

**PROPUESTA DE MEJORA PARA LA PLANTA DE AGUA POTABLE DE LA
EMPRESA FERTILIZANTES COLOMBIANOS S.A.**

**PAULA CATALINA SANCHEZ PULIDO
JHON LEONARDO ALONSO RIOS**

**FUNDACIÓN UNIVERSIDAD DE AMÉRICA
FACULTAD DE INGENIERIAS
PROGRAMA DE INGENIERÍA QUÍMICA
BOGOTA
2017**

**PROPUESTA DE MEJORA PARA LA PLANTA DE AGUA POTABLE DE LA
EMPRESA FERTILIZANTES COLOMBIANOS S.A.**

**PAULA CATALINA SANCHEZ PULIDO
JHON LEONARDO ALONSO RIOS**

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

**Asesor
OSCAR LOMBANA
Ingeniero químico**

**FUNDACIÓN UNIVERSIDAD DE AMÉRICA
FACULTAD DE INGENIERIAS
PROGRAMA DE INGENIERÍA QUÍMICA
BOGOTA
2017**

Nota de aceptación

Firma del presidente del jurado

Firma del jurado

Firma del jurado

Bogotá D.C, marzo de 2017

DIRECTIVAS DE LA UNIVERSIDAD

Presidente de la Universidad y Rector del Claustro

Dr. Jaime Posada Díaz

Vicerrector de Desarrollo y Recursos Humanos

Dr. Luis Jaime Posada García – Peña

Vicerrectoría Académica y de Posgrados

Dr. Ana Josefa Herrera Vargas

Secretario General

Dr. Juan Carlos Posada García – Peña

Decano Facultad de Ingenierías

Ing. Julio Cesar Fuentes Arismendi

Director Programa de Ingeniería Química

Ing. Leonardo de Jesús Herrera Gutiérrez

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

AGRADECIMIENTOS

Hoy quiero dar gracias a Dios por haberme dado la oportunidad de culminar satisfactoriamente esta primera etapa de mi vida y demostrarme cada día que hay una nueva razón para sonreír.

A mi madre que desde niño me llevo en los brazos con el fin de protegerme y así lo ha hecho desde ese entonces sin descanso a lo largo de los últimos 23 años para hacerme mejor persona y mostrarme un mundo lleno de posibilidades. Doy gracias porque me formo en el hombre que soy hoy en día, por amarme incondicionalmente y demostrarme el verdadero significado del amor, que ama sin barreras y sin prejuicios, que me ama por lo que soy; por afrontar junto a mí los momentos más difíciles de la vida y enseñarme a ser perseverante y luchar por lo que amo sobre todas las cosas.

A mis abuelos que velaron por mí a lo largo de toda mi vida y de cierta manera sacrificaron parte de la suya por verme en el lugar donde estoy y cuidarme día a día con la sonrisa tierna y el aliento constante, fueron un apoyo incondicional en todos los momentos, sin el cual estoy seguro que no estaría en el lugar en donde estoy. Al resto de mi familia que de una u otra manera estuvieron ahí para brindarme esa palabra de apoyo, ese espacio de seguridad, ese hombro para llorar o esa mano para ayudarme a levantar cada vez que lo necesite, que no fueron pocas veces.

A mis amigos que sin lugar a dudas hicieron de esta experiencia un momento inolvidable, por estar ahí cuando los necesite y darme de igual manera su apoyo y cariño en todos esos momentos que vivimos juntos a lo largo de esta etapa. Por crecer conmigo y compartir desde los momentos más felices hasta las lágrimas más sentidas. Gracias por apoyarme y dejarme ser quien soy sin lugar a las críticas, más allá de los chistes y las sonrisas encontré otra familia dispuesta ayudarme y cuidarme en cada momento, la cual espero conservar por gran parte de mi vida.

A mi compañera de tesis que estuvo a mi lado desde el primer momento, y puedo decir que a lo largo de este tiempo crecimos juntos, somos personas diferentes de esos niños que se conocieron por primera vez en un salón de clases en los primeros días, gracias porque siempre sentí en ti una voz sincera que era capaz de expresarme lo que sentía y pensaba de las situaciones que nos rodeaban. Gracias a todos, a los que están, a los que se fueron, a los que volverán y a los que sin lugar a dudas no quiero perder en mi vida.

Jhon Leonardo Alonso Rios

Gracias a Dios y la virgen María por hacerme una persona fuerte durante los años, y bendecirme día tras día, pero sobre todo por el mejor regalo de toda mi vida, mi

razón para seguir para levantarme todos los días con una gran sonrisa, mi niña hermosa.

A mis padres por los valores inculcados para ser una mejor persona con el pasar del tiempo y apoyarme en todo, para lograr esta meta, sin importar las adversidades presentadas.

A mi hermanito, por confiar en mí y brindarme su cariño, y comprensión.

A mis Titos, que me apoyaron, para seguir con mi proyecto de vida, pero sobre todo experiencias y consejos inolvidables.

A Toño que me acompañó durante estos años, por su amor, comprensión, en los momentos buenos pero sobre todo en los no tan buenos, y que siempre hizo lo que estaba a su alcance para lograr culminar esta importante etapa.

A mi compañero que se convirtió en un gran amigo, desde la primera semana de clases hasta lograr culminar, ni la distancia pudo separarnos, y gracias por su disciplina, esfuerzo aportando sus conocimientos.

Por último, a todos los maestros, amigos que me acompañaron en este camino y quedarán en mi memoria siempre.

Paula Catalina Sánchez Pulido

CONTENIDO

	pág.
INTRODUCCIÓN	22
1. GENERALIDADES	22
1.1 AGUA POTABLE	23
1.1.1 Características del agua potable	23
1.2 FERTILIZANTES COLOMBIANOS S.A.	24
1.2.1 Aspectos generales	24
1.2.2 Ubicación	25
1.3 FUENTE HÍDRICA	26
2. MARCO REFERENCIAL	28
2.1 MARCO TEÓRICO	28
2.1.1 Agua superficial	28
2.1.2 Agua potable	28
2.1.3 Parámetros físicos	30
2.1.4 Características químicas	33
2.1.5 Características microbiológicas del agua.	36
2.1.6 Tratamientos preliminares	36
2.1.7 Tratamientos primarios	38
2.1.8 Tratamientos secundarios	44
2.1.9 Tratamientos terciarios	45
2.2 MARCO LEGAL	47
3. DIAGNOSTICO DE LA PLANTA	49
3.1 DIAGNOSTICO Y CARACTERÍSTICAS DEL PROCESO	49
3.1.1 Captación del agua	49
3.1.2 Mezcla de reactivos	50
3.1.3 Clarificación – floculación	53
3.1.4 Almacenamiento agua clarificada	54
3.1.5 Filtración arena-antracita	55
3.1.6 Post-cloración	56
3.2 DIAGNOSTICO OPERACIONAL	59
3.3 CARACTERÍSTICAS DE LOS INSUMOS QUÍMICOS	60
3.3.1 Sulfato de aluminio ($Al_2(SO_4)_3$)	60
3.3.2 Soda caustica (NaOH)	61
3.3.3 Hipoclorito de sodio (NaClO)	62

3.4 ANÁLISIS DE LAS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS, QUÍMICAS Y MICROBIOLÓGICAS DEL AGUA	63
3.4.1 Caracterización del agua en época de verano	63
3.4.2 Caracterización del agua en época de invierno	65
4. PLAN DE MEJORAMIENTO PARA LA PLANTA DE AGUA POTABLE	67
4.1 ALTERNATIVAS PARA LA POTABILIZACIÓN DEL AGUA	67
4.1.1 Alternativa 1: Evaluación de un nuevo coagulante	67
4.1.2 Alternativa 2: Estudio de la concentración del coagulante	68
4.1.3 Alternativa 3: Estudio de la implementación de un desarenador como nueva etapa del proceso y evaluación de un nuevo lecho filtrante	68
4.2 PROCEDIMIENTO DE SELECCIÓN	69
4.3 MATRIZ DE SELECCIÓN	72
4.4 DESARROLLO DE LA ALTERNATIVA SELECCIONADA	74
4.4.1 Estudio técnico del sistema de desarenado	75
4.4.2 Diseño teórico del desarenador	79
4.4.3 Mejoramiento del sistema de mezcla rápida	85
4.4.4 Remoción de capas de algas formadas en el taque de clarificación	89
4.4.5 Determinación de un nuevo lecho filtrante	89
4.4.6 Test de jarras para la coagulación y floculación	95
4.4.7 Mantenimiento y reposición de los paneles de floculación	108
5. EVALUACIÓN DE COSTOS	108
5.1 FILTRACIÓN	108
5.2 DESARENADOR	109
5.3 MEZCLADO RÁPIDO, TURBINA TIPO RUSHTON	112
6. CONCLUSIONES	114
7. RECOMENDACIONES	116
BIBLIOGRAFIA	117
ANEXOS	119

LISTA DE TABLAS

	pág.
Tabla 1. Acontecimientos importantes en la historia de la empresa Fertilizantes Colombianos S.A.	24
Tabla 2. Características Ciénaga San Silvestre	27
Tabla 3. Clasificación de los lechos filtrantes	45
Tabla 4. Características físicas de la Resolución 2115 del 2007	47
Tabla 5. Características químicas de la Resolución 2115 del 2007	48
Tabla 6. Características microbiológicas de la Resolución 2115 del 2007	48
Tabla 7. Especificaciones reactivos agregados etapa floculación	52
Tabla 8. Diagnóstico operacional de la planta	59
Tabla 9. Propiedades relevantes del sulfato de aluminio	61
Tabla 10. Propiedades del hidróxido de sodio	62
Tabla 11. Propiedades relevantes del hipoclorito de sodio	62
Tabla 12. Resultados de la caracterización de agua, tanto cruda como tratada, en época de verano.	64
Tabla 13. Resultados de la caracterización de agua, tanto cruda como tratada, en época de invierno.	65
Tabla 14. Escala de factores para la matriz de selección	70
Tabla 15. Criterios y valores ponderados para la selección de alternativas	71
Tabla 16. Matriz de selección de alternativa	73
Tabla 17. Datos para el diseño del desarenador	79
Tabla 18. Resultados del dimensionamiento del desarenador para el caudal máximo normal	82

Tabla 19. Resultados del dimensionamiento del desarenador pra el caudal promedio	83
Tabla 20. Resultados del dimensionamiento del desarenador para el caudal mínimo.	84
Tabla 21. Resultados del dimensionamiento del desarenador para el caudal máximo de emergencia.	84
Tabla 22. Resultados de la longitud del desarenador	85
Tabla 23. Datos para el diseño del mezclador	86
Tabla 24. Tiempo de contacto y el gradiente de velocidad para la mezcla rápida	86
Tabla 25. Dimensionamiento de la turbina	88
Tabla 26. Resultados de turbidez y eficiencia para el proceso de filtración	90
Tabla 27. Tamaños típicos de los lechos de grava	91
Tabla 28. Composición típica de lechos de grava	92
Tabla 29. Resultados experimentales de color del agua filtrada por cada lecho filtrante	94
Tabla 30. Resultados experimentales de turbiedad del agua filtrada por cada lecho filtrante	94
Tabla 31. Resultados test de jarras 1 con coagulante	96
Tabla 32. Resultados test de jarras 2 con coagulante	98
Tabla 33. Resultados test de jarras 3 con coagulante	99
Tabla 34. Resultados primer test de jarras con floculante	102
Tabla 35. Resultados segundo test de jarras con floculante	104
Tabla 36. Resultados tercer test de jarras con floculante	105
Tabla 37. Cantidad de material necesario para un lecho filtrante	108
Tabla 38. Costo total del material para un lecho filtrante	108

Tabla 39. Costo total del material para un lecho filtrante	109
Tabla 40. Volumen total de concreto necesario para la estructura principal del desarenador	109
Tabla 41. Cálculo del área total interior del desarenador que tendrá que ser recubierta	110
Tabla 42. Cálculo costo total de las mallas para el refuerzo estructural del concreto.	111
Tabla 43. Cálculo del costo total de accesorios	111
Tabla 44. Costo del desarenador	112
Tabla 45. Costo de los accesorios para la mezcla rápida.	112
Tabla 46. Costo total de la propuesta de mejoramiento.	113
Tabla 47. Costos de la compra del agua	113

LISTA DE DIAGRAMAS

	pág.
Diagrama 1. Proceso de producción de la empresa Fertilizantes S.A.	25
Diagrama 2. Bloques proceso de potabilización	57
Diagrama 3. Diagrama de flujo	58

LISTA DE GRAFICOS

	pág.
Gráfico 1. Curva de punta de quiebre o curva de demanda de cloro	46
Gráfico 2. Comparación de porcentajes de remoción de color y turbidez	94
Gráfico 3. Resultados de Turbidez versus concentración de coagulante, primer test de jarras	97
Gráfico 4. Resultados de pH versus concentración de coagulante, primer test de jarras	97
Gráfico 5. Resultados de Turbidez versus concentración de coagulante, segundo test de jarras	98
Gráfico 6. Resultados de pH versus concentración de coagulante, segundo test de jarras	99
Gráfico 7. Resultados de Turbidez versus concentración de coagulante, tercer test de jarras	100
Gráfico 8. Resultados de pH versus concentración de coagulante, tercer test de jarras	100
Gráfico 9. Resultados de Turbidez versus concentración de floculante, primer test de jarras	103
Gráfico 10. Resultados de pH versus concentración de floculante, primer test de jarras	103
Gráfico 11. Resultados de Turbidez versus concentración de floculante, segundo test de jarras	104
Gráfico 12. Resultados de pH versus concentración de floculante, segundo test de jarras	105
Gráfico 13. Resultados de Turbidez versus concentración de floculante, tercer test de jarras	106
Gráfico 14. Resultados de pH versus concentración de floculante, tercer test de jarras	106

LISTA DE IMAGENES

	pág.
Imagen 1. Ubicación geográfica	26
Imagen 2. Captación de agua en tubería de Fertilizantes Colombianos S.A.	49
Imagen 3. Ubicación geográfica Ciénaga de San Silvestre	50
Imagen 4. Bomba dosificadora de soda caústica	51
Imagen 5. Bomba dosificadora de sulfato de aluminio e hipoclorito de sodio	51
Imagen 6. Equipo para mezcla rápida	53
Imagen 7. Tanque de almacenamiento de agua clarificada	54
Imagen 8. Bomba de agua clarificada	55
Imagen 9. Filtros Bicapa A-4 y A-5	56
Imagen 10. Tanque de post-cloración y almacenamiento de agua tratada	57
Imagen 11. Desarenador flujo horizontal con by-pass (planta y corte)	76
Imagen 12. Desarenador aireado	77
Imagen 13. Desarenador de vórtice	77
Imagen 14. Diseño del desarenador en corte transversal	84
Imagen 15. Esquema del dimensionamiento de la turbina	89
Imagen 16. Estado actual de las láminas del equipo pulsador laminar a sifón	107

LISTA DE CUADROS

	pág.
Cuadro 1. Procesos de producción de la empresa	25
Cuadro 2. Clases de coagulación	41
Cuadro 3. Clasificación de los floculantes	42
Cuadro 4. Comparación de ventajas y desventajas de cada tipo de desarenador	77

LISTA DE ECUACIONES

	pág.
Ecuación 1. Puntuación Global ponderada.	70
Ecuación 2. Área de una parábola.	81
Ecuación 3. Caudal	82
Ecuación 4. Profundidad para un desarenador.	82
Ecuación 5. Profundidad crítica para un desarenador.	82
Ecuación 6. Área de la sección de control	82
Ecuación 7. Ancho de la sección de control.	82
Ecuación 8. Área de flujo para la sección de control.	83
Ecuación 9. Profundidad en la cámara desarenadora	83
Ecuación 10. Longitud para un desarenador.	85
Ecuación 11. Producto del Gradiente de velocidad y tiempo de contacto.	87
Ecuación 12. Diámetro de un cilindro	87
Ecuación 13. Ancho de cada paleta.	87
Ecuación 14. Longitud de la paleta	87
Ecuación 15. Diámetro del disco central.	87
Ecuación 16. Potencia requerida	88
Ecuación 17. Revoluciones por minuto	88
Ecuación 18. Potencia real de un motor.	88
Ecuación 19. Eficiencia de la filtración	90

LISTA DE ANEXOS

	pág.
Anexo A. Caracterización del hipoclorito de sodio	120
Anexo B. Caracterización del sulfato de aluminio líquido	123
Anexo C. Caracterización de la soda caustica	126
Anexo D. Caracterización de la antrasita	129
Anexo E. Caracterización de la arena sílice	130
Anexo F. Caracterización de la grava sílice	131
Anexo G. Caracterización de agua de la ciénaga en época de invierno, septiembre 15 2016.	132
Anexo H. Caracterización de agua de la ciénaga en época de verano, mayo 2 2016.	133
Anexo I. Caracterización de agua tratada en época de invierno, septiembre 15 2016.	134
Anexo J. Caracterización de agua tratada en época de verano, mayo 2 2016.	135
Anexo K. Cálculos desarenador y turbina	136
Anexo L. Cotización de turbina tipo Rushton.	142
Anexo M. Cotización lechos filtrantes.	143

GLOSARIO

AGUA CRUDA: es aquella que no ha sido sometida a ningún proceso de tratamiento.

AGUA POTABLE: es aquella que es apta para ser consumida por la población humana sin llegar a producir efectos adversos en la salud de los individuos, esto sucede luego de que esta cumple los requisitos estipulados por la ley para ser aceptada como tal, reuniendo requisitos organolépticos, físicos, químicos y microbiológicos.

AGUA SERVIDA: las aguas servidas o aguas negras son los desechos líquidos provenientes del uso doméstico, comercial e industrial. Llevan disueltas o en suspensión una serie de materias orgánicas e inorgánicas. Proviene de la descarga de sumideros, fregaderos, inodoros, cocinas, lavanderías (detergentes), residuos de origen industrial (aceites, grasas, curtiembres, etc.). Donde existen sistemas de alcantarillado todas confluyen a un sistema colector de aguas cloacales, que debería terminar en una planta de tratamiento.

ANÁLISIS DE VULNERABILIDAD: es el estudio por el cual se pueden evaluar los riesgos potenciales a los cuales es vulnerable cada componente de un sistema de suministro de agua.

AUTORIDAD SANITARIA: es la entidad competente del Sistema General de Seguridad Social (S.G.S.S.), que ejerce funciones de vigilancia de los sistemas de suministro de agua en cumplimiento de las normas, disposiciones y criterios que propone la ley, así como los demás aspectos que tengan relación con la calidad del agua para consumo humano.

BOCATOMA: estructura hidráulica que tiene como objetivo captar aguas superficiales o de alguna fuente hídrica en general, con el fin de dirigir las a sistemas hidráulicos o acueductos.

CIENAGA: fuente hídrica natural, formada por la inundación de zonas planas por aguas no corrientes, pero que debido a su conexión con ríos se ven abastecidas y renovadas.

COLOR RESIDUAL LIBRE: es el residuo dejado por el contacto con sustancias químicas que contengan cloro, como ácido hipocloroso, y el agua, teniendo en cuenta que el cloro es uno de los desinfectantes más usados para purificar aguas para consumo humano. La Organización Mundial de la Salud señala que no se ha encontrado ningún efecto adverso en el uso de cloro para aguas, sin embargo estipulan el límite como 5 miligramos por litro.

COAGULACION QUIMICA: procedimiento para el tratamiento del agua, en el cual interviene un agente químico denominado coagulante, el cual se encarga de aglutinar las partículas suspendidas y los coloides presentes, desestabilizándolos a causa de la eliminación de las dobles capas eléctricas que rodean a estos.

COLIFORMES: son bacilos Gram negativos, no esporulados, aerobios o anaerobios facultativos que fermentan la lactosa como producción de ácido y gas, pueden encontrarse en la flora normal del tracto digestivo de los animales por lo cual son indicadores de malos manejos higiénicos.

COLOR APARENTE: es el color que presenta el agua en el momento de su recolección sin haber pasado por un filtro de 0.45 micras.

FLOCULACION: procedimiento mecánico o hidráulico, cuyo fin es aglutinar los aglomerados formados mediante la coagulación, aumentando así la eficiencia de la sedimentación a causa del aumento del peso en las partículas aglutinadas.

INDICE COLIFORME: es la cantidad estimada de microorganismos de grupo coliforme presente en cien centímetros cúbicos (100 cm³) de agua, cuyo resultado se expresa en términos de número más probable (NMP) por el método de los tubos múltiples y por el número de microorganismos en el método del filtro por membrana.

LODOS: mezcla básica de agua y partículas sólidas, en alta concentración, los cuales surgen a causa de la clarificación del agua y la limpieza de los filtros o resinas utilizadas en los procesos de tratamiento.

PARTES POR MILLON: medida de concentración que expresa la cantidad presente de un soluto, en un millón de partículas de solución. Expresada como ppm, se expresa equivalentemente como mg/L.

SEDIMENTACION: asentamiento de partículas presentes en un fluido debido principalmente a la gravedad.

SOLIDOS DISUELTOS: solidos que por sus características químicas y físicas son capaces de disolverse completamente en agua y son tratables por filtración.

SOLIDOS SUSPENDIDOS: solidos que por sus características químicas y físicas no son capaces de disolverse completamente en agua, pero están suspendidos entre las partículas de estas, pueden o no sedimentarse naturalmente.

RESUMEN

En el siguiente trabajo de grado desarrolló una propuesta de mejora para la planta de agua potable de la empresa FERTILIZANTES COLOMBIANOS S.A. Se realizó un diagnóstico total de la planta, en el cual se examinó el estado actual de los equipos, la infraestructura y se estudió los insumos químicos utilizados en el tratamiento.

Mediante las caracterizaciones realizadas por un laboratorio externo a las muestras de agua tomadas de la fuente hídrica y el producto de la planta, tanto en condiciones de verano como de invierno, se comprobó el incumplimiento de la resolución 2115 del 2007 y se establecieron los parámetros críticos del proceso como lo son la turbiedad, color y hierro, los cuales se buscó mejorar en este proyecto, por ello se propuso 3 alternativas, de estas se escogió la más conveniente mediante una matriz de selección.

Se desarrolló el dimensionamiento teórico de un desarenador de flujo horizontal para eliminar partículas suspendidas en el agua, prevenir lodos de formación, taponamiento y suciedad innecesaria en los lechos filtrantes, diseñando así un equipo con una altura de 1,15 m y una longitud 9,5 m. Además se mejora la mezcla rápida que era una etapa crítica en el proceso, por lo cual se diseñó teóricamente una turbina para llevar el mezclado a una zona de turbulencia que garantice el mayor contacto entre las partículas del agua, el coagulante, el regulador de pH y el desinfectante, así eliminando el vórtice, previo a la clarificación.

Al evaluar la eficiencia para la filtración dio un aproximado de 30%, por lo cual era necesario el cambio de los lechos filtrantes. Para esto se realizó una prueba experimental con el fin de comparar distintos lechos filtrantes, el que mejor resultados arrojó fue un lecho dual conformado por arena, antracita y grava. Por último se propuso mejoras en el mantenimiento de las láminas del floculador y el tanque de almacenamiento de agua clarificada. Finalmente se realizó una evaluación de costos con el fin de obtener un resultado claro del costo del proyecto en caso de ser implementado, dando así un costo de ocho millones trescientos mil pesos aproximadamente.

Palabras claves: agua cruda, potabilización del agua, floculación, coagulación.

INTRODUCCIÓN

Fertilizantes Colombianos S.A. es una empresa dedicada a la producción, distribución, y comercialización de abonos nitrogenados para el mercado nacional, destacando como un líder. La empresa pertenece al sector petroquímico y se encuentra ubicada en la ciudad de Barrancabermeja departamento de Santander, en cercanías del Barrio Las Granjas, sector Nororiental de la ciudad.

Esta cuenta con una fuente principal de captación de agua superficial, la ciénaga de San Silvestre, de la cual es bombeada el agua a la planta de tratamiento de agua potable, la cual funciona de manera continua y se destina para el consumo doméstico e industrial. La planta de potabilización de agua con la que cuenta en la actualidad la empresa que pese a funcionar en algún momento, según datos obtenidos por caracterizaciones del agua producto de esta, no cumple con los parámetros necesarios para las cuales fue diseñada.

Este proyecto busca dar una solución viable a esta problemática, proponiendo alternativas útiles y aplicables a la planta, teniendo en cuenta el estado actual de la misma, los procedimientos realizados, las condiciones climáticas de la zona, y las condiciones específicas con las que la empresa cuenta y requiere en la actualidad. Esto con el fin de mejorar la parte técnica y operativa de la planta, y así seleccionar de manera cualitativa la mejor alternativa.

La importancia del presente trabajo radica en que el agua se destina no solo para los procesos internos e industriales de la planta, si no también es dada para uso doméstico, por lo cual es de vital importancia el mejoramiento de la planta, para garantizar de manera confiable las características básicas del agua que la declaran como potable. Además de asegurar la autosuficiencia de la empresa en servicios hídricos, lo cual le da una ventaja competitiva al no depender directamente de terceros para la prestación del servicio.

El objetivo general del proyecto es desarrollar una propuesta de mejora para la planta de agua potable de la empresa Fertilizantes Colombianos S.A., cuyos objetivos específicos son: diagnosticar el estado actual del proceso de potabilización de agua con el que cuenta la empresa, seleccionar que alternativa genera un mejoramiento en el proceso de la planta de agua potable, establecer los requerimientos técnicos de la alternativa seleccionada y realizar la evaluación de costos de dicha alternativa.

Las limitaciones de este proyecto se basan en no poder llegar a implementar la propuesta de mejora, certificando así el mejoramiento a nivel planta. Sin embargo tiene como propósito principal proporcionar a la empresa de la información necesaria en términos técnicos, operacionales y económicos, para llegar a hacerlo y darle de esta manera la importancia y el uso debido a la planta.

1. GENERALIDADES

1.1 AGUA POTABLE

La clasificación de agua potable se realiza según normativas nacionales, para el caso colombiano la normativa vigente es la resolución 2115 de 2007 en la cual se determinan los factores primordiales para que esta pueda ser consumida por seres humanos sin generar repercusiones a la salud tanto leve como grave, o incluso la muerte, teniendo en cuenta parámetros físicos, químicos y microbiológicos. La definición de agua potable nos indica que es aquella que está libre de arsénico, cadmio, zinc, cromo, nitratos y nitritos, microorganismos patógenos, y posee propiedades físicas agradables, por tal motivo dicha agua es la que ha pasado por una planta potabilizadora en la cual se han retirado dichas sustancias y microorganismos.

1.1.1 Características del agua potable.

1.1.1.1 Captación. Esta se realiza del conjunto de agua que se encuentra en la parte superficial de la hidrosfera terrestre, se encuentra en distintas formaciones naturales como ríos, mares, océanos, ciénagas, humedales, lagos, canales, etc. Está agua se toma con una bocatoma la cual posee una reja encargada de retener los sólidos de gran tamaño, para que el agua pueda seguir su tratamiento.

1.1.1.2 Coagulación. Es un proceso de desestabilización química de las partículas coloidales que se producen al neutralizar las fuerzas que los mantienen separados, por medio de la adición de los coagulantes químicos y la aplicación de la energía de mezclado; si dicho proceso no se realiza de forma adecuada dará como origen una degradación de agua de una forma más rápida.

1.1.1.3 Floculación. Es el proceso que sigue a la coagulación, que consiste en la agitación de la masa coagulada que sirve para permitir el crecimiento y aglomeración de los flóculos recién formados con la finalidad de aumentar el tamaño y peso necesarios para sedimentar con facilidad. Estos flóculos inicialmente pequeños, crean al juntarse aglomerados mayores que son capaces de sedimentar, puede suceder que los flóculos formados por la aglomeración de varios coloides no sean lo suficientemente grandes como para sedimentar con la rapidez deseada, por lo cual el empleo de un floculante es necesario para reunir en forma de red, formando puentes de una superficie a otra enlazando las partículas individuales en aglomerados.

1.1.1.4 Filtración. Este proceso se realiza con un filtro de arena, donde el agua que se está tratando pasa por dicho filtro dejando los flóculos que se han aglomerado en el proceso anterior.

1.1.1.5 Cloración. Este es el último paso de las plantas potabilizadoras, es eficaz y poco costoso. Se encarga de desinfectar el agua y hacerla potable. Consiste en introducir productos clorados (pastillas de cloro, lejía, etc.) en el agua para matar los microorganismos en ella contenidos. Normalmente, tras un tiempo de actuación de unos 30 minutos, el agua pasa a ser potable. Gracias al efecto remanente del cloro, continúa siéndolo durante horas o días (en función de las condiciones de almacenamiento).

1.2 FERTILIZANTES COLOMBIANOS S.A.

1.2.1 Aspectos generales. Fertilizantes Colombianos S.A se constituye como una compañía dedicada a la producción, distribución y comercialización de abonos nitrogenados. Los fertilizantes nitrogenados son sustancias nutritivas que en su composición química tienen nitrógeno en forma asimilable para las plantas, es decir que cuando son aplicados al suelo o a las hojas, pueden ser absorbidos por los diferentes órganos, contribuyendo así a su crecimiento desarrollo y producción.

Tabla 1. Acontecimientos importantes en la historia de la empresa Fertilizantes Colombianos S.A.

AÑO	ACONTECIMIENTO
1963- 1965	Fundación y periodo en el cual fue instalado el complejo
1967	Expansión de la producción con la instalación de las plantas de Urea y Amoniaco
1995	Instalación de la planta de Nitrato de calcio
2001	Ubicación de un gasoducto, que paraliza la producción por 18 meses
2003	Acuerdo de reestructuración en el marco de la ley 550 de 1999

Fuente: Fertilizantes Colombianos S.A, Historia, [En Línea], disponible en <http://www.ferticol.com/Paginas/Historia.html>.

En el Cuadro 1 se relacionan algunos de los principales acontecimientos históricos de la empresa, los cuales han afectado el desarrollo y crecimiento de la misma hasta la actualidad, los procesos de producción dados en la compañía, así como las

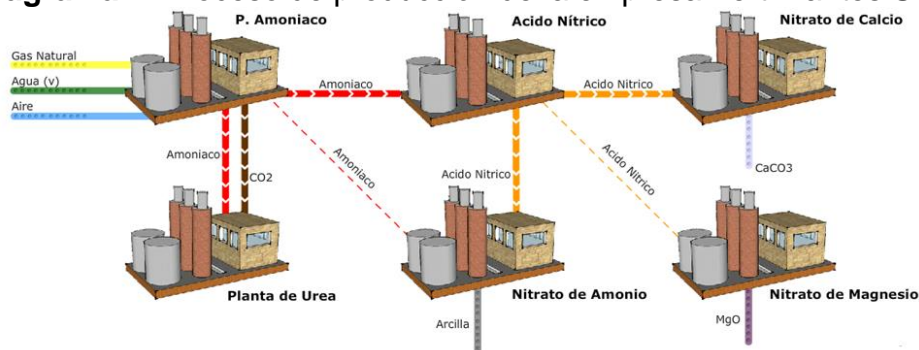
materias primas necesarias para que se lleven a cabo se relacionan en el Cuadro 2 y el Diagrama 1.

Cuadro 1. Procesos de producción de la empresa

PLANTAS	MATERIAS PRIMAS
Amoniaco	Gas natural, agua aire
Urea	Amoniaco, CO ₂
Ácido nítrico	Amoniaco
Nitrato de calcio	Ácido nítrico, CaCO ₃
Nitrato de magnesio	Ácido nítrico, MgO
Nitrato de amonio	Arcilla, amoniaco y ácido nítrico

Fuente: Informe de caracterización de agua residual, Ferticol S.A, Barrancabermeja 2014, Albedo SAS.ESP. pág. 9.

Diagrama 1. Proceso de producción de la empresa Fertilizantes S.A.



Fuente: Manual operativo procesos de producción, Fertilizantes Colombianos S.A, [En Línea], disponible en: <http://www.ferticol.com/Paginas/ProcesosDeProduccion.html>

1.2.2 Ubicación. Ferticol S.A. se encuentra situada en el en el sector centro-oriental de Colombia, departamento de Santander, en el municipio de Barrancabermeja en la zona industrial del barrio Las Granjas, como se puede observar en la Imagen 1, la planta se encuentra dentro de un ecosistema básicamente urbano, medianamente intervenido y en donde predominan actividades de tipo residencial y en pequeño grado comercial, siendo la empresa fuente de trabajo y subsistencia para la gran parte de la población adyacente; la temperatura general de la zona promedio anual oscila entre los 26°C la mínima y 32°C la máxima.

Imagen 1. Ubicación geográfica



Fuente: google maps [En línea], consultado el 17 de septiembre de 2016 disponible en <https://www.google.com.co/maps/@7.0736609,-73.836107,783m/data=!3m1!1e3?hl=en>

La empresa cuenta con diferentes vías de acceso como lo es al sur con la carretera nacional para tráfico pesado procedente de Bucaramanga, con desarrollo en dos carriles y separador en la extensión del lindero con la planta industrial o lote de terreno que es o fue del seminario de Salazar Hermanos; al occidente con la vía al corregimiento El Llanito y la ciénaga San Silvestre; pero la principal vía de acceso al terreno de la planta industrial es la vía al corregimiento El Llanito, importante carretera hacia el municipio de Puerto Wilches, a 10 minutos del centro de la ciudad de Barrancabermeja, como se puede apreciar en la vista aérea de la Imagen 1.

1.3 FUENTE HÍDRICA

El agua cruda es el nombre que recibe el agua que no ha recibido ningún tipo de tratamiento para mejorar sus condiciones, y que generalmente se encuentra en fuentes y reservas naturales de aguas tanto superficiales como subterráneas. Para la empresa el agua es un insumo importante por un lado es una materia prima básica para llevar a cabo las actividades y los procesos industriales a los cuales se dedica, y por otro lado es utilizada para el consumo interno de trabajadores y visitantes. Este insumo es captado directamente, por una bocatoma de la Ciénaga San Silvestre y los vertimientos producto de los diferentes procesos realizados en la planta son derramados en las quebradas La Mina y Las Camelias, luego de ser tratados por la planta de tratamientos de aguas residuales.

La Ciénaga San Silvestre fluye por el tercio medio del municipio de oriente a occidente; nace en la Cordillera Oriental en el municipio vecino de San Vicente de Chucurí y recoge afluentes de las terrazas y colinas del norte y del sur del municipio, drenando hasta la ciénaga mencionada y de allí, por el caño de San Silvestre vierte al tramo final del río Sogamoso. Esta es una de las subcuencas más importantes localizadas dentro del municipio de Barrancabermeja, se localiza hacia la parte central de la ciudad y es fuente de agua de consumo para algunos habitantes que no cuentan con servicio de acueducto, además de ser fuente de trabajo para pescadores.

En cuanto la descripción topológica de la cuenca, es achatada, con pendientes bajas hacia su desembocadura y altas hacia su cabecera, está conformada por micro cuencas con área, perímetro y extensión relacionados en la Tabla 2.

Tabla 2. Características Ciénaga San Silvestre

Cuenca	Subcuenca	Microcuenca	Área (Km)	Perímetro (Km)	Longitud (Km)
Río Magdalena	San Silvestre	Llanitos	192,00	58,75	26,20
		El zarzal	237,00	58,45	24,00
		Peroles	336,50	70,05	28,00
		Vizcaina	206,20	74,75	26,60

Fuente: Sistemas Hidrográficos, sistema de documentación e información municipal Republica de Colombia, [en línea], disponible en: [http://cdim.esap.edu.co/BancoMedios/Documentos%20PDF/sistema_hidrogr%C3%A1fico_\(39_pag_129_kb\).pdf](http://cdim.esap.edu.co/BancoMedios/Documentos%20PDF/sistema_hidrogr%C3%A1fico_(39_pag_129_kb).pdf)

La bocatoma encargada de la captación del agua cruda proveniente de la Ciénaga San Silvestre es una tubería con un diámetro de 20 pulgadas, en la cual se adiciona sulfato de aluminio, coagulante utilizado y soda cáustica, regulador de pH, justo antes de que esta llegue al mezclador en línea, donde iniciará su potabilización, con el fin de generar la homogeneidad de ambos.

2. MARCO REFERENCIAL

2.1 MARCO TEÓRICO

2.1.1 Agua superficial. Se define como todo el conjunto de agua que se encuentra en la parte superficial de la hidrosfera terrestre. Esta se encuentra en distintas formaciones naturales denominados cuerpos de agua, tales como ríos, mares, océanos, ciénagas, humedales, lagos, canales, golfos, quebradas etc.

2.1.1.1 Contaminantes del agua superficial. Debido a la ubicación del agua superficial en la hidrosfera, esta se ve contaminada frecuentemente por materia orgánica y por distintos compuestos pertenecientes a la litosfera terrestre. Debe tenerse en cuenta también los miles de microorganismos que viven en el agua.

2.1.2 Agua potable para consumo humano. Para hablar de esta, se debe saber el término calidad del agua ya que existen diferentes interpretaciones por lo cual se considera como relativo. En este contexto se refiere a la afectación del agua debido a la concentración de sustancias producidas tanto por procesos naturales como por contaminantes humanos, derivados de actividades propias. Es de este destino o propósito del cual dependen directamente los criterios, estándares y objetivos que definen la calidad de un agua, puede ser destinada por ejemplo para consumo humano, uso industrial o agrario, para restauración ambiental, etc. En concreto para la evaluación del agua se miden las siguientes variables:

- **Concentración de sólidos:** hace referencia a la concentración de minerales en suspensión que se encuentran en cierto afluente de agua. Sus principales efectos sobre muestras con altas concentraciones son colores y sabores desagradables, este fenómeno de aumento es causado principalmente por la erosión efecto de actividades humanas dañinas para el medio ambiente. El daño que causan las altas concentraciones de sólidos dependen directamente del tamaño de las partículas suspendidas, y también de esto depende la dificultad de su tratamiento, eventualmente trae altos costos de operación y daños en los equipos de tratamiento de aguas.
- **Sustancias tóxicas:** Encapsulado en este término se encuentran todas las sustancias ajenas al agua natural tales como desechos industriales, sustancias agroquímicas, detergentes o metales pesados, cuya ingesta puede crear reacciones alérgicas o de toxicidad, tanto suaves como severas, en seres vivos dependientes de la fuente de agua contaminada. Dentro de

las principales fuentes de contaminantes de este tipo se encuentran actividades industriales, mineras o agrarias.

- **Compuestos orgánicos, nutrientes y patógenos:** Este conjunto de compuestos comprende todas aquellas sustancias y microorganismos que debido a sus características propias pueden causar graves afectaciones si se tienen en las concentraciones declaradas como peligrosas. La presencia de concentraciones altas en compuestos orgánicos derivados de actividades de aprovechamiento o plantas beneficiadoras de animales como heces, sangre y restos de animales, generan directamente una alta Demanda Biológica de Oxígeno (DBO), fósforo y nitrógeno entre otros, además pueden producir eutrofización de los cuerpos de agua. En cuanto a agentes patógenos forman la principal fuente de transmisión de enfermedades para los seres vivos que la consumen y tienen contacto con el agua que los contiene, algunos ejemplos de estos organismos son coliformes fecales y otras bacterias o virus.
- **Calidad ambiental:** está definida como las características cualitativas y cuantitativas de algún factor ambiental o del ambiente en general y que son susceptibles de ser modificados. En cuanto al agua el conjunto de características organolépticas, físicas, químicas y microbiológicas propias de la misma determinan su composición, grado de alteración y su utilidad a los seres humanos y el medio ambiente. Para su evaluación se miden ciertas variables.

2.1.2.1 Características del agua potable. El manejo integral de los recursos hídricos requiere del conocimiento de los factores que influyen en la calidad de dicho recurso, teniendo muy en cuenta sus usos. La evaluación de dicha calidad es realizada a través de la medición de diferentes variables físicas, químicas y sanitarias.

Se considera que una variable es la propiedad o elemento que puede tomar valores y el parámetro es un elemento descriptivo de una variable o una característica numérica de la misma (media, mediana, varianza, rango, etc.)

Las mediciones más comunes incluyen la determinación del contenido en sólidos, la demanda bioquímica de oxígeno (DBO), la demanda química de oxígeno (DQO), conductividad y pH, entre otras.

Una de las clasificaciones que se pueden utilizar para el estudio de los diferentes parámetros de contaminación o calidad de las aguas, es según la naturaleza de la propiedad o especie que se determina.

Estas se pueden dividir en:

- Parámetros de carácter físico: características organolépticas.
Turbidez y sólidos en suspensión.
Temperatura.
Conductividad.
- Parámetros de carácter químico: Dureza.
pH.
Oxígeno disuelto.
- Sustancias de carácter orgánico: Materia orgánica.
- Sustancias de carácter inorgánico: Metales.
Minerales.
- Parámetros de carácter microbiológico: Bacterias indicadoras
- Microorganismos patógenos: Bacterias.
Microorganismos patógenos.

2.1.3 Parámetros físicos. En Colombia, los valores máximos permisibles para los parámetros físicos del agua potable se rigen por la resolución 2115 de 2007, cuyos parámetros se ven en las Tablas 4, 5 y 6. Estos parámetros indican la calidad del agua después de haber sido tratada. Dentro de las características físicas del agua están el color, sabor, olor, turbidez, sólidos en suspensión, temperatura, y conductividad.

2.1.3.1 Color. El color en el agua es debido a factores externos que contaminan el agua tales como la materia orgánica del suelo, vegetación, minerales como el hierro y organismo acuáticos que están presentes en aguas naturales. Otro factor que aporta para dar color al agua son las erosiones causadas en los suelos, las cuales generan arcillas que contienen coloides de hierro, manganeso y de materia orgánica. Este color se puede clasificar dependiendo de las partículas que tiene en suspensión en color verdadero o color aparente y es medible si se compara las

muestras de agua con soluciones estándar de color o discos de vidrio de color calibrado. El color se mide en Unidades de Platino-Cobalto expresadas como UPC.¹

➤ **Color verdadero.** Es el color que se obtiene por los sólidos disueltos que se encuentran en el agua después de haber eliminado la materia orgánica en suspensión con un filtro de 0,45 micras.

➤ **Color aparente.** Es el color que se obtiene de las muestras sin ningún tipo de filtro en estas intervienen los sólidos en suspensión, presencia de materia orgánica y sustancias en solución o en estado coloidal, generalmente hierro y manganeso.

2.1.3.2 Sabor y olor. El sabor y el olor son características que se deben a la presencia de sustancias químicas volátiles y a la presencia de materia orgánica en descomposición. Las mediciones de los mismos se hacen con base en la dilución necesaria para reducirlos a un nivel apenas detectable por la observación humana. La caracterización del olor y el sabor se evalúan en términos de aceptable o no aceptable. El color además es un indicador de presencia de distintos organismos y/o contaminantes en el agua, tales como hierro, plancton o materia orgánica, dependiendo de la tonalidad que esta tenga. Turbidez menor será la transparencia del agua debido a que las partículas suspendidas dispersan la luz incidente.²

2.1.3.3 Turbidez y sólidos en suspensión. Para el caso de agua potable la turbidez se causa por partículas de diferentes tamaños que se suspenden en el agua por características propias, lo cual causa a su vez una reflexión de la luz. Muchas veces es un indicador de la eficiencia de los sistemas de filtración.³ Entre mayor sea la concentración de dichas partículas mayor es el nivel de turbidez en el agua. La turbidez se mide en Unidades Nefelométricas de Turbidez (UTN). Según las normas locales se considera potable o consumible por humanos el agua que cuenta con una turbidez menor a 5 UTN, aunque debido a regulaciones regionales este valor puede cambiar.⁴

¹SPELLMAN, Frank y DRINAN Joanne. Manual del agua potable. Zaragoza, España: Acribia, 2000. 137 p.

²ORGANIZACIÓN MUNDIAL DE LA SALUD. Guías para la calidad del agua potable [recurso electrónico]. 3 ed., 2006. 183 p.

³COLOMBIA. MINISTERIO DE VIVIENDA, CIUDAD Y TERRITORIO. Reglamento técnico del sector de agua potable y saneamiento básico RAS, Título B. 2 ed. Bogotá: s.n., 2010. p. 479.

⁴ROMERO R., Jairo A. Calidad del agua. 3 ed. Bogotá: Escuela de Ingenieros, 2009. 107 p.

Los sólidos totales se clasifican en sólidos sedimentables, no sedimentables, filtrables o coloidales y disueltos, debido a la naturaleza de su comportamiento en los fluidos. A causa de estos distintos tipos se ve la necesidad de medir diversos parámetros que identifican cada tipo de sólidos, de tal manera se encuentran estandarizados:

- **Sólidos decantables:** estos sólidos tienen la capacidad de decantar naturalmente por acción de la gravedad, se deja en conos especiales (conos Inhoff), durante dos horas, y luego se miden mg/L de sólidos.⁵
- **Sólidos en suspensión (SS) o materia en suspensión (MES):** luego de un proceso de filtración se realiza una diferencia de pesos, entre el filtro antes y después de usarse, con el fin de medir el material sólido que retuvo. Unidades en mg/L.⁶
- **Residuo seco a 105°C o total de sólidos disueltos (TDS):** luego del proceso de filtración la muestra es sometida a una evaporación en estufa a 105°C durante 4 h, por diferencia de pesos se determina el total de sólidos disueltos. Unidades en g o mg/L.⁷
- **Residuo fijo:** se lleva la cápsula, empleada en la determinación anterior a 525°C en una mufla, temperatura a la que se considera que se ha volatilizado toda la materia orgánica, por la diferencia de pesos iniciales y finales se da una idea de la cantidad existente de la misma. Unidades g o mg/L.⁸

2.1.3.4 Temperatura. Variable de tipo física que afecta de manera notable la calidad del agua. Influenciando parámetros o características importantes en los procesos de tratamientos de aguas, como lo son la solubilidad de gases y sales, la cinética de las reacciones químicas y bioquímicas, viscosidad, desplazamientos de los equilibrios químicos, tensión superficial y el crecimiento y expansión de microorganismos presentes en el agua. Sin embargo, el factor más relevante que se ve afectado por la temperatura es la solubilidad del oxígeno en el agua, teniendo un comportamiento inversamente proporcional y por consiguiente viéndose acelerados procesos de putrefacción de la misma⁹.

⁵INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACIÓN. Calidad del agua determinación del contenido de sólidos, NTC. Bogotá DC: El Instituto, 2001.

⁶Ibíd.

⁷Ibíd.

⁸INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACIÓN. Calidad del agua determinación del contenido de sólidos, NTC. Bogotá DC: El Instituto, 2001.

⁹ROMERO, Op. cit., p. 111.

2.1.3.5 Conductividad. Se define como la habilidad de una solución para conducir electricidad a través de sus átomos, más específicamente son partículas cargadas eléctricamente llamadas iones, los cuales son capaces de transmitir una corriente eléctrica por medio de soluciones de agua. Estos iones provienen principalmente de los ácidos y sales de la solución de fuente. Para realizar su cuantificación se utilizan instrumentos denominados conductímetros; las unidades de medida para la conductividad del agua están dadas en (μS) microsiemens o mhos.¹⁰ El valor máximo aceptable para la conductividad puede ser hasta 1000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ de acuerdo a la resolución 2115 de 2007.

2.1.4 Características químicas. En Colombia, los valores máximos permisibles para los parámetros químicos del agua potable se rigen por la resolución 2115 de 2007. Estos parámetros indican la calidad química del agua después de haber sido tratada. Dentro de las características químicas del agua están la alcalinidad, dureza, pH, hierro, cloruros o cloro residual libre, nitratos y sulfatos.

2.1.4.1 Alcalinidad. La alcalinidad del agua es su capacidad para reaccionar o neutralizar los iones hidronio (H^+) hasta un pH igual a 4,5. Esta es causada principalmente por los bicarbonatos, carbonatos e hidróxidos presentes en la solución y en menor grado por los boratos y silicatos que puedan estar presentes en la muestra. Se expresa como la concentración equivalente del agente alcalino, en mg/L. El proceso estandarizado para medir alcalinidad a nivel laboratorio está dado por una titulación de una alícuota de una muestra con HCl o H_2SO_4 utilizando indicadores como fenolftaleína.

2.1.4.2 Dureza. Para aguas la dureza se define como la medida de cationes Ca^{+2} y Mg^{+2} en las muestras y en menor medida la presencia de Fe^{+2} y Mn^{+2} y otros alcalinotérreos. En la actualidad se ha dejado a un lado el término “dureza” como tal, en contraste es más común encontrar la indicación de la cantidad de cationes de calcio y magnesio presente en una muestra de agua, cuantificados en mg/L, sin embargo se conocen en la teoría:

- Dureza total: es la suma total de las concentraciones de sales de calcio y magnesio, se mide por volumetría con EDTA, se expresa numéricamente en forma de carbonato de calcio u óxido de calcio, pueden también utilizarse los grados hidrotimétricos (1° francés = 10 mg de carbonato de calcio/L), según la resolución 2115 el máximo permisible es 300 mg/L (CaCO_3).

¹⁰EMERSON PROCESS MANAGEMENT. Theory and application of conductivity. Application data sheet Rosemount Analytical., 2010. [Consultado 27 de Julio de 2016]. Disponible en http://www2.emersonprocess.com/siteadmincenter/PM%20Rosemount%20Analytical%20Documents/Liq_ADS_43-018.pdf

- Dureza temporal: es la que corresponde a la proporcionada por los carbonatos de calcio y magnesio, desaparecen por ebullición pues precipitan los carbonatos.
- Dureza permanente: es la que existe después de la ebullición del agua, es la diferencia entre las dos anteriores.¹¹

2.1.4.3 pH. Se considera como la medición de la actividad molar del ion hidronio en un sistema acuoso, esta tiene como característica intrínseca que es logarítmica e inversa, de tal manera que un aumento de una unidad en el pH corresponde a una disminución de 10 veces en la concentración molar del ion hidrogeno. En el extremo inferior de la escala (pH = 0) se encuentran las sustancias con carácter denominado como ácido, el cual equivale al de una solución 1,0M de HCl, De manera similar cuando se encuentra en los valores máximos de la escala de pH (pH = 14) tiene un carácter básico la solución, y es a su vez equivalente al de una solución de NaOH 1,0M.

Entiéndase así que la escala de pH es la forma estandarizada de clasificación y cuantificación del carácter ácido o básico de un sistema acuoso, tomando como referencias de estos dos sistemas opuestos considerados extremos: uno molar ácido y uno molar básico. Para la medición del pH se cuenta con una gran variedad de instrumentos tanto electrónicos como manuales encargados de indicar los valores en la escala.

2.1.4.4 Hierro total. La presencia de hierro en muestras de agua corresponde al contacto de las fuentes hídricas con masas terrestres ricas en hierro, usualmente estas masas se encuentran de manera subterránea, por lo cual raramente los niveles de hierro en aguas superficiales oxigenadas alcanzan concentraciones iguales o mayores de 1 mg/L. Por el contrario algunas aguas subterráneas y drenajes superficiales y drenajes superficiales ácidos llegan a contener cantidades mayores de hierro en las muestras. La presencia de hierro en las fuentes hídricas causa cambios drásticos en el color de las mismas y causa un sabor astringente o dulce amargo en niveles por encima de 1 mg/L.

Cuando el agua se encuentra en condiciones de reacción para el hierro este se encuentra en forma de hierro ferroso, el cual es más estable en agua. La presencia de hierro férrico en agua se da de manera muy extraña debido a la falta de iones libres, cuando se encuentran es posiblemente causado por valores muy bajos de

¹¹URUGUAY. MINISTERIO DEL MEDIO AMBIENTE. Manual de procedimientos analíticos para aguas y efluentes. 1996. [Consultado 27 de julio de 2016]. Disponible en Internet: http://imasd.fcien.edu.uy/difusion/educamb/docs/pdfs/manual_dinama.pdf

pH. Al exponerlo al aire o al añadir oxidantes, el hierro ferroso se oxida a estado férrico y puede hidrolizarse para formar óxido férrico hidrato insoluble.

2.1.4.5 Cloruros. El ion cloruro (Cl^-), es uno de los aniones inorgánicos principales en el agua natural y residual. Los contenidos de cloruros de las aguas son variables y se deben principalmente a la naturaleza de los terrenos atravesados, Habitualmente, el contenido de ion cloruro de las aguas naturales es inferior a 50 mg/L. En el agua potable, el sabor salado producido por el Cl^- es variable y depende de la composición química del agua. Valor máximo permisible: 250 mg/L Cl^- .

En las volumetrías de precipitación se mide el volumen de solución tipo, necesario para precipitar completamente un catión o anión del compuesto que se analiza. Los métodos de Mohr y Volhard son ejemplos de volumetrías de precipitación.

2.1.4.6 Cloro residual libre. Según la resolución 2115 de 2007 el cloro residual es aquella porción que queda en el agua después de un periodo de contacto definido, que reacciona química y biológicamente como ácido hipocloroso o como ion hipoclorito. Su valor máximo aceptable debe encontrarse entre 0,3 y 2,0 mg/L.¹²

2.1.4.7 Nitrato y nitrito. Se encuentran en las fuentes hídricas de manera natural, producidos por el ciclo del nitrógeno en manera de iones. El nitrato es usado de manera muy común en fertilizantes inorgánicos, así mismo el nitrito sódico es un conservante alimentario usado con bastante frecuencia, especialmente para las carnes curadas.

Usualmente los iones nitrato se encuentran en bajas concentraciones, tanto para aguas superficiales como subterráneas, sin embargo, se puede dar la presencia de este causado por residuos de actividades humanas tales como las agrícolas o debido a la contaminación por residuos humanos o animales como consecuencia de oxidación del amonio y fuentes similares. Estos iones se ven también, favorecidos notablemente por las condiciones anaerobias, en especial por la formación del nitrito.

La cloraminación en soluciones acuosas podría dar como consecuencia la formación de nitrito en un sistema de distribución de agua, si en este la formación de cloramina no se controla de manera adecuada. También pueden darse formaciones pequeñas de nitritos, debido a la presencia de microorganismos los cuales lo producen de manera natural en su ciclo. La nitrificación en los sistemas de

¹² COLOMBIA. MINISTERIO DE AMBIENTE, VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL. Resolución 2115 de 2007. Bogotá.

distribución puede aumentar la concentración de nitrito, que suele ser de 0,2 a 1,5 mg/L.

2.1.5 Características microbiológicas del agua. En las fuentes de agua existe gran diversidad de organismos, los cuales inciden en las propiedades físicas, organolépticas y bacteriológicas del agua. Algunos de ellos no son patógenos, mientras que otros si son transmisores de enfermedades. Entre los organismos que se encuentran en el agua están: las bacterias, las algas y protozoarios flagelados, los virus y larvas del reino vegetal. Por otro lado los controles microbiológicos son un indicador indirecto de la salubridad con la que se ha manejado el agua. Para este caso toman especial relevancia los análisis microbiológicos de este aspecto, en especial los análisis de coliformes.

2.1.5.1 Coliformes totales y fecales. La medición “total de bacterias coliformes” (“coliformes totales”) incluye la cuantificación de una amplia variedad de microorganismos entre los cuales encontramos bacilos aerobios y anaerobios facultativos, gramnegativos y no esporulantes, los cuales tienen la capacidad de proliferar en presencia de concentraciones relativamente altas de sales biliares fermentando la lactosa y produciendo ácido o aldehído en 24 h a 35-37°C. Dentro de los coliformes totales se resaltan la *Escherichia coli* y los coliformes termo tolerante, estos pueden realizar los procesos fermentativos incluso a temperaturas más elevadas. Como resultado de su proceso fermentativo estos microorganismos realizan la producción de la enzima E-galactosidasa.

Tradicionalmente, se consideraba que las bacterias coliformes pertenecían a los géneros *Escherichia*, *Citrobacter*, *Klebsiella* y *Enterobacter*, pero el grupo es más heterogéneo e incluye otros géneros como *Serratia* y *Hafnia*. La cuantificación de los coliformes totales toma especial relevancia debido a que la presencia de estas bacterias, además de ser los causantes de la mayoría de desórdenes gastrointestinales en los humanos, tiende a ser una fuente confiable que comprueba la mezcla o el contacto de fuentes de agua con materias fecales.

2.1.6 Tratamientos preliminares. El principal objetivo de estos tratamientos es la remoción de sólidos gruesos de gran tamaño y los finos mediante un sistema de desbaste, desarenador y en algunos casos eliminador de grasas, esto depende del uso u origen del agua a tratar. Se busca entonces cumplir dos funciones principales:

- Medir y regular el caudal de agua que ingresa a la planta.
- Extraer los sólidos flotantes grandes y la arena.

Por lo general las plantas de tratamiento para agua se diseñan con el fin de tratar un volumen específico de agua constante, también conocido como capacidad, por lo cual se debe tener un control del agua que ingresa al resto de procesos, esta misma se define debido a la necesidad de consumo final. Así mismo es de vital importancia empezar el proceso removiendo todos los restos de materiales tanto naturales como artificiales que originen un problema en los posteriores tratamientos.

2.1.6.1 Captación. El agua presente se conoce como agua cruda. Para hacerse potable requiere ser captada de dos formas distintas, una es una fuente superficial como lagunas, lagos, esteros, ríos y embalses, y la segunda es de fuentes subterráneas como pozos profundos, punteras, drenes y norias.

Usualmente, las aguas subterráneas están menos contaminadas que las fuentes superficiales. Sin embargo, sacarlas a la superficie puede ser muy costoso. La calidad del agua varía según diversos factores, entre los cuales se tiene su naturaleza, las actividades que se desarrollen en las riberas de los ríos y esteros o por los elementos naturales que pueden ser arrastrados. Todos estos componentes hacen que el proceso de potabilización sea más complejo en algunos casos que en otros.

2.1.6.2 Aireación. Es el proceso en el cual se pone en contacto el agua con el aire para disminuir la concentración de las sustancias volátiles, mejorando así las características físicas y químicas del agua. La aireación ayuda a la purificación del agua a través de la mezcla turbulenta del aire con el agua generando el arrastre o barrido de las sustancias volátiles y por medio del proceso de oxidación de los metales y gases¹³.

La aireación se puede efectuar de forma natural cuando el agua se pone en contacto con el aire en ríos, canales, estanques y embalses, o de forma artificial utilizando métodos mecánicos para generar la caída del agua. Las funciones más importantes de la aireación en el proceso de purificación del agua son la remoción del olor y sabor, remoción de gases disueltos y adición de gases.

2.1.6.3 Filtración de sólidos gruesos. Consiste en pasar agua natural por filtros de distintos tamaños que buscan, para este caso, atrapar y retener la mayor cantidad de partículas sólidas de gran tamaño y separarlas de la fase fluida, esta etapa además de ser necesaria en el proceso de purificación garantiza la integridad de los equipos utilizados más adelante. Al tratarse de aguas superficiales naturales

¹³ROMERO R., Jairo A. Purificación del agua. Bogotá: Escuela Colombiana de Ingeniería, 2000. p. 27.

vale la pena aclarar que existe una gran posibilidad que con la captación de la fuente se arrastre materia orgánica y contaminación de gran tamaño.

Los procesos de filtración son altamente utilizados en distintos tipos de tratamientos de sustancias, suelen ser económicos puesto que en su mayoría no utilizan reactivos ni equipos costosos, pero requieren de mantenimiento y cuidado por parte de operarios.

2.1.7 Tratamientos primarios. Son los encargados de separar por medios físicos las partículas en suspensión no retenidas por el pre tratamiento, para este caso vamos a tratar los siguientes en específicos.

2.1.7.1 Neutralización.¹⁴ La neutralización es un procedimiento de adición de un ácido o un agente alcalinizante al agua a tratar, con el propósito de ajustar el pH del efluente según normas establecidas para el agua y ajustarlo a un rango óptimo para la eficiente actividad biológica (6,5 – 8,5 unidades), también puede ser utilizado para ayudar a precipitar metales dependiendo de la calidad del agua, este valor de pH suele depender directamente del metal que se está queriendo precipitar pero usualmente esta entre los valores de 6 a 11.

Con el fin de obtener resultados óptimos en esta etapa del proceso es de vital importancia mantener unas características estables de caudal y pH en el afluente que se está tratando, la profundidad del tanque de neutralización no debe ser mayor de 3 m según diseño, el tanque de neutralización preferiblemente debe ser de sección circular y con un diámetro igual a su profundidad, los tiempos de retención en los tanques de neutralización deben oscilar entre 5 y 30 min (se recomienda de 30 minutos para la neutralización con cal).

2.1.7.2 Agentes alcalinizantes.

- Hidróxido de calcio $[\text{Ca}(\text{OH})_2]$: es el más usado por su bajo costo. No obstante, tiene el inconveniente de que genera grandes cantidades de lodo y de que toma largos tiempos en reaccionar.
- Soda cáustica o hidróxido de sodio $[\text{NaOH}]$: es costosa pero genera muy poco lodo y reacciona rápidamente.

¹⁴LOZANO R., W. A. Diseño de plantas de tratamiento de aguas residuales: Módulo didáctico. Bogotá: Universidad Nacional Abierta y a Distancia, 2012.

2.1.7.3 Agentes acidificantes.

- Ácido Sulfúrico [H₂SO₄]: es el más usado por su bajo precio pero presenta dificultades y peligros en su manipulación.
- Dióxido de carbono [CO₂]: es inerte, incoloro, inodoro y no tóxico. Se considera un excelente sustituto del ácido sulfúrico, porque no genera corrosión en tuberías ni es tóxico o dañino al ser humano, es fácil de almacenar y manipular, y no genera un mayor gasto frente al ácido sulfúrico.

2.1.7.4 Coagulación. Es el proceso en el que se desestabilizan las partículas del agua y el material sólido que no puede ser sedimentado por encontrarse en estado coloidal; esto se logra debido a que ocurre un rompimiento de fuerzas entre los coloides formando partículas de mayor tamaño que permiten ser sedimentadas.

En la coagulación se elimina la materia orgánica encargada de generar olor y turbiedad, para esto se utiliza compuestos químicos que reciben el nombre genérico de coagulantes; estos, tienen la función de desestabilizar el material sólido y las partículas coloidales contenidas en el agua para formar posteriormente un floc, nombre que recibe la aglutinación de partículas contaminantes que forman pequeñas masas con peso específico superior al del agua.

Existen dos tipos de coagulantes, los primeros son los coagulantes denominados metálicos, dentro de los cuales están las sales de aluminio y sales de hierro, otros contenidos en esta clase son los polielectrolitos o ayudantes de coagulación, estos son sustancias que contribuyen a formar un mejor floc pero si se utilizan sin haber agregado coagulantes previamente, el floc formado puede ser muy poco o en ocasiones incluso nulo.

Es importante considerar el pH al que se encuentra el agua al momento de realizar este proceso, si este parámetro se encuentra entre 5,0 y 6,0 se va a presentar mejor remoción utilizando sales de aluminio, por el contrario si el pH está entre valores entre 3,2 y 4,5 se debe utilizar sales de hierro. Por otro lado, para la eliminación de la turbidez los coagulantes tienen rangos de pH en donde tienen un mejor funcionamiento por ejemplo, el pH entre 6,0 y 7,0 es óptimo utilizar sales de aluminio.¹⁵

¹⁵ARBOLEDA V., Jorge. Teoría y práctica de la purificación del agua. Bogotá, Colombia: Colciencias, 1992. p. 43.

2.1.7.5 Factores que influyen en la coagulación.

- Valencia: Entre mayor sea la valencia del ion, más efectivo resulta como coagulante.
- Capacidad de cambio: En una medida de la tendencia a reemplazar cationes de baja valencia por otros de mayor valencia, provocando la desestabilización y aglomeración de partículas en forma muy rápida.
- Temperatura: la temperatura cambia el tiempo de formación del floc, entre más fría el agua, la reacción es más lenta y el tiempo de formación del floc es mayor.
- Concentración de iones H⁺ o pH: para cada coagulante hay por lo menos una zona óptima de pH, en la cual una buena floculación ocurre en el tiempo más corto y con la misma dosis de coagulante.
- Tamaño de las partículas: Las partículas deben poseer diámetro inferior a una micra. Las partículas con diámetro entre una y cinco micras, sirven como núcleos de floc, en cambio las de diámetro superior a cinco micras, son demasiado grandes para ser incorporadas al floc.

2.1.7.6 Clases de coagulantes. La coagulación mediante sales inorgánicas se puede dar por diferentes mecanismos, adsorción- desestabilización, puente químico e incorporación o barrido. El Cuadro 2 muestra una descripción de cada mecanismo.

Cuadro 2. Clases de coagulación

Clase	Modo	Tipo de adsorción	Descripción
Adsorción – desestabilización	Neutralización de la carga.	Adsorción electrostática.	La neutralización se puede realizar por cambio de la concentración de los iones que determinan el potencial del coloide o por la adsorción de iones que posean una carga opuesta.
	Compresión de la doble capa.	Adsorción química.	Se incorporan contra iones en la capa difusa con el fin de disminuir la magnitud de las fuerzas repulsivas para eliminar la barrera de energía.
Puente químico	Unión de partículas por medio de cadenas poliméricas.	Adsorción química.	Se establecen enlaces de hidrogeno, covalentes o iónicos entre las moléculas adsorbidas y las superficies de los coloides. Hay presencia de puntos fijos de adsorción dejando el resto de la cadena libre, con el fin de que pueda flotar en el líquido y adherirse a su vez a otro coloide, formándose un puente molecular.
Incorporación o barrido.	Producción de precipitado químico.	No hay.	Se produce cuando se agrega una concentración alta de coagulantes excediendo el límite de solubilidad compuestos en el agua. Los hidróxidos formados por las reacciones generadas con la alcalinidad y el agua inducen a la producción de una masa esponjosa que atrapa en su caída a los coloides y partículas suspendidas que después sedimentan.

Fuente: Arboleda Valencia, Jorge. Teoría y práctica de la purificación del agua. Bogotá, Colombia: Colciencias, 1992. P. 40.

2.1.7.7 Floculación. La floculación consiste en la aglomeración, mediante la agitación moderada del agua, de las partículas que se desestabilizaron durante la coagulación, formando otras de mayor tamaño y peso específico, denominados flóculos. Los objetivos básicos de la floculación son reunir micro flóculos para formar partículas con peso específico superior al del agua y compactar el flóculo disminuyendo su grado de hidratación para producir baja concentración volumétrica, lo cual produce una alta eficiencia en los procesos posteriores como sedimentación y filtración.

2.1.7.8 Factores que afectan la floculación.

- Concentración y naturaleza de las partículas. La velocidad de formación del floc es proporcional a la concentración de partículas en el agua y del tamaño inicial de estas.
- Tiempo de detención. La velocidad de aglomeración de las partículas es proporcional al tiempo de detención. Debe estar lo más cerca posible al óptimo determinado por medio de ensayos de jarras.
- Gradiente de velocidad. Este es un factor proporcional a la velocidad de aglomeración de las partículas. Existe un límite máximo de gradiente que no se puede ser sobrepasado, para evitar el rompimiento del floc.

2.1.7.9 Clasificación de los equipos para la floculación.

El cuadro 3 resume la clasificación de los equipos para la floculación y la descripción de cada uno.

Cuadro 3. Equipos para la coagulación y floculación.

Según la energía de agitación	Según el sentido del flujo	Descripción	Nombre
Hidráulicos	Flujo Horizontal.	Con tabiques de ida y regreso	De tabiques Alabama
	Flujo vertical.	Con tabiques arriba y abajo del tanque.	

Cuadro 4. (Continuación)

Según la energía de agitación	Según el sentido del flujo	Descripción	Nombre
Hidráulicos	Flujo vertical.	Con codos en el fondo que proyectan el agua hacia arriba.	Alabama
		Con entrada lateral al tanque	COX
Mecánicos	Rotatorios	De paletas de eje horizontal o vertical	De paletas.
		De tuberías horizontales o verticales	De tuberías
	Reciprocantes	Rejas o cintas oscilantes	Reciprocantes
Hidromecánicos		De turbina Pelton y paletas horizontales	Hidromecánicos

Fuente: Arboleda Valencia, Jorge. Teoría y práctica de la purificación del agua. Bogotá, Colombia: Colciencias, 1992. P. 113.

2.1.7.10 Sedimentación. En la sedimentación todo el material sólido tanto natural como los flocs producidos previamente que son transportados por una corriente de agua, se depositan en el fondo del contenedor o canal en donde está siendo transportado. Cualquier agua, tanto tratada como natural, tiene la capacidad innata de mantener pequeñas partículas sólidas en suspensión. El cambio en alguna de las características básicas del agua como caudal, tensión superficial, o velocidad puede hacer que el material suspendido se sedimente o por el contrario la corriente puede erosionar materiales sólidos de los márgenes del contenedor en donde se encuentra el agua.

Puesto que la mayor parte de los procesos de sedimentación se producen bajo la acción de la gravedad, las áreas elevadas de la superficie terrestre tienden a ser sujetas prevalentemente a fenómenos erosivos, mientras que las zonas deprimidas están sujetas prevalentemente a la sedimentación. Las depresiones de esta superficie en la que se acumulan sedimentos, son llamadas cuencas sedimentarias.

En el caso de la potabilización del agua, el proceso de sedimentación está gobernado por la ley de Stokes, que indica que las partículas sedimentan más fácilmente cuanto mayor es su diámetro, su peso específico comparado con el del líquido, y cuanto menor es la viscosidad del mismo. Por ello, cuando se quiere

favorecer la sedimentación se trata de aumentar el diámetro de las partículas, haciendo que se agreguen unas a otras, proceso denominado coagulación y floculación.

2.1.8 Tratamientos secundarios.

2.1.8.1 Filtración. Los sistemas filtrantes tratan el agua pasándola a través de medios granulares (p.ej., arena) que retiran los contaminantes. Su eficacia varía grandemente, pero estos sistemas se pueden utilizar para corregir problemas de turbidez o color, así como tratamiento para eliminar *Giardia* y *Cryptosporidium*, bacterias o virus.

La filtración convencional utiliza primero un pre tratamiento químico coagulante, tal como sales de hierro o aluminio, nombradas anteriormente, las cuales se agregan al agua fuente. Después, se agita la mezcla lentamente para inducir la unión de las partículas pequeñas en suspensión para formar grumos más grandes o flóculos más fáciles de retirar.

Luego de terminar estos procesos, se pasa el agua a través de filtros para que cualquier partícula restante se adhiera físicamente y por si misma al material del filtro. Las partículas en suspensión son desestabilizadas por el coagulante en sí y por lo tanto se adhieren más fácilmente al material filtro. La clasificación típica de los lechos filtrantes se encuentra en la Tabla 3.

Tabla 3. Clasificación de los lechos filtrantes

	<i>Velocidad de filtración</i>	<i>Medio filtrante</i>	<i>Sentido de flujo</i>	<i>Carga sobre el lecho</i>	
<i>Característica de clasificación</i>	Lentos 7-14 m ³ /día	Arena (h=60-100cm)	Descendente	Por gravedad	
			Ascendente		
			Horizontal		
	Rápidos 120-360 m ³ /día	Arena (h=60-75cm)	Ascendente	Por gravedad	
			Antracita (h=60-75cm)	Por presión	
					Mixtos Antracita (h=35-50cm)
					Arena (h=20-35cm)
Mixtos arena, antracita, granate	Flujo mixto				

Fuente: Arboleda Valencia, Jorge. Teoría y práctica de la purificación del agua. Bogotá, Colombia: Colciencias, 1992. P. 131.

En la filtración convencional al igual que en otros sistemas de filtración se produce una mejoría significativa en una amplia diversidad de aguas fuente. Este se utiliza con mejores resultados en fuentes con flujo constante y niveles bajos de algas, las cuales pueden adherirse al material filtrante y seguir creciendo en este hasta obstruirlo totalmente. La filtración convencional utiliza la sedimentación previa para permitir que las partículas se sedimenten fuera del agua para su eliminación. Por su parte la denominada filtración directa elimina este paso y permite que el material del filtro mismo realice el trabajo de filtrar los contaminantes.

2.1.9 Tratamientos terciarios.

2.1.9.1 Desinfección.¹⁶ La desinfección es uno de los pasos más importantes en la purificación del agua de ciudades y de comunidades. Responde al propósito de matar a los actuales microorganismos indeseados en el agua; por lo tanto los desinfectantes se refieren a menudo como biocidas. Hay una gran variedad de

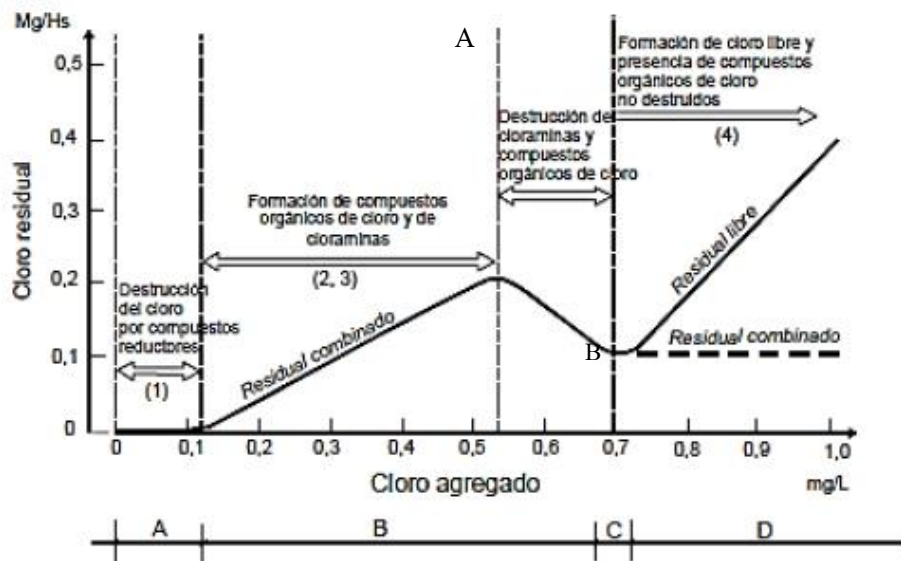
¹⁶SALAZAR G., Lorena. Diseño de Plantas Potabilizadoras. Módulo didáctico. Bogotá: Universidad Nacional Abierta y a Distancia, 2012.

técnicas disponibles para desinfectar los líquidos y superficies, por ejemplo: desinfección con ozono, con cloro o a través de irradiación UV.

2.1.9.2 Cloración. Es el reactivo más utilizado para la desinfección del agua. Posee un alto poder oxidante que favorece la destrucción de materia orgánica y organismos patógenos. Debe tenerse en cuenta que pueden formarse subproductos de la cloración por reacción con la materia orgánica que dan lugar a la formación de trihalometanos que son agentes cancerígenos peligrosos. Para evitar este problema el dióxido de cloro puede ser aplicado, este compuesto es un bactericida eficaz a bajas concentraciones tales como 0,1 ppm y excelentes en una gama ancha de pH.

2.1.9.3 Curva de cloro. La curva de demanda de cloro es medida por adición de cantidades conocidas de cloro al agua y midiendo la concentración de cloro residual después de un tiempo de contacto especificado. El punto A del Gráfico 1 corresponde al momento en el que todos los compuestos nitrogenados se encuentran en forma de mono-cloroaminas. A partir de este punto todo el cloro que se adiciona comienza a oxidar las mono-cloroaminas a dicloroaminas, y sucesivamente hasta tricloroaminas, y finalmente hasta nitrógeno, (punto B, break point). Una vez destruidos, y por lo tanto, cualquier adición posterior de cloro produce un incremento en el nivel de cloro

Gráfico 1. Curva de punta de quiebre o curva de demanda de cloro



Fuente: de Vargas & Barrenechea Martel, 2004

2.2 MARCO LEGAL

Dentro de los aspectos legales que se emplean como apoyo fundamental para el desarrollo de éste proyecto y el normal funcionamiento de la PTAP de la empresa Fertilizantes Colombianos S.A. están las disposiciones que regulan las acciones en cuanto a la Calidad del agua para consumo humano, a continuación se señalan.

- Decreto 1575 del 09 de Mayo de 2007: Por el cual se establece el Sistema para la Protección y Control de la Calidad del Agua para Consumo Humano, con el propósito de monitorear, prevenir y controlar los riesgos para la salud humana causados por su consumo, exceptuando el agua envasada, este decreto fue desarrollado por los ministerios de Protección social y Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial.
- Resolución 2115 del 22 de Junio de 2007: Por medio de la cual se señalan características, instrumentos básicos y frecuencias del sistema de control y vigilancia para la calidad del agua para consumo humano en todo el territorio nacional, esto lo desarrollaron los ministerios de Protección social y Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, algunas de estas características son:

Tabla 4. Características físicas de la Resolución 2115 del 2007

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

Fuente: (Ministerio de la protección social y de ambiente, vivienda y desarrollo territorial, 2007)

Tabla 5. Características químicas de la Resolución 2115 del 2007

Elementos, compuestos químicos y mezclas de compuestos químicos diferentes a los plaguicidas y otras sustancias	Expresados como	Valor máximo aceptable (mg/L)
Antimonio	Sb	0,02
Arsénico	As	0,01
Bario	Ba	0,7
Cadmio	Cd	0,003
Cianuro libre y disociable	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
Trihalometales totales	THMs	0,2
Hidrocarburos Aromáticos policíclicos (HAP)	HAP	0,01

Fuente: (Ministerio de la protección social y de ambiente, vivienda y desarrollo territorial, 2007)

Tabla 6. Características microbiológicas de la Resolución 2115 del 2007

Técnicas utilizadas	Coliformes Totales	Escherichia coli
Filtración por membrana	0 UFC/100 cm ³	0 UFC/100 cm ³
Enzima Sustrato	< de 1 microorganismo en 100 cm ³	< de 1 microorganismo en 100 cm ³
Sustrato definido	0 microorganismo en 100 cm ³	0 microorganismo en 100 cm ³
Presencia – Ausencia	Ausencia en 100 cm ³	Ausencia en 100 cm ³

Fuente: (Ministerio de la protección social y de ambiente, vivienda y desarrollo territorial, 2007)

3. DIAGNOSTICO DE LA PLANTA

3.1 DIAGNÓSTICO Y CARACTERÍSTICAS DEL PROCESO

Fertilizantes colombianos S.A cuenta con un sistema de tratamiento de agua potable desde sus inicios. Este posee una capacidad de tratamiento de 200 m³/h y consta de sistema de ingreso, clarificación y floculación, almacenamiento de agua clarificada, filtración y almacenamiento de agua potable.

El consumo promedio mensual es de 60 a 80 m³/h de agua que es tratada y empleada para diversas actividades tanto de uso doméstico como para procesos productivos tales como torres de enfriamiento, torre de ácido nítrico, planta eléctrica, calderas de amoniaco, agua suavizada y planta de nitrato de amonio, para las torres de enfriamiento se emplea agua recirculada, esta última fracción de agua utilizada en procesos industriales dentro de la empresa, pasa además de por el tratamiento de agua potable descrito en este proyecto, por una planta des mineralizadora, antes de ser usada como materia prima.

3.1.1 Captación del agua. Fertilizantes Colombianos S.A recibe el suministro de aguas a través de una bocatoma la cual es una tubería de 20 pulgadas de diámetro, la bomba PC-4 toma el agua de la ciénaga San Silvestre, inicialmente se toma un caudal de 300 m³/h a una presión de 4,8 kg/cm², sin embargo por medio de un *bypass* retornan 180 m³/h, los 120 m³/h restantes se conducen al decantador pulsator laminar a sifón Degremont.

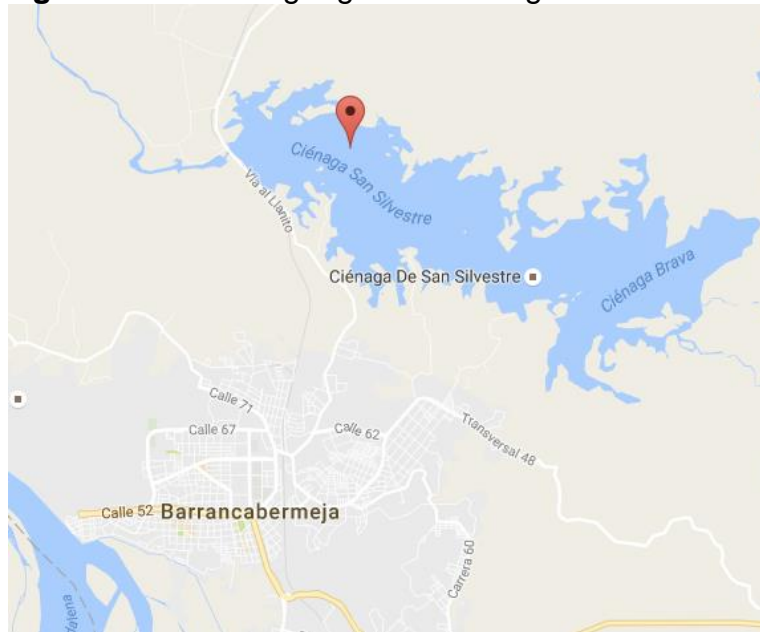
Imagen 2. Captación de agua en tubería de Fertilizantes Colombianos S.A.



La ciénaga San Silvestre se encuentra localizada en la periferia del municipio de Barrancabermeja y está conformada por micro cuencas las cuales son Llanito, El

Zarzal, Peroles y Vizcaína teniendo una extensión aproximada de 972 km², y han sido descritas anteriormente. Esta es una reserva hídrica natural de agua dulce y es de gran importancia en el desarrollo económico y sostenible de la Región, ya que suple el agua para consumo diario de 500.000.

Imagen 3. Ubicación geográfica Ciénaga de San Silvestre



Fuente: Google/maps¹⁷

Actualmente la ciénaga se ve afectada por distintos patrones de comportamiento humano que deterioran las condiciones naturales de la fuente hídrica; como destrucción de la vegetación terrestre, contaminación orgánica, sólidos sumergidos y en suspensión, vertimientos de aguas residuales domésticas por parte de los habitantes de bajos recursos, que viven aledaños al cuerpo de agua de este humedal, planes de expansión urbanística e industrial que toman sectores de la ciénaga, entre otros.

3.1.2 Mezcla de reactivos. En esta etapa del proceso, previa a la entrada al clarificador, se aplican el sulfato de aluminio que es el coagulante utilizado en el proceso, un agente corrector de pH (soda caustica), y un desinfectante (hipoclorito de sodio) los cuales son aplicados mediante bombas dosificadoras de diafragma operadas eléctricamente, dichas bombas se muestran en las Imágenes 4 y 5.

¹⁷ Ubicación geográfica Ciénaga de San Silvestre. Google/maps. Recuperado de <https://www.google.com.co/maps/place/Ci%C3%A9naga+San+Silvestre/@7.0716394,-73.8750657,13z/data=!4m5!3m4!1s0x8e4294e821659cbb:0x7eb6d88ac854d963!8m2!3d7.1083065!4d-73.8389657>

Imagen 4. Bomba dosificadora de soda cáustica



Imagen 5. Bomba dosificadora de sulfato de aluminio e hipoclorito de sodio



El Sulfato de aluminio es ampliamente usado para los procesos de potabilización de aguas, debido a que cumple función como coagulante, no deja rastros peligrosos para la salud humana y presenta una alta efectividad neutralizando los coloides presentes en las fuentes hídricas, esto debido a que posee un ion trivalente. El hipoclorito de sodio agregado en esta etapa del proceso no es constante, depende de la disponibilidad del insumo químico en la empresa.

Tabla 7. Especificaciones reactivos agregados etapa floculación

Especificaciones	Bomba dosificadora NaOH 05NP03	Bomba dosificadora Sulfato de Aluminio 05P01	Bomba dosificadora de diafragma hipoclorito de sodio 05P04
Dosis Máxima estimada	12 mg/l	60 mg/l	5.0 mg/l
Concentración Reactivo	3%	15%	12,4%
Marca	LIQUID METRONICS MILTON	LIQUID METRONICS MILTON	LIQUID METRONICS MILTON
Modelo	M-141-34	G52J-549P	P061-362TI
Capacidad Máxima	0-22.00 gph	0-53 gph	0-22.00 gph
Presión	60 Psi	150 Psi	P061-362TI
Potencia motor	0.25 HP	0.9 HP	-
Alimentación eléctrica	110 y, 60 Hz	220/440 V, 60 Hz	110 V, 60Hz

Fuente: Manual de operaciones planta 101, Fertilizantes Colombianos S.A., 20011.

Tanto las dosis máximas estimadas como las concentraciones de los reactivos adicionados en esta etapa de proceso han sido establecidas con anterioridad por la empresa, y comprueban que cumplen con el objetivo de su adición en esta etapa del proceso, el cual es acondicionar el agua para el posterior proceso. Las especificaciones de los reactivos agregados en esta etapa y de las bombas con que son agregados se encuentran en la Tabla 7.

En la actualidad este proceso se lleva a cabo por la formación de vórtice en el instrumento cilíndrico de entrada al floculador sin ningún tipo de ayuda mecánica o hidráulica, debido a que el mezclador tipo turbina original del proceso se averió, fue retirado y desechado por operarios de la planta, tampoco se cuenta con el motor con el que este funcionaba en un principio. El instrumento actual se muestra en la imagen 6. Teóricamente se conoce que la mezcla de coagulantes por vórtice es poco efectiva ya que las partículas no se dispersan en su totalidad en el agua¹⁸, esto es un problema debido a que no se aprovecha el coagulante en su totalidad.

¹⁸ROMERO, Purificación del agua, Op. cit.

Imagen 6. Equipo para mezcla rápida



3.1.3 Clarificación – floculación. Por medio de este proceso los componentes en suspensión presentes en el agua (partículas coloidales, suspensiones finas, emulsiones) son desestabilizados al agregar sustancias químicas llamadas floculantes que permiten la aglomeración de materia de mayores dimensiones que pueden separarse mediante procesos de sedimentación y filtración.

A partir de este punto, la alimentación se realiza a través de dos líneas: una entra directamente por la parte inferior del pulsador y la otra va a alimentar el sifón de pulsación. La proporción de caudales debe ser de 30 y 70% respectivamente.

Este equipo es del tipo pulsador laminar a sifón - Degremont, el cual cuenta con una estructura exterior de concreto reforzado e impermeabilizado, un área efectiva de 40.32 m² y cuyas dimensiones son Largo 7.80 m –Ancho 5.17 m –Altura 5.00 m- Altura Útil 4.7 m, lo cual permite una mezcla en el interior del dispositivo de pulsación y realiza la floculación en un lecho de lodos.

El pulsador laminar a sifón, es un floculador – decantador acelerado de manto de lodos, el cual se mantiene en expansión mediante pulsaciones hidráulicas. La unidad incorpora las condiciones ideales para una buena floculación, a saber:

- Una mezcla eficaz de los reactivos con agua cruda.
- Floculación en una zona donde la mezcla agua cruda-reactivos esté en contado con lodos ya formados.
- Largo tiempo de contado en una zona de alta concentración de lodos.

Estas tres condiciones se realizan en el decantador pulsador laminar a sifón que asegura una mezcla eficaz en el interior del dispositivo de pulsación y realiza la floculación en un lecho de lodos ya formados, con un tiempo de contacto de cuarenta y cinco (45) minutos en clarificación.

Imagen 7. Tanque de almacenamiento de agua clarificada



3.1.4 Almacenamiento agua clarificada. El almacenamiento de agua clarificada se da en un tanque de concreto reforzado e impermeabilizado con unas dimensiones de 18.00 m -10.00 m- 5.00 m y con una capacidad de almacenamiento de 530 m³, el tanque se encuentra a cielo abierto.

Luego de estar en el tanque de almacenamiento el agua es dirigida al proceso de filtración. Con el fin de alimentar un caudal constante al tren de filtración se instaló una estación de bombeo, constituida por una bomba centrífuga horizontal, la cual es la encargada de mantener un caudal constante hacia los filtros que se ubican adyacentes a este tanque, dicha bomba se muestra en la imagen 8.

Imagen 8. Bomba de agua clarificada



3.1.5 Filtración arena-antracita. Este proceso se realiza en dos unidades en forma cilíndrica, de filtración Bicapa, que cuentan con un lecho mixto con arena y antracita, también se encuentra incorporado un distribuidor del tipo copa encargado de la distribución y a su vez como colector de agua filtrada del tipo plato colector.

El tanque está fabricado con acero al carbono SA-283 Gr. C, con unas dimensiones de Diámetro 2.30m - Altura 1,83 m. El relleno de cada filtro debe tener los espesores descritos a continuación:

- Arena 1/4-1/8" 0,10 m
- Arena T.E.N. 1.30 mm 0,10 m
- Arena T.E.N. 0.55 mm 0,40 m
- Antracita T.E.N. 1.2-1.3 mm 0,60 m

Imagen 9. Filtros Bicapa A-4 y A-5



El lavado de los dos (2) filtros se realizara por bombeo de agua clarificada, almacenada en el tanque de equilibrio y el volumen producido en ese momento por el pulsador laminar a sifón.

3.1.6 Post-cloración. Los procesos de desinfección, como la post cloración en este caso, son importantes para el proceso debido a que garantizan de manera precisa la eliminación de microorganismos y la inocuidad del agua por mayor tiempo, sin generar una afectación directa en la salud de los humanos que consumen el agua. Esto siempre y cuando se sigan las dosificaciones recomendadas debido a que el exceso de este insumo, en esta parte del proceso podría llegar a afectar la calidad del agua, generando presencia de cloruros. Para la adición del hipoclorito se cuenta con una bomba dosificadora y un tanque de preparación denominado SR-7.

En el tanque SR-7 se le adiciona hipoclorito de sodio con un flujo de 20 mL/h (Bomba dosificadora) el cual otorga un método sencillo y eficaz para desinfectar el agua y hacerla potable.

Imagen 10. Tanque de post-cloración y almacenamiento de agua tratada



La totalidad del proceso se muestra en el diagrama 2 donde se ve la totalidad de los procesos de la planta actualmente y en el diagrama 3 el cual es el de flujo en donde se ve la entrada y salida de reactivos en los procesos.

Diagrama 2. Bloques proceso de potabilización

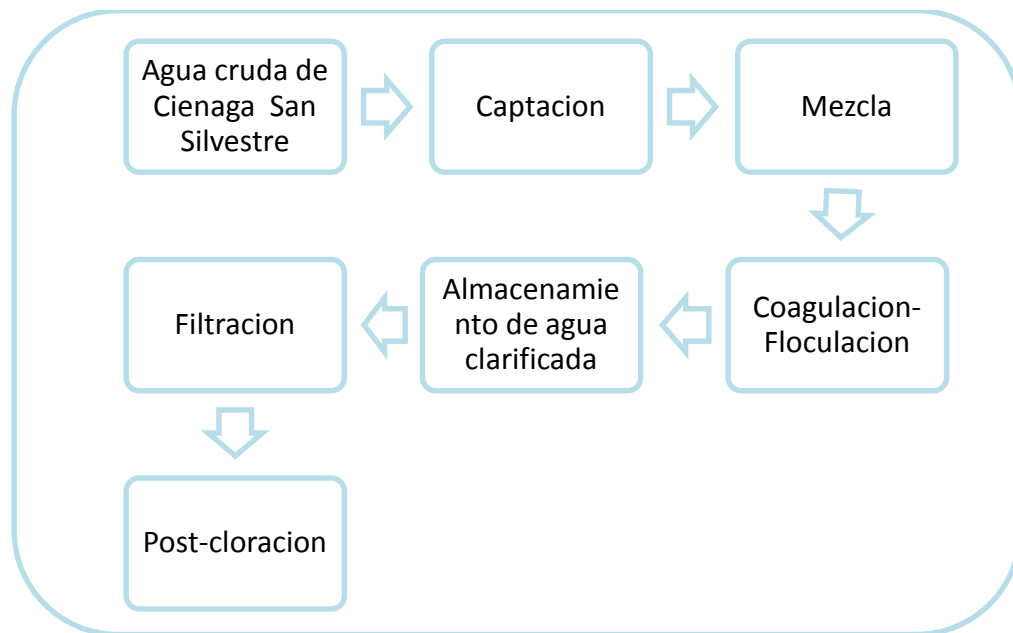
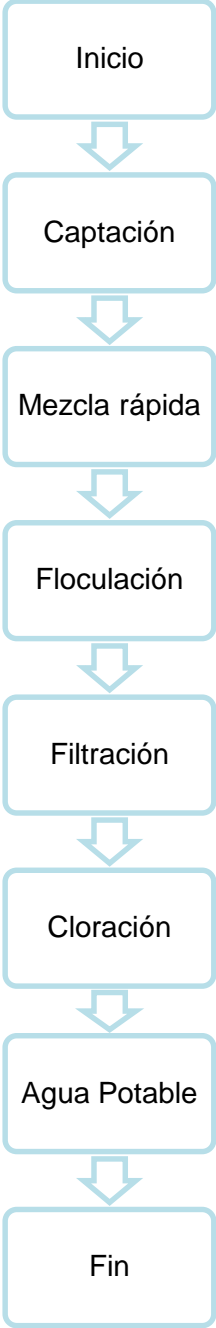


Diagrama 3. Diagrama de flujo



3.2 DIAGNÓSTICO OPERACIONAL

A continuación se relaciona la información obtenida del diagnóstico operacional realizado a la planta de agua potable (Tabla 8).

Tabla 8. Diagnóstico operacional de la planta

Unidad	Estado	Problema	Causa	Figura
Bocatoma	Regular	Baja presión de llegada a la planta	Captación de agua de terceros por medio de la tubería lo que ocasiona bajas en la presión final	4
Mezcla de reactivos	Regular	La mezcla no llega a ser homogénea	Disminuye el efecto de acción de los químicos.	8
Floculación	Regular	Saturación en los paneles de floculación	No se realiza una separación adecuada del líquido y sólidos	-
Filtración	Mala	Filtro A-5 no cuenta con lecho filtrante y filtro A-4 se encuentra saturado.		11
Cloración	Regular	Sedimentos en el fondo del tanque SR-7.	En el proceso de filtración no se realiza una remoción adecuada de los sólidos	12
Dosificador de Sulfato de Aluminio	Bueno	-	-	7
Dosificador de Soda Caustica	Bueno	-	-	6
Dosificador de hipoclorito de sodio	Bueno	-	-	7
Bomba de agua clarificada	Bueno	-	-	10

En general los equipos con los que cuenta la planta se encuentran en buen estado y la corrosión no es marcada en ninguno, con excepción del tanque de

almacenamiento de agua potable y post-cloración, el cual tiene corrosión externa, pero internamente no presenta mayores muestras de esto como se mostró en Tabla 8. Se observa un buen manejo en los equipos y las bombas por parte de los operarios, esto debido a que los encargados han sido capacitados en el uso de los equipos.

Las bombas dosificadoras de insumos químicos se encuentran en buen estado estructural y físico debido a que son en general nuevas en la empresa, (menos de un año de uso). Los controladores automáticos se encuentran en buena posición evitando la succión de aire y el desperdicio de sustancias químicas, que causen fugas o pérdidas de insumos.

La bomba de agua clarificada se encuentra con corrosión en su carcasa sin embargo su funcionamiento es normal lo cual permite el suministro de agua clarificada a los filtros, no se reporta ningún ruido anormal que provenga de esta por lo cual se puede descartar preliminarmente daños internos por cavitación.

Es importante anotar que una de las grandes virtudes del floculador-decantador pulsador laminar a sifón, a diferencia de las instalaciones compactas de flujo tangencial es la uniformidad de la velocidad ascensional sobre la totalidad del área efectiva del decantador, característica que permite obtener un efluente de calidad constante a todo lo largo del tiempo de operación.

Tal característica también hace posible que la mezcla de los reactivos y su difusión a través de la totalidad de la masa de agua cruda sea óptima, evitando así desperdicio de reactivos y una homogeneidad total en la mezcla agua-reactivo, lo cual garantiza un efluente de calidad uniforme.

En la actualidad no se realiza ningún tipo de mantenimiento preventivo a los equipos, es importante implementar este mantenimiento en la parte eléctrica y mecánica del proceso, esto con el fin de prevenir daños que afecten el constante flujo de agua y sean la causante de la detención del proceso industrial. En la actualidad solo se realizan mantenimiento correctivo lo cual ha generado problemas por lo anteriormente nombrado.

3.3 CARACTERÍSTICAS DE LOS INSUMOS QUÍMICOS

3.3.1 Sulfato de aluminio $Al_2(SO_4)_3$. Es una sal de aluminio que en estado puro es un sólido blanco o marrón según la cantidad de hierro presente en él, para el caso se utiliza en solución. La obtención industrial de este insumo es simple lo cual lo hace un reactivo económico y de fácil acceso. Su fuerte poder desestabilizador de cargas le permite funcionar como un coagulante rápido permitiendo una completa coagulación de sólidos suspendidos en aguas, sin embargo tiene como principal desventaja la formación de lodos.

No es considerado un químico con alto nivel de peligrosidad, por lo cual no requiere normas estrictas de almacenaje, ni condiciones especiales para ese mismo fin (Ver anexo B).

Tabla 9. Propiedades relevantes del sulfato de aluminio

Nombre del producto	<i>Sulfato de aluminio</i>
Aplicación	Coagulante para clarificación de aguas
Descripción	Solución de sulfato de aluminio
Clase de riesgo	Moderadamente corrosivo
Propiedades físicas	
Apariencia olor y estado físico	Líquido limpio Viscoso
Densidad (20°C)(g/mL)	1,33
Viscosidad (22°C)(cPs)	12
Solubilidad en Agua % Max.	0,1

Fuente: Ficha de seguridad coagulante, empresa Quimisander.

3.3.2 Soda cáustica (NaOH). Es un hidróxido altamente corrosivo y reactivo con el agua, para este caso se cuenta con una solución acuosa al 51% de soda. La soda caustica tiene un sinnúmero de aplicaciones en distintas industrias y es altamente utilizado como un regulador de pH. En concentraciones bajas es inofensivo para la salud humana. A temperatura ambiente y en estado puro es un sólido blanco cristalino, la solución al 51% es un líquido opaco de color blanco.

Se recomienda completa protección de los operarios y trabajadores al estar en contacto con la solución, y no almacenarse en lugares abiertos o cerca de materiales combustibles. El contacto con ojos, piel, vías gastrointestinales o vías respiratorias es considerado de alto riesgo y puede causar daños permanentes y quemaduras severas.

Tabla 10. Propiedades del hidróxido de sodio

Nombre del producto	Hidróxido de sodio
Aplicación	Regulador de pH
Descripción	Solución acuosa de hidróxido de sodio al 51%
Clase de riesgo	altamente corrosivo
Propiedades físicas	
Apariencia olor y estado físico	Líquido viscoso translucido a ligeramente turbio
Densidad (20°C)(g/cm ³)	1,520 - 1,540
Viscosidad (22°C)(cPs)	12
Solubilidad en Agua (20°C)	Muy soluble

Fuente: Ficha de seguridad Hidróxido de Sodio, empresa Quimisander.

3.3.3 Hipoclorito de sodio (NaClO). A condiciones ambiente y en estado puro es un sólido cristalino blanco muy inestable, por lo cual se usa en disoluciones, aprovechando su fácil solubilidad en agua. Es incompatible con ácidos fuertes, aminas y amoníaco. Debe almacenarse en recipientes bien cerrados en lugares secos y bien ventilados. Es usado como desinfectante debido a que es capaz de destruir bacterias, virus y hongos presentes en el agua, sin ser tóxico a bajas concentraciones para los humanos. Debe tenerse en cuenta que por el ion sodio tenderá a subir el pH.

Se recomienda utilizar material de seguridad completo al momento de manipular este insumo químico. Es extremadamente destructivo de las membranas del tracto respiratorio, y es altamente volátil.

Tabla 11. Propiedades relevantes del hipoclorito de sodio

Nombre del producto	<i>Hipoclorito de sodio</i>
Aplicación	Desinfectante
Descripción	Solución acuosa de Hipoclorito de sodio al 12,6%
Clase de riesgo	altamente corrosivo
Propiedades físicas	
Apariencia olor y estado físico	Líquido translucido a ligeramente turbio
Densidad (20/200°C)(g/cm ³)	<1,670
Cloro libre (g/cm ³)	130
Solubilidad en Agua (20°C)	Muy soluble

Fuente: Ficha de seguridad Hipoclorito de Sodio, empresa Quimisander.

3.4 ANÁLISIS DE LAS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS, QUÍMICAS Y MICROBIOLÓGICAS DEL AGUA

Con el fin de cerciorarse de la calidad del agua y las características con las que cuenta y las cuales son transformadas por la planta de potabilización, se realizaron caracterizaciones del agua cruda proveniente de la ciénaga de San Silvestre y del agua potabilizada a la salida de la planta. Teniendo en cuenta que la fuente hídrica de la cual la planta toma el agua es una fuente superficial que se ve afectado por cambios climáticos y de medio ambiente, se vio la necesidad de realizar dos caracterizaciones de ambas muestras, una en época de verano, correspondiente al primer semestre del año y otra en época de invierno, correspondiente al segundo semestre del año.

En la actualidad la empresa no cuenta con análisis históricos que evidencien el comportamiento del estado tanto de la planta de potabilización de agua como de la ciénaga de San Silvestre. Debido a esto en este proyecto no se consideran análisis históricos por falta de información consolidada por parte de la empresa.

Debido a que la empresa no cuenta con laboratorios apropiados en sus instalaciones, ni equipos para realizar mediciones de todas las características necesarias, estas pruebas fueron realizadas por un laboratorio externo y certificado Labalime ubicado en la ciudad de Bucaramanga. Las muestras fueron debidamente tomadas tanto de la ciénaga como de la planta, y enviadas a los laboratorios.

3.4.1 Caracterización del agua en época de verano. Como se ha nombrado anteriormente las muestras fueron evaluadas en el primer semestre del año, en condiciones de verano y sequía, realizadas el 2 de mayo de 2016. Los resultados de dichas caracterizaciones se encuentran en la tabla 12.

Tabla 12. Resultados de la caracterización de agua, tanto cruda como tratada, en época de verano.

PARAMETRO	RESULTADOS		LIMITE PERMITIDO	UNIDADES	TECNICA
	AGUA CRUDA	AGUA TRATADA			
<i>pH</i>	6,4	6,9	6,5 - 9,0	-	St.Mth. 4500 H+B
<i>Color</i>	156	32,5	Max. 15	UPC	HACH 120
<i>Turbiedad</i>	85	53,2	2	NTU	St.Mth. 2130B
<i>Conductividad</i>	42	123	50-1000	Us/cm	St.Mth. 2510B
<i>Cloro Residual</i>	-	-	0,3 - 2,0	mg/L Cl ₂	St. Mth. 4500 Cl G
<i>Alcalinidad P</i>	0	0	-	mg/L CaCO ₃	St. Mth. 2320 B
<i>Alcalinidad Total</i>	10	25	Max. 200	mg/L CaCO ₃	St. Mth. 2320 B
<i>Dureza Total</i>	12	27	300	mg/L CaCO ₃	St. Mth. 2340C
<i>Dureza Calcica</i>	12	24	-	mg/L CaCO ₃	St. Mth. 3500 Ca D
<i>Dureza Magnesica</i>	5	3	-	mg/L CaCO ₃	St. Mth. 3500 Mg D
<i>Calcio</i>	5	8	60	mg/L Ca	St. Mth. 3500 Ca D
<i>Cloruros</i>	4	10	250	mgCl/L	St. Mth. 4500 Cl B
<i>Hierro</i>	2,8	1,33	0,3	mgFe/L	St. Mth. 3500 Fe D

Análisis Microbiológicos

Bacterias Mesofílicas	4500	10	<100	UFC/100ml	Filtración Por Membrana
Coliformes Totales	2100	0	0	UFC/100ml	Filtración Por Membrana
Escherichia Coli	54	0	0	UFC/100ml	Filtración Por Membrana

3.4.2 Caracterización del agua en época de invierno. De igual manera se realizó el muestreo y las caracterizaciones para la época de invierno, con el mismo laboratorio, en el segundo semestre del año, en condiciones de invierno y lluvias, las pruebas fueron realizadas el 15 de septiembre de 2016. Los resultados de dichas caracterizaciones se encuentran en la tabla 13.

Tabla 13. Resultados de la caracterización de agua, tanto cruda como tratada, en época de invierno.

Parámetro	Resultados		Límite Permitido	Unidades	Técnica
	Agua Cruda	Agua Tratada			
Ph	6,5	7,3	6,5 - 9,0	-	St.Mth. 4500 H+B
Color	180	47,7	Max. 15	UPC	Hach 120
Turbiedad	105	72,56	2	NTU	St.Mth. 2130b
Conductividad	48	118	50-1000	µs/cm	St.Mth. 2510b
Cloro Residual	-	-	0,3 - 2,0	M mg/L Cl ₂	St.Mth.4500 Cl G
Alcalinidad P	0	0	-	mg/L Caco ³	St.Mth.2320 B
Alcalinidad Total	14	28	Max. 200	mg/L Caco ³	St. Mth. 2320 B
Dureza Total	16	30	300	mg/L Caco ³	St. Mth. 2340c
Dureza Calcica	10	25	-	mg/L Caco ³	St. Mth. 3500 Ca D
Dureza Magnesica	6	5	-	mg/L Caco ³	St. Mth. 3500 Mg D
Calcio	6,4	12	60	mg/L Ca	St. Mth. 3500 Ca D
Cloruros	9	12	250	mgCl/L	St. Mth. 4500 Cl B
Hierro	9,8	8,2	0,3	mgFe/L	St. Mth.3500 Fe D
Análisis Microbiológicos					
Bacterias Mesofílicas	3000	10	<100	UFC/100ml	Filtración Por Membrana
Coliformes Totales	1800	0	0	UFC/100ml	Filtración Por Membrana
Escherichia Coli	60	0	0	UFC/100ml	Filtración Por Membrana

De la Tabla 13 que describe el comportamiento de las características del agua tanto cruda como potabilizada por la planta en época de invierno, podemos evidenciar que en este periodo de tiempo se encuentran tres características que sobrepasan los límites legales permitidos, estos son color, turbiedad y hierro, usualmente suelen estar relacionados estos tres parámetros.

Acorde con la teoría, el agua superficial tiene peores condiciones en invierno, esto es debido a que existe un mayor movimiento en las fuentes hídricas lo cual genera levantamientos en el suelo, arrastre de partículas, contaminación por desagües urbanos, e incluso erosión. Para este caso, esto puede estar directamente relacionado con el aumento en las propiedades problemáticas de la fuente hídrica y al mismo tiempo de la planta de potabilización, debido a que el agua carga con más sólidos y la planta no está siendo capaz de retenerlos en el proceso.

La turbidez para este caso, muy seguramente es causada por la presencia de hierro en la muestra; por un lado el hierro demostrado en ambas caracterizaciones es un factor que se encuentra por fuera de los límites permitidos y teóricamente es una causa principal de turbidez en aguas superficiales, y por otro lado la turbidez también es causada por presencia de partículas orgánicas que impiden la eliminación de microorganismos por desinfección¹⁹, sin embargo, para este caso los análisis microbiológicos resultan dentro de los parámetros de la resolución 2115, que obliga la eliminación casi total de los mismos, es decir el proceso de desinfección acaba con ellos, por lo tanto no existe la cantidad de partículas orgánicas que causen la turbidez e impidan la eliminación de microorganismos por su presencia.

¹⁹ROMERO, Calidad del agua, Op. cit., p. 371.

4. PLAN DE MEJORAMIENTO PARA LA PLANTA DE AGUA POTABLE

4.1 ALTERNATIVAS PARA LA POTABILIZACION DEL AGUA

Los procesos de potabilización del agua cuentan con etapas específicas que suelen ser comunes en la mayoría de tratamientos, las cuales están encargadas cada una del mejoramiento de las características del agua y reforzar la eliminación de sustancias peligrosas o agentes patógenos.

Teniendo en cuenta la revisión bibliográfica donde se establecen las operaciones básicas para llevar a cabo la potabilización de agua en las cuales se encuentra la aireación, clarificación, filtración, sedimentación y desinfección, entre otras operaciones alternativas, y basados en el diagnóstico y análisis general de la planta y las pruebas fisicoquímicas y microbiológicas realizadas, se establecieron 3 alternativas viables para el mejoramiento de la planta de agua potable, cuyo fin es mejorar tanto la parte operacional como el manejo preventivo de los equipos.

4.1.1 Alternativa 1: Evaluación de un nuevo coagulante. Teniendo en cuenta que la coagulación y floculación es una etapa clave en la remoción de color y turbiedad, es necesario evaluar un nuevo coagulante que permita un aumento en la eficiencia del proceso sin afectar los tiempos establecidos en la planta, teniendo como referencia una mayor velocidad de formación de los flóculos. Además debe tenerse en cuenta que en este momento el proceso de mezcla rápida no funciona adecuadamente por lo cual la dispersión del coagulante no se está dando de la mejor manera.

Partiendo de lo anterior se sugiere continuar con la misma estructura del proceso y evaluar un nuevo coagulante junto a una concentración adecuada que permita un aumento en la eficiencia de la unidad potabilizadora.

Actividades alternativa 1

- Evaluar distintos coagulantes con el fin de obtener el que presente mayor eficiencia.
- Estimar la concentración adecuada del nuevo coagulante.
- Realizar limpieza o reemplazar si es necesario de los paneles de floculación.
- Definir gradiente de velocidad y tiempo de retención.

- Realizar mantenimiento a los filtros tanto en su estructura como en el lecho filtrante.

4.1.2 Alternativa 2: Estudio de la concentración del coagulante actual. Se ha considerado como situación clave del proceso que el sulfato de aluminio es adicionado de forma líquida y sin ser diluido, es decir con la concentración con la cual es adquirido la cual quizás no es la adecuada para el proceso de coagulación.

Teniendo en cuenta lo anterior y partiendo de que la coagulación es uno de los procesos que permiten la remoción de los parámetros que se encontraron por fuera de la normatividad, se sugiere continuar con la misma estructura del proceso y manteniendo el mismo coagulante usado hasta el momento, pero buscando su dosificación óptima, permitiendo así obtener como resultado el mejoramiento del proceso de potabilización.

Actividades alternativa 2

- Mejoramiento del sistema de mezcla rápida.
- Determinación del pH adecuado para el proceso teniendo como referencia la bibliografía.
- Determinación de la concentración adecuada de sulfato de aluminio y el tiempo de retención.
- Determinar procedimientos para mejorar la dosificación del coagulante en la concentración nueva.
- Mantenimiento y reposición de filtros y paneles de floculación.

4.1.3 Alternativa 3: Estudio de la implementación de un desarenador como nueva etapa del proceso y evaluación de un nuevo lecho filtrante. Basados en los resultados de las caracterizaciones del agua, tanto provenientes de la ciénaga, agua cruda, como del producto de la planta de potabilización, agua potable, se concluye que las características críticas del proceso están en el tratamiento de la turbidez, el color y el hierro presentes en el agua. Sabiendo además que teóricamente estas tres variables por lo general se relacionan entre sí, se busca implementar una nueva etapa en el proceso.

En la actualidad la empresa cuenta con terrenos disponibles y la capacidad económica de invertir en infraestructura de tal manera que se propone la implementación de un desarenado al principio del proceso, previo a la mezcla de los químicos que dan paso a la clarificación. El desarenado es un proceso mediante

el cual se busca eliminar partículas presentes en el agua y separarlos mediante decantación, lo cual potenciará los procesos posteriores, evitara costos en mantenimiento y limpieza y disminuirá la cantidad de lodos producidos en la floculación y el desgaste de los filtros, lo cual también es un problema actualmente.

Según Romero uno de los procesos que mejoran el color, la turbidez y el hierro es la filtración como parte clave del proceso, el hierro se verá removido efectivamente por este método siempre y cuando el agua pase por un proceso de aireación.²⁰

Teniendo en cuenta que los lechos filtrantes de la planta son un problema actualmente se busca encontrar un nuevo lecho filtrante para el proceso que entregue una mejor eficiencia en la filtración y garantice un mejoramiento en las propiedades problema encontradas en las caracterizaciones del agua.

Actividades alternativa 3

- Estudio técnico del proceso de desarenado.
- Diseño teórico del desarenado óptimo para el proceso.
- Mejoramiento del sistema de mezcla rápida.
- Remoción de capas de algas formadas en el taque de clarificación.
- Determinación de un nuevo lecho filtrante.
- Manteamiento y reposición de los paneles de floculación.

4.2 PROCEDIMIENTO DE SELECCIÓN

A continuación se presenta el procedimiento mediante el cual se da la selección del método adecuado para llevar a cabo el mejoramiento a la planta de tratamiento de agua potable. Para esta selección se consideran las delimitaciones técnicas, operacionales, ambientales y económicas, para obtener una mayor factibilidad y eficiencia en el proceso, teniendo en cuenta que las tres alternativas son viables y adaptables a la planta de potabilización.

Mediante una matriz de selección se evaluarán los métodos y procedimientos, teniendo en cuenta los factores que pueden afectar o favorecer la decisión final, estos serán evaluados entre 1 y 10 cuyas descripciones se encuentran en la tabla 14, y utilizando el método cuantitativo de factores ponderados, y en concordancia con los intereses de la empresa Fertilizantes Colombianos S.A.

²⁰ROMERO, purificación del agua, Op. cit., p 19.

Tabla 14. Escala de factores para la matriz de selección

Calificación	Valoración
1	Valor más bajo
2 – 3	Indicativo de problemas potenciales
4 – 7	Indica valores promedio o una tendencia hacia efectos positivos o negativos (ausencia general de problemas y beneficios importantes)
8 – 9	Excelente potencial de beneficios
10	Valor más alto

La puntuación de cada alternativa se obtiene utilizando un desarrollo matemático encontrado en el libro manual de mantenimiento industrial de Robert C. Rosaler²¹, expresado mediante la ecuación 1.

Ecuación 1. Puntuación Global ponderada.

$$S_j = \sum_{i=1}^n W_i * F_{ij}$$

En donde:

S_j = Puntuación global de cada alternativa j.

W_i = Peso ponderado de cada factor i.

F_{ij} = Puntuación de la alternativa j, en el factor i.

Para formar la matriz de selección de alternativas, se tomaron en cuenta los siguientes criterios a evaluar.

- **Factibilidad técnica:** Comprende las nuevas necesidades técnicas y de adecuación que tiene que tener la planta para poder llevar a cabo la aplicación de la alternativa, desde infraestructura actual como nueva.

²¹ROSALER, Robert y RICE, James, Manual de mantenimiento industrial. México D.F.: Mc Graw-Hill, 1993. Vol. 1. 133 p.

- **Factibilidad operacional:** Hace referencia a las dificultades o ventajas operativas de cada alternativa, con el fin de obtener las mayores ventajas y facilidades operativas.
- **Financiero:** Tiene en cuenta la inversión que se debe realizar al momento de la implementación para el mejoramiento de la planta de agua potable, es decir adquisición de equipos, mantenimiento y todos los recursos necesarios.
- **Factibilidad ambiental:** En este se encuentran los análisis necesarios de impacto ambiental a la zona, causados por la implementación de las actividades que atañen a cada alternativa.

Teniendo en cuenta los criterios anteriormente nombrados se realizó una descripción de cada uno por factores, con el fin de especificar de la mejor manera que tanta afectación para la planta y el proyecto tiene cada criterio, los resultados se encuentran junto con la ponderación respectiva para cada uno en la tabla 15.

Tabla 15. Criterios y valores ponderados para la selección de alternativas

Criterio (ponderado)	Factor	Descripción	Peso ponderado (W_i)
			Factor
Técnico (0,29)	Equipos	Disponibilidad necesaria en cuanto a equipos requeridos para la realización de la alternativa, y estos tengan la capacidad de adaptarse a los cambios.	0,08
	Requerimiento espacial	Disponibilidad de espacio o terreno requerido para la imitación de nuevos equipos, almacenamiento de nuevos reactivos o la puesta en marcha de nuevos procesos.	0,07
	Reactivos	Se debe contar con la facilidad de adquisición de reactivos que cambien en la alternativa, tanto de compra, como de manejo, almacenamiento y transporte.	0,02
	Operación	Análisis de adaptabilidad de la planta existente frente a cambios realizados por la alternativa.	0,07
	Tecnología	Capacidad de adquisición de la tecnología escogida dentro de la alternativa	0,05
Operativo (0,31)	Necesidades energéticas	Análisis de la demanda eléctrica que significaría para la empresa la implementación de nuevos equipos o procesos.	0,05

Tabla 16. (Continuación)

Criterio (ponderado)	Factor	Descripción	Peso ponderado (Wi)
			Factor
Operativo (0,31)	Mantenimiento	Recursos necesarios tanto de personal, tiempo y dinero, que serían invertidos en labores de mantenimiento, adicional al aplicar la alternativa.	0,04
	Tiempo de operación	Cambios en el tiempo de operación de la planta de potabilización, causados por los cambios efectuados por la alternativa.	0,07
	Capacidad	Cantidad de agua o volumen que puede ser potabilizado en un determinado tiempo, con los cambios de la alternativa.	0,07
	Vida útil	Tiempo útil esperado para los equipos que se compren o construyan.	0,03
	Seguridad industrial	Se debe analizar como las alternativas pueden incurrir en riesgos para la seguridad de operarios y demás empleados relacionados con el proceso.	0,03
	Tiempo de adquisición	Tiempo aproximado requerido para entrar en marcha la alternativa.	0,02
Financiero (0,33)	Inversión	Cantidad de dinero necesario para poner en marcha la alternativa seleccionada, cuenta con dinero gastado en equipos, adecuaciones, mantenimientos, reparaciones, capacitaciones, y dispositivos y accesorios adicionales que surgen a partir de la alternativa.	0,08
	Adquisición	Cantidad de dinero invertida en equipos nuevos.	0,1
	Disponibilidad de inversión	Disponibilidad de flujo de caja necesario para realizar la inversión.	0,1
	Operatividad	Gastos producidos por mano de obra, servicios industriales o públicos en los que tenga que incurrir la empresa producto de la implementación de la alternativa.	0,05
Ambiental (0,07)	Incidencia en el medio ambiente / Residuos generados	Se analizan los distintos subproductos que podría generar la alternativa, y que repercusión tienen ambientalmente, entre estos se comprenden sólido, gases, líquidos contaminantes, residuos químicos y lodos generados durante el proceso.	0,07

4.3 MATRIZ DE SELECCIÓN

Luego de definir los valores ponderados tenidos en cuenta para cada factor se realiza la matriz de selección otorgando un puntaje a cada una de las alternativas descritas anteriormente por cada factor, e implementando la ecuación 1 se calcula una puntuación global por cada alternativa, cuyo valor oscila entre 1 - 10. Los resultados de este procedimiento se encuentran en la Tabla 16.

Se debe tener en cuenta que con las tres alternativas se busca garantizar el correcto funcionamiento de la planta, el mantenimiento predictivo de la misma y el mejoramiento en las características del agua, lo cual garantizará el mejoramiento de las características del agua, es por esto que estos no afectaron significativamente en la matriz de selección.

Tabla 17. Matriz de selección de alternativa

Criterio	Factor	Peso ponderado (F_i)	Puntuación		
			Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3
Técnico	Equipos	0,08	5	5	4
	Requerimiento espacial	0,07	5	4	10
	Reactivos	0,02	3	8	10
	Operación	0,07	7	4	6
	Tecnología	0,05	7	5	7
Operativo	Necesidades energéticas	0,05	5	4	4
	Mantenimiento	0,04	5	5	5
	Tiempo de operación	0,07	7	5	7
	Capacidad	0,07	8	8	10
	Vida útil	0,03	9	9	7
	Seguridad industrial	0,03	5	6	8
	Tiempo de adquisición	0,02	9	9	4
Financiero	Inversión	0,08	7	7	3
	Adquisición	0,1	8	8	7
	Disponibilidad de inversión	0,1	9	9	10
	Operatividad	0,05	6	4	5
Ambiental	Incidencia en el medio ambiente / Residuos generados	0,07	4	5	8
Total Ponderado		1	6,59	6,12	6,86

Tanto los puntajes de cada factor como los ponderados otorgados a cada uno fueron concertado bajo los criterios propios de los autores y con los ingenieros de la empresa para llegar a un consenso que arrojará la mejor opción.

Basados en la puntuación global, realizada por el método ponderado se encontró que la alternativa 3 es la opción más viable para el proyecto, debido primero, a que pese a que tiene requerimientos económicos, la empresa en este momento cuenta con un flujo de capital y una capacidad de inversión buena, y segundo para la empresa es de interés en este momento, invertir en infraestructura. Sin embargo, debe tomarse en cuenta que esta alternativa conlleva un tiempo de implementación alto debido a que el equipo nuevo debe ser diseñado en detalle para su instalación y construcción. También es significativo denotar que es la alternativa que requiere mayor espacio en la planta, sin embargo esto no es un problema en la actualidad para la empresa que cuenta con terrenos suficientes, de los cuales se ha buscado sacar provecho.

Por último, esta es la alternativa con menores repercusiones ambientales debido a que conserva los mismos insumos químicos ya utilizados en el proceso y que los residuos sólidos generados por el desarenador no son considerados como de alto riesgo debido a la naturaleza de las partículas que se sedimentan y pueden ser devueltos a la naturaleza sin mayores contratiempos ni procesos de separación.

En cuanto a la alternativa dos, el resultado no es muy lejano a la alternativa uno, sin embargo, esta es aún menos viable debido a que no genera una disminución en tiempos de proceso de potabilización, ni innovación para el proceso. Consecuentemente encontramos que en la mayoría de los factores no genera beneficios significativos en cuanto a tiempos de proceso, ahorro en inversiones económicas, costos de mantenimiento, costos de capacitaciones, entre otros.

La alternativa uno se encuentra en la clasificación global en un punto medio, ya que si bien con la puesta en marcha de esta alternativa se generan beneficios considerables a la planta, sin incurrir en mayores gastos y teniendo tiempos de adquisición óptimos, también debido a la implementación de nuevos agentes químicos esto conllevaría posibles gastos en capacitaciones de personal, mejoramiento de las instalaciones para almacenaje, efectos en la seguridad industrial y en tratamientos de nuevos lodos y residuos generados por el cambio del coagulante.

4.4 DESARROLLO DE LA ALTERNATIVA SELECCIONADA

A continuación se presentan los requerimientos de diseño, cambios operacionales y equipos planteados para el desarrollo y el cumplimiento de las necesidades establecidos en la alternativa 3, y teniendo en cuenta que deben cumplir con la funcionalidad que permita satisfacer las exigencias operacionales de una planta de agua potable y el mejoramiento de las características problema del agua. Para esto se realizará la elección y posterior dimensionamiento teórico de un desarenador, el cual permitirá adicionar un tratamiento preliminar, removiendo partículas de arena suspendidas en el agua, con el fin de potenciar los demás procesos realizados en

la planta y disminuir la carga de lodos y formaciones de sólidos durante los otros procesos.

Por otro lado, se busca mejorar el sistema de mezcla mediante el cambio de equipos y el mantenimiento del mezclador actual, debido a que esta etapa del proceso influencia altamente en la floculación que es un proceso clave en remoción de turbiedad, color y hierro. Junto con esto se evidenció que existe formación de capas de algas que deben ser removidas del tanque de almacenamiento de agua clarificada, esto con el fin de impedir que pueda existir contaminación por estas.

Por último, se busca cambiar los lechos filtrantes utilizados hasta ahora, para lo cual se realizará una evaluación de lechos filtrantes y sus eficiencias, para de esta forma obtener la mejor alternativa que permita que el agua producto de la planta cumpla con los estándares de normatividad.

4.4.1 Sistema de desarenado. Este proceso tiene como función separar las partículas de arena y partículas en suspensión, cuyo diámetro de partícula sea superior a 0.2 mm, del agua cruda. Esto tiene como objetivo proteger los equipos y procesos que se encuentran posterior a este tratamiento además de evitar sobre cargas en los mismos. La ubicación de estos instrumentos se recomienda según la literatura²², que este como un tratamiento previo a los procesos de clarificación, pero posterior a los procesos de tamizado y eliminación de sólidos gruesos, así mismo es recomendado que se localice lo más cerca posible a la fuente de captación de agua.

Los desarenadores son equipos altamente usados en los tratamientos de aguas tanto para tratamiento de aguas residuales como para potabilización de agua que pueden durar en funcionamiento 24 horas por día, y se calcula que en promedio su periodo de vida útil oscila entre 8 y 16 años, según su uso y mantenimiento.

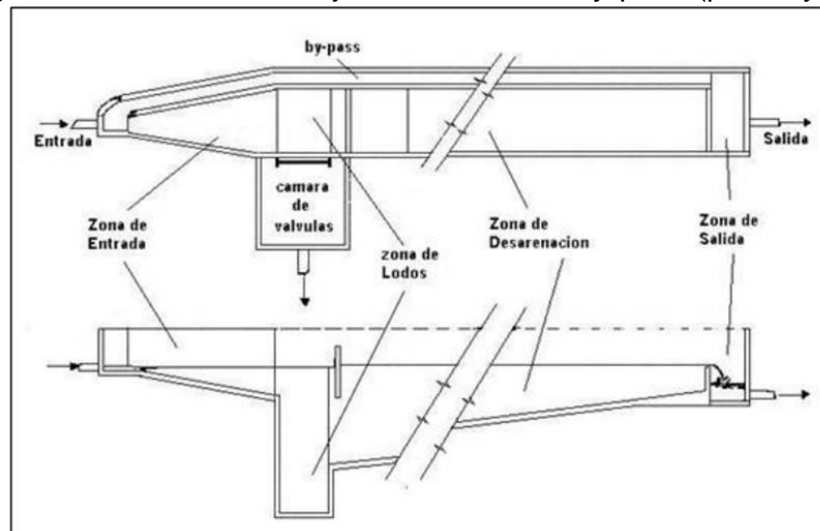
4.4.1.1 Mantenimiento y limpieza. Para el correcto funcionamiento del desarenador debe realizarse mantenimiento estructural y mecánico de todos los elementos que lo conforman, difusores de flujo, compuertas, válvulas, vertederos, etc., al menos una vez cada 6 meses. Se recomienda hacer mantenimiento preventivo y correctivo de ser necesario. Debe llevarse un control de la remoción de sedimentos en el momento de limpieza del mismo y a la salida de este.

4.4.1.2 Tipos de desarenadores. Los desarenadores que se utilizan con mayor frecuencia en el diseño de planta de tratamiento de agua son de flujo horizontal (sección rectangular o cuadrada), aireados y de vórtice.

²² ROMERO, Tratamiento de aguas residuales: Teoría y principios de diseño.

➤ **Desarenador de flujo horizontal.** El agua cruda atraviesa la cámara en dirección horizontal y la velocidad lineal del flujo se controla de forma indirecta mediante las dimensiones del canal, ubicando compuertas especiales a la entrada del proceso o deflectores para permitir una distribución adecuada del flujo de agua. Luego de esto el agua fluye a través hasta rebosar por un vertedero de descarga libre, lo cual permite la sedimentación de sólidos. Estos son extraídos del sistema mediante mecanismos inclinados (rastrillos, tornillos sin fin, entre otros), Imagen 11.

Imagen 11. Desarenador flujo horizontal con by-pass (planta y corte)



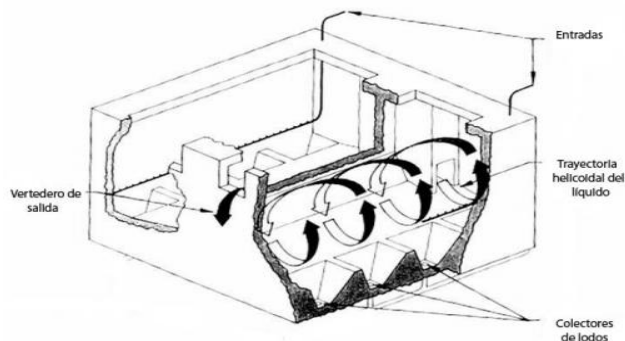
Fuente: Guía para el diseño de desarenadores y sedimentadores ²³

➤ **Desarenadores aireados.** En los desarenadores aireados, las partículas de arena se remueven de las fuentes de agua por impulso del movimiento en espiral realizado por el instrumento. Debido a que poseen mayor masa que el resto de partículas presentes en el flujo, estas se aceleran y abandonan las líneas de flujo normales de este y terminan depositándose en el fondo de los tanques del instrumento, imagen 12.

Poseen un mínimo desgaste en los equipos y los residuos producidos por este tipo de desarenador, no requieren tratamientos posteriores para poder ser desechados. La variable que determina la remoción efectiva de las partículas es la velocidad de giro.

²³ Guía para el diseño de desarenadores y sedimentadores. Recuperado de <http://www.bvsde.paho.org/bvsatp/e/tecnoapro/documentos/agua/158esp-diseno-desare.pdf>

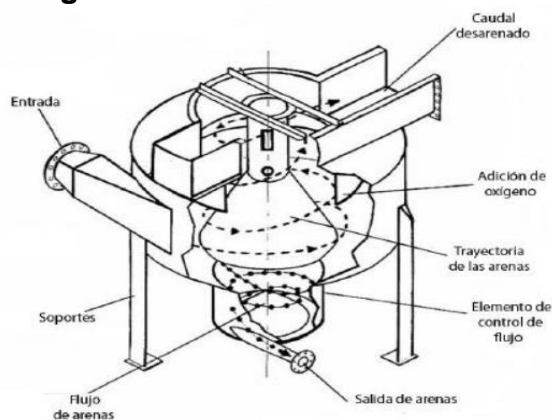
Imagen 12. Desarenador aireado



Fuente: Análisis y diseño del tratamiento primario²⁴

- **Desarenador de vórtice.** En este desarenador las arenas son removidas por medio de la fuerza de vórtice producida en el instrumento cilíndrico por medio de la fuerza de la entrada tangencial del agua o por acción de una turbina. Las arenas se depositan en el fondo de este y son extraídas por medio de una bomba de arenas o tipo *air lift*. Las fuerzas centrífuga y gravitacional que se hacen evidentes en el cilindro rotatorio son las encargadas de la separación en este proceso, imagen 13.

Imagen 13. Desarenador de vórtice



Fuente: Análisis y diseño del tratamiento primario²⁵

En el Cuadro 4 se relacionan distintas ventajas y desventajas para cada tipo de desarenador anteriormente descrito.

²⁴ Análisis y diseño del tratamiento primario. Capítulo V. Recuperado de http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/lic/hammeken_a_am/capitulo5.pdf

²⁵ Ibídem

Cuadro 5. Comparación de ventajas y desventajas de cada tipo de desarenador

Tipo de Desarenador	Ventajas	Desventajas
Flujo horizontal	<ul style="list-style-type: none"> • El diseño no es complejo, lo cual no dificulta su construcción. • Teniendo un flujo adecuado, no sería necesario llevar a cabo una clasificación de los residuos después de este proceso. 	<ul style="list-style-type: none"> • Mantener la velocidad de flujo en el punto óptimo. • Si el flujo se encuentra fuera del rango óptimo, se limpiarán amplias cantidades de materia orgánica y sólidos, lo que ocasionará una necesidad de limpieza y clasificación de este tipo de residuos.
Aireado	<ul style="list-style-type: none"> • Ayuda con la remoción de materia orgánica, si se controla la tasa de aireación. • Conserva la misma eficiencia aun cambiando el flujo de entrada. • El instrumento puede ser utilizado para mezcla química, preaireación y floculación. 	<ul style="list-style-type: none"> • Emisión de malos olores. • Requiere altos mantenimientos en el sistema de aireación. • Alto consumo energético.
Vórtice	<ul style="list-style-type: none"> • Conserva la misma eficiencia aun cambiando el flujo de entrada. • No tiene equipos sumergidos que necesiten mantenimiento. • Espacio reducido. 	<ul style="list-style-type: none"> • Diseño patentado. • Altos costos de adquisición. • Necesita limpieza y supervisión continua, con el fin de evitar el atasco del equipo por acumulación de arenas o basuras. • Daños en los mecanismos internos y paletas por presencia de basuras.

Se evidencia que como desventajas más importantes encontramos que debido a las partes mecánicas suspendidas bajo el agua el desarenador aireado requerirá mayor cantidad de mantenimiento que los otros dos, mientras que el desarenador de vórtice al ser un equipo patentado tendrá que ser adquirido por un fabricante autorizado, por lo cual puede causar excesos en los costos. En el desarenador de

flujo horizontal encontramos que la mayor desventaja es el gasto de espacio que conlleva la construcción de este en los procesos.

Como ventajas encontramos que el desarenador aireado puede mantener su eficiencia aun cuando los caudales y otras características de entrada cambian, lo cual lo hace convenientemente flexible, por otro lado el desarenador de vórtice no contiene ningún equipo sumergido y ocupa poco espacio, por último el desarenador de flujo horizontal es fácil en diseño y económico en adquisición. Teniendo en cuenta las características actuales de la planta, en la cual existen terrenos disponibles para la ejecución de este proyecto, el agua que se va a filtrar y los costos de los desarenadores descritos, encontramos que el desarenador que mejor se ajusta para este caso es el desarenador de flujo horizontal. No solo porque es eficiente en el tratamiento de agua, sino también porque es el más recomendado según el RAS 2000²⁶ en estos casos, es económico y los tiempos de instalación de este no son tan grandes, al igual que los tiempos de adquisición, transporte y montaje como sería uno de vórtice o uno de aireación.

4.4.2 Diseño teórico del desarenador. Para realizar el diseño se tomó como guía el procedimiento de diseño encontrado en el libro de Romero Rojas, Tratamiento de aguas residuales teoría y principios de diseño²⁷. Para esto se tiene como datos iniciales los mostrados en la Tabla 17.

Tabla 18. Datos para el diseño del desarenador

Símbolo	Descripción	Valor
dp	Diámetro de partículas (mm)	0,2
	Número de canales	1
T	Ancho de cada canal (m)	0,61
v	Velocidad de flujo (m/s)	0,3
Qmaxe	Caudal máximo de emergencia (m ³ /s)	0,0833
Qmax	Caudal máximo (m ³ /s)	0,055
Qp	Caudal promedio (m ³ /s)	0,05
Qmin	Caudal mínimo (m ³ /s)	0,027
g	Gravedad (m/s ²)	9,8
ν	Viscosidad cinemática (m ² /s)	1,03x10 ⁻⁶

²⁶ BOGOTA.MINISTERIO DE VIVIENDA, CIUDAD Y TERRITORIO, reglamento técnico del sector de agua potable y saneamiento básico.

²⁷ROMERO R., Jairo, A. Tratamiento de aguas residuales: Teoría y principios de diseño. Bogotá: Escuela Colombiana de Ingenierías, 2008.

El diámetro de partícula es un dato teórico para arena u otros materiales de densidad relativa 2,65.²⁸ El ancho del canal fue parámetro de diseño ajustado a conveniencia del mismo, con el fin de encontrar la altura y la longitud que se adaptarán mejor a las características de la planta. El caudal promedio de la planta es el caudal que maneja usualmente la planta cuando está en funcionamiento, el caudal máximo es el caudal máximo para el cual fue diseñada toda la planta, y el caudal máximo de emergencia se tomó como 100 m³/h más del caudal diseño original. El manejo de estos caudales se realiza con el fin de darle flexibilidad al diseño y tener en cuenta las situaciones límite.

Debido a la naturaleza innata del desarenador se debe tener en cuenta que como principio básico se rige bajo las leyes de la sedimentación como parte de su funcionamiento. Es de esta manera que como punto de partida es necesario calcular la velocidad de sedimentación de las partículas, esto se da por la ley de Stokes (Ecuación 4), esta nos proporciona una relación para calcular el valor de la velocidad de sedimentación en función del diámetro de la partícula, su densidad y la viscosidad cinemática del fluido, la que resulta a su vez función de la temperatura. Como parámetro fundamental la ley de Stokes diferencia diferentes expresiones dependiendo del régimen de sedimentación en que se encuentre el fluido.

El régimen de sedimentación de un fluido se encuentra mediante la ecuación de Reynolds, mostrada en la Ecuación 2, sin embargo esta depende directamente de la velocidad de sedimentación del fluido, por esta razón para este caso se utilizó un método analítico entontado en la literatura²⁹, el cual une la ley de Stokes y el número de Reynolds igualando v_s para ambas ecuaciones, obteniendo la Ecuación 3.

Ecuación 2. Ecuación de Reynolds.

$$R_e = \frac{v_s D}{\nu}$$

En donde D es la longitud característica del sistema, v_s es la velocidad de sedimentación y ν es la viscosidad cinemática.

Ecuación 3. Relación método analítico.

$$R_e = \frac{g D_p^3 \rho (\rho_p - \rho)}{18 \mu^2}$$

El valor obtenido en esta relación nos indica un parámetro adimensional de comparación para determinar el régimen del sistema, calculándolo para este caso y

²⁸ROMERO R., Jairo, A. Tratamiento de aguas residuales: Teoría y principios de diseño. Bogotá: Escuela Colombiana de Ingenierías, 2008.p. 295.

²⁹ Universidad Autónoma Metropolitana Unidad Iztapalapa, Notas de Sedimentación, Iztapalapa México. [En Línea] http://sgpwe.izt.uam.mx/files/users/uami/favela/Notas_Sedimentacion.pdf, Consultado el 28 Febrero del 2017

tomando los datos de la Tabla 17 se obtiene un valor de 3,84. Según el método analítico si el resultado es menor a 10 quiere decir que el sistema maneja un régimen laminar y por tanto se puede usar la ley de Stokes directamente según la forma de la ecuación 4.

Ecuación 4. Ley de Stokes, para régimen laminar.

$$V_s = \frac{gd_p^2}{18\nu} \left[\frac{\rho_{arena}}{\rho_{agua}} - 1 \right]$$

Teniendo en cuenta los datos de la Tabla 17 y la Ecuación 4, se encontró que la velocidad de sedimentación para este caso es de 0,015 m/s. Tanto el resultado obtenido de la velocidad como el del régimen laminar son resultados convenientes para el proceso de sedimentación de partículas que se busca con el desarenador.

Posteriormente se propone el cálculo para un canal de desarenado, teniendo en cuenta que por criterios de diseño y facilidades de operación los desarenadores suelen tener dos canales mínimo o un *bypass*, esto con el fin de poder operar el otro o tener una salida del agua mientras se limpia el primero, de esta manera para la construcción del desarenador se tendrán dos canales con las características encontradas mediante este diseño³⁰.

Se asume una sección de control de ancho fijo, con paredes verticales y canal de aproximación bien redondeado y suave, de tal manera que se puede considerar que la pérdida de energía es igual al 10% de la altura de velocidad y que el flujo en la sección de control estará a la profundidad crítica³¹. Para efectos de la construcción esta sección idealizada de manera parabólica se construye de manera recta, sin embargo debe tenerse en cuenta que esto producirá una pérdida de energía, el diseño bajo parábola es una idealización del método.

Caudal (Q) máximo normal: Primero se calculan los parámetros con el caudal máximo normal, como se asumió que la sección transversal corresponde a una parábola de tal manera el área puede ser calculada mediante la Ecuación 5.

Ecuación 5. Área de una parábola.

$$A = \frac{2HT}{3}$$

Donde H es la altura o profundidad de la sección y T es el ancho de la misma, teniendo en cuenta la Ecuación 5 se sabe que de la ecuación de caudal podemos

³⁰Ibíd., p. 294.

³¹Ibíd. P 296

encontrar la profundidad correspondiente a la sección del desarenador en uso cuando este se encuentre manejando este caudal (Ecuación 6 y 7).

Ecuación 6. Caudal

$$Q = Av = \frac{2HT}{3}v$$

Ecuación 7. Profundidad para un desarenador (H).

$$H = \frac{3Q}{2Tv}$$

Para el cálculo de la profundidad crítica se utilizó la ecuación 8, y mediante la implementación de la ecuación de Bernoulli se encontró la velocidad en la sección de control.

Ecuación 8. Profundidad crítica (d_c) para un desarenador.

$$d_c = 2 \frac{v_c^2}{2g}$$

El área y el ancho de la sección de control serán, respectivamente:

Ecuación 9. Área de la sección de control (a)

$$a = \frac{Q}{v_c}$$

Ecuación 10. Ancho de la sección de control (w).

$$w = \frac{a}{d_c}$$

De esta forma obtenemos los siguientes resultados que se encuentran en tabla 18.

Tabla 19. Resultados del dimensionamiento del desarenador para el caudal máximo normal

Símbolo	Descripción	Resultado
H	Profundidad de flujo (m)	0,45
	$vc^2/2g$	0,15
d_c	Profundidad de la sección de control (m)	0,29
v_c	Velocidad en la sección de control (m/s)	1,70
a	Área en la sección de control (m ²)	0,03
w	Ancho de la sección de control(m)	0,11

Caudal promedio: Para el cálculo de las dimensiones en caudal promedio, se toma el valor para este caudal teniendo en cuenta que es un cálculo para canales

rectangulares. El área de flujo para la sección de control se encuentra teniendo en cuenta la profundidad crítica en el canal y un caudal que por unidad de área w , como resultado se obtiene la ecuación 11.

Ecuación 11. Área de flujo para la sección de control (a).

$$a = \sqrt[3]{\frac{Q^2 w}{g}}$$

Mediante un despeje en la ecuación 11 se encuentra la profundidad de flujo en la sección de control d_c . Con el mismo mecanismo de la ecuación de Bernoulli y juntándolo con la ecuación 8 se encuentra la profundidad en la cámara desarenadora de la forma de la ecuación 12.

Ecuación 12. Profundidad en la cámara desarenadora (H).

$$H = \frac{3,1}{2} d_c - \frac{v^2}{2g}$$

Para el ancho de la lámina de agua en el canal T , se calcula mediante la ecuación 10. Los resultados obtenidos en este procedimiento para el caudal promedio se encuentran en la tabla 19.

Tabla 20. Resultados del dimensionamiento del desarenador pra el caudal promedio

Símbolo	Descripción	Resultado
a	Área de flujo sección de control (m ²)	0,03
dc	Profundidad de la sección de control (m)	0,28
H	Profundidad de la cámara desarenadora (m)	0,42
T	ancho de la lámina del agua en el canal (m)	0,59

Caudal mínimo y máximo de emergencia: Se realiza el mismo procedimiento del cálculo de las dimensiones de caudal promedio para calcular dichas dimensiones con el caudal mínimo y caudal máximo de emergencia. Los resultados se encuentran en las tablas 21 y 22.

Tabla 21. Resultados del dimensionamiento del desarenador para el caudal mínimo.

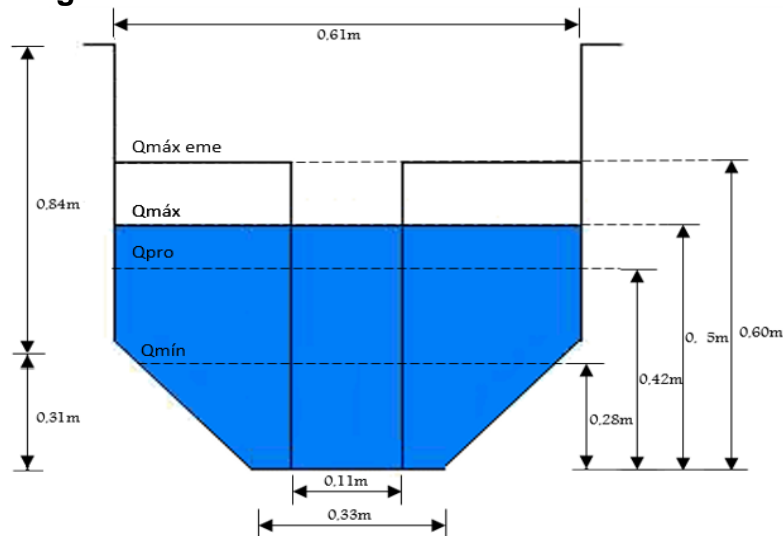
Símbolo	Descripción	Resultado
a	Área de flujo (m ²)	0,02
dc	Profundidad de la sección de control (m)	0,18
H	Profundidad de la cámara desarenadora (m)	0,28
T	Ancho de la lámina del agua en el canal (m)	0,48

Tabla 22. Resultados del dimensionamiento del desarenador para el caudal máximo de emergencia.

Símbolo	Descripción	Resultado
a	Área de flujo (m ²)	0,04
dc	Profundidad de la sección de control (m)	0,39
H	Profundidad de la cámara desarenadora (m)	0,60
T	Ancho de la lámina del agua en el canal (m)	0,70

Según el criterio de diseño la profundidad total del desarenador por motivos de seguridad debe ser al menos 0,5 metros por encima de la altura de diseño con caudal máximo de emergencia³², de tal manera se encuentra que la altura total es de 1,15 metros. Esta altura concuerda con los parámetros de diseños según el RAS 2000 como profundidad efectiva³³. Las dimensiones en un corte transversal se encuentran en la Imagen 14.

Imagen 14. Diseño del desarenador en corte transversal



³²COLOMBIA. MINISTERIO DE VIVIENDA, CIUDAD Y TERRITORIO. Reglamento Técnico del sector de agua potable y saneamiento básico. Bogotá: s.n., 2000. 88 p. 83.

³³Ibid., p. 85.

Longitud del desarenador: Para llevar a cabo este cálculo debe tenerse en cuenta que se calcula una longitud teórica de la forma de la ecuación 13. Sin embargo, este es un dato teórico que en la práctica debe tener una longitud adicional por motivos de seguridad y de criterio de diseño, esto con el fin de proveer una longitud adicional para compensar pérdidas de eficiencia debidas a la turbulencia de la entrada y la salida. Según Romero Rojas la longitud mínima adicional recomendada es dos veces la profundidad calculada con el caudal máximo de emergencia, y la longitud máxima adicional es el 50 % de la longitud teórica³⁴. Teniendo estos dos límites de diseño, se puede tomar una decisión sobre el total de la longitud teniendo en cuenta la conveniencia de esta misma para el proyecto.

Ecuación 33. Longitud para un desarenador (L).

$$L = \frac{Hv}{v_s}$$

Los resultados se encuentran en la tabla 22.

Tabla 23. Resultados de la longitud del desarenador

Símbolo	Descripción	Resultado
L	Longitud de la cámara desarenadora (m)	9,02
Lmin adi	Longitud mínima adicional recomendada (m)	1,19
Lmax adi	Longitud máxima adicional recomendada (m)	4,51
Lt	Longitud total (m)	11,87

Se recomienda una longitud total de aproximadamente once metros y ochenta y siete centímetros, teniendo en cuenta las recomendaciones anteriores.

4.4.3 Mejoramiento del sistema de mezcla rápida. El objetivo de esta etapa del proceso es dispersar de manera rápida y uniforme el coagulante en el agua previo a la floculación, y generando el mayor contacto entre las partículas del coagulante y el agua. Para el caso este paso se lleva a cabo a la entrada del floculador como ya se describió anteriormente.

Para mejorar esta parte del proceso se propone el diseño de una turbina de seis aletas planas, montadas en una placa plana, denominada turbina Rushton. Debido a que teóricamente es de gran efectividad para estos casos³⁵, es económico, fácil de reemplazar y apropiado para la geometría del instrumento ya existente, condición

³⁴ROMERO, Tratamiento de aguas residuales: Teoría y principios de diseño, Op. cit., p. 300.

³⁵ROMERO, Purificación del agua, Op. cit.

principal para este caso. Como se mencionó con anterioridad en el diagnóstico de la planta se busca eliminar el vórtice de mezcla que existe en estos momentos como mecanismo de mezcla, y reemplazarlo con una mezcla turbulenta generada por un mezclador de turbinas. Según el Insfopal en Especificaciones para el diseño de plantas potabilizadoras³⁶, para encontrar una zona de turbulencia se recomienda tener más de una turbina montada en el sistema de mezclado, para este caso se propone instalar tres turbinas y una separación de 0,3 m entre ellas, debido a la altura con la que se cuenta y que la entrada del coagulante está por la parte superior del instrumento, cuando según Insfopal debería ser por la parte inferior, de esta manera para generar mayor turbulencia en el tramo del mezclador es recomendable incluir más de un mezclador de turbina.

Para el diseño de la turbina se seguirá el procedimiento descrito en el libro Purificación del agua de Jairo Romero. Se cuenta con los datos presentados en la tabla 23.

Tabla 24. Datos para el diseño del mezclador

Datos	
Caudal (m ³ /s)	0,055
Concentración del coagulante (mg/L)	60
Diámetro exterior (m)	0,5
Altura del cilindro (m)	1,2
Densidad del agua (kg/m ³)	1000
Viscosidad dinámica del agua (Pa*s)	1,14E-03

Según el Manual de plantas de tratamiento de agua, existen criterios teóricos que relacionan el tiempo de contacto y el gradiente de velocidad para la mezcla rápida, se encuentran en la Tabla 24.

Tabla 25. Tiempo de contacto y el gradiente de velocidad para la mezcla rápida

t (s)	G (s ⁻¹)
20	1000
30	900
40	790
>40	700

Fuente: Manual de diseño de plantas de tratamiento de agua, AWWA.

³⁶INSFOPAL. Especificaciones para el diseño de plantas potabilizadoras. s.l.:s.n., 1970.

Para poder tomar los datos de la Tabla 24, se calcula una aproximación teórica basada en la concentración de coagulante propuesta por Letterman y otros como medio de referencia para optimizar la mezcla rápida.³⁷

Ecuación 144. Producto del Gradiente de velocidad y tiempo de contacto (Gt_o).

$$Gt_o = \frac{5,9 \times 10^6}{C^{1,46}}$$

De esta manera determinamos usar un tiempo de contacto de 20 s y un gradiente de velocidad de 1000 s^{-1} . Conociendo las dimensiones del tanque de mezcla en el que se lleva a cabo este proceso se calcula el volumen del tanque, conociendo que es de forma cilíndrica como se muestra en la Imagen 6.

Ecuación 15: Volumen de un cilindro (V).

$$V = \frac{\pi}{4} D^2 h$$

Teniendo en cuenta el diámetro total del tanque de mezcla se procede a calcular las dimensiones de la turbina, teniendo en cuenta criterios de diseño y aproximaciones según Romero.

Ecuación 16. Diámetro total de la turbina (d).

$$d = \frac{D}{3}$$

Ecuación 17. Ancho de cada paleta (w).

$$w = \frac{d}{5}$$

Ecuación 185. Longitud de la paleta (r).

$$r = \frac{d}{4}$$

Ecuación 69. Diámetro del disco central (s).

$$s = \frac{D}{4}$$

³⁷ROMERO, Purificación del agua, Op. cit., p. 56.

Debido a la falta del motor que existía en un principio se calcula la potencia del motor y las revoluciones por minuto que tiene este, según Romero.

Ecuación 20. Potencia requerida (P).

$$P = G^2 V \mu$$

Ecuación 21. Revoluciones por minuto (N).

$$N = \left(\frac{P}{K \delta d^5} \right)^{1/3}$$

Como la ecuación anterior solo relaciona parámetros de unidades físicas del proceso, K es una constante que depende directamente del tipo de impulsor que se esté diseñando, para este caso una turbina de seis aletas planas Romero da un valor para K de 6,3, tomado de Unit Operations of Sanitary Engineering, Rich, L.G. Según Mott,³⁸ los motores no trabajan nunca en su total de eficiencia, por lo cual la anterior eficiencia es una eficiencia teórica. Esta pérdida de eficiencia es principalmente causada por fricción entre los propulsores del motor. Por esto se debe calcular una potencia real, tomando como eficiencia teórica el 80%.

Ecuación 227. Potencia real de un motor (Pr).

$$Pr = \frac{P}{e}$$

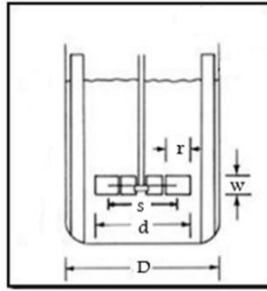
Los resultados del dimensionamiento anterior se encuentran en la Tabla 25 y en la Imagen 15.

Tabla 26. Dimensionamiento de la turbina

Dimensionamiento de la turbina		
Diámetro de la turbina (m)	D	0,17
Potencia requerida (W)	P	268,37
Potencia teniendo en cuenta eficiencia del motor (W)	Pr	335,46
Velocidad de rotación (r.p.m)	N	415,15
Altura de la paleta (m)	W	0,033
Longitud de la paleta (m)	R	0,042
Diámetro del disco central (m)	S	0,125

³⁸MOTT, R. L. Mecánica de fluidos. 6 ed. México: Pearson, 2006.

Imagen 15. Esquema del dimensionamiento de la turbina



Fuente: Diseño de bioreactores³⁹

4.4.4 Remoción de capas de algas formadas en el tanque de clarificación.

Posterior al tratamiento de clarificación el agua es almacenada, como ya se mencionó anteriormente, en un tanque que se encuentra abierto a condiciones ambiente, en dicho tanque se evidencian dos comportamientos principales que pueden tender a causar problemas, el primero es el crecimiento de capas de algas adheridas a las paredes y fondo del tanque tal como se ve en la imagen 7 y el segundo es la corrosión en los elementos metálicos cercanos al tanque, como escaleras, barandas, tuberías entre otros.

Para tratar estos problemas que pueden llegar a contaminar el agua se propone un tratamiento físico que permita recuperar el estado del tanque y retirar las algas, sólidos y demás incrustaciones que en él se encuentran. Las algas son especies que naturalmente pueden crecer en fuentes hídricas, se alimentan principalmente de bacterias presentes en el agua, se concluye que este problema cuando se agrega hipoclorito de sodio al principio del proceso no se presenta, sin embargo, como este procedimiento no es constante, no se garantiza de esta forma la eliminación de estos agentes del tanque.

En segundo lugar se debe realizar recubrimientos nuevos a los materiales atacados por la corrosión como medida preventiva del deterioro de estas partes y la posible contaminación del agua, debido a que el anterior recubrimiento en algunos puntos esta por completo dañado.

4.4.5 Determinación de un nuevo lecho filtrante. La filtración permite una remoción o eliminación de sólidos suspendidos, es decir ayuda a eliminar los sólidos que se encuentran presentes en el agua. Esta es una de las principales causas de la turbiedad y el color en efluentes hídricos, según Romero Rojas, es la etapa del proceso que más elimina estos problemas del agua.⁴⁰

³⁹ Diseño de birreactores. Parte 8. Recuperado de <https://Bioreactorcrc.Wordpress.Com/2008/01/29/Diseno-De-Bioreactores-parte-8/>.

⁴⁰ROMERO, Tratamiento de aguas residuales: Teoría y principios de diseño, Op. cit.

En la planta de tratamiento de agua de Fertilizantes Colombianos S.A el proceso de filtración se encuentra posterior al de clarificación del agua es decir que el agua que llega a los filtros contienen trazas o partes de flóculos que se encuentran enlazados según el coagulante utilizado en el proceso, este es un tratamiento para finalizar el proceso y garantiza que el agua pueda ser destinada al consumo interno como al complejo industrial. En consecuencia el trabajo que los filtros desempeñan, se relaciona directamente con la eficiencia de los procesos anteriores a este. Los filtros con los que cuenta actualmente Fertilizantes Colombianos S.A es del tipo a presión es decir un recipiente cerrado, en acero inoxidable y cuyo interior se encuentra provisto de múltiples capas filtrantes, al final del filtro hay un falso fondo en el cual se sostiene el lecho filtrante y la última parte donde se recoge el agua filtrada.

4.4.5.1 Determinación de la eficiencia del lecho filtrante actual. Actualmente el lecho filtrante se encuentra en mal estado teniendo como referencia que se han formado bolas de barro que taponan el correcto funcionamiento del instrumento y además que se evidencia que el lecho filtrante se ha tornado rígido, por tanto se evaluó la eficiencia del proceso de filtración durante 3 días. Para lo cual se utilizó la relación de eficiencia encontrada en el RAS 2000⁴¹ (Ecuación 20), los resultados se encuentran en la Tabla 26.

Ecuación 23. Eficiencia de la filtración

$$\text{Eficiencia (\%)} = \frac{T_{\text{entrada}} - T_{\text{salida}}}{T_{\text{entrada}}} * 100$$

Tabla 27. Resultados de turbidez y eficiencia para el proceso de filtración

	Turbiedad de Entrada (NTU)	Turbiedad de Salida (NTU)	Eficiencia (%)
<i>Muestra 1</i>	79,5	55,2	30,56
<i>Muestra 2</i>	82,1	57,3	30,20
<i>Muestra 3</i>	77,6	54,4	29,89
<i>Promedio</i>	79,73	55,63	30,21

Como quedó demostrado en la prueba experimental, el lecho filtrante presenta una eficiencia promedio del 30%, siendo esta la principal causa de la falta de remoción de turbiedad y color en la potabilización del agua. Según Romero, en purificación del agua, la falta de mantenimiento de los lechos filtrantes causa daños irreparables en estos, la rigidez evidenciada puede ser causada por la aglomeración de partículas tanto inertes como biológicas que formaron un taponamiento en el lecho

⁴¹BOGOTA.MINISTERIO DE VIVIENDA, CIUDAD Y TERRITORIO, Reglamento técnico del sector de agua potable y saneamiento básico, Op. cit., p. 88.

filtrante, se sabe además que debido al olor que empieza a percibirse existe un indicio de principios de putrefacción en el lecho filtrante, lo cual concuerda con que existe también material biológico que está pegado al lecho filtrante.

La implementación del cambio de los lechos filtrantes ayuda también en la remoción de hierro y manganeso, dependiendo esta remoción del tipo de lecho filtrante que se utilice. Según Romero, en calidad del agua una de las causas más comunes de los excesos en color y turbidez es el hierro, razón por la cual es esencial para este caso eliminar el hierro hasta los valores aceptables.⁴²

4.4.5.2 Propuesta de lechos filtrantes. Basados en la prueba anterior se toma la decisión de reemplazar completamente el lecho filtrante existente por uno nuevo y rellenar de igual manera el filtro que en la actualidad no está funcionando. Para esto se evaluaron posibles materiales de lechos filtrantes comunes en el mercado:

- **Arena:** Por ser un material económico es el medio filtrante más comúnmente usado. En filtros rápidos de arena la profundidad de lecho es de 60-70 cm, con un tamaño de partícula entre 0,45 y 0,55 mm y coeficiente de uniformidad entre 1,2-1,7⁴³.
- **Antracita:** Es el carbón mineral más metamórfico, se clasifica de carácter antártico cuando es no aglomerante y tiene una composición de metaantracita máximo de 2%, antracita entre 2 y 8% y semiantracita entre 8 y 14%. Según la norma AWWA B100-72, el material granular de antracita debe cumplir con ser limpia, de dureza mayor a 2,7 en la escala de MOHS, y una uniformidad menor a 1,7. Suele utilizarse en lechos entre 60 y 70 cm de profundidad, con un tamaño efectivo de 0,70 mm o mayor⁴⁴.
- **Carbón activado:** Es un material altamente poroso por lo cual es usado en procesos de filtración, normalmente para la eliminación de color y olor. Sin embargo deja residuos que no son convenientes.
- **Grava:** Es el principal material de soporte utilizado para los lechos filtrantes, usualmente se utiliza con un incremento uniforme en tamaño desde el techo hasta el fondo, la distribución normal se encuentra en la tabla 27⁴⁵. La profundidad varía entre 15 y 60 cm, y debe tener un tamaño máximo de 2,5 cm⁴⁶. Los tamaños típicos de los lechos de grava se encuentran en la tabla 27.

Tabla 28. Tamaños típicos de los lechos de grava

⁴²ROMERO, Calidad del agua, Op. cit., p. 162.

⁴³ROMERO, Purificación del agua, Op. cit., p. 210.

⁴⁴Ibíd., p. 210.

⁴⁵Ibíd., p. 353.

⁴⁶Ibíd., P. 213.

Lecho	Profundidad (cm)	Tamaños (pulgadas)
fondo	15 -12	2 - 1
primero	7,5 – 7	1 - 1/2
segundo	7,5 – 7	1/2 - 1/4
tercero	7,5 – 7	1/4 - 1/8
gravilla	7,5 – 7	1/8 - 1/12
total	45 – 40	

Teniendo en cuenta los anteriores medios filtrantes se encontraron lechos filtrantes estándares conformados por dichos medios⁴⁷, los cuales se especifican en la Tabla 28.

Tabla 29. Composición típica de lechos de grava

	Tipo de Filtro	Componente	Composición (%)
Lecho Filtrante 1	Rápido de arena	Arena Media – Grava	Arena Media 9 cm Grava 1,5 cm
Lecho Filtrante 2	Medio dual	Antracita- Arena Fina- Grava	Antracita 4,5 cm Arena Fina 2 cm Grava 4 cm
Lecho Filtrante 3	Medio dual	Antracita- Arena Media- Grava	Antracita 4,5 cm Arena Media 2 cm Grava 4 cm
Lecho Filtrante 4	Mono Capa	Carbón Activado	10,5 cm

Debe tenerse en cuenta que por lo menos debe existir una capa de agua de al menos 0,7 a 1 m sobre la superficie del lecho filtrante según recomendaciones de diseño estándar para los filtros, además debe evitarse la cavitación del vacío, las vibraciones del filtro y las turbulencias, esta norma estaba siendo infringida con el lecho filtrante que tenía dicho equipo. Para la puesta en marcha del filtro debe dejarse humedecer primero todo el lecho filtrante por al menos 2 horas, sin tomar esta agua como tratada. El número de unidades para este caso son dos equipos que trabajan paralelamente en el tratamiento de agua⁴⁸.

⁴⁷ROMERO, Purificación del agua, Op. cit.,p. 186.

⁴⁸COLOMBIA. MINISTERIO DE VIVIENDA, CIUDAD Y TERRITORIO, Op. cit.

4.4.5.3 Prueba experimental de los lechos filtrantes. Para la selección del lecho filtrante se realizó una prueba de laboratorio evaluando la filtración por medio de análisis de turbidez y color, con el fin de identificar el lecho filtrante que generara un mayor porcentaje de remoción de las características críticas del agua. Obteniendo así un lecho filtrante, evaluado a nivel laboratorio, el cual pueda ser implementado en la planta de potabilización.

Este proceso se realizó mediante un filtro al vacío, el cual mediante la fuerza resultante entre el vacío del sistema y la presión atmosférica permite que el líquido atraviese el lecho filtrante, simulando de la manera más cercana los equipos de filtración reales con los que cuenta la planta.

A continuación se describe brevemente el modo en el que se llevó a cabo esta técnica :

El material necesario para llevar a cabo la filtración al vacío es un embudo Büchner, pinzas, bomba (Fuente de Vacío), tapón, erlenmeyer con desprendimiento lateral y manguera. Adicional a esto se tomó una muestra de agua a la salida del tanque de almacenamiento de agua clarificada de 3 litros. Para cada una de las pruebas se decidió filtrar 500 ml de muestra.

Procedimiento: Se une el embudo Büchner con el tapón para de esta forma garantizar el vacío del sistema al unirse con el Erlenmeyer. Posteriormente se conecta el Erlenmeyer a la bomba mediante una manguera y se distribuye el lecho filtrante en el embudo Büchner. Luego se enciende la bomba y se adiciona la muestra de agua previamente tomada y separada para las distintas pruebas, en el centro del embudo Büchner.

Se deja el sistema conectado al vacío hasta que se filtre la totalidad de la muestra de agua, en este punto se toma la muestra de agua filtrada y se evalúan los parámetros de turbiedad y color. El proceso se repite con cada uno de los lechos filtrantes.

4.4.5.4 Resultados. De cada prueba experimental se obtienen datos de turbidez y color del agua filtrada los cuales se encuentran en las Tablas 29 y 30.

Tabla 30. Resultados experimentales de color del agua filtrada por cada lecho filtrante

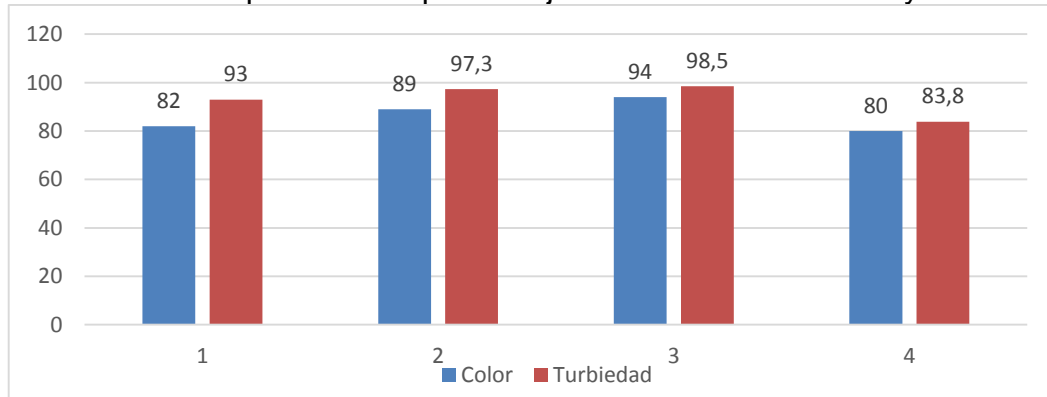
	Color (UPC)		Porcentaje de Remoción (%)
	(Entrada)	(Salida)	
Lecho Filtrante 1	114	21	82
Lecho Filtrante 2	114	13	89
Lecho Filtrante 3	114	7	94
Lecho Filtrante 4	114	23	80

Tabla 31. Resultados experimentales de turbiedad del agua filtrada por cada lecho filtrante

	Turbiedad (NTU)		Porcentaje de Remoción (%)
	(Entrada)	(Salida)	
Lecho Filtrante 1	78,3	5,5	93,0
Lecho Filtrante 2	78,3	2,1	97,3
Lecho Filtrante 3	78,3	1,2	98,5
Lecho Filtrante 4	78,3	12,7	83,8

Una vez obtenido el porcentaje de remoción de turbidez de cada uno de los posibles lechos filtrantes, se procede a graficar, lo que permite concluir que el filtro con mayor eficiencia para disminuir la turbiedad es el 3 con un porcentaje de 98,5% lo cual aumentaría la eficiencia del proceso en un 68,5% como se puede observar en el Gráfico 2, esto teniendo en cuenta que según el cálculo de la eficiencia actual de los lechos filtrantes, evaluada previamente de manera experimental, se encontró que la eficiencia actual es de 30% en promedio.

Gráfico 2. Comparación de porcentajes de remoción de color y turbidez



4.4.6 Test de jarras para la coagulación y floculación. Se realiza una caracterización del coagulante y floculante propuestos, centrándose en el tipo y sus principales características, además de esto la dosis óptima para trabajar, esto con el fin de evitar sobre-costos en el caso de sobredosificación o problemas de efectividad si la dosis es la menor a la requerida para el proceso de potabilización. Por tanto es necesario realizar ensayos previos que permiten la determinación de la cantidad óptima y la concentración adecuada. Para esto se realizan ensayos aumentando la concentración de dosificación, en muestras de 1000 ml de agua para de esta forma determinar período de agitación, y propiedades físicas del agua, este proceso es una simulación a nivel laboratorio denominada prueba de jarras. Para controlar las variables y poder obtener las concentraciones óptimas de ambos químicos en el proceso se realizó dos test de jarras el primero con coagulante solamente y mediante la cuantificación de turbidez y pH obtener la concentración óptima de esta, luego se realizó un segundo test de jarras que con la concentración óptima del coagulante, y variando distintas concentraciones de floculante se obtiene la concentración óptima de este. El coagulante escogido fue el sulfato de aluminio, coagulante con el que trabaja la empresa en la actualidad y el floculante fue la la Poliacrilamida (PAM), polímero que se ha comprobado no tiene problemas al trabajar con este coagulante y por el contrario logra tener en concentraciones bajas resultados óptimos⁴⁹, debe tenerse en cuenta que la planta actualmente no utiliza un floculante razón por la cual en este proyecto se propone la implementación de este como parte del mejoramiento del proceso de potabilización.

4.4.6.1 Desarrollo experimental. Para este se tomaron 6 muestras de 1000 ml cada uno de agua de la ciénaga de San Silvestre, a la cual se les agrego la solución 0.1% de Sulfato de aluminio para hacer la relación de la planta a laboratorio, dicho esto se vierten las dosis con volúmenes de: 30 ml; 35 ml; 40 ml, 45 ml, 50 y 55 ml, respectivamente, con el fin de obtener la dosis óptima para el tratamiento del agua cruda, a continuación se realizó agitación a la máxima revolución de 80 RPM por un (1) minuto en mezcla rápida, para luego pasar a la mezcla lenta por 20 minutos siguiendo los parámetros de la NTC 3903 de 1996⁵⁰. Este procedimiento se realizó de igual manera en 3 días distintos de la semana, con el fin de aumentar la fiabilidad de los datos.

⁴⁹ Cristancho Bello, Angie Juliet, Noy Ortiz, Andrés Mauricio, Diseño conceptual de una planta de tratamiento de aguas residuales para Pelikan Colombia S. A. S., Fundación Universidad de América, Bogotá - 2016.

⁵⁰ ICONTEC, NTC3903: gestión ambiental, agua, procedimiento para el método de jarras en la coagulación-floculación del agua, Bogotá – 1996.

4.4.6.2 Coagulación. El Sulfato de Aluminio se obtiene mediante la reacción de ácido sulfúrico y una fuente de aluminio, esto permite la obtención de una sal de color blanco (solida) y cuya fórmula química es $Al_2(SO_4)_3$, teniendo en cuenta sus propiedad fisicoquímicas este es utilizado como agente coagulante o floculante primario además de en la fabricación de detergentes, en la industria petrolera en el anexo B se detalla la ficha técnica del producto.

➤ **Resultados.**

Tabla 32. Resultados test de jarras 1 con coagulante

	MUESTRA (1000 mL c/u) $AlSO_4$	Turbidez (NTU)		pH	
		Entrada	Salida	Entrada	Salida
1)	30	96,54	77,15	6,4	5,92
2)	35		48,61		5,72
3)	40		44,51		5,41
4)	45		40,81		5,11
5)	50		37,2		4,82
6)	55		36,74		4,68

Gráfico 3. Resultados de Turbidez versus concentración de coagulante, primer test de jarras

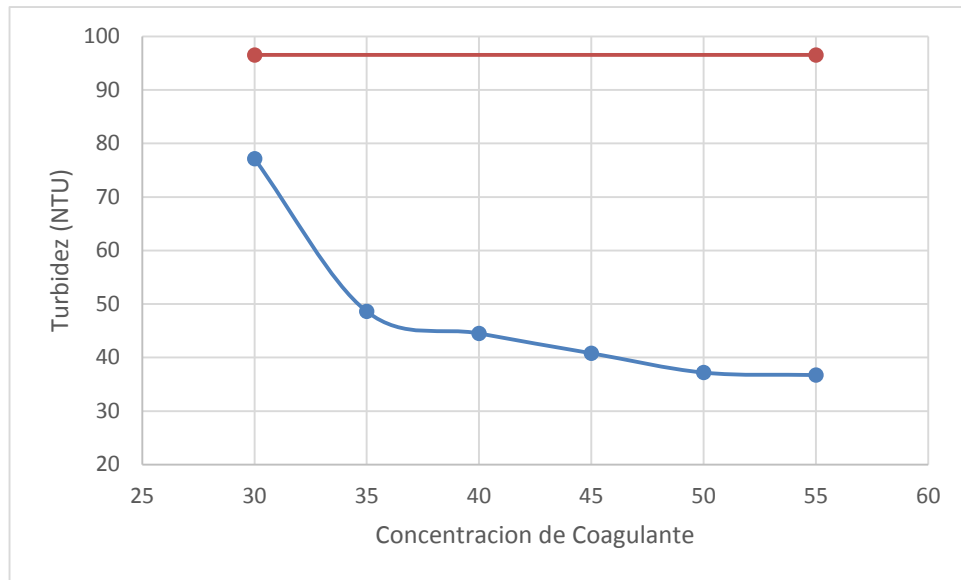


Gráfico 4. Resultados de pH versus concentración de coagulante, primer test de jarras

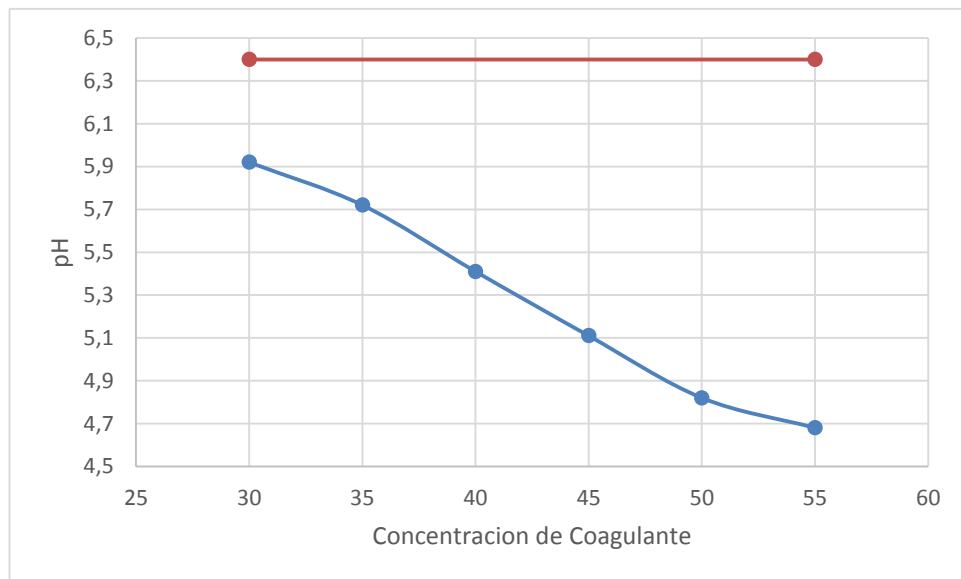


Tabla 33. Resultados test de jarras 2 con coagulante

	MUESTRA (1000 mL c/u) $AlSO_4$	Turbidez (NTU)		pH	
		entrada	salida	entrada	salida
1)	30	93,12	70,77	6,7	5,8
2)	35		35,87		5,41
3)	40		33,64		4,98
4)	45		32,61		4,97
5)	50		31,13		4,9
6)	55		30,47		4,7

Gráfico 5. Resultados de Turbidez versus concentración de coagulante, segundo test de jarras

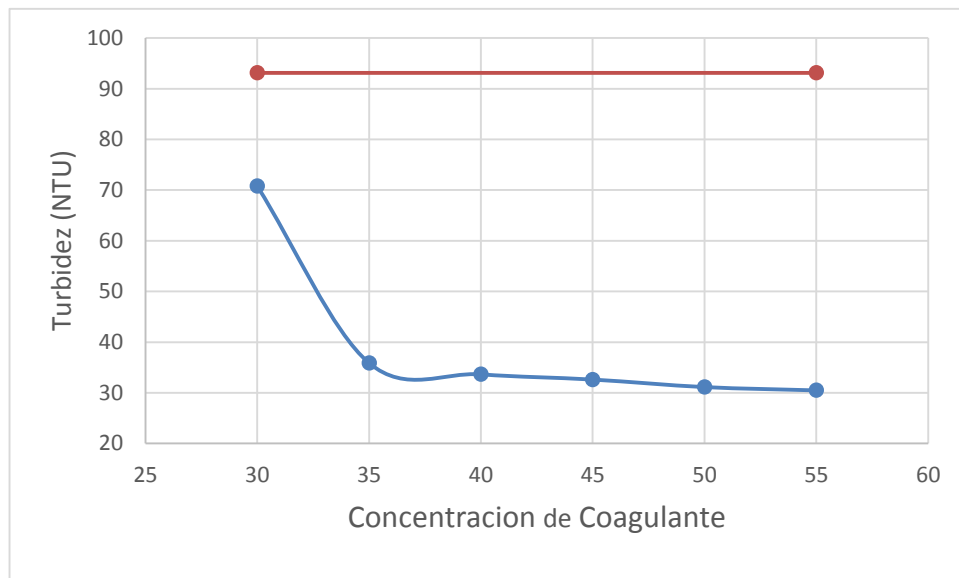


Gráfico 6. Resultados de pH versus concentración de coagulante, segundo test de jarras

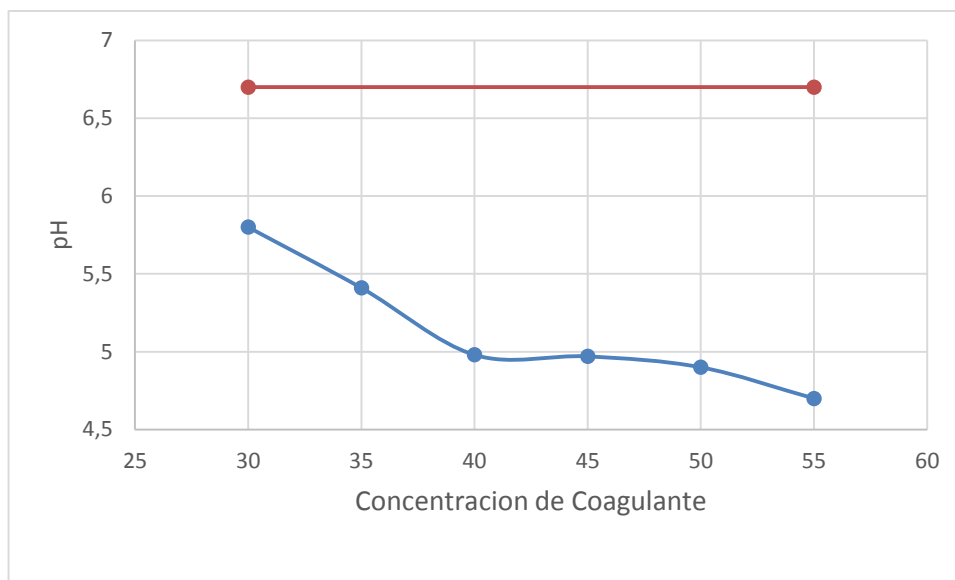


Tabla 34. Resultados test de jarras 3 con coagulante

MUESTRA (1000 mL c/u) $AlSO_4$	Turbidez (NTU)		Ph	
	Entrada	Salida	Entrada	Salida
1) 30	95,78	70,03	6,3	5,53
2) 35		66,5		5,22
3) 40		55,57		4,95
4) 45		49,03		4,77
5) 50		40,56		4,7
6) 55		37,81		4,63

Gráfico 7. Resultados de Turbidez versus concentración de coagulante, tercer test de jarras.

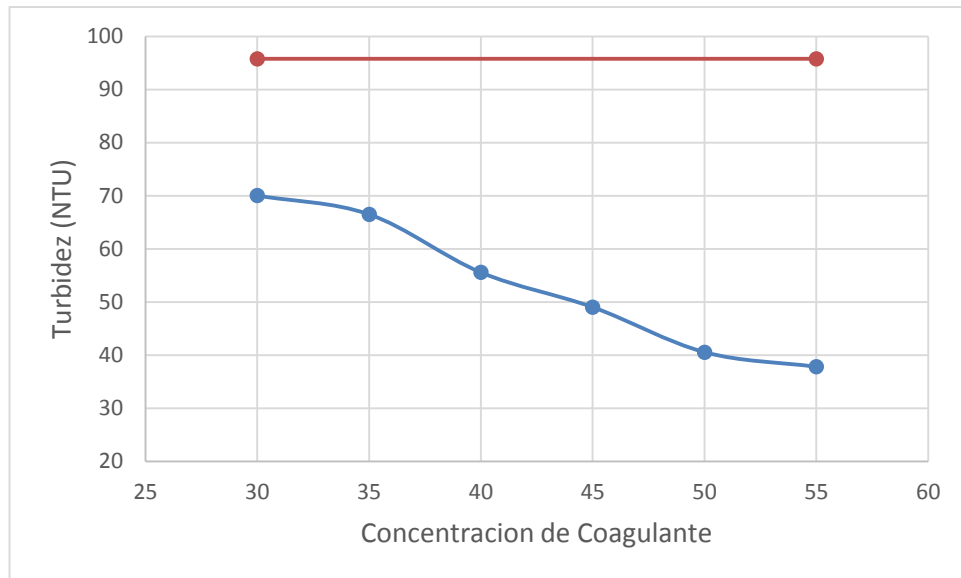
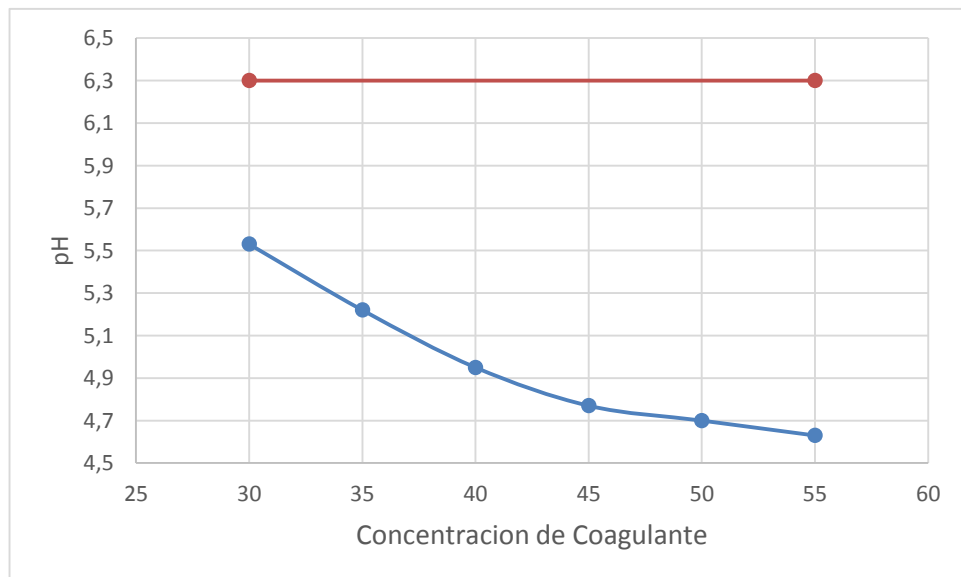


Gráfico 8. Resultados de pH versus concentración de coagulante, tercer test de jarras



Luego de la realización de la práctica experimental se observó que agregando 35 ml de floculante a 1000 ml de agua, se obtuvo un resultado óptimo en la precipitación de sólidos en las tres pruebas, la suspensión de partículas en estas muestras fueron óptimas y se evidencia una desestabilización de los sólidos suspendidos en el agua. En las mediciones de pH los cuales estaban dentro de los valores normales en los que este coagulante tiene un efecto óptimo (pH entre 5-6,5), según la norma 2115 del 2007, para el agua potable, debe estar en los rangos de pH 6,5 a 9, para ser apta de consumo humano, recomienda agregar solución de NaOH hasta subir el pH al rango de consumo humano, sin embargo cuando se sobre dosifica el coagulante el pH empieza a decrecer como se ve en los Gráficos 4, 6 y 8. Por esta razón no es bueno sobre dosificar el coagulante ya que implica el gasto de mayor cantidad de regulador de pH.

En cuanto a la turbidez también se muestra un comportamiento similar para las 3 pruebas mostró que para 35 ml de sulfato de aluminio al 0.1%, dio el grado, solo teniendo la coagulación no es capaz de remover turbidez hasta valores permisibles por la resolución 2115 del 2007, rondando en un promedio de $42,32 \pm 1$ NTU, esto es un valor demasiado alto teniendo en cuenta que en la resolución 2115, se estipula que parámetro máximo para turbidez es de 2 NTU, se espera que este valor disminuya con la floculación.

Se descartó la concentración de 30 ml de sulfato de aluminio debido a que en las pruebas experimentales no se evidenció desestabilización de las partículas suspendidas en las muestras, de esta manera se evidencia que no es suficiente esta concentración, en concentraciones mayores a la escogida se observa que el comportamiento tiende a no tener cambios significativos y como se muestra en el Gráfico 3, luego se estabiliza el cambio en la turbidez esto demostrando que existe una sobredosificación.

4.4.6.3 Floculación. Teniendo clara la concentración óptima de coagulante y la naturaleza del floculante propuesto, se procede a realizar un test de jarras en el cual además de adicionar el coagulante durante la mezcla rápida, se adicionara Poliacrilamida (PAM), en concentraciones de 2, 3, 4, 5, 6 y 7 ppm de manera que se obtuviera el que mayor resultados de remoción mostrara teniendo como referencia la dosis de sulfato de aluminio. Para esto se repitió el procedimiento de jarras con la variación de la adición de los reactivos.

➤ **Resultados.**

Tabla 35. Resultados primer test de jarras con floculante

MUESTRA (1000 mL c/u) $AlSO_4$	Floculante dosificación (ppm)	Turbidez (NTU)		pH		
		Entrada	Salida	Entrada	Salida	
1)	35	2	51,03	56,02	5,02	4,92
2)	35	3		30,67		4,74
3)	35	4		25,23		4,42
4)	35	5		21,89		4,38
5)	35	6		16,12		4,31
6)	35	7		12,45		4,28

Gráfico 9. Resultados de Turbidez versus concentración de floculante, primer test de jarras

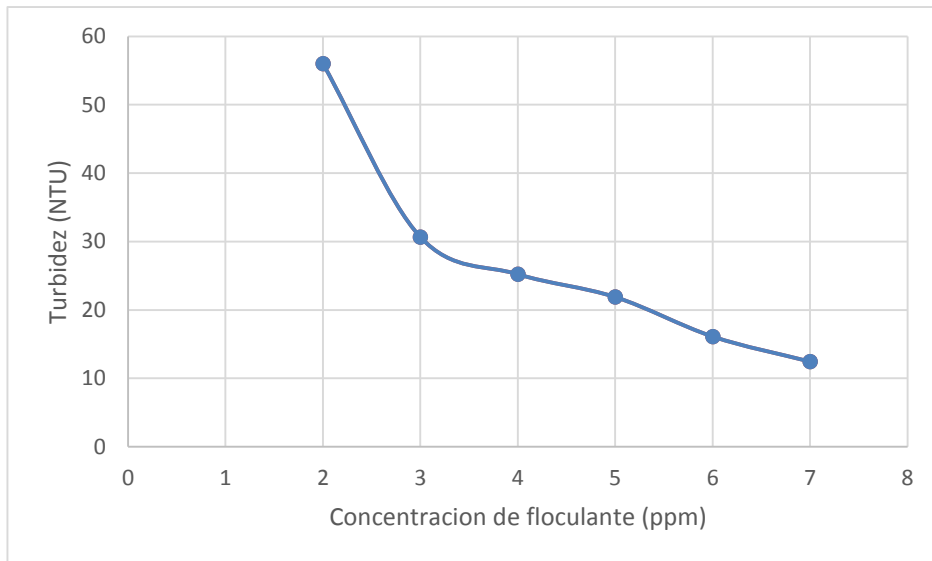


Gráfico 10. Resultados de pH versus concentración de floculante, primer test de jarras

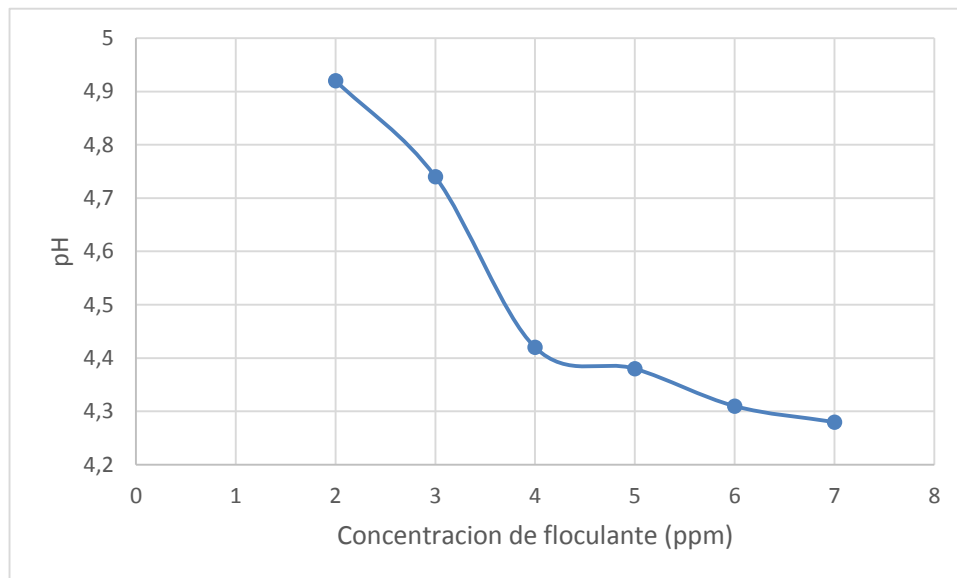


Tabla 36. Resultados segundo test de jarras con floculante

MUESTRA (1000 mL c/u) $AlSO_4$	Floculante dosificación (ppm)	Turbidez (NTU)		Ph		
		Entrada	Salida	Entrada	Salida	
1)	35	2	48,87	48,67	5,32	5,23
2)	35	3		38,87		5,16
3)	35	4		33,32		5,09
4)	35	5		27,12		5,01
5)	35	6		20,65		4,98
6)	35	7		14,43		4,75

Gráfico 11. Resultados de Turbidez versus concentración de floculante, segundo test de jarras

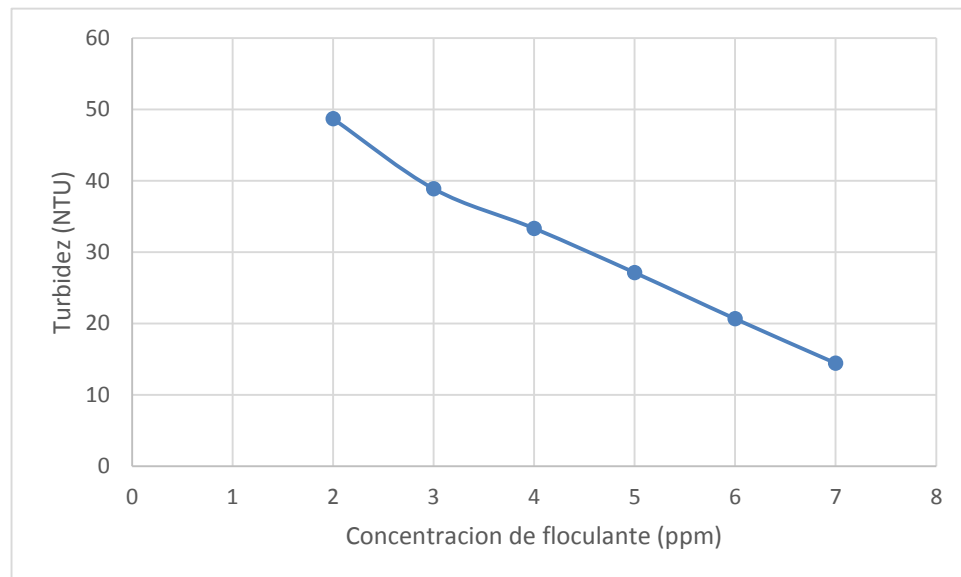


Gráfico 12. Resultados de pH versus concentración de floculante, segundo test de jarras

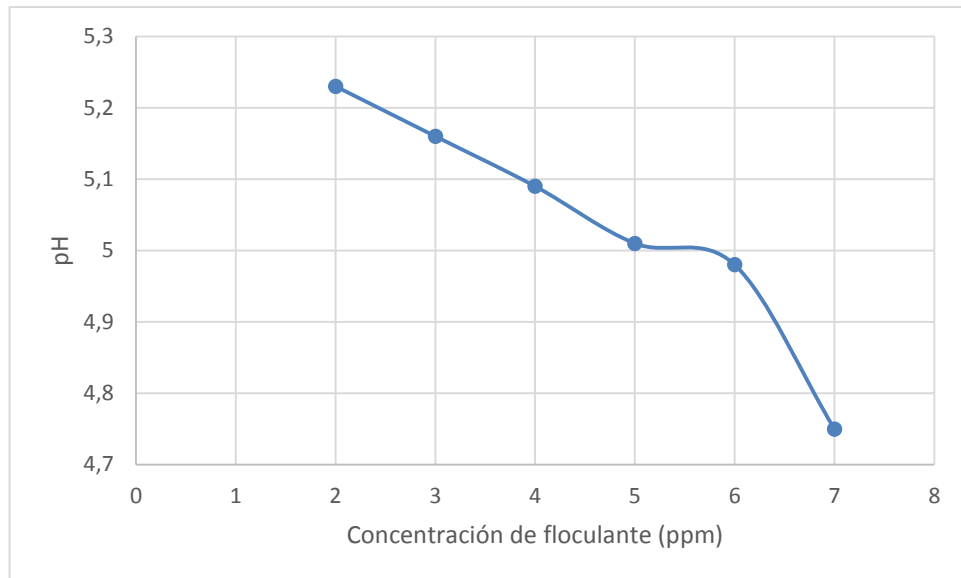


Tabla 37. Resultados tercer test de jarras con floculante

MUESTRA (1000 mL c/u) AlSO_4	Floculante dosificación (ppm)	Turbidez (NTU)		pH		
		Entrada	Salida	Entrada	Salida	
1)	35	2	50,93	49,75	5,32	5,26
2)	35	3		25,19		5,18
3)	35	4		24,51		5,03
4)	35	5		20,69		4,93
5)	35	6		15,28		4,77
6)	35	7		13,31		4,32

Gráfico 13. Resultados de Turbidez versus concentración de floculante, tercer test de jarras

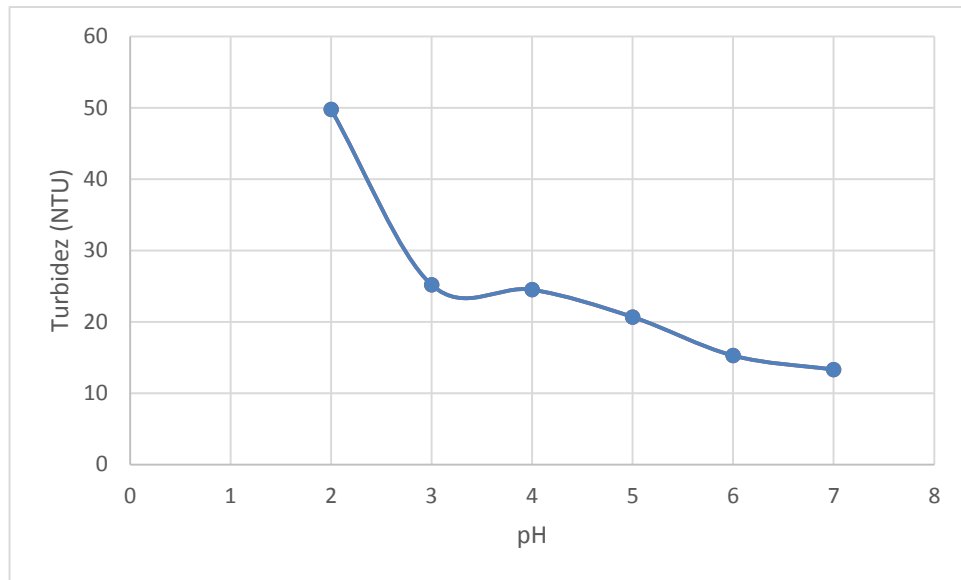
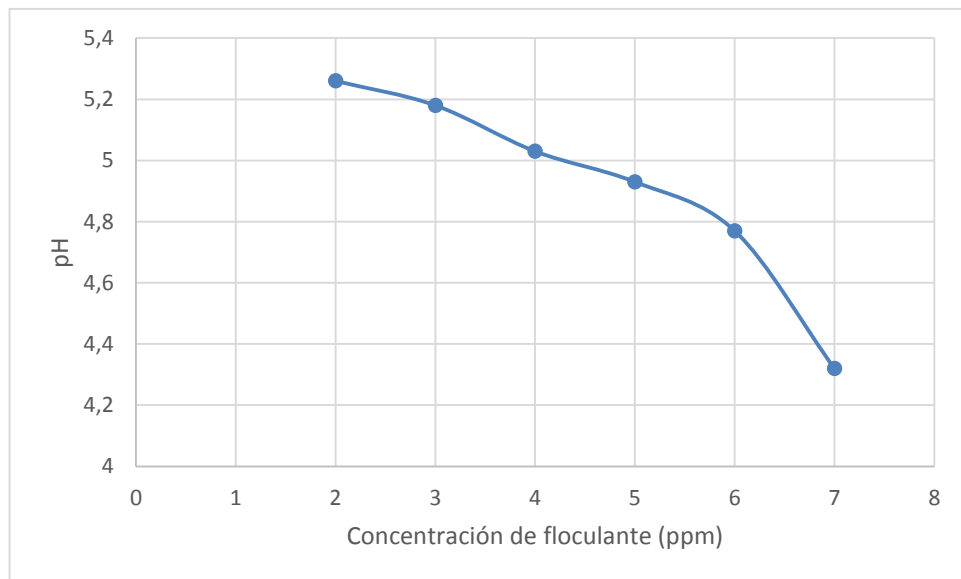


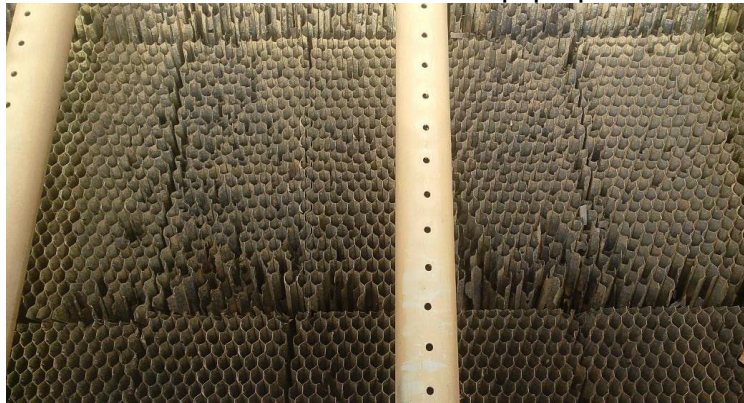
Gráfico 14. Resultados de pH versus concentración de floculante, tercer test de jarras



Los gráficos 9, 11, 13, muestra los resultados de las 3 pruebas de jarras con 6 diferentes concentraciones de floculante y con la cantidad de coagulante constante de 35 mL, se observa que la de menor turbidez se encuentra en el intervalo de 6 a 7 ppm, en esos 2 puntos se obtuvo un promedio de turbidez 17,35 y 13,4 NTU respectivamente, pero estos valores aún no se encuentran en el rango establecido por la resolución 2115 del 2007, por tanto la dosis optima en este ensayo y con la necesidad de obtener mayor remoción posible de turbiedad es de 7 ppm según la tendencia observada.

4.4.7 Mantenimiento y reposición de los paneles de floculación. La floculación se lleva a cabo en el equipo pulsador laminar a sifón, cuyo proveedor fue la empresa Degremont, este instrumento cuenta con unas placas, que el agua atraviesa en medio del proceso, las cuales son removibles del equipo cuando el mismo se encuentra vacío. Como se evidencia en la Imagen 16 estas placas están seriamente afectadas por el uso, y la falta de mantenimiento adecuado. Esta última razón ha sido un problema en varias etapas del proceso, sin embargo, para este caso se conoce que hace algún tiempo si se removían estas placas con el fin de realizarles un lavado, pero este fue suspendido por tiempos de operación.

Imagen 16. Estado actual de las láminas del equipo pulsador laminar a sifón



Debido al grave daño que se evidencia en algunas de estas se ve la necesidad de remover la totalidad de las placas, evaluar su estado, realizar mantenimiento y limpieza adecuada y contactar al proveedor en caso de necesitar reemplazo en alguna de ellas.

5. EVALUACIÓN DE COSTOS

5.1 COSTOS DE LA PROPUESTA DE MEJORAMIENTO.

Con el fin de conocer los costos de implementación de la propuesta de mejoramiento anteriormente descrita, se realizó la evaluación de costos teniendo en cuenta el cambio del lecho filtrante para los dos equipos de filtración disponibles, la compra de la turbina y el motor para mejorar la etapa de mezclado rápido y la construcción del desarenador en los predios de la empresa, dichos costos se presentan a continuación.

5.1.1 Filtración. El costo que se genera en la etapa de filtración está asociado completamente al cambio de lecho filtrante, para lo cual se cotizó el material con la empresa Antracitas de Cundinamarca LTDA empresa especializada en materiales para lechos filtrantes y servicios de filtración. Los resultados obtenidos teniendo en cuenta que se tiene una altura total de 1,83 m de filtro y según la norma se debe tener al menos 0,7 m de espacio para el agua se tiene una altura efectiva 1,03 m y un diámetro de 2,30 m. Los resultados de la cantidad de material necesario se muestran en la Tabla 31.

Tabla 38. Cantidad de material necesario para un lecho filtrante

	% Estándar	Altura lecho filtrante (m)	Volumen (m ³)	Masa (kg)
Antracita	43%	0,44084	1,83158276	2564,21586
Grava	38%	0,39243	1,630451009	4076,12752
Arena	19%	0,19673	0,817365204	2125,14953

Los porcentajes estándar de la Tabla 31 se obtuvieron basándonos en las alturas teóricas mostradas anteriormente, teniendo en cuenta las especificaciones de cada material mostradas en la Tabla 28, la masa se calculó tomando los datos de densidad encontrados en las caracterizaciones de los materiales disponibles por la empresa proveedora disponible en los anexos D, E y F. Teniendo en cuenta la masa calculada, los resultados de costos se encuentran en la Tabla 32.

Tabla 39. Costo total del material para un lecho filtrante

	Precio (\$/saco)	Numero de sacos	Precio Total
Antracita	\$ 25.000,00	52	\$ 1.282.107,93
Grava	\$ 13.920,00	82	\$ 1.134.793,90
Arena	\$ 13.920,00	43	\$ 591.641,63
Total		177	\$ 3.008.550

Debe tenerse en cuenta que según las cotizaciones de la empresa cada saco tiene un total de 50 kg, de este modo nos da un total de 177 sacos teniendo en cuenta los tres materiales y un costo total de tres millones ocho mil quinientos cincuenta pesos por cada filtro. El resultado total de los costos producidos por los cambios de los lechos filtrantes se encuentra en la Tabla 33.

Tabla 40. Costo total del material para un lecho filtrante

	Precio (\$/filtro)	Numero de filtros	Precio Total
Filtración	\$ 3.008.550,00	2	\$ 6.017.100,00

Conociendo que este es un costo variable se tiene que tener en cuenta el periodo de utilidad de este lecho filtrante, según el proveedor del material la vida útil de estos es de 3 años aproximadamente, por lo cual esta inversión se tendrá que realizar cada tres años, de esta manera para efectos de esta evaluación de costos se tomara un precio anual de \$ 2.005.700,00 para evaluar los costos de manera anual en la actualidad.

5.1.2 Desarenador. Para el desarenador diseñado anteriormente se tuvieron en cuenta los costos del concreto, malla de refuerzo, impermeabilización y accesorios.

Concreto: Se tomó en cuenta las principales paredes del desarenador, para esto se calculó el volumen total de cemento necesario para la construcción de este, como se puede observar a continuación en el tabla 34.

Tabla 41. Volumen total de concreto necesario para la estructura principal del desarenador

	Longitud (m)	Ancho (m)	Alto (m)	Numero	Volumen (m ³)
Muros estructura	11,87	0,2	0,84	2	3,192
	11,87	0,2	0,36	2	1,368
	0,6	0,2	1,15	2	0,276
Fondo Estructura	11,87	0,33	0,2	1	0,627
Triángulos base	11,87	0,36	0,12	2	0,4104
Concreto necesario para 1 canal del desarenador (m ³)					7,7825

Según se cotizó, el concreto Cemex de 3000 psi cuesta \$208.200 por cada metro cubico, sin IVA. Lo cual da un total de \$ 1'620.350 por cada unidad de desarenado, como se indicó anteriormente por motivos de diseño se recomienda un mínimo de dos cámaras de desarenado lo cual arroja un total de \$ 3'240.650 sin IVA.

Impermeabilización: A las caras interiores de cada uno de los desarenadores se le aplicara un aditivo impermeabilizante el cual permita conservar y proteger la estructura por el mayor tiempo posible. El cálculo del área total para dicha aplicación se encuentra en la Tabla 35.

Tabla 42. Cálculo del área total interior del desarenador que tendrá que ser recubierta

	Longitud (m)	Alto (m)	Numero	Área (m ²)
Muros estructura	11,37	0,84	2	15,96
	11,37	0,36	2	6,84
	0,6	1,15	2	1,38
Fondo Estructura	11,37	0,33	1	3,135
Total de área para recubrir (m ²)				33,79

Para el impermeabilizante se cotizó el producto Broncosil Gris en polvo el cual es apto para aplicación sobre concreto y presenta una eficiencia útil para el caso. El bulto por 25 kg con un precio de \$ 41.900*, según las especificaciones del fabricante cada uno de estos bultos tiene un rendimiento de 11 metros cuadrados, por lo cual para el total de la aplicación se necesitan tres de estos con un precio de \$ 128.750 por cada cámara de desarenado, contando las dos cámaras se aumenta un total de \$ 257.450.

Malla de refuerzo: Esta malla tendrá las dimensiones de cada una de las caras de la estructura y será construida y adquirida en base a las normas ASTM A185 – Especificaciones para malla de acero soldado para refuerzo de concreto. Para este caso se cotizaron mallas electrosoldadas con una separacion de 15cm x 15cm, el láminas de 6m de largo y 2,35 de alto, y un diámetro de varilla de 5mm. El área de cada lámina será de 15m² con un precio de \$ 97.068,97. Se sabe que el área necesaria será la misma que se calculó para los recubrimientos calculados en la Tabla 35. El resultado del costo total de las mallas se encuentra en la Tabla 36.

*Homecenter, SODIMAC, Broncosil Gris [En Línea] <http://www.homecenter.com.co/homecenter-co/product/47684/Broncosil-gris-25-kilogramos/47684>, consultado octubre de 2016.

Tabla 43. Cálculo costo total de las mallas para el refuerzo estructural del concreto

	Área (m ²)	Cantidad de mallas	Costo
Muros estructura	15,96	1	\$ 97.068,97
	6,84	1	\$ 97.068,97
	1,38	1	\$ 97.068,97
Fondo Estructura	3,135	1	\$ 97.068,97
Costo Total			\$ 388.300

Se encontró que por cada cámara de desarenado se gasta un total de 4 mallas para satisfacer el área total de todos los muros que necesitan refuerzo, lo cual conlleva un costo de \$ 388.300 en total. Teniendo en cuenta que se proponen dos cámaras de desarenado el costo asciende a \$ 776.600.

Accesorios: Los accesorios usados y los costos de estos se encuentran en la Tabla 37. La tubería de alcantarillado hermética corresponde al aproximado del nuevo tramo necesario para dirigir el agua de la bocatoma actual al lugar de construcción del desarenador, y corresponde a las mismas dimensiones de la tubería actual.

Tabla 44. Cálculo del costo total de accesorios

Accesorio	Cantidad	Observación	Costo
Válvula de bola	1	Permite regular el caudal de entrada al desarenador, válvula solada de 6 pulgadas	\$ 36.919*
Tubería de PVC	5 m	Direccionamiento del agua desde la bocatoma hasta el desarenador, 20 pulgadas. Tubería alcantarillado hermética.	\$ 1'586.573*
	12 m	Drenaje, de 6 pulgadas.	\$ 125.800**
Costo Total de Accesorios			\$ 1'623.500

*PAVCO, listado de precios sugeridos, [En Línea]. Disponible en <https://www.pavco.com.co/?dw=2ebddd4b400dc001974758338bf7b574q2w2z2>, 8p. Consultado octubre de 2016

**HOMECENTER, SODIMAC, Tubería PVC 6 pulgadas [En Línea], <http://www.homecenter.com.co/homecenter-co/product/65854/4-x-6-metros-tubo-sanitario/65854>. Consultado octubre de 2016

Luego del cálculo por literales anteriormente descrito la suma total de costos relacionados con la construcción del desarenador se encuentra en la Tabla 38. Arrojando como resultado total \$ 5'898.200.

Tabla 45. Costo del desarenador

Total de costos para el desarenador	
Concreto	\$ 3'240.650
Revestimiento de impermeabilización	\$ 257.450
Malla de refuerzo	\$ 776.600
Accesorios	\$ 1'623.500
TOTAL	\$ 5'898.200

5.1.3 Mezclado rápido, turbina tipo rushton

Para la mezcla rápida se diseñó una turbina de 6 aspas planas tipo Rushton, y un motor necesario para el impulso mecánico. Las especificaciones se encuentran en la Tabla 45.

Tabla 46. Costo de los accesorios para la mezcla rápida.

Accesorio	Precio
Turbina tipo Rushton	\$ 830.944,80
Motor	\$ 350.000,00
Total	\$ 1.180.944,80

Para la turbina se cotizó con la empresa Sunkaier Industrial Technology Co.,Ltd. La cotización se encuentra en el anexo H. la tasa de conversión del precio en dólares se utilizó según la tasa representativa del mercado para el 31 de octubre de 2016 según el banco de la república, \$ 2967,66 pesos colombianos por cada dólar estadounidense.⁵¹

Los resultados finales de los gastos resultantes de la compra de equipos evaluados en este capítulo se encuentran en la tabla 46 arrojando como resultado.

⁵¹ BANCO DE LA REPÚBLICA, TRM: tasa promedio ponderada de compra y venta del dólar estadounidense [En Línea]. <http://www.banrep.gov.co/es/trm>. Consultado octubre de 2016

Tabla 47. Costo total de la propuesta de mejoramiento.

Aspecto evaluado	Costo
Filtración	\$ 2.005.700
Desarenador	\$ 5.898.200
Mezcla rápida	\$ 1.181.000
Total	\$ 9.084.900

Teniendo en cuenta esto arroja un total de nueve millones ochenta y cuatro mil pesos aproximadamente de inversión en costos descritos anteriormente.

5.2 COSTOS DEL AGUA SIN LA PROPUESTA DE MEJORAMIENTO.

Teniendo en cuenta que la planta actualmente no cumple con los requisitos para potabilizar el agua, se debe comprar al acueducto Aguas de Barrancabermeja S.A. E.S.P. Se conoce que en la actualidad en promedio se utilizan 70 m³/h, esto arroja un total de 613200 m³/año.

Tabla 48. Costos de la compra del agua

Costos de la compra del agua	
Consumo anual (m ³)	613200
Costo agua para uso industrial (\$/m ³)	\$ 1.654,73
Total de costos anuales	\$ 1.014.680.436,00

De esta manera sabemos que con la puesta en marcha de la propuesta anteriormente descrita y de esta manera dándole provecho a la planta de potabilización la empresa llegaría a ahorrar más de mil millones de pesos anualmente.

6. CONCLUSIONES

- Se comprobó, a partir de las caracterizaciones de agua, que la planta de potabilización de agua con la que cuenta la empresa Fertilizantes Colombianos S.A. no está funcionando adecuadamente, incumpliendo de esta manera la normativa actual de potabilidad de agua, por lo cual es de vital importancia la implementación del proyecto. Encontrando como parámetros críticos del proceso la remoción de turbiedad, color y hierro.
- Se encontró que dentro de la planta la etapa crítica en la remoción de estos parámetros problema era la filtración, debido al mal manejo de los filtros y el consecuente deterioro de los lechos filtrantes, los cuales como se comprobó experimentalmente solo tienen una eficiencia del 30%. Por lo cual la propuesta de mejoramiento para la planta se centró en el cambio de estos lechos filtrantes.
- Con el diagnóstico de la planta también se encontró que debido a la falta de mantenimiento de los equipos y al deterioro de estos, los paneles de floculación encontrados en el equipo compacto de floculación-clarificación tienen daños importantes, por lo cual se necesita una evaluación y una limpieza de estos, y de ser necesario el remplazo de algunos paneles.
- Se evidenció la importancia de la implementación de un desarenador al principio del proceso como pre tratamiento del agua, con el fin de eliminar los sólidos suspendidos y potenciar el resto del proceso. Además de esta manera se eliminan lodos generados durante los procesos de coagulación y floculación evitando así el taponamiento de los lechos filtrantes, aumentando así su vida útil. De esta manera se dimensionó teóricamente el equipo necesario para las características del agua a tratar.
- El desarrollo experimental comparó la eficiencia de distintos lechos filtrantes estandarizados en la teoría, en la remoción de dos de los parámetros críticos, turbiedad y color debido a que teóricamente el hierro está relacionado como causa importante en la presencia de estos parámetros en aguas superficiales. Encontrando así que el que presentaba mejor remoción era un lecho dual, formado por arena de tamaño medio y antracita, sostenido por un lecho de grava, llegando con este a porcentajes de remoción de 94 y 98,5 %, para color y turbiedad respectivamente, que logran cumplir la norma a nivel laboratorio.
- El proceso de mezcla rápida realizado en la entrada del equipo de floculación-clarificación fue averiado en un mal mantenimiento correctivo, por lo cual con el fin de potenciar ese paso del proceso y garantizar la correcta interacción del coagulante con el agua, se propuso la implementación de una turbina Rushton para mezclado, llevando así a las condiciones hidráulicas que favorecen el

mezclado. Encontrando así la turbina que garantiza esa mezcla, la cual se dimensionó teóricamente.

- La evaluación de costos de la propuesta de mejoramiento arrojó como resultado que teniendo en cuenta los materiales de construcción del desarenador, los nuevos lechos filtrantes y la compra de la turbina Rushton, arroja un total de ocho millones trescientos mil pesos aproximadamente.
- Sin la puesta en marcha de la propuesta de mejoramiento la empresa tendría que gastar más de mil millones anualmente en la adquisición del agua necesaria para los procesos de producción, y desaprovechando de esta manera la planta de potabilización con la que cuenta.

7. RECOMENDACIONES

- Es necesaria la implementación de controles rutinarios, al menos semanalmente, de turbiedad que monitoreen el estado del agua tratada por la planta con el fin de cerciorarse del correcto funcionamiento de esta y de sus equipos. Adicionalmente se debe realizar semestralmente controles completos del agua que evalúen propiedades físicas, químicas y microbiológicas formando así un registro histórico de la planta que genere una trazabilidad de los procesos.
- Se debe realizar controles en el mantenimiento de todos los equipos y las etapas del proceso, así mismo pasar a realizar mantenimiento preventivo en cambio de mantenimiento correctivo, como lo es en la actualidad. Esto para garantizar la vida útil de los equipos y el correcto funcionamiento del proceso.
- Es importante que se aplique de manera continua hipoclorito de sodio junto con el coagulante antes de la clarificación para prevenir la formación de capas de algas en el tanque de almacenamiento de agua clarificada, evitando así la remoción física de estas capas.
- Se recomienda la implementación de un estudio de dosificación del coagulante y de la correcta aplicación de esta para la planta de potabilización, para garantizar que la dosis sea la correcta y corresponde a la mínima necesaria. Al igual que estudiar el posible cambio de este coagulante si se encuentra una opción más económica y de mejor eficiencia.
- Se recomienda que se realicen pruebas a nivel laboratorio del proceso de desarenado, simulando las condiciones logradas por el desarenador de flujo horizontal diseñado teóricamente en este proyecto, con el fin de conocer los porcentajes de remoción total de partículas sólidas que logra este instrumento partiendo del agua con la que se cuenta.
- Se recomienda a FERTILIZANTES COLOMBIANOS S.A. desarrollar un correcto proceso para la limpieza de los filtros, los paneles del equipo de floculación-clarificación y las arenas y lodos producidos en el desarenador. Con el fin de mantener la vida útil de los mismos y encontrar el correcto modo de disponer estos residuos.

BIBLIOGRAFIA

ARBOLEDA V., Jorge. Teoría y práctica de la purificación del agua. Bogotá, Colombia: Colciencias, 1992. 131 p.

COLOMBIA. MINISTERIO DE VIVIENDA, CIUDAD Y TERRITORIO. Reglamento técnico del sector de agua potable y saneamiento básico RAS- 2000, Título B. 2 ed. Bogotá: s.n., 2010. p. 479.

COLOMBIA. MINISTERIO DE VIVIENDA, CIUDAD Y TERRITORIO. Reglamento Técnico del sector de agua potable y saneamiento básico RAS- 2000, Título C. Bogotá: s.n., 2000. 88 p.

EMERSON PROCESS MANAGEMENT. Theory and application of conductivity. Application data sheet Rosemount Analytical., 2010. Recuperado de http://www2.emersonprocess.com/siteadmincenter/PM%20Rosemount%20Analytical%20Documents/Liq_ADS_43-018.pdf

FERTILIZANTES COLOMBIANOS S.A. [en línea]. [Consultado el 10 de septiembre de 2016]. Disponible en Internet: <http://www.ferticol.com/Paginas/Historia.html>.

INSTITUTO DE FOMENTO MUNICIPAL. Especificaciones para el diseño de plantas potabilizadoras. S.L.:S.N., 1970.

INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TECNICAS Y CERTIFICACION, NTC3903: gestión ambiental, agua, procedimiento para el método de jarras en la coagulación-floculación del agua, Bogotá – 1996.

INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TECNICAS Y CERTIFICACION, NTC4490: Referencias documentales para fuentes de información electrónicas, Bogotá – 1997.

INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACIÓN. Calidad del agua determinación del contenido de sólidos, NTC. Bogotá DC: El Instituto, 2001.

INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TECNICAS Y CERTIFICACION, NTC5613: referencias bibliográficas contenido, forma y estructura, Bogotá – 2008.

INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TECNICAS Y CERTIFICACION, NTC1486: documentación, Presentación de tesis, trabajos de grado y otros trabajos de investigación, Bogotá – 2008.

LOZANO R., W. A. Diseño de plantas de tratamiento de aguas residuales: Módulo didáctico. Bogotá: Universidad Nacional Abierta y a Distancia, 2012.

MOTT, R. L. Mecánica de fluidos. 6 ed. México: Pearson, 2006. 132 p.

ORGANIZACIÓN MUNDIAL DE LA SALUD. Guías para la calidad del agua potable. 3 ed., 2006. 183 p. Disponible en Internet: http://www.who.int/water_sanitation_health/dwq/gdwq3_es_full_lowres.pdf

Purificación del agua. Escuela Colombiana de Ingeniería, Bogotá: 2000.

ROMERO R., Jairo A. Calidad del agua. 3 ed. Bogotá: Escuela de Ingenieros, 2009.

ROSALER, Robert y RICE, James, Manual de mantenimiento industrial. México D.F.: Mc Graw-Hill, 1993. Vol. 1. 133 p.

SALAZAR G., Lorena. Diseño de Plantas Potabilizadoras. Módulo didáctico. Bogotá: Universidad Nacional Abierta y a Distancia, 2012.

SPELLMAN, Frank y DRINAN Joanne. Manual del agua potable. Zaragoza, España: Acribia, 2000. 137p.

Tratamiento de aguas residuales: Teoría y principios de diseño. Escuela Colombiana de Ingenierías, Bogotá: 2008.

URUGUAY. MINISTERIO DEL MEDIO AMBIENTE. Manual de procedimientos analíticos para aguas y efluentes. 1996. [Consultado 27 de julio de 2016]. Disponible en http://imasd.fcien.edu.uy/difusion/educamb/docs/pdfs/manual_dinama.pdf

ANEXOS

ANEXO A.
CARACTERIZACIÓN DEL HIPOCLORITO DE SODIO



FICHA TECNICA
HIPOCLORITO DE SODIO

Versión: 0
01-oct-2014
Página 1 de 2

COMERCIALIZADO POR: **QUIMISANDER LTDA**
DIRECCION: **CARRERA 17 # 14-65**
TELEFONOS : **6356841-6356842**
FAX: **6356841**

1. INFORMACION DEL PRODUCTO

Nombre Químico:	Hipoclorito de Sodio
Nombre Comercial:	Hipoclorito de Sodio
Sinónimos :	Agua Lavandina, sal sódica del
ácido hipocloroso	
Formula Química:	NaClO
Hipoclorito disponible (NaClO) %W/V:	12.6 mín
Cloro Libre:	130 g/l mín.
Alcalinidad total (NaOH) %W/W:	< 1.670
Densidad (20/200 C):	1,18 - 1.25 g/ml
Rotulo NFPA:	



**FICHA TECNICA
HIPOCLORITO DE SODIO**

Versión: 0
01-oct-2014
Página 2 de 2

2. CARACTERISTICAS FISICAS Y QUIMICAS

Apariencia:	Líquido Color Verdoso pálido (ligeramente amarillo)
Olor:	Penetrante e irritante, parecido al cloro
pH:	(a 160 g/l H ₂ O) 12
Punto de fusión:	-16°C
Masa molar:	74.44 g/mol
Punto de ebullición:	96 - 99°C
Solubilidad:	Completamente soluble en agua. Reacciona con solventes orgánicos

3. APLICACIONES

El hipoclorito de sodio (NaOCl) es un compuesto oxidante de rápida acción utilizado a gran escala para la desinfección de superficies, desinfección de ropa hospitalaria y desechos, descontaminar salpicaduras de sangre, desinfección de equipos y mesas de trabajo resistentes a la oxidación, eliminación de olores y desinfección del agua. Los equipos o muebles metálicos tratados con cloro, tienden a oxidarse rápidamente en presencia de hipoclorito de sodio. En la industria del cuero: para blanqueo y protección contra la putrefacción de cueros curtidos por procesos al tanino y cromo. En la industria textil: para procesos de blanqueo o recuperación de tejidos manchados por acción del hierro; también como auxiliar en baños de teñido y en pastas de estampación. Se usa como catalizador en las resinas aplicadas en las telas de "planchado permanente". En la industria del lavado de la ropa (lavanderías): se usa para remoción del hierro y otros metales que manchan la ropa y para neutralizar el exceso de alcalinidad de los detergentes. En la industria metal mecánica: como componente en baños de limpieza, decapado y fosfatado de metales, para renovar los óxidos y depositar películas que proveen protección y lubricación

4. PRECAUCIONES Y ADVERTENCIAS

No es inflamable, pero puede descomponerse en un incendio. Evitar el contacto directo con la sustancia. No inhalar los vapores producidos por la descomposición. Aislar el área de peligro. Restringir el acceso a personas innecesarias y sin la debida protección. Ubicarse a favor del viento. Usar equipo de protección personal. Retirar los contenedores del lugar si no hay peligro.

5. EMPAQUE Y ALMACENAMIENTO

Bolsa de plástico tejido o de papel kraft de 25 Kg, deben ir marcados con el nombre del producto, el peso y NO de lote. El área destinada para el almacenamiento debe poseer excelente ventilación y humedad mínima, el piso debe ser impermeable, y se debe colocar sobre estibas de madera.

6. NOTA IMPORTANTE

Hasta donde nuestro conocimiento, la información que aquí se proporciona, es correcta y se da buena fe de ella, sin embargo QUIMISANDER LTDA no se responsabiliza en caso de que esta información fuese defectuosa o incompleta. La información relacionada con este producto puede no ser válida si este es usado en combinación con otros materiales o en otros procesos, Es responsabilidad del usuario la interpretación y aplicación de esta información para su uso particular, además la información contenida en esta ficha técnica solo significa una descripción de las medidas de seguridad del producto y no hay que considerarla como una garantía de sus propiedades. Aunque aquí se describen algunos riesgos, no garantizamos que sean los únicos que existen.

**ANEXO B.
CARACTERIZACIÓN DEL SULFATO DE ALUMINIO LÍQUIDO**



Quimisander

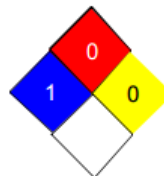
**FICHA TECNICA
SULFATO DE ALUMINIO
LIQUIDO**

Versión: 0
01-oct-2014
Página 1 de 3

COMERCIALIZADO POR:	QUIMISANDER LTDA
DIRECCION:	CARRERA 17 # 14-65
TELEFONOS :	6356841-6356842
FAX:	6356841

1. INFORMACION DEL PRODUCTO

Nombre Químico:	Sulfato de Aluminio Solución
Nombre Comercial:	Sulfato de Aluminio Liquido
Sinónimos :	Alumbre, Trisulfato de Aluminio
Familia Química :	Sal Inorgánica de Aluminio
Formula Química:	$Al_2(SO_4)_3 \times N H_2O$
Peso molecular:	342.3
Densidad:	1.33 a 20°C
Numero UN:	1760
Rotulo NFPA	



FICHA TECNICA
SULFATO DE ALUMINIO LIQUIDO

Versión: 0
01-oct-2014
Página 2 de 3

2. CARACTERISTICAS FISICAS Y QUIMICAS

PROPIEDADES	VALOR TIPO A	VALOR TIPO B
Apariencia estándar	Amarillo/blanco	Café/pardo
Contenido de Aluminio, % Al ₂ O ₃ Min	8.0	7.3
Contenido de hierro, % Fe ₂ O ₃ Max	0.4	1.2
Insolubles en Agua, % Max	0.1	0.1
Basicidad, como % de Al ₂ O ₃ Libre Min	Acordado con el cliente	Acordado con el cliente

3. APLICACIONES

Uno de los principales usos del sulfato de aluminio, es el tratamiento de aguas, para el consumo humano y para fines industriales.
También se utiliza en la fabricación de papel en conjunto con unas resinas llamadas encolantes, proporcionándole al papel resistencia a la penetración por el agua y unas buenas condiciones para fijar los colores.
Como coagulante en la manufactura de caucho sintético.
Para la fabricación de sales dobles, sulfatos de amonio, aluminio y potasio. Para la purificación de la glicerina y como retardante del fuego.

4. PRECAUCIONES Y ADVERTENCIAS

Este producto es irritante de las mucosas y la piel, evitar el contacto directo con el. 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.
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.

FICHA TECNICA
SULFATO DE ALUMINIO LIQUIDO

Versión: 0
01-oct-2014
Página 3 de 3

5. EMPAQUE, TRANSPORTE Y ALMACENAMIENTO

Se suministra en bidones plásticos de 100Kg 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 de 1609 de 2002.

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. NOTA IMPORTANTE

Hasta donde nuestro conocimiento, la información que aquí se proporciona, es correcta y se da buena fe de ella, sin embargo QUIMISANDER LTDA no se responsabiliza en caso de que esta información fuese defectuosa o incompleta. La información relacionada con este producto puede no ser válida si este es usado en combinación con otros materiales o en otros procesos, Es responsabilidad del usuario la interpretación y aplicación de esta información para su uso particular, además la información contenida en esta ficha técnica solo significa una descripción de las medidas de seguridad del producto y no hay que considerarla como una garantía de sus propiedades. Aunque aquí se describen algunos riesgos, no garantizamos que sean los únicos que existen.

ANEXO C. CARACTERIZACIÓN DE LA SODA CAUSTICA



Quimisanor Ltda.

FICHA TECNICA SODA CAUSTICA LIQUIDA

1. ESPECIFICACIONES TECNICAS

ANALISIS	ESPECIFICACIÓN	METODO DE ENSAYO
Apariencia	Líquido viscoso translucido a ligeramente turbio	
Olor	Inoloro	
Hidróxido de Sodio (NaOH)	48.5 – 51.0 %	ME-CC-049
Carbonato de Sodio	0.10 – 0.20	ME-CC-037
Oxido de Sodio	37.2 – 39.5	ME-CC-002
Cloruro de Sodio	100ppm	ME-CC-038
Sulfato de Sodio	80ppm	ME-CC-029
Hierro	12 ppm Máximo	ME-CC-021
Densidad	1,520 – 1,540 g/cm ³	ME-CC-033

2. DESCRIPCION

Lejía o Soda Cáustica es el nombre comercial del Hidróxido de Sodio, así la Soda Cáustica 51% es una solución acuosa que contiene entre 48 y 51% en peso de NaOH aproximadamente.

La Soda Cáustica tiene un sinfín de aplicaciones, dentro de las principales se encuentran: producción de aceites jabones y detergentes, regeneración de resinas de intercambio iónico para tratamiento de agua, lavado de botellas de vidrio, blanqueo de celulosa en la industria de pulpa y papel, producción de azúcar refinada, teñido de telas de algodón, producción de agroquímicos, fabricación de gredas y gelatinas, productos de limpieza en general, etc.

 **Alicante**
 Calle 33 # 33 - 42
 Durán, Ecuador
 206 - 244306
 (+5) 0995099
 quimisanor@quimisanor.com.ec
 www.quimisanor.com.ec

 **Quito**
 Carrera 17 # 64 - 95
 Bucaramanga
 910 - 3723425
 (+5) 0388881
 quimisanor@quimisanor.com.ec
 www.quimisanor.com.ec



Quimisander Ltda.

FICHA TECNICA SODA CAUSTICA LIQUIDA

3. INSTRUCCIONES DE USO

El personal que maneje Soda Cáustica Líquida debe usar peto de caucho, overol, guantes de caucho, botas de caucho, careta y gafas de seguridad. Las condiciones de uso deben ser determinadas de acuerdo con cada proceso en particular.

Los siguientes son los procesos principales en los cuales se usa la SODA CÁUSTICA LIQUIDA:

- Producción de aceites jabones y detergentes
- Regeneración de resinas de intercambio iónico para tratamiento de agua
- Lavado de botellas de vidrio
- Blanqueo de celulosa en la industria de pulpa y papel
- Producción de azúcar refinada
- Teñido de telas de algodón
- Producción de agroquímicos
- Fabricación de gresetas y gelatinas
- Productos de limpieza en general

4. CONTROL

4.1 DETERMINACION DE PUREZA (NaOH)

La determinación se realiza según el Método: IME – CC – 049. Se basa en una titulación Ácido – Base, usando Ácido Clorhídrico 1N como reactivo titulante y como indicador Fenolftaleína. Los resultados se pueden expresar como: Porcentaje de Soda Cáustica (%NaOH), Gramos por litro de Soda Cáustica (g/l NaOH).

4.2 DETERMINACION HIERRO (Fe)

NOTA: Cualquier impresión de este Documento se considera como COPIA "NO CONTROLADA"

Atenas
Calle 10 # 19 - 12
Barranquilla
010 - 2088200
011 8328399
quimisander@quimisander.com
www.quimisander.com

Bogotá
Calle 17 # 34 - 95
Barranquilla
010 - 2728400
011 8328399
quimisander@quimisander.com
www.quimisander.com



Quimisanter Ltda.

FICHA TECNICA SODA CAUSTICA LIQUIDA

La determinación se realiza según el Método: ME – CC – 021

Se basa en la formación de un Complejo coloreado entre el Hierro presente en la muestra y la mezcla de Ácido Tioglicólico / Tioglicolato de Amonio (reactivo) durante un tiempo establecido (3 Minutos) y en la oscuridad, el color desarrollado se cuantifica a través de una escala que compara intensidad de color contra concentración de Hierro. El resultado se puede expresar como: Partes por Millón de Hierro (ppm, mg/ml); Milimoles de Hierro por metro cúbico (mmol/m³)

5. EMPAQUE

- Autotanques (pipas) fabricadas de acero al carbono o en camotonques del mismo material.

 Avenida
Calle 23 e 36 - 12
Bucaramanga
 056 - 224 6326
 057 2727272
 quimisanter@quimisanter.com
 www.quimisanter.com

 Bogotá
Carrera 17 e 34 - 66
Bucaramanga
 056 - 272 8422
 057 2328821
 quimisanter@quimisanter.com
 www.quimisanter.com

**ANEXO D.
CARACTERIZACIÓN DE LA ANTRASITA**

ANTRACITAS DE CUNDINAMARCA LTDA.

NIT. 830.125.044-2

Producción de Antracita, Arena Silice, Grava Silice, Carbón Activado, Carbón Coke



FICHA TECNICA ANTRACITA

Análisis Químico Típico

Humedad	2.0%
Ceniza	6-7%
Mat. Volátil	6-8%
Carbón Fijo	85%
Gravedad Especifica	1,4 gr/cm ³

Características Físicas

Aspecto:	Negra brillante Granular.
Dureza:	>3.0 Mohs
Solubilidad en HCl	<1.0 %.
Solubilidad en NaOH al 1%	<1.0 %
Coefficiente de uniformidad	1.4-1.6

ANEXO E. CARACTERIZACIÓN DE LA ARENA SÍLICE

ANTRACITAS DE CUNDINAMARCA LTDA
PRODUCTOR DE CARBONES, ACTIVADO, ANTRACITA,
ARENAS Y GRAVAS SÍLICES

HOJA TÉCNICA DE ARENA SÍLICE



La solubilidad de la arena en ácido clorhídrico al 40% es menor de 5% además está libre de sales de calcio y magnesio.

Se suministrará empacada en bultos de aproximadamente y además 1kg de muestra para cada tamaño.

La arena para filtro se compondrá de granos duros, duraderos y densos de material predominante silicio, que resistan el manejo y el uso.

La arena tendrá una gravedad específica de 2.65 y la solubilidad en ácido clorhídrico no excederá del 5% en las condiciones exigidas en la norma.

La arena estará visiblemente libre de arcilla, polvo y material micáceo y orgánico.

Si se requieren pruebas, con relación a estos requisitos se procederá de acuerdo con lo indicado en la nota del numeral 2.2.12 de la norma AWWA B100-80.

Tamaño efectivo: 0.4-0.9 mm.

Usos y Aplicaciones: Sand Blasting.

Moldes en Fundición.

Decoración- Ornamentación.

Aplicación Principal: Purificación Agua Potable.

Cra 27B No 53A 37 Of 301 Tel 7518893
Celular 3108128752 Bogotá Colombia
ventas@antracitasdecundinamarca.com

ANEXO F. CARACTERIZACIÓN DE LA GRAVA SÍLICE

ANTRACITAS DE CUNDINAMARCA LTDA.
PRODUCTOR DE CARBONES, ACTIVADO, ANTRACITA,
ARENAS Y GRAVAS SÍLICES
NIT. 830.125.044-2

HOJA TÉCNICA DE GRAVA SILICE



Grava para filtro de material silicio para cualquier tamaño, de buena resistencia y dureza, de aristas redondeadas, provenientes de depósitos de canto rodado, no contienen mas del 2% en peso de partículas planas, cuya dimensión no excede tres veces la dimensión menor y la porosidad de grava en cualquier capa debe estar entre el 35% y el 46%.

La grava se suministrara lavada y visiblemente libre de material arcilloso y laminar e impurezas orgánicas. Las muestras sumergidas durante 24 horas en solución al 40% de ácido clorhídrico (HCL) permanecerán insolubles en un 95%.

La grava tendrá una gravedad específica no menor de 2.5 gramos/cm³, en las condiciones exigidas en la norma.

No más del 5% en peso de cualquier capa será más fino o más gruesa que los límites indicados para cada una.

Los tamaños efectivos: 1/8 a malla 10 1/8 a 1/4 1/4 a 1/2 1/2 a 3/4 3/4 a 1"

CRA 278No 53A 37 Of 301 TEL: 7518893.
CELULAR 3108128752 BOGOTÁ COLOMBIA
EMAIL. VENTAS@ANTRACITASDECOUNDINAMARCA.COM

**ANEXO G.
CARACTERIZACIÓN DE AGUA DE LA CIÉNAGA EN ÉPOCA DE INVIERNO,
SEPTIEMBRE 15 2016.**



IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA

MUESTRA No.	47967
MUESTRA	AGUA DE LA CIENAGA SAN SILVESTRE
SOLICITANTE	CATALINA SANCHEZ Y JHON ALONSO
FECHA DE LLEGADA	Septiembre 15 del 2016 Hora: 14:30
OBJETO DEL ANÁLISIS	Control de calidad fisicoquímica
LUGAR DE RECOLECCIÓN	Traída al laboratorio
RESPONSABLE DEL MUESTREO	El solicitante

RESULTADOS

PARAMETRO	RESULTADO	*LIM. PERM.	UNIDADES	TÉCNICA
pH	6.5	6.5-9.0	----	St. Mth. 4500 H+B
COLOR	180	Máx. 15	UPC	HACH 120
TURBIEDAD	105	2	NTU	St. Mth. 2130 B
CONDUCTIVIDAD	48	50-1000	Us/cm	St. Mth. 2510 B
CLORO RESIDUAL	---	0.3-2.0	mg/L Cl ₂	St. Mth. 4500 Cl G
ALCALINIDAD P	0	---	mg/L CaCO ₃	St. Mth. 2320 B
ALCALINIDAD TOTAL	14	Máx. 200	mg/L CaCO ₃	St. Mth. 2320 B
DUREZA TOTAL	16	300	mg/L CaCO ₃	St. Mth. 2340 C
DUREZA CALCICA	10	---	mg/L CaCO ₃	St. Mth 3500 Ca D
DUREZA MAGNESICA	6	----	mg/L CaCO ₃	St. Mth 3500 Mg E
CALCIO	6.4	60	mg/L Ca	St. Mth 3500 Ca D
CLORUROS	9	250	mgCl/L	St. Mth. 4500-Cl-B
HIERRO	9.8	0.3	mg Fe/L	St. Mth. 3500 Fe D.

*Límites permitidos según Resolución 2115 del 22 de junio/07 para Agua Potable

ND: No detectable "Válido únicamente para la muestra analizada"

Fabio Anaya Payares
Director Técnico

**ANEXO H.
CARACTERIZACIÓN DE AGUA DE LA CIÉNAGA EN ÉPOCA DE VERANO,
MAYO 2 2016.**



IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA

MUESTRA No.	47746
MUESTRA	AGUA DE LA CIENAGA SAN SILVESTRE
SOLICITANTE	CATALINA SANCHEZ Y JHON ALONSO
FECHA DE LLEGADA	Mayo 2 del 2016 Hora: 07:30
OBJETO DEL ANÁLISIS	Control de calidad fisicoquímica
LUGAR DE RECOLECCIÓN	Traida al laboratorio
RESPONSABLE DEL MUESTREO	El solicitante

RESULTADOS

PARAMETRO	RESULTADO	LIM. PERM.	UNIDADES	TÉCNICA
pH	6.4	6.5-9.0	---	St. Mth. 4500 H+B
COLOR	156	Mlx. 15	UPC	HACH 120
TURBIEDAD	85	2	NTU	St. Mth. 2130 B
CONDUCTIVIDAD	42	50-1000	Us/cm	St. Mth. 2510 B
CLORO RESIDUAL	---	0.3-2.0	mg/L Cl ₂	St. Mth.4500 Cl G
ALCALINIDAD P	0	---	mg/L CaCO ₃	St. Mth. 2320 B
ALCALINIDAD TOTAL	10	Mlx. 200	mg/L CaCO ₃	St. Mth. 2320 B
DUREZA TOTAL	12	300	mg/L CaCO ₃	St. Mth. 2340 C
DUREZA CALCICA	12	---	mg/L CaCO ₃	St. Mth 3500 Ca D
DUREZA MAGNÉSICA	5	---	mg/L CaCO ₃	St. Mth 3500 Mg E
CALCIO	5	60	mg/L Ca	St. Mth 3500 Ca D
CLORUROS	4	250	mgCl/L	St. Mth. 4500-Cl-B
hierro	2.8	0.3	mg Fe/L	St. Mth. 3500 Fe D.

*Límites permitidos según Resolución 2115 del 22 de junio/07 para Agua Potable
ND: No detectable "Válido únicamente para la muestra analizada"

Fabio Anaya Payares
Director Técnico

**ANEXO I.
CARACTERIZACIÓN DE AGUA TRATADA EN ÉPOCA DE INVIERNO,
SEPTIEMBRE 15 2016.**



IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA

MUESTRA No.	47968
MUESTRA	AGUA POTABLE
SOLICITANTE	CATALINA SANCHEZ Y JHON ALONSO
FECHA DE LLEGADA	Septiembre 15 del 2016 Hora: 14:30
OBJETO DEL ANÁLISIS	Control de calidad fisicoquímica
LUGAR DE RECOLECCIÓN	Traída al laboratorio
RESPONSABLE DEL MUESTREO	El solicitante

RESULTADOS

PARAMETRO	RESULTADO	*LIM. PERM.	UNIDADES	TÉCNICA
pH	7.3	6.5-9.0	----	St. Mth. 4500 H+B
COLOR	47.7	Máx. 15	UPC	HACH 120
TURBIEDAD	72.56	2	NTU	St. Mth. 2130 B
CONDUCTIVIDAD	118	50-1000	Us/cm	St. Mth. 2510 B
ALCALINIDAD P	0	---	mg/L CaCO ₃	St. Mth. 2320 B
ALCALINIDAD TOTAL	28	Máx. 200	mg/L CaCO ₃	St. Mth. 2320 B
DUREZA TOTAL	30	300	mg/L CaCO ₃	St. Mth. 2340 C
DUREZA CALCICA	25	----	mg/L CaCO ₃	St. Mth 3500 Ca D
DUREZA MAGNESICA	5	----	mg/L CaCO ₃	St. Mth 3500 Mg E
CALCIO	12	60	mg/L Ca	St. Mth 3500 Ca D
CLORUROS	12	250	mgCl/L	St. Mth. 4500-Cl-B
HIERRO	8.2	0.3	mg Fe/L	St. Mth. 3500 Fe D.

*Límites permitidos según Resolución 2115 del 22 de junio/07 para Agua Potable

ND: No detectable "Válido únicamente para la muestra analizada"

Fabio Anaya Payares
Director Técnico

**ANEXO J.
CARACTERIZACIÓN DE AGUA TRATADA EN ÉPOCA DE VERANO, MAYO 2
2016.**



IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA

MUESTRA No.	47747
MUESTRA	AGUA POTABLE
SOLICITANTE	CATALINA SANCHEZ Y JHON ALONSO
FECHA DE LLEGADA	Mayo 2 del 2016 Hora: 07:30
OBJETO DEL ANÁLISIS	Control de calidad fisicoquímica
LUGAR DE RECOLECCIÓN	Traída al laboratorio
RESPONSABLE DEL MUESTREO	El solicitante

RESULTADOS

PARAMETRO	RESULTADO	*LIM. PERM.	UNIDADES	TÉCNICA
pH	6.9	6.5-9.0	----	St. Mth. 4500 H+B
COLOR	32.5	Máx. 15	UPC	HACH 120
TURBIEDAD	53.2	2	NTU	St. Mth. 2130 B
CONDUCTIVIDAD	123	50-1000	Us/cm	St. Mth. 2510 B
ALCALINIDAD P	0	---	mg/L CaCO ₃	St. Mth. 2320 B
ALCALINIDAD TOTAL	25	Máx. 200	mg/L CaCO ₃	St. Mth. 2320 B
DUREZA TOTAL	27	300	mg/L CaCO ₃	St. Mth. 2340 C
DUREZA CALCICA	24	----	mg/L CaCO ₃	St. Mth 3500 Ca D
DUREZA MAGNESICA	3	----	mg/L CaCO ₃	St. Mth 3500 Mg E
CALCIO	8	60	mg/L Ca	St. Mth 3500 Ca D
CLORUROS	10	250	mgCl/L	St. Mth. 4500-Cl-B
HIERRO	1.33	0.3	mg Fe/L	St. Mth. 3500 Fe D.

*Límites permitidos según Resolución 2115 del 22 de junio/07 para Agua Potable

ND: No detectable "Válido únicamente para la muestra analizada"

Fabio Anaya Payares
Director Técnico

**ANEXO K.
CÁLCULOS DESARENADOR Y TURBINA**

1. DIMENSIONAMIENTO DE UN DESARENADOR

1.1. DETERMINACION DE LA VELOCIDAD DE SEDIMENTACION.

1.1.1. METODO ANALITICO PARA DETERMIAR REGIMEN DE SEDIMENTACION.

$$R_e = \frac{gD_p^3 \rho(\rho_p - \rho)}{18\mu^2}$$

$$R_e = \frac{9,8 \text{ m/s}^2 * (0,0002\text{m})^3 * 1000 \text{ kg/m}^3 * (1700 \text{ kg/m}^3 - 1000 \text{ kg/m}^3)}{18(0,000891)^2}$$

$$R_e = 3,84$$

1.1.2. LEY DE STOKES.

$$V_s = \frac{gd_p^2}{18v} \left[\frac{\rho_{arena}}{\rho_{agua}} - 1 \right]$$

$$V_s = \frac{9,8 \text{ m/s}^2 * (0,0002\text{m})^2}{18 * 1,03 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}} \left[\frac{1700 \text{ kg/m}^3}{1000 \text{ kg/m}^3} - 1 \right] = 0,015 \text{ m/s}$$

1.2. CALCULO EN CONDICIONES DE CAUDAL MÁXIMO (Qmax):

1.2.1. PROFUNDIDAD PARA UN DESARENADOR.

$$Q = VA = \frac{2HTv}{3}$$

$$H = \frac{3Q}{2Tv}$$

$$H = \frac{3 * 0,055 \text{ m}^3/\text{s}}{2 * 0,61\text{m} * 0,3 \text{ m/s}} = 0,45 \text{ m}$$

1.1.2 ALTURA DE VELOCIDAD EN LA SECCIÓN DE CONTROL.

Energía en el canal = Energía en la seccion de control + pérdidas

$$H + \frac{v^2}{2g} = d_c + \frac{v_c^2}{2g} + 0,1 \frac{v_c^2}{2g}$$

$$d_c = \frac{v_c^2}{g} = 2 \frac{v_c^2}{2g}$$

$$H + \frac{v^2}{2g} = 2 \frac{v_c^2}{2g} + \frac{v_c^2}{2g} + 0,1 \frac{v_c^2}{2g} = 3,1 \frac{v_c^2}{2g}$$

$$\frac{v_c^2}{2g} = \frac{1}{3,1} \left(H + \frac{v^2}{2g} \right) = \frac{1}{3,1} \left(0,45m + \frac{(0,3 \text{ m/s})^2}{2 * 9,8 \text{ m/s}^2} \right) = 0,15m$$

1.1.3 PROFUNDIDAD EN LA SECCIÓN DE CONTROL

$$d_c = 2 \frac{v_c^2}{2g} = 2 * 0,15m = 0,29m$$

1.1.4 VELOCIDAD EN LA SECCIÓN DE CONTROL

$$v_c = \sqrt{d_c * g} = \sqrt{0,29m * 9,8 \text{ m/s}^2} = 1,7 \text{ m/s}$$

1.1.5 AREA DE LA SECCIÓN DE CONTROL

$$a = \frac{Q}{v_c} = \frac{0,055 \text{ m}^3/\text{s}}{1,7 \text{ m/s}} = 0,03 \text{ m}^2$$

1.1.6 ANCHO DE LA SECCIÓN DE CONTROL

$$w = \frac{a}{d_c} = \frac{0,03 \text{ m}^2}{0,29m} = 0,11m$$

1.2 CALCULO EN CONDICIONES DE CAUDAL PROMEDIO (Qpro)

1.2.1 PROFUNDIDAD CRITICA DEL CANAL

$$y_c = \sqrt[3]{\frac{Q^2}{w^2 g}}$$

1.2.2 AREA DE FLUJO EN LA SECCIÓN DE CONTROL

$$a = y_c w = \sqrt[3]{\frac{Q^2 w}{g}}$$

$$a = \sqrt[3]{\frac{Q^2 w}{g}} = \sqrt[3]{\frac{(0,055 \text{ m}^3/\text{s})^2 * 0,11m}{9,8 \text{ m/s}^2}} = 0,03 \text{ m}^2$$

1.2.3 PROFUNDIDAD DE FLUJO EN LA SECCIÓN DE CONTROL

$$d_c = \frac{a}{w} = \frac{0,03 \text{ m}^2}{0,11\text{m}} = 0,28\text{m}$$

1.2.4 PROFUNDIDAD DE LA CAMARA DESARENADORA

Energía en el canal = Energía en la seccion de control + pérdidas

$$H + \frac{v^2}{2g} = 3,1 \frac{v_c^2}{2g} = \frac{3,1}{2} * 2 \frac{v_c^2}{2g} = \frac{3,1}{2} d_c$$

$$H = \frac{3,1}{2} d_c - \frac{v^2}{2g}$$

$$H = \frac{3,1}{2} * 0,28\text{m} - \frac{(0,3 \text{ m/s})^2}{2 * 9,8 \text{ m/s}^2} = 0,42\text{m}$$

1.2.5 ANCHO DE LA LÁMINA DE AGUA EN EL CANAL

$$Q = VA = \frac{2HTv}{3}$$

$$T = \frac{3Q}{2Hv} = \frac{3 * 0,055 \text{ m}^3/\text{s}}{2 * 0,42\text{m} * 0,3 \text{ m/s}} = 0,59\text{m}$$

1.3 CALCULO EN CONDICIONES DE CAUDAL MINIMO (Qmin)

1.3.1 AREA DE FLUJO EN LA SECCIÓN DE CONTROL

$$a = y_c w = \sqrt[3]{\frac{Q^2 w}{g}}$$

$$a = \sqrt[3]{\frac{Q^2 w}{g}} = \sqrt[3]{\frac{(0,027 \text{ m}^3/\text{s})^2 * 0,11\text{m}}{9,8 \text{ m/s}^2}} = 0,02\text{m}^2$$

1.3.2 PROFUNDIDAD DE FLUJO EN LA SECCION DE CONTROL

$$d_c = \frac{a}{w} = \frac{0,02 \text{ m}^2}{0,11\text{m}} = 0,18\text{m}$$

1.3.3 PROFUNDIDAD DE LA CAMARA DESARENADORA

Energía en el canal = Energía en la sección de control + pérdidas

$$H + \frac{v^2}{2g} = 3,1 \frac{v_c^2}{2g} = \frac{3,1}{2} * 2 \frac{v_c^2}{2g} = \frac{3,1}{2} d_c$$
$$H = \frac{3,1}{2} d_c - \frac{v^2}{2g}$$
$$H = \frac{3,1}{2} * 0,18m - \frac{(0,3 \text{ m/s})^2}{2 * 9,8 \text{ m/s}^2} = 0,28m$$

1.3.4 ANCHO DE LA LAMINA DE AGUA EN EL CANAL

$$Q = VA = \frac{2HTv}{3}$$
$$T = \frac{3Q}{2Hv} = \frac{3 * 0,027 \text{ m}^3/\text{s}}{2 * 0,28m * 0,3 \text{ m/s}} = 0,48m$$

1.4 CALCULO EN CONDICIONES DE CAUDAL MAXIMO DE EMERGENCIA (Qmaxe)

1.4.1 AREA DE FLUJO EN LA SECCIÓN DE CONTROL

$$a = y_c w = \sqrt[3]{\frac{Q^2 w}{g}}$$
$$a = \sqrt[3]{\frac{Q^2 w}{g}} = \sqrt[3]{\frac{(0,0833 \text{ m}^3/\text{s})^2 * 0,11m}{9,8 \text{ m/s}^2}} = 0,04m^2$$

1.4.2 PROFUNDIDAD DE FLUJO EN LA SECCION DE CONTROL

$$d_c = \frac{a}{w} = \frac{0,04 \text{ m}^2}{0,11m} = 0,39m$$

1.4.3 PROFUNDIDAD DE LA CAMARA DESARENADORA

Energía en el canal = Energía en la sección de control + pérdidas

$$H + \frac{v^2}{2g} = 3,1 \frac{v_c^2}{2g} = \frac{3,1}{2} * 2 \frac{v_c^2}{2g} = \frac{3,1}{2} d_c$$

$$H = \frac{3,1}{2} d_c - \frac{v^2}{2g}$$

$$H = \frac{3,1}{2} * 0,39m - \frac{(0,3 \text{ m/s})^2}{2 * 9,8 \text{ m/s}^2} = 0,6m$$

1.4.4 ANCHO DE LA LAMINA DE AGUA EN EL CANAL

$$Q = VA = \frac{2HTv}{3}$$

$$T = \frac{3Q}{2Hv} = \frac{3 * 0,0833 \text{ m}^3/\text{s}}{2 * 0,6m * 0,3 \text{ m/s}} = 0,7m$$

1.5 LONGITUD DE LA CÁMARA DESARENADORA

1.5.1 LONGITUD TEÓRICA

$$L_T = \frac{Hv}{v_s} = \frac{0,45m * 0,3 \text{ m/s} * 60 \text{ s/min}}{0,9 \text{ m/min}} = 9,02m$$

1.5.2 LONGITUD MINIMA ADICIONAL

$$L_{\text{mín adicional}} = 2H_{\text{máx}} = 2 * 0,6m = 1,19m$$

1.5.3 LONGITUD MAXIMA ADICIONAL

$$L_{\text{máx adicional}} = 0,5L_T = 0,5 * 9,02m = 4,51m$$

1.5.4 LONGITUD REAL

$$L_R = L_T + \left(\frac{L_{\text{máx adicional}} + L_{\text{mín adicional}}}{2} \right) = 9,02m + \left(\frac{4,51m + 1,19m}{2} \right) = 11,87m$$

2. DIMENSIONAMIENTO DE UNA TURBINA RUSTHON DE 6 ASPAS

2.1 DETERMINACION DE TIEMPO DE CONTACTO Y GRADIENTE DE VELOCIDAD

$$Gt_o C^{1,46} = 5,9x10^6$$

$$Gt_o = \frac{5,9x10^6}{C^{1,46}} = \frac{5,9x10^6}{60^{1,46}} = 14953,79$$

2.2 VOLUMEN DE LA CAMARA DE MEZCLA RAPIDA

$$V = \frac{\pi}{4} D^2 h = \frac{\pi}{4} * (0,5m)^2 * 1,2m = 0,24 m^3$$

2.3 DIÁMETRO TOTAL DE LA TURBINA

$$d = \frac{D}{3} = \frac{0,5m}{3} = 0,17m$$

2.4 ANCHO DE CADA PALETA

$$w = \frac{d}{5} = \frac{0,17m}{5} = 0,033m$$

2.5 LONGITUD DE LA PALETA

$$r = \frac{d}{4} = \frac{0,17m}{4} = 0,042m$$

2.6 DIÁMETRO DEL DISCO CENTRAL

$$s = \frac{D}{4} = \frac{0,5m}{4} = 0,125m$$

2.7 POTENCIA REQUERIDA

$$P = G^2 V \mu = (1000s^{-1})^2 * 0,24 m^3 * 0,00114Pa s = 268,37 w$$

2.8 POTENCIA REAL DE UN MOTOR

$$Pr = \frac{P}{e} = \frac{268,37w}{0,8} = 335,46w$$

2.9 REVOLUCIONES POR MINUTO

$$N = \left(\frac{P}{K \delta d^5} \right)^{1/3} = \left(\frac{268,37 w}{6,3 * 1000 kg/m^3 * (0,17m)^5} \right)^{1/3} = 60 RPS$$

ANEXO L. COTIZACIÓN DE TURBINA TIPO RUSHTON.

The screenshot shows an Outlook Mail window with the following content:

- Subject:** Re: Fwd: Solicitud de documentación, presupuesto, precio - Ferticol SA - Colombia
- From:** ivycheng@sunkaier.com (Sun 11/20/2016 7:54 PM)
- To:** jhonalonso_ (jhonalonso@hotmail.com)
- Cc:** markyang (markyang@sunkaier.com); lolawu (lolawu@sunkaier.cn)

Body:

Hola, gracias por los remos de nuestro interés.

Según sus especificaciones podemos citar los siguientes:
Diámetro exterior de 17cm, diámetro de disco 12.5cm, altura de la hoja de 3.3cm.
Opcional material: acero inoxidable 316, acero inoxidable 304 o de acero al carbono, precio unitario, es 300USD / 280USD / 260USD, incluyendo el diseño, embalaje y transporte.Fecha de entrega: de 15 a 20 días.Condiciones de pago: pago completo después de la confirmación de la orden.

Otro: la mayoría de nuestros productos no es asunto de personalización, no hay Especificaciones particulares, si usted está interesado en otros productos o las especificaciones de tamaño, puede proporcionar, la cita de nuevo para usted.

Espero tu respuesta.

Thanks and Regards,
Ms.Ivy Cheng | Sales Executive
Sunkaier Industrial Technology Co.,Ltd. | Longquan North Road, Fangqiao Industrial Zone,Yixing,Jiangsu,China.P.Code214264
Tel: +86 0510 87588707 | Fax: +86 0510 87588721
Phone:+86 13773125428
www.sunkaier.com

Notification:The information contained herewith is a trade secret and property of Sunkaier Industrial Technology Co.,Ltd.It is intended only for authorized individuals.Any unauthorized action in reliance of the contents of this information is strictly

Fuente: Sunkaier Industrial Technology Co.,Ltd.

**ANEXO M.
COTIZACIÓN LECHOS FILTRANTES.**



ANTRACITAS DE CUNDINAMARCA LTDA.
NIT. 830.125.044-2

TO:
ATT: Catalina Sánchez Pulido
REF: Cotización
E-mail: cata_sanchez0608@hotmail.com

DE/ FROM: UVAL VASQUEZ
FECHA /DATE: Octubre 19 de 2.016
No PAGES: Una

IF YOU DID NOT RECEIVE ALL PAGES, PLEASE CALL THE ABOVE NUMBERS
DISTINGUIDOS SEÑORES:


De acuerdo a su solicitud presento la cotización correspondiente al suministro de
nuestros Materiales.

Descripción	Presentación	Valor x saco
Arena Sílice Media	Saco x 50 kg	\$ 12.000+IVA
Antracita	Saco x 50 kg	\$ 25.000
Grava Sílice	Saco x 50 kg	\$ 12.000+IVA

Nota. La arena genera IVA y no está incluido en el precio. La antracita está exenta de IVA.
Cordialmente,

ING. UVAL VASQUEZ

Cra. 68 H 77-23 - Tel. 7518893 Cel. 310 8 12 87 52
E-mail: ventas@antracitasdecundinamarca.com - Bogotá – Colombia
www.antracitasdecundinamarca.com

 Fundación Universidad de América	FUNDACIÓN UNIVERSIDAD DE AMÉRICA	Código:
	PROCESO: GESTIÓN DE BIBLIOTECA	Versión 0
	Autorización para Publicación en el Repositorio Digital Institucional – Lumieres	Marzo 2017


AUTORIZACIÓN PARA PUBLICACIÓN EN EL REPOSITORIO DIGITAL INSTITUCIONAL LUMIERES




Nosotros Jhon Leonardo Alonso Ríos y Paula Catalina Sánchez Pulido en calidad de titulares de la obra PROPUESTA DE MEJORA PARA LA PLANTA DE AGUA POTABLE DE LA EMPRESA FERTILIZANTES COLOMBIANOS S.A., elaborada en el año 2017, autorizamos al **Sistema de Bibliotecas de la Fundación Universidad América** para que incluya una copia, indexe y divulgue en el Repositorio Digital Institucional – Lumieres, la obra mencionada con el fin de facilitar los procesos de visibilidad e impacto de la misma, conforme a los derechos patrimoniales que nos corresponden y que incluyen: la reproducción, comunicación pública, distribución al público, transformación, en conformidad con la normatividad vigente sobre derechos de autor y derechos conexos (Ley 23 de 1982, Ley 44 de 1993, Decisión Andina 351 de 1993, entre otras).

Al respecto como Autores manifestamos conocer que:

- La autorización es de carácter no exclusiva y limitada, esto implica que la licencia tiene una vigencia, que no es perpetua y que el autor puede publicar o difundir su obra en cualquier otro medio, así como llevar a cabo cualquier tipo de acción sobre el documento.
- La autorización tendrá una vigencia de cinco años a partir del momento de la inclusión de la obra en el repositorio, prorrogable indefinidamente por el tiempo de duración de los derechos patrimoniales del autor y podrá darse por terminada una vez el autor lo manifieste por escrito a la institución, con la salvedad de que la obra es difundida globalmente y cosechada por diferentes buscadores y/o repositorios en Internet, lo que no garantiza que la obra pueda ser retirada de manera inmediata de otros sistemas de información en los que se haya indexado, diferentes al Repositorio Digital Institucional – Lumieres de la Fundación Universidad América.
- La autorización de publicación comprende el formato original de la obra y todos los demás que se requiera, para su publicación en el repositorio. Igualmente, la autorización permite a la institución el cambio de soporte de la obra con fines de preservación (impreso, electrónico, digital, Internet, intranet, o cualquier otro formato conocido o por conocer).
- La autorización es gratuita y se renuncia a recibir cualquier remuneración por los usos de la obra, de acuerdo con la licencia establecida en esta autorización.
- Al firmar esta autorización, se manifiesta que la obra es original y no existe en ella ninguna violación a los derechos de autor de terceros. En caso de que el trabajo haya sido financiado por terceros, el o los autores asumen la responsabilidad del cumplimiento de los acuerdos establecidos sobre los derechos patrimoniales de la obra.
- Frente a cualquier reclamación por terceros, el o los autores serán los responsables. En ningún caso la responsabilidad será asumida por la Fundación Universidad de América.
- Con la autorización, la Universidad puede difundir la obra en índices, buscadores y otros sistemas de información que favorezcan su visibilidad.

Conforme a las condiciones anteriormente expuestas, como autores establecemos las siguientes condiciones de uso de mí (nuestra) obra de acuerdo con la **licencia Creative Commons** que se señala a continuación:

 Fundación Universidad de América	FUNDACIÓN UNIVERSIDAD DE AMÉRICA	Código:
	PROCESO: GESTIÓN DE BIBLIOTECA	Versión 0
	Autorización para Publicación en el Repositorio Digital Institucional – Lumieres	Marzo 2017

	Atribución- no comercial- sin derivar: permite distribuir, sin fines comerciales, sin obras derivadas, con reconocimiento del autor.	
	Atribución – no comercial: permite distribuir, crear obras derivadas, sin fines comerciales con reconocimiento del autor.	X
	Atribución – no comercial – compartir igual: permite distribuir, modificar, crear obras derivadas, sin fines económicos, siempre y cuando las obras derivadas estén licenciadas de la misma forma.	

Licencias completas: http://co.creativecommons.org/?page_id=13

Siempre y cuando se haga alusión de alguna parte o nota del trabajo, se debe tener en cuenta la correspondiente citación bibliográfica para darle crédito al trabajo y a sus autores.

De igual forma como autores autorizamos la consulta de los medios físicos del presente trabajo de grado así:

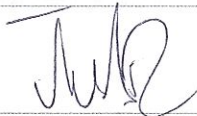
AUTORIZAMOS	SI	NO
La consulta física (sólo en las instalaciones de la Biblioteca) del CD-ROM y/o Impreso	X	
La reproducción por cualquier formato conocido o por conocer para efectos de preservación	x	

Información Confidencial: este Trabajo de Grado contiene información privilegiada, estratégica o secreta o se ha pedido su confidencialidad por parte del tercero, sobre quien se desarrolló la investigación. En caso afirmativo expresamente indicaremos, en carta adjunta, tal situación con el fin de que se respete la restricción de acceso.	SI	NO
		X

Para constancia se firma el presente documento en Bogotá, a los 21 días del mes de marzo del año 2017.

LOS AUTORES:

Autor 1

Nombres	Apellidos
Jhon Leonardo	Alonso Rios
Documento de identificación No	Firma
1016062168	

Autor 1

Nombres	Apellidos
Paula Catalina	Sánchez Pulido
Documento de identificación No	Firma
1010209530	