|-------------|
| ANÁLISIS INICIAL | | Jarra | Cantidad (ppm) | Turbiedad (UNT) | Color (UPC) | Hierro (mg/L) | pH | Tamaño floc |
| <i>Turbiedad(UNT)</i> | 6,92 | 1 | 10 | 0,91 | 7 | 0,26 | 6,547 | 4 |
| <i>pH</i> | 7,23 | 2 | 20 | 1,21 | 10 | 0,34 | 5,988 | 4 |
| <i>Hierro(mg/L)</i> | 1,42 | 3 | 30 | 1,17 | 8 | 0,3 | 5,36 | 8 |
| <i>Alcalinidad (mg/L)</i> | 10 | 4 | 40 | 1,11 | 7 | 0,2 | 4,915 | 8 |
| <i>Color (UPC)</i> | 33 | 5 | 50 | 0,86 | 7 | 0,18 | 4,709 | 6 |
| <i>Volumen jarra (L)</i> | 1 | 6 | 60 | 0,8 | 6 | 0,16 | 4,653 | 6 |

| JARRAS | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
|-------------------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| % Remoción de Turbiedad | 86,8497 | 82,5144 | 83,0925 | 83,9595 | 87,5722 | 88,4393 |
| % Remoción de color | 78,7879 | 69,6969 | 75,7576 | 78,7879 | 78,7879 | 81,8181 |
| Cambio de pH | 9,4467 | 17,1784 | 25,8644 | 32,0193 | 34,8686 | 35,6431 |

Tabla 44. Datos y resultados del ensayo de jarras con coagulante Ultrafloc 200

| ULTRAFLOC 200 AL 1% | | | | | | | | |
|----------------------------|------|-------|----------------|-----------------|-------------|---------------|-------|-------------|
| ANÁLISIS INICIAL | | Jarra | Cantidad (ppm) | Turbiedad (UNT) | Color (UPC) | Hierro (mg/L) | pH | Tamaño floc |
| <i>Turbiedad(UNT)</i> | 7,96 | 1 | 10 | 5,48 | 23 | 0,64 | 6,985 | 4 |
| <i>pH</i> | 7,15 | 2 | 20 | 1,25 | 6 | 0,12 | 7 | 8 |
| <i>Hierro(mg/L)</i> | 1,5 | 3 | 30 | 1,73 | 7 | 0,16 | 6,91 | 8 |
| <i>Alcalinidad (mg/L)</i> | 12 | 4 | 40 | 3,38 | 15 | 0,46 | 6,833 | 6 |
| <i>Color (UPC)</i> | 39 | 5 | 50 | 4,86 | 23 | 0,62 | 7,05 | 4 |
| <i>Volumen jarra (L)</i> | 1 | 6 | 60 | 6,75 | 29 | 0,84 | 6,957 | 4 |

| JARRAS | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
|-------------------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| % Remoción de Turbiedad | 31,1558 | 84,2965 | 78,2663 | 57,5377 | 38,9447 | 15,2010 |
| % Remoción de color | 41,0256 | 84,6154 | 82,0513 | 61,5385 | 41,0256 | 25,6410 |
| % Cambio de pH | 2,3077 | 2,0979 | 3,3566 | 4,4336 | 1,3986 | 2,6993 |

Tabla 45. Datos y resultados del ensayo de jarras con coagulante Ultrafloc 300

| ULTRAFLOC 300 AL 1% | | | | | | | | |
|----------------------------|-------|-------|----------------|-----------------|-------------|---------------|-------|-------------|
| ANÁLISIS INICIAL | | Jarra | Cantidad (ppm) | Turbiedad (UNT) | Color (UPC) | Hierro (mg/L) | pH | Tamaño floc |
| <i>Turbiedad(UNT)</i> | 8,1 | 1 | 10 | 7,23 | 36 | 1,3 | 7,261 | 2 |
| <i>pH</i> | 7,274 | 2 | 20 | 7,17 | 32 | 1,26 | 7,361 | 2 |
| <i>Hierro(mg/L)</i> | 1,6 | 3 | 30 | 7,26 | 36 | 1,32 | 6,947 | 2 |
| <i>Alcalinidad (mg/L)</i> | 12 | 4 | 40 | 1,24 | 8 | 0,3 | 7,165 | 8 |
| <i>Color (UPC)</i> | 40 | 5 | 50 | 1,13 | 7 | 0,28 | 7,205 | 8 |
| <i>Volumen jarra (L)</i> | 1 | 6 | 60 | 2,17 | 17 | 0,6 | 7,198 | 4 |

| JARRAS | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
|-------------------------|--------|---------|---------|---------|---------|---------|
| % Remoción de Turbiedad | 10,741 | 11,4815 | 10,3704 | 84,6913 | 86,0494 | 73,2099 |
| % Remoción de color | 10 | 20 | 10 | 80 | 82,5 | 57,5 |
| % Cambio de pH | 0,1787 | 1,1960 | 4,4955 | 1,4985 | 0,9486 | 1,0448 |

Tabla 46. Datos y resultados del ensayo de jarras con coagulante Ultrafloc 100

| ULTRAFLOC 100 AL 1% | | | | | | | | |
|----------------------------|-------|-------|----------------|-----------------|-------------|---------------|-------|-------------|
| ANÁLISIS INICIAL | | Jarra | Cantidad (ppm) | Turbiedad (UNT) | Color (UPC) | Hierro (mg/L) | pH | Tamaño floc |
| <i>Turbiedad(UNT)</i> | 7,81 | 1 | 10 | 1,89 | 14 | 0,34 | 7,323 | 6 |
| <i>pH</i> | 7,241 | 2 | 20 | 1,13 | 10 | 0,3 | 7,168 | 6 |
| <i>Hierro(mg/L)</i> | 1,74 | 3 | 30 | 6,5 | 30 | 1,18 | 7,086 | 2 |
| <i>Alcalinidad (mg/L)</i> | 11 | 4 | 40 | 6,82 | 31 | 1,24 | 7,027 | 2 |
| <i>Color (UPC)</i> | 35 | 5 | 50 | 6,6 | 33 | 1,28 | 7,131 | 2 |
| <i>Volumen jarra (L)</i> | 1 | 6 | 60 | 6,1 | 30 | 1,3 | 7,44 | 2 |

| JARRAS | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
|-------------------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| % Remoción de Turbiedad | 75,8002 | 85,5314 | 16,7734 | 12,6760 | 15,4929 | 21,8950 |
| % Remoción de color | 60 | 71,4286 | 14,2857 | 11,4286 | 5,7143 | 15,2857 |
| % Cambio de pH | 1,1324 | 1,0081 | 2,1406 | 2,9554 | 1,5191 | 2,7482 |

Tabla 47. Datos y resultados del ensayo de jarras con coagulante Ultrafloc 110.

| ULTRAFLOC 110 AL 1% | | | | | | | | |
|----------------------------|-------|-------|----------------|-----------------|-------------|---------------|-------|-------------|
| ANÁLISIS INICIAL | | Jarra | Cantidad (ppm) | Turbiedad (UNT) | Color (UPC) | Hierro (mg/L) | pH | Tamaño floc |
| <i>Turbiedad(UNT)</i> | 8,1 | 1 | 10 | 1,62 | 12 | 0,3 | 7,386 | 6 |
| <i>pH</i> | 7,274 | 2 | 20 | 2,83 | 19 | 0,32 | 7,324 | 4 |
| <i>Hierro(mg/L)</i> | 1,6 | 3 | 30 | 7,47 | 37 | 1,18 | 7,216 | 2 |
| <i>Alcalinidad (mg/L)</i> | 12 | 4 | 40 | 7,52 | 38 | 1,24 | 7,006 | 2 |
| <i>Color (UPC)</i> | 40 | 5 | 50 | 7,61 | 37 | 1,28 | 6,93 | 2 |
| <i>Volumen jarra (L)</i> | 1 | 6 | 60 | 7,28 | 37 | 1,3 | 6,737 | 2 |

| JARRAS | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
|-------------------------|--------|---------|--------|--------|--------|---------|
| % Remoción de Turbiedad | 80 | 65,0617 | 7,7778 | 7,1605 | 6,0494 | 10,1234 |
| % Remoción de color | 70 | 52,5 | 7,5 | 5 | 7,5 | 7,5 |
| % Cambio de pH | 1,5397 | 0,6874 | 0,7974 | 3,6843 | 4,7292 | 7,3824 |

**ANEXO F.
DETERMINACIÓN DE DOSIS PARA CADA UNO DE LOS INSUMOS DE LAS
TRES ALTERNATIVAS**

DETERMINACIÓN DOSIS ADECUADA DE LOS COAGULANTES

Tabla 48. Determinación de dosis adecuada para el coagulante Ultrafloc 100.

| Coagulante: Ultrafloc 100 | | | | | | | |
|----------------------------------|-----------------|-------------|--------|--------------------|---------------|--------|--------|
| Análisis Inicial | Turbiedad (UNT) | Color (UPC) | pH | Alcalinidad (mg/l) | Hierro (mg/l) | | |
| | 6,7 | 35 | 7,416 | 11 | 1,26 | | |
| ENSAYO DE JARRAS | | | | | | | |
| Ítem | Número de jarra | | | | | | |
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
| Coagulante (mg/l) | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 |
| Turbiedad (UNT) | 0,75 | 0,87 | 0,99 | 0,79 | 2,46 | 1,71 | 1,31 |
| Color (UPC) | 4 | 6 | 7 | 4 | 14 | 12 | 8 |
| pH | 7,406 | 7,252 | 7,228 | 7,365 | 7,216 | 7,252 | 7,327 |
| Hierro (mg/l) | 0,08 | 0,12 | 0,2 | 0,12 | 0,38 | 0,3 | 0,24 |
| % Remoción turbiedad | 88,801 | 87,015 | 85,224 | 88,209 | 63,283 | 74,478 | 80,448 |
| % Remoción de color | 88,571 | 82,857 | 80 | 88,571 | 60 | 65,714 | 77,143 |
| %Cambio de pH | 0,1348 | 2,2114 | 2,5351 | 0,6877 | 2,6969 | 2,2114 | 1,2001 |
| Ítem | Número de jarra | | | | | | |
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
| Dosis (mg/l) | 18 | 19 | 10 | 21 | 22 | 23 | 24 |
| Turbiedad (UNT) | 1,33 | 1,61 | 1,57 | 2,64 | 1,67 | 1,62 | 1,69 |
| Color (UPC) | 4 | 10 | 10 | 16 | 11 | 10 | 11 |
| pH | 7,125 | 7,08 | 7,058 | 7,231 | 7,139 | 7,156 | 7,118 |
| Hierro (mg/l) | 0,14 | 0,26 | 0,28 | 0,32 | 0,32 | 0,28 | 0,32 |
| % Remoción turbiedad | 80,149 | 75,970 | 76,567 | 60,597 | 68,657 | 75,821 | 74,776 |
| % Remoción de color | 88,571 | 71,428 | 71,428 | 54,286 | 68,571 | 71,428 | 68,571 |
| %Cambio de pH | 3,9239 | 4,5307 | 4,8274 | 2,4946 | 3,7352 | 3,5059 | 4,0183 |

Nota. El mayor porcentaje de remoción de color y turbiedad lo presenta la menor dosis que es 11ppm.

Tabla 49. Determinación de dosis adecuada para el coagulante Ultrafloc 110.

| Coagulante: Ultrafloc 110 | | | | | |
|----------------------------------|------------------------|-------------|----------|--------------------|---------------|
| Análisis Inicial | Turbiedad (UNT) | Color (UPC) | pH | Alcalinidad (mg/l) | Hierro (mg/l) |
| | 7,36 | 35 | 7,301 | 11 | 1,28 |
| ENSAYO DE JARRAS | | | | | |
| Ítem | Número de jarra | | | | |
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| Dosis coagulante (mg/l) | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 |
| Turbiedad (UNT) | 1,57 | 1,34 | 0,99 | 1,31 | 1,1 |
| Color (UPC) | 8 | 5 | 4 | 5 | 6 |
| pH | 7,236 | 7,26 | 7,265 | 7,204 | 7,216 |
| Hierro (mg/l) | 0,3 | 0,26 | 0,20 | 0,12 | 0,28 |
| % Remoción turbiedad | 78,668 | 81,793 | 86,549 | 82,201 | 85,054 |
| % Remoción de color | 77,143 | 85,714 | 88,571 | 85,714 | 82,857 |
| %Cambio de pH | 0,8903 | 0,5616 | 0,4931 | 1,3286 | 1,1642 |
| Ítem | Número de jarra | | | | |
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| Dosis coagulante (mg/l) | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 |
| Turbiedad (UNT) | 1,3 | 1,27 | 1,33 | 1,65 | 2,1 |
| Color (UPC) | 5 | 5 | 6 | 9 | 10 |
| pH | 7,252 | 7,28 | 7,125 | 7,08 | 7,058 |
| Hierro (mg/l) | 0,18 | 0,22 | 0,28 | 0,34 | 0,36 |
| % Remoción turbiedad | 82,337 | 82,744 | 81,929 | 77,581 | 71,467 |
| % Remoción de color | 85,714 | 85,714 | 82,857 | 74,286 | 71,428 |
| %Cambio de pH | 0,6711 | 0,2876 | 2,4106 | 3,0270 | 3,3283 |

Nota. El mayor porcentaje de remoción de color y turbiedad lo presenta la dosis de 12ppm.

Tabla 50. Determinación de dosis adecuada para el coagulante Ultrafloc 200 con dosificaciones pares.

| Coagulante: Ultrafloc 200 | | | | | |
|----------------------------------|-----------------|-------------|--------|--------------------|---------------|
| Análisis Inicial | Turbiedad (UNT) | Color (UPC) | pH | Alcalinidad (mg/l) | Hierro (mg/l) |
| | 6,82 | 35 | 7,374 | 11 | 1,62 |
| ENSAYO DE JARRAS | | | | | |
| Ítem | Número de jarra | | | | |
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| Dosis coagulante (mg/l) | 12 | 14 | 16 | 18 | 20 |
| Turbiedad (UNT) | 3,37 | 1,29 | 1,54 | 1,62 | 1,45 |
| Color (UPC) | 26 | 8 | 11 | 11 | 10 |
| pH | 7,386 | 7,377 | 7,361 | 7,333 | 7,326 |
| Hierro (mg/l) | 0,68 | 0,26 | 0,32 | 0,34 | 0,3 |
| % Remoción turbiedad | 50,586 | 81,085 | 77,419 | 76,246 | 78,739 |
| % Remoción de color | 25,714 | 77,143 | 68,571 | 68,571 | 71,428 |
| Cambio de pH | 0,1627 | 0,0407 | 0,1763 | 0,5560 | 0,6509 |
| Ítem | Número de jarra | | | | |
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| Dosis coagulante (mg/l) | 22 | 24 | 26 | 28 | 30 |
| Turbiedad (UNT) | 1,92 | 1,08 | 1,1 | 1,15 | 1,27 |
| Color (UPC) | 12 | 5 | 5 | 6 | 7 |
| pH | 7,337 | 7,252 | 7,229 | 7,133 | 7,131 |
| Hierro (mg/l) | 0,36 | 0,14 | 0,16 | 0,22 | 0,24 |
| % Remoción turbiedad | 71,847 | 84,164 | 83,871 | 83,138 | 81,378 |
| % Remoción de color | 65,714 | 85,714 | 85,714 | 82,857 | 80 |
| Cambio de pH | 0,5018 | 1,6545 | 1,9664 | 3,2683 | 3,2954 |

Nota. El mayor porcentaje de remoción de color y turbiedad lo presenta la dosis de 24 ppm.

Tabla 51. Determinación de dosis adecuada para el coagulante Ultrafloc 200 con dosificaciones impares.

| Coagulante: Ultrafloc 200 | | | | | |
|----------------------------------|-----------------|-------------|--------|--------------------|---------------|
| Análisis Inicial | Turbiedad (UNT) | Color (UPC) | pH | Alcalinidad (mg/l) | Hierro (mg/l) |
| | 7,12 | 37 | 7,317 | 10 | 1,82 |
| ENSAYO DE JARRAS | | | | | |
| Ítem | Número de jarra | | | | |
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| Dosis coagulante (mg/l) | 11 | 13 | 15 | 17 | 19 |
| Turbiedad (UNT) | 2,19 | 1,25 | 1,47 | 1,31 | 1,09 |
| Color (UPC) | 13 | 7 | 10 | 8 | 5 |
| pH | 7,301 | 7,352 | 7,357 | 7,374 | 7,39 |
| Hierro (mg/l) | 0,34 | 0,26 | 0,32 | 0,28 | 0,12 |
| % Remoción turbiedad | 69,241 | 82,444 | 79,354 | 81,601 | 84,691 |
| % Remoción de color | 64,865 | 81,081 | 72,973 | 78,378 | 86,486 |
| Cambio de pH | 0,2182 | 0,4783 | 0,5467 | 0,7790 | 0,9977 |
| Ítem | Número de jarra | | | | |
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| Dosis coagulante (mg/l) | 21 | 23 | 25 | 27 | 29 |
| Turbiedad (UNT) | 1,35 | 2,56 | 2,32 | 2,36 | 2,65 |
| Color (UPC) | 8 | 17 | 16 | 16 | 18 |
| pH | 7,347 | 7,259 | 7,157 | 7,27 | 7,213 |
| Hierro (mg/l) | 0,26 | 0,24 | 0,36 | 0,38 | 0,4 |
| % Remoción turbiedad | 81,039 | 64,045 | 67,416 | 66,854 | 62,781 |
| % Remoción de color | 78,378 | 54,054 | 56,757 | 56,757 | 51,351 |
| Cambio de pH | 0,4100 | 0,7927 | 2,1867 | 0,6423 | 1,4213 |

Nota. El mayor porcentaje de remoción de color y turbiedad lo presenta la dosis de 19ppm.

DETERMINACIÓN DOSIS ADECUADA DE COAGULANTE+FLOCULANTE

Tabla 52. Determinación de dosis adecuada para el coagulante Ultrafloc 100 y el floculante Rapised 1084.

| Coagulante: Ultrafloc 100 | | | | | | |
|----------------------------------|-----------------|-------------|--------|--------------------|---------------|--------|
| Floculante: Rapised 1084 | | | | | | |
| Análisis Inicial | Turbiedad (UNT) | Color (UPC) | pH | Alcalinidad (mg/l) | Hierro (mg/l) | |
| | 6,27 | 31 | 7,466 | 11 | 1,28 | |
| ENSAYO DE JARRAS | | | | | | |
| Ítem | Número de jarra | | | | | |
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
| Dosis coagulante (mg/l) | 11 | 11 | 11 | 11 | 11 | 11 |
| Dosis floculante (mg/l) | 0 | 0,5 | 1 | 1,5 | 2 | 2,5 |
| Turbiedad (UNT) | 0,98 | 0,70 | 0,69 | 0,70 | 0,75 | 0,71 |
| Color (UPC) | 4 | 5 | 4 | 5 | 4 | 5 |
| pH | 7,386 | 7,356 | 7,340 | 7,357 | 7,325 | 7,346 |
| Hierro (mg/l) | 0,14 | 0,16 | 0,10 | 0,16 | 0,10 | 0,08 |
| % Remoción turbiedad | 84,37 | 88,84 | 89,00 | 88,84 | 88,04 | 88,68 |
| % Remoción de color | 87,10 | 83,87 | 87,10 | 83,87 | 87,10 | 83,87 |
| %Cambio de pH | 1,0715 | 1,4733 | 1,6877 | 1,4600 | 1,8886 | 1,6073 |

Nota. El mayor porcentaje de remoción de color y turbiedad lo presenta la dosis de 11 ppm de coagulante y 1 ppm de floculante

Tabla 53. Determinación de dosis adecuada para el coagulante Ultrafloc 110 y el floculante Rapised 1084.

| Coagulante: Ultrafloc 110 | | | | | | |
|----------------------------------|-----------------|-------------|--------|--------------------|---------------|--------|
| Floculante: Rapised 1084 | | | | | | |
| Análisis Inicial | Turbiedad (UNT) | Color (UPC) | pH | Alcalinidad (mg/l) | Hierro (mg/l) | |
| | 5,83 | 31 | 7,432 | 12 | 1,24 | |
| ENSAYO DE JARRAS | | | | | | |
| Ítem | Número de jarra | | | | | |
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
| Dosis coagulante (mg/l) | 12 | 12 | 12 | 12 | 12 | 12 |
| Dosis floculante (mg/l) | 0 | 0,5 | 1 | 1,5 | 2 | 2,5 |
| Turbiedad (UNT) | 0,89 | 0,61 | 0,62 | 0,67 | 0,70 | 0,75 |
| Color (UPC) | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 5 |
| pH | 7,296 | 7,440 | 7,338 | 7,236 | 7,316 | 7,296 |
| Hierro (mg/l) | 0,14 | 0,14 | 0,34 | 0,14 | 0,14 | 0,12 |
| % Remoción turbiedad | 84,73 | 89,54 | 89,37 | 88,51 | 87,99 | 87,14 |
| % Remoción de color | 87,10 | 87,10 | 87,10 | 87,10 | 87,10 | 83,87 |
| % Cambio pH | 1,8299 | 0,1076 | 1,2648 | 2,6372 | 1,5608 | 1,8299 |

Nota. El mayor porcentaje de remoción de color y turbiedad lo presenta la dosis de 12 ppm de coagulante y 0,5 ppm de floculante

Tabla 54. Determinación de dosis adecuada para el coagulante Ultrafloc 200 y el floculante Rapised 1084.

| Coagulante: Ultrafloc 200 | | | | | | |
|----------------------------------|-----------------|-------------|--------|--------------------|---------------|--------|
| Floculante: Rapised 1084 | | | | | | |
| Análisis Inicial | Turbiedad (UNT) | Color (UPC) | pH | Alcalinidad (mg/l) | Hierro (mg/l) | |
| | 6,27 | 31 | 7,466 | 12 | 1,28 | |
| ENSAYO DE JARRAS | | | | | | |
| Ítem | Número de jarra | | | | | |
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
| Dosis coagulante (mg/l) | 19 | 19 | 19 | 19 | 19 | 19 |
| Dosis floculante (mg/l) | 0 | 0,5 | 1 | 1,5 | 2 | 2,5 |
| Turbiedad (UNT) | 0,75 | 0,53 | 0,56 | 0,62 | 0,68 | 0,71 |
| Color (UPC) | 2 | 1 | 3 | 3 | 1 | 4 |
| pH | 7,448 | 7,475 | 7,456 | 7,43 | 7,424 | 7,415 |
| Hierro (mg/l) | 0,34 | 0,16 | 0,2 | 0,22 | 0,08 | 0,2 |
| % Remoción turbiedad | 88,04 | 91,55 | 91,07 | 90,11 | 89,15 | 88,68 |
| % Remoción de color | 93,55 | 96,77 | 90,32 | 90,32 | 96,77 | 87,10 |
| Cambio de pH | 0,2411 | 0,1205 | 0,1339 | 0,4822 | 0,5626 | 0,6831 |

Nota. El mayor porcentaje de remoción de color y turbiedad lo presenta la dosis de 19 ppm de coagulante y 0,5 ppm de floculante

**ANEXO G.
RESULTADOS EXPERIMENTACIÓN DE LAS TRES ALTERNATIVAS**

PRIMERA ALTERNATIVA

Tabla 55. Resultados experimentación alternativa 1.

| PARÁMETRO | Turbiedad | pH | Hierro | Alcalinidad | Color | | | | | | |
|-------------------------|-----------|-------|--------|-------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| UNIDADES | UNT | | mg/L | | UPC | | | | | | |
| ANÁLISIS INICIAL | 5,92 | 7,554 | 1,32 | 12 | 31 | | | | | | |
| PROMEDIO | 0,77 | 7,553 | 0,12 | | 5 | | | | | | |
| AGUA FILTRADA | 0,02 | 7,613 | 0,02 | | 2 | | | | | | |
| JARRAS | | | | | | | | | | | |
| ITEM | UND | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| Coagulante | ppm | 11 | 11 | 11 | 11 | 11 | 11 | 11 | 11 | 11 | 11 |
| Floculante | ppm | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| Desinfectante | ppm | 2 | 4 | 6 | 8 | 10 | 12 | 14 | 16 | 18 | 20 |
| Cloro residual | mg/l | 0,2 | 0,2 | 0,3 | 0,4 | 0,5 | 0,5 | 0,6 | 0,7 | 0,8 | 0,9 |
| pH | | 7,629 | 7,613 | 7,644 | 7,653 | 7,665 | 7,644 | 7,652 | 7,682 | 7,653 | 7,626 |

SEGUNDA ALTERNATIVA

Tabla 56. Resultados experimentación alternativa 2.

| PARÁMETRO | Turbiedad | pH | Hierro | Alcalinidad | Color | | | | | | |
|------------------|-----------|-------|--------|-------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| UNIDADES | UNT | | mg/L | | UPC | | | | | | |
| ANÁLISIS INICIAL | 5,68 | 7,564 | 1,32 | 12 | 32 | | | | | | |
| PROMEDIO | 0,88 | 7,405 | 0,14 | | 5 | | | | | | |
| AGUA FILTRADA | 0,13 | 7,583 | 0,02 | | 1 | | | | | | |
| JARRAS | | | | | | | | | | | |
| ITEM | UND | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| Coagulante | ppm | 12 | 12 | 12 | 12 | 12 | 12 | 12 | 12 | 12 | 12 |
| Floculante | ppm | 0,5 | 0,5 | 0,5 | 0,5 | 0,5 | 0,5 | 0,5 | 0,5 | 0,5 | 0,5 |
| Desinfectante | ppm | 0,2 | 0,4 | 0,6 | 0,8 | 1,0 | 1,2 | 1,4 | 1,6 | 1,8 | 2,0 |
| Cloro residual | mg/l | 0,3 | 0,5 | 0,2 | 0,3 | 0,5 | 0,5 | 0,6 | 0,6 | 0,6 | 0,7 |
| pH | | 7,62 | 7,582 | 7,509 | 7,498 | 7,604 | 7,613 | 7,638 | 7,633 | 7,626 | 7,617 |

TERCER ALTERNATIVA

Tabla 57. Resultados experimentación alternativa 3.

| PARÁMETRO | Turbiedad | pH | Hierro | Alcalinidad | Color | | | | | | |
|-------------------------|-----------|-------|--------|-------------|-------|------|-------|-------|-------|-------|-------|
| UNIDADES | UNT | | mg/L | | UPC | | | | | | |
| ANÁLISIS INICIAL | 5,68 | 7,564 | 1,32 | 12 | 32 | | | | | | |
| PROMEDIO | 0,61 | 7,52 | 0,12 | | 3 | | | | | | |
| AGUA FILTRADA | 0,19 | 7,549 | 0,06 | | 1 | | | | | | |
| JARRAS | | | | | | | | | | | |
| ITEM | UND | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| Coagulante | ppm | 19 | 19 | 19 | 19 | 19 | 19 | 19 | 19 | 19 | 19 |
| Floculante | ppm | 0,5 | 0,5 | 0,5 | 0,5 | 0,5 | 0,5 | 0,5 | 0,5 | 0,5 | 0,5 |
| Desinfectante | ppm | 2 | 4 | 6 | 8 | 10 | 12 | 14 | 16 | 18 | 20 |
| Cloro residual | mg/l | 0,3 | 0,4 | 0,5 | 0,6 | 0,5 | 0,6 | 0,6 | 0,6 | 0,7 | 0,7 |
| pH | | 7,532 | 7,559 | 7,574 | 7,582 | 7,58 | 7,595 | 7,577 | 7,560 | 7,542 | 7,535 |

ANEXO H. CURVA DEMANDA DE CLORO

Para que la desinfección del agua con hipoclorito de sodio se aplique correctamente, es necesario que la cantidad de cloro activo añadida al agua a depurar esté bien calculada, pues una dosis demasiado pequeña no aseguraría una desinfección suficiente.

El hecho de que el cloro reaccione con el amoníaco junto con que sea un fuerte agente oxidante complica la desinfección de las aguas residuales, pero en este caso se trata de agua potable. Los fenómenos que resultan de añadir cloro a un agua que contenga sustancias inorgánicas oxidables, amonio y materia orgánica se pueden describir en las siguientes etapas:

Demanda inmediata de cloro. Inicialmente, las sustancias fácilmente oxidables (Fe^{++} , Mn^{++} , H_2S o materia orgánica) reaccionan con el cloro reduciéndolo a ion cloruro, sin dejar cloro residual.

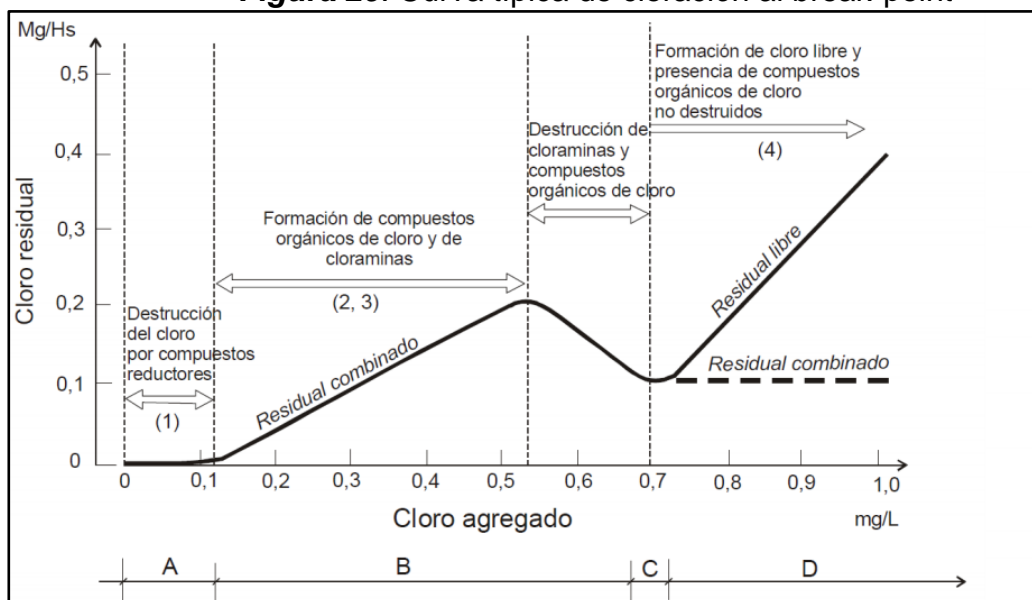
Cloro residual combinado. Una vez satisfecha la demanda inmediata, el cloro continua reaccionando, bien con materia orgánica no oxidable fácilmente (fenol, benceno) formando organoclorados y/o con amonio para formar cloraminas (mono o di cloraminas en función de las relaciones molares).

Break-point o punto de ruptura. Si se aumenta la dosis de cloro, las dicloraminas empiezan a convertirse en tricloruro de nitrógeno que no es desinfectante pero si volátil, mientras que las cloraminas restantes se oxidan a óxido nitroso y nitrógeno. Llega un momento en que todas las cloraminas se han oxidado mientras el cloro se ha reducido a cloruro. El break.point ocurre cuando el amonio se reduce a cero, y se detecta el cloro libre residual

La adición de cloro más allá del punto de ruptura de las cloraminas da como resultado un aumento proporcional de cloro residual libre o disponible, quedando de esta forma asegurada la desinfección.

Para encontrar el "break point" se construye una curva de demanda de cloro, como se muestra en la figura 29.

Figura 29. Curva típica de cloración al break-point



- **Zona A:** La zona A es la demanda de cloro y se define como la cantidad de cloro agregado para producir un residual medible.
- **Zona B:** En esta zona el cloro reacciona con el amoníaco y nitrógeno orgánico en el agua y se miden residuales de cloro combinado.
- **Zona C:** Esta es la zona crucial, pues a partir de ella se obtiene el residual de cloro libre deseado, que constituye el requerimiento de cloro para la cloración con residual.
- **Zona D:** En esta zona solo existe cloro residual libre. Cualquier aumento en la dosis de cloro es proporcional al residual del agua.

ANEXO I. BALANCE DE MATERIA

A. ALTERNATIVA 1

- Agua cruda

$$353 \frac{l}{s} * \frac{3600 s}{1 h} * \frac{24 h}{1 dia} = 30.499.200 \frac{l}{dia}$$

- Cantidad de hierro en el agua cruda

$$1,32 \frac{mg}{l} * 30.499.200 \frac{l}{dia} * \frac{1 kg}{10^6 mg} = 40,25 \frac{kg}{dia}$$

- Coagulación ULTRAFLOC 100

$$11 \frac{mg}{l} * 30.499.200 \frac{l}{dia} * \frac{1 kg}{1 * 10^6 mg} = 335,5 \frac{kg Ultrafloc 100}{dia}$$

- Floculación RAPISED 1084

$$1 \frac{mg}{l} * 30.499.200 \frac{l}{dia} * \frac{1 kg}{1 * 10^6 mg} = 30,5 \frac{kg Rapised 1084}{dia}$$

- Cantidad de hierro en el agua de salida de coagulación y floculación

$$0,12 \frac{mg}{l} * 30.499.200 \frac{l}{dia} * \frac{1 kg}{10^6 mg} = 3,66 \frac{kg}{dia}$$

- Cantidad de hierro en el agua filtrada

$$0,02 \frac{mg}{l} * 30.499.200 \frac{l}{dia} * \frac{1 kg}{10^6 mg} = 0,61 \frac{kg}{dia}$$

- Cloración HIPOCLORITO DE SODIO 1%

$$1,4 \frac{mg}{l} * 30.499.200 \frac{l}{dia} * \frac{1 kg}{1 * 10^6 mg} = 42,7 \frac{kg NaOCl 1\%}{dia}$$

$$42,7 \frac{kg NaOCl 1\%}{dia} * \frac{1 ml}{1,2 g} * \frac{1000 g}{1 kg} * \frac{6,667 ml NaOCl 15\%}{100 ml sln}$$

$$= 2.372,3 \frac{ml NaOCl 15\%}{dia}$$

- Cloro residual

$$0,2 \frac{mg}{l} * 30.499.200 \frac{l}{dia} * \frac{1 kg}{10^6 mg} = 6,1 \frac{kg}{dia}$$

B. ALTERNATIVA 2

- Agua cruda

$$353 \frac{l}{s} * \frac{3600 s}{1 h} * \frac{24 h}{1 dia} = 30.499.200 \frac{l}{dia}$$

- Cantidad de hierro en el agua cruda

$$1,32 \frac{mg}{l} * 30.499.200 \frac{l}{dia} * \frac{1 kg}{10^6 mg} = 40,26 \frac{kg}{dia}$$

- Coagulación **ULTRAFLOC 110**

$$12 \frac{mg}{l} * 30.499.200 \frac{l}{dia} * \frac{1 kg}{1 * 10^6 mg} = 365,99 \frac{kg Ultrafloc 110}{dia}$$

- Floculación **RAPISED 1084**

$$0,5 \frac{mg}{l} * 30.499.200 \frac{l}{dia} * \frac{1 kg}{1 * 10^6 mg} = 15,25 \frac{kg Rapised 1084}{dia}$$

- Cantidad de hierro en el agua de salida de coagulación y floculación

$$0,14 \frac{mg}{l} * 30.499.200 \frac{l}{dia} * \frac{1 kg}{10^6 mg} = 4,27 \frac{kg}{dia}$$

- Cantidad de hierro en el agua filtrada

$$0,02 \frac{mg}{l} * 30.499.200 \frac{l}{dia} * \frac{1 kg}{10^6 mg} = 0,61 \frac{kg}{dia}$$

- Cloración **HIPOCLORITO DE SODIO 1%**

$$0,8 \frac{mg}{l} * 30.499.200 \frac{l}{dia} * \frac{1 kg}{1 * 10^6 mg} = 24,40 \frac{kg NaOCl 1\%}{dia}$$
$$24,40 \frac{kg NaOCl 1\%}{dia} * \frac{1 ml}{1,2 g} * \frac{1000 g}{1 kg} * \frac{6,667 ml NaOCl 15\%}{100 ml sln}$$
$$= 1.355,59 \frac{ml NaOCl 15\%}{dia}$$

- Cloro residual

$$0,5 \frac{mg}{l} * 30.499.200 \frac{l}{dia} * \frac{1 kg}{10^6 mg} = 15,25 \frac{kg}{dia}$$

C. ALTERNATIVA 3

- Agua cruda

$$353 \frac{l}{s} * \frac{3600 s}{1 h} * \frac{24 h}{1 dia} = 30.499.200 \frac{l}{dia}$$

- Cantidad de hierro en el agua cruda

$$1,32 \frac{mg}{l} * 30.499.200 \frac{l}{dia} * \frac{1 kg}{10^6 mg} = 40,25 \frac{kg}{dia}$$

- Coagulación **ULTRAFLOC 200**

$$19 \frac{mg}{l} * 30.499.200 \frac{l}{dia} * \frac{1 kg}{1 * 10^6 mg} = 579,5 \frac{kg Ultrafloc 200}{dia}$$

- Floculación **RAPISED 1084**

$$0,5 \frac{mg}{l} * 30.499.200 \frac{l}{dia} * \frac{1 kg}{1 * 10^6 mg} = 15,25 \frac{kg Rapised 1084}{dia}$$

- Cantidad de hierro en el agua de salida de coagulación y floculación

$$0,12 \frac{mg}{l} * 30.499.200 \frac{l}{dia} * \frac{1 kg}{10^6 mg} = 3,66 \frac{kg}{dia}$$

- Cantidad de hierro en el agua filtrada

$$0,06 \frac{mg}{l} * 30.499.200 \frac{l}{dia} * \frac{1 kg}{10^6 mg} = 1,83 \frac{kg}{dia}$$

- Cloración **HIPOCLORITO DE SODIO 1%**

$$1,2 \frac{mg}{l} * 30.499.200 \frac{l}{dia} * \frac{1 kg}{1 * 10^6 mg} = 36,6 \frac{kg NaOCl 1\%}{dia}$$

$$36,6 \frac{kg NaOCl 1\%}{dia} * \frac{1 ml}{1,2 g} * \frac{1000 g}{1 kg} * \frac{6,667 ml NaOCl 15\%}{100 ml sln}$$

$$= 2.033,38 \frac{ml NaOCl 15\%}{dia}$$

- Cloro residual

$$0,3 \frac{mg}{l} * 30.499.200 \frac{l}{dia} * \frac{1 kg}{10^6 mg} = 9,15 \frac{kg}{dia}$$

ANEXO J. COTIZACION PQP



**PRODUCTOS QUIMICOS
PANAMERICANOS S.A.**
Nit: 860.042.141-0



Bogota D.C., 17 de Marzo del 2.016

Ingeniera
Viviana Bustos M
Jefe de Tratamiento
ESP Acueducto de Zipaquirá
Ciudad

Asunto: Propuesta economica insumos quimicos para tratamiento de agua potable

Respetada Ingeniera:

Cordial Saludo.

De acuerdo con su solicitud le presento la propuesta economica para los productos quimicos asi:

| PRODUCTO | CANTIDAD Kg | PRESENTACION | PRECIO UNIDAD |
|------------------------------------|-------------|-----------------------|---------------|
| ULTRAFLOC 100 | 250 | TAMBOR POR 55 GALONES | \$ 426.519 |
| ULTRAFLOC 200 | 250 | TAMBOR POR 55 GALONES | \$ 405.870 |
| ULTRAFLOC 300 | 1 | A GRANEL | \$ 1.392 |
| ULTRAFLOC 110 | 250 | TAMBOR POR 55 GALONES | \$ 672.221 |
| SULFATO DE ALUMINIO TIPO A LIQUIDO | 250 | TAMBOR POR 55 GALONES | \$ 220.559 |

LIDERES EN CALIDAD Y SERVICIO

Medellin: Calle 5A No. 39 - 93 Torre 1 • Teléfono:(4) 268 50 00 • Fax: (4) 268 36 57 • Bogotá (1) 710 97 70 • Cali (2) 591 86 86 • Barranquilla (5) 368 67 13
www.pqp.com.co • E-mail: pqp@pqp.com.co
Colombia



PRODUCTOS QUIMICOS
PANAMERICANOS S.A.

Nit: 860.042.141-0



Certificado N.º 1471
Certificado N.º 1204
Certificado N.º 31531
Certificado N.º 11791



| | | | |
|---------------------------------------|-----|--------------------------|------------|
| SULFATO DE ALUMINIO TIPO B LIQUIDO | 250 | TAMBOR POR 55 GALONES | \$ 209.631 |
| SULFATO DE ALUMINIO TIPO A SOLIDO | 25 | SACO POR 25 Kg | \$ 28.000 |
| SULFATO DE ALUMINIO TIPO B SOLIDO | 25 | SACO POR 25 Kg | \$ 21.600 |
| RAPISED 3014 | 25 | SACO POR 25 Kg | \$ 444.850 |
| RAPISED 2080 | 25 | SACO POR 25 Kg | \$ 444.850 |
| RAPISED 1084 | 25 | SACO POR 25 Kg | \$ 444.850 |

NOTA: El precio para los productos liquidos, incluye el envase, estos precios son variables, de acuerdo a la escala según la cantidad, a estos precios por favor adicionarles el valor del IVA

**ANEXO K.
COSTO QUIMICOS EMPLEADOS EN EAAAZ**

Tabla 58. Costo insumos empleados en la empresa.

| QUIMICOS | PAC | CLORO GASEOSO | SODA EN ESCAMAS | HIPOCLORIO DE SODIO |
|-----------------------------|------------|----------------------|------------------------|----------------------------|
| UNIDAD | Kilogramo | Kilogramo | Kilogramo | Litro |
| VALOR UNITARIO (\$) | 3.050 | 4.687 | 3.300 | 2.140 |
| VALOR UNITARIO CON IVA (\$) | 3.538 | 5.436,92 | 3.828 | 2.482,4 |

Los valores mencionados en la tabla 59, se obtuvieron con base en las facturas de compra realizadas a la empresa BRINSA S.A. Para el cloro gaseoso y el hipoclorito de sodio, y en la empresa Productora Química Colombiana PROCOL LTDA para el policloruro de aluminio y la soda en escamas. Dichas facturas son mostradas a continuación:

PRODUCTORA QUIMICA COLOMBIANA PROCOL LTD

IVA REGIMEN COMUN

Nit 830.020.483-0

CARRERA 13 No 5A-20 / TEL 8931186 CEL
3102967290 / 3209020853

Resolución DIAN N°320001166196 Fecha 2014- 07- 24
Autorizado de S 1 a 51000 facturas por sistema. Código
CIU 2026 6.5*1003 - FAVOR NO RETENER ICA SOLOS
CONTRIBUYENTES EN EL MUNICIPIO DE FUNZA

| | | | |
|------------------|---|---------------------------|------------------|
| CLIENTE | EMPRESA DE ACUEDUCTO ALCANTARILLADO Y ASEO DE ZIPAQUIRA ESP | FACTURA DE VENTA S | 950 |
| NIT | 800005900 9 | FECHA FACTURA | 02-abr-16 |
| DIRECCION | DR OSCAR FERNANDO CASTILLO | FECHA VEN | 02-abr-16 |
| CIUDAD | CARRERA 15 1 SUR 11 | FORMA DE PAGO | Credito |
| TELEFONO | Zipaquira | REMISION N° | FACTURA DE VENTA |
| | 598388 | | |

| Descripción | Cantidad | U Medida | Valor Unitario | IVA | Total |
|--------------------------|----------|----------|----------------|-----|-------------------|
| PAC | 5.000 | kg | 3.050 | 0 | 15.250.000 |
| SODA CAUSTICA EN ESCAMAS | 5.000 | kg | 3.300 | 0 | 16.500.000 |
| Subtotal | | | | | 31.750.000 |
| IVA | | | | | 5.080.000 |
| TOTAL FACTURA | | | | | 36.830.000 |

Valor en Letras
TREINTA Y SEIS MILLONES OCHOCIENTOS TREINTA MIL PESOS M/CTE

Firma Responsable _____ Recibido Por _____

ESTA FACTURA DE VENTA SE EMITE EN TODOS SUS EFECTOS LEGALES A UNA LETRA DE CAMBIO SEGUN ART 744 DE COD COMERCIO. SUSCRIBO DE CONFORMIDAD EL IMPORTE DE ESTA FACTURA Y PAGARE INCONDICIONALMENTE A PROCOL LTDA

Somos autoretenedores, Resolución No. 0068 del 30 de junio de 1.994 de la
Unidad Administrativa Especial Dirección de Impuestos y Aduanas Nacionales. Autorretenedor del CREE

Somos contribuyentes del impuesto de industria y comercio en el municipio de Cajica
(Cundinamarca).

IVA Régimen Común - Grandes Contribuyentes
Agente Retenedor de IVA - Resolución No 000041 de 30 de Enero de 2014

Brinsa

NIT. 800.221.789-2

FACTURA DE VENTA No. **A00881102**

| FECHA FACTURA | FECHA DE VENCIMIENTO | O.C. CLIENTE No. | PLANILLA DE CARGUE No. |
|---------------|----------------------|------------------|------------------------|
| 2016/05/05 | 2016/06/04 | | 881759 |

| | | | |
|---|--------------------------------|-------------------------------|-------------------|
| CLIENTE: | | ENVIO DE MERCANCIA A | CODIGO |
| 4059 EMP DE AC AL Y AS DE ZIPAQUIR | | EMP DE AC AL Y AS DE ZIPAQUIR | 3000 |
| NIT.: ID. FISCAL: 800005900 | | DIRECCION: CL 3D # 12-31 | |
| DIRECCION: CL 3D No 12-31 | | TELEFONO: . | |
| CIUDAD: ZIPAQUIRA | DEPTO.: CUN | PAIS: COL | CIUDAD: ZIPAQUIRA |
| PEDIDO No.: 1216009 | FORMA DE PAGO: CREDITO 30 DIAS | DEPTO.: CUN | PAIS: COL |

| CODIGO | DESCRIPCION | UNIDADES | %IVA | CANT. | U/V | VALOR UNITARIO | VALOR TOTAL |
|----------|--------------------------------|----------|-------|--------|-----|----------------|--------------|
| 10022001 | COLOR LIQ. EN CONTEN. X 1000kg | .000 | 16.00 | 1.000 | C1 | 4,687,000.00 | 4,687,000.00 |
| 10022003 | COLOR LIQ. EN CILINDRO X 68 kg | .000 | 16.00 | 2.000 | C3 | 322,200.00 | 644,400.00 |
| 10022302 | PISCICLOR GARRAFA X 20 lt | 40.000 | 16.00 | 40.000 | G1 | 42,800.00 | 1,712,000.00 |

EMPRESA DE ACUED. ALC. Y ASEO DE ZIPAQUIRA E.S.P.

2016 MAY 10 PM 3:20

ERRAZ ESR: 005204

| | | |
|--|----------------|--------------|
| Ocho millones ciento setenta mil trescientos cuarenta y cuatro Pesos | SUBTOTAL | 7,043,400.00 |
| | IVA | 1,126,944.00 |
| | TOTAL COP | 8,170,344.00 |
| OBSERVACION: | TOTAL CAJAS | 43.00 |
| | TOTAL KILOS | 2,096.000 |
| | TOTAL UNIDADES | 40.000 |

Brinsa

NIT. 800.221.789-2

CONM. 4846000

FIRMA BRINSA S.A.

FIRMA DEL CLIENTE

BETANIA: Km. 6 Via Cajica - Zipaquirá Tel.: (57)-(1) 4846000 Fax: (57)-(1) 4846001
MEDELLIN: Carrera 33 No. 7 - 41 Pisos 2 y 3 Tel.: (57) (4) 3355060
CARTAGENA: Km. 11 Via Mamonal - Cartagena Tel.: (57)-(1) 6686212
SERVICIO AL CLIENTE NACIONAL Tel.: (57)-(1) 4846038 Cel.: 3125593794
Email: informacion@brinsa.com.co

www.brinsa.com.co

