

DESARROLLO DE UNA PROPUESTA DE MEJORA PARA UN SISTEMA DE
POTABILIZACIÓN DE AGUA PARA EL ACUEDUCTO LA VENTA EL COFRE,
CAJIBÍO, CAUCA

JOHAN SEBASTIAN ROJAS LENGUA
GABRIELA TORRES SAMPER

FUNDACIÓN UNIVERSIDAD AMÉRICA
FACULTAD DE INGENIERÍAS
PROGRAMA DE INGENIERÍA QUÍMICA
BOGOTÁ D.C
2019

DESARROLLO DE UNA PROPUESTA DE MEJORA PARA UN SISTEMA DE
POTABILIZACIÓN DE AGUA PARA EL ACUEDUCTO LA VENTA EL COFRE,
CAJIBÍO, CAUCA

JOHAN SEBASTIAN ROJAS LENGUA
GABRIELA TORRES SAMPER

Proyecto integral de grado para optar el título de
INGENIERO QUÍMICO

Director
ING. IDELFONSO BOLAÑOS

FUNDACION UNIVERSIDAD AMERICA
FACULTAD DE INGENIERÍAS
PROGRAMA DE INGENIERÍA QUÍMICA
BOGOTA D.C
2019

Nota de aceptación

Ing. Diana Marcela Cuesta Parra

Ing. Oscar Libardo Lombana
Charfuelan

Bogotá D.C (Agosto de 2019)

DIRECTIVAS DE LA UNIVERSIDAD

Presidente Institucional y Rector del Claustro:

Dr. MARIO POSADA GARCÍA-PEÑA

Vicerrector de Desarrollo y Recursos Humanos:

Dr. LUIS JAIME POSADA GARCÍA-PEÑA

Vicerrectoría Académica y de Posgrados:

Dra. ANA JOSEFA HERRERA VARGAS

Decano Facultad de Ingeniería:

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

Mi primer agradecimiento va dirigido a Dios por permitirme llegar a este punto de mi vida, porque siempre he recibido bendiciones de una u otra forma y sé que siempre está conmigo en cualquier circunstancia.

Agradezco a un ángel que siempre estuvo y sigue estando conmigo, mi abuelita Elsa; Siempre sentí su apoyo, su amor de abuela era inigualable. Sé que en cualquier lugar del cielo se siente orgullosa por verme aquí y de lo que he logrado gracias a la fortaleza que me brindo estando en vida conmigo.

Mis padres son lo más importante que tengo ahora en mi vida, agradezco con mi corazón todo el esfuerzo que hicieron por mí, su confianza, su apoyo incondicional donde no importaron los problemas que hubieron dentro de mí etapa universitaria y la educación que tuve, gracias a ellos estoy aquí para lograr esta meta. Mi hermana que con tantas experiencias vividas durante nuestra niñez son motivos que me llenan de fuerza para hacerla sentir orgullosa al igual que mis padres y ser un ejemplo para ella siempre ha sido mi objetivo y por esto agradezco también esa confianza puesta en mí y ese gran cariño de hermanos.

Mil gracias a una persona que desde bebé me ha cuidado y educado como su hijo, mi tío Félix, siendo una persona exigente ahora veo el valor de eso, lo cual ha forjado mis principios a través del tiempo y que siempre hizo lo que estaba a su alcance para ayudarme y finalmente verme como lo que siempre quiso, como un profesional.

Por ultimo agradezco a mis amigos, profesores y demás familia por estar conmigo.

Johan Sebastián Rojas

AGRADECIMIENTOS

Aquí termina una gran etapa de mi vida, no fue un camino fácil, pero se termina con una satisfacción enorme y mi mayor agradecimiento es con Dios, por darme el valor de llegar hasta aquí, por llenarme de amor por la Ingeniería Química, por permitirme creer en él y nunca soltar mi mano.

Gracias a mi mamá, has estado en todo este proceso conmigo, sufrimos, lloramos y nos alegramos juntas, eres mi sabia consejera, mi apoyo incondicional y quien siempre me ha inspirado a ser cada día mejor. Gracias a mi papá quien ha sido mi gran héroe desde siempre especialmente en momentos de angustia, mi fuente de sabiduría, en ti jamás existió la frase “no puedo” y es por ti que he llegado hasta aquí y vamos por más.

Gracias mi hermano Camilo y mi sobrina Dani, porque un abrazo de ustedes vale oro, porque sé cuánto creen en mí, porque me motivan y porque sé que siempre puedo contar con ustedes.

Gracias a Messua, has sido un gran ejemplo para mi vida, gracias por apoyarme siempre incluso estando tan lejos, por tu lealtad y toda la confianza que depositaste en mí.

En general gracias a toda mi familia, a mis tíos, a mis primos, a mis amigos, porque han sido mis animadores número uno, me siento muy afortunada de que cada uno de ustedes me aportara algo para llegar hasta donde estoy, gracias porque me han demostrado que siempre puedo contar con ustedes y que estando juntos siempre encontramos una solución para todo.

Gabriela Torres Samper

CONTENIDO

	pág
INTRODUCCIÓN	20
1. GENERALIDADES	22
1.1 MUNICIPIO DE CAJIBÍO	22
1.2 ACUEDUCTO LA VENTA EL COFRE	22
1.3 ALTITUD, TEMPERATURA Y PRECIPITACIÓN ANUAL	23
1.4 CAPACIDAD NOMINAL DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO	24
1.4.1 Cobertura de Servicio.	24
2. MARCO TEÓRICO	25
2.1 AGUA CRUDA	25
2.2 AGUA POTABLE	25
2.3 CARACTERÍSTICAS FÍSICAS	25
2.3.1 Turbidez.	26
2.3.2 Sólidos y Residuos.	26
2.3.3 Color. Con base a	26
2.3.4 Olor y Sabor.	27
2.4 CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS	27
2.4.1 Alcalinidad.	27
2.4.2 Dureza.	27
2.4.3 pH.	28
2.4.4 Hierro Total.	28
2.4.5 Cloruros.	28
2.4.6 Cloro Residual.	29
2.4.7 Nitrato y Nitrito.	29
2.5 ANÁLISIS MICROBIOLÓGICO EN EL AGUA	30
2.5.1 Coliformes Totales.	30
2.5.2 Coliformes Fecales.	30
2.6 PRETRATAMIENTO	31
2.7 POTABILIZACIÓN DEL AGUA	31
2.8 TRATAMIENTO	32
2.8.1 Cloración.	33
2.8.2 Aireación.	33
2.8.3 Coagulación.	33
2.8.4 Floculación	35
2.8.5 Decantación.	35
2.8.6 Sedimentación.	36
2.8.7 Filtración.	36
2.8.8 Desinfección.	38
2.9 MARCO LEGAL	38

2.9.1 Artículo 365 de la constitución política de Colombia de 1991.	39
2.9.2 Resolución 1096 de 2000 (RAS).	39
2.9.3 Resolución 2115 de 2007.	39
2.9.4 Resolución 2115 del 22 de junio de 2007.	39
2.9.5 Norma técnica colombiana NTC-ISO 5667-2.	
Norma técnica colombiana.	40
2.9.6 Norma técnica colombiana NTC 3903. Norma técnica colombiana.	40
3. DIAGNÓSTICO DE LA PLANTA	41
3.1 CARACTERÍSTICAS DEL PROCESO	41
3.1.1 Captación del Agua.	41
3.1.2 Aducción de Agua.	42
3.1.3 Desarenador.	42
3.1.4 Coagulación – Flocculación:	43
3.1.5 Flocculación. Según Arboleda	45
3.1.6 Sedimentación.	45
3.1.7 Filtración	46
3.1.8 Desinfección.	47
3.1.9 Almacenamiento De Agua.	48
3.1.10 Redes De Distribución.	49
3.3 ANÁLISIS DE LAS CARACTERISTICAS FÍSICAS, QUÍMICAS Y MICROBIOLÓGICAS DEL AGUA	55
3.4 CARACTERIZACIÓN DEL AGUA TRATADA EN ÉPOCA DE LLUVIA Y SEQUIA	55
4. PLAN DE MEJORAMIENTO PARA LA PLANTA	61
4.1 ALTERNATIVAS PARA LA POTABILIZACIÓN DE AGUA	61
4.1.1 Alternativa #1.	61
4.1.2 Alternativa #2.	64
4.1.3 Alternativa #3.	66
4.2 SELECCIÓN DE LA ALTERNATIVA DE MEJORA	67
4.3 APLICACIÓN DE LA ALTERNATIVA SELECCIONADA	71
4.4 DESARROLLO EXPERIMENTAL	72
4.4.1 Metodología de experimentación.	73
4.4.2 Test De Jarras.	73
4.5 ANÁLISIS DE RESULTADOS DE DOSIFICACIÓN DEL POLICLORURO DE ALUMINIO	80
4.6 EVALUACIÓN DE UN NUEVO LECHO FILTRANTE	81
4.6.1 Propuesta de los lechos filtrantes	81
4.6.2 Tasa de eficiencia del lecho filtrante actual.	82
4.6.3 Desarrollo Experimental Del Lecho Filtrante.	82
5.6.4 Resultados del desarrollo experimental del lecho filtrante.	84
4.6.7.Bombas dosificadoras de PAC.	86

4.6.8 Cambio del lecho filtrante.	88
5. ANÁLISIS FINANCIERO	91
5.1 COSTOS DE OPERACIÓN ACTUAL	91
5.1.1 Flujo de caja actual.	93
5.2 COSTOS DE MATERIALES E INSUMOS DE LA PROPUESTA DE MEJORA	94
5.2.2 Filtración.	96
5.2.3 Captación.	96
5.3. INVERSIONES DE LA PROPUESTA DE MEJORA	97
6. CONCLUSIONES	103
7. RECOMENDACIONES	104
BIBLIOGRAFIA	105
ANEXOS	112

LISTA DE TABLAS

	pág
Tabla 1. Ventajas de filtros arena	38
Tabla 2. Características físicas de la resolución 2007	40
Tabla 3. Propiedades relevantes de policloruro de aluminio.	44
Tabla 4. Especificaciones del filtro	46
Tabla 5. Propiedades relevantes de hipoclorito de calcio al 70 %	48
Tabla 6. Materiales de la red de distribución primaria	49
Tabla 7. Materiales y dimensiones de la red de distribución secundaria.	50
Tabla 8. Evaluación del lecho actual	54
Tabla 9. Caracterización de agua cruda, fuente río el Cofre.	58
Tabla 10. Caracterización de agua en el mes de Octubre	59
Tabla 11. Puntaje de los criterios de selección	67
Tabla 12. Matriz de selección de la mejor alternativa	70
Tabla 13. Fechas y cantidad de agua tomada en cada mes	73
Tabla 14. Resultados de parámetros de agua cruda y después de dosificar. Fecha 11 marzo 2019	75
Tabla 15. Resultados de parámetros de agua cruda y después de dosificar. Fecha 28 Marzo 2019	76
Tabla 16. Resultados de parámetros de agua cruda y después de dosificar.	78
Tabla 17. Resultados de parámetros de agua cruda y después de dosificar. Fecha 2 de abril 2019	79
Tabla 18. Escala laboratorio de lecho filtrante 1:10. Antracita, arena fina y grava.	83
Tabla 19. Escala de lecho filtrante 1:10. Antracita , arena media y grava	84
Tabla 20. Escala laboratorio de lecho filtrante 1:10 Carbón activado	84
Tabla 21. Resultado de turbiedad con cada uno de los lechos filtrante.	84
Tabla 22. Resultados de la caracterización del agua, después de la alternativa seleccionada.	85
Tabla 23. Comparación de las 3 bombas dosificadoras.	87
Tabla 24. Especificaciones técnicas del lecho filtrante.	89
Tabla 25. Gastos actuales de operación y mantenimiento	92
Tabla 26. Costos del coagulante	95
Tabla 27. Comparación de tres tipos de bombas dosificadoras	95
Tabla 28. Costo del lecho filtrante	96
Tabla 29. Materiales requeridos para la unidad de captación	97
Tabla 30. Costos de inversión de la propuesta de mejora.	98
Tabla 31. Costos operacionales con proyecto	99
Tabla 32. Comparación de los costos actuales con los costos futuros de la propuesta	100

LISTA DE CUADROS

	pág
Cuadro 1. Suministro a veredas desde el acueducto	24
Cuadro 2. Procesos unitarios referidos a cada grado de tratamiento	32
Cuadro 3. Procesos unitarios que pueden ser utilizados en la potabilización en función de los contaminantes presentes	33
Cuadro 4. Clasificación de los lechos filtrantes	37
Cuadro 5. Ventajas y desventajas de la alternativa 1.	63
Cuadro 6. Ventajas y desventajas de la alternativa 2.	65
Cuadro 7. Ventajas y desventajas alternativa 3.	66

LISTA DE GRÁFICOS

	pág
Gráfico 1. Climograma de Cajibío, Cauca	56
Gráfico 2. Resultados de turbiedad vs dosificación de PAC	75
Gráfico 3 Resultados pH vs Dosificación de PAC.	76
Gráfico 4 Resultados de turbiedad de PAC en la fecha: 28 de Marzo de 2019.	77
Gráfico 5 Resultado de pH vs Concentración de PAC para la fecha: de Marzo de 2019.	28 77
Gráfico 6. Resultados de turbiedad vs Dosificación de PAC en la fecha: de Abril de 2019.	2 78
Gráfico 7. Resultados de pH vs Concentración de PAC para la fecha: de Abril de 2019	2 79
Gráfico 8. Resultados de turbiedad vs Dosificación de PAC en la fecha: de abril de 2019.	8 80
Gráfico 9. Resultados de pH vs Concentración de PAC para la fecha: de Abril de 2019.	8 80
Gráfico 10. Presión de Flujo bomba dosificadora Dositec MD.	87

LISTA DE FIGURAS

	pág
Figura 1. Área de estudio, Cajibío, Cauca	23
Figura 2. Concentración de coloide, expresada como concentración de superficie.	35
Figura 3. Captación de agua en el acueducto La Venta el Cofre.	42
Figura 4. Viaducto tubería de aducción.	42
Figura 5. Desarenador.	43
Figura 6. Punto de inyección de coagulante y toma de agua cruda para laboratorio.	44
Figura 7. Floculador de pantallas de flujo horizontal.	45
Figura 8. Sedimentadores.	46
Figura 9. Filtros.	47
Figura 10. Punto de inyección de hipoclorito de calcio al 70%.	48
Figura 11. Tanques de almacenamiento.	49
Figura 12. Tipos de lecho filtrante	83
Figura 13. Flujo de caja anual	93
Figura 14. Flujo de caja con el proyecto	100

LISTA DE ECUACIONES

	pág
Ecuación 1.Eficiencia de la filtración.	54
Ecuación 2.Puntuación Global ponderada	67
Ecuación 3. Dosis del coagulante	74
Ecuación 4. Valor presente.	94

LISTA DE ANEXOS

	pág
Anexo A. Verificacin diagnostico operacional en la etapa de floculacion	113
Anexo B. Diagnostico operacional del sedimentador	115
Anexo C. Cacterizacion de agua tratada en el mes de junio	116
Anexo D. Cacterizacion de agua tratada en el mes de octubre	117
Anexo E. Ficha tecnica de la antracita	118
Anexo F. Ficha tecnica de la arena silice	119
Anexo G. Cotización de material filtrante	120
Anexo H. Caracterizacion de agua despuesde aplicar la alternativa seleccionada	121
Anexo I. Cotización de la grava	122
Anexo J. Cotizacion de bomba dosificadora	123
Anexo K. Diseño de la captación	126
Anexo L. Dosis optima de coagulante	133

GLOSARIO

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

BOCATOMA: una bocatoma, o captación, es una estructura hidráulica destinada a derivar desde unos cursos de agua, río, arroyo, o canal acuático una parte del agua disponible en esta, con el fin de dirigirlas a sistemas hidráulicos o acueductos.

CAUDAL: es el volumen de agua que pasa a través de una sección transversal de un cuerpo de agua en una unidad de tiempo.

COAGULANTE: es una sustancia química que al ser añadida al agua produce la unión de partículas que se encuentran en suspensión y su agrupamiento en coágulos.

DESARENADOR: es el equipo que es utilizado para la remoción de arenas y sólidos suspendidos presentes en el agua, a partir del proceso de sedimentación.

DESINFECCIÓN: es el proceso de desactivación de o destrucción de microorganismos patógenos que puedan encontrarse en el agua que va a ser tratada.

FLOCULACIÓN: es La aglomeración o aglutinación de partículas suspendidas en agua para formar partículas de mayor tamaño llamados flóculos que se pueden eliminar por medio de sedimentación o flotación.

PARTES POR MILLÓN: partes por millón (ppm), es una unidad de medida de concentración. El cual se refiere a la cantidad presente de un soluto, en un millón de partículas de solución. Se abrevia como "ppm" y equivalentemente se expresa como mg/L.

SÓLIDOS DISUELTOS: son sólidos que por sus características químicas y físicas se pueden disolver completamente en agua y se pueden tratar por procedimientos como la filtración.

SÓLIDOS SUSPENDIDOS: sólidos 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.

TURBIDEZ: propiedad óptica del agua fundamentada en la dispersión de la luz reflejada por las partículas en suspensión presentes y es indicador del grado de transparencia de un líquido.

RESUMEN

Para la llevar a cabo el desarrollo de una propuesta de mejora para el sistema de potabilización de agua para el acueducto la Venta el Cofre en Cajibío, Cauca se realizó un diagnóstico a fondo de la planta, donde se evaluó el estado actual, su infraestructura, los reactivos usados por esta y se identificaron las fallas que pueden estar afectando al proceso.

Se tomaron caracterizaciones del agua antes y después de ser tratada por el acueducto para saber con exactitud qué parámetros del agua están siendo afectados, y allí se evidenció que los contenidos de hierro y la turbiedad están en un nivel más alto del que la resolución 2115 del 2007 lo permite.

Esto generó que se identificaran los puntos claves del problema. Se evaluó la dosificación actual y se hizo una corrección de esta a escala laboratorio en las épocas de lluvia, adicionalmente se hizo una propuesta de un nuevo lecho filtrante puesto que el actual estaba dejando residuos de sedimentos e impedía tener una óptima filtración con una eficiencia del 48%. Por tanto, se hicieron pruebas experimentales con muestras de agua y tres tipos diferentes de lechos filtrantes en donde el lecho arena fina, antracita y grava genera una nueva eficiencia del 86% y se considera como uno de los mejores para la planta.

Seguido a esto se realiza una nueva caracterización de agua después de haber pasado por el proceso de la dosificación de Policloruro de Aluminio y del nuevo lecho filtrante y se obtuvo que los parámetros que estaban siendo afectados ahora se encuentran en los niveles permitidos por la norma.

Finalmente se hizo una cotización de todos los equipos más los costos operativos y se obtuvieron todos los costos necesarios para llevar a cabo la propuesta de mejora.

PALABRAS CLAVE: Coagulante, dosificación, hierro, turbiedad, agua potable.

INTRODUCCIÓN

Según Cristian Jiménez¹ en Colombia la situación en términos de agua potable en las zonas rurales es un tema de interés común, ya que estas pequeñas comunidades forman cerca de tres millones de colombianos en zonas rurales, que aún viven sin agua potable, cerca del 28% de la población en Colombia según la revista EL TIEMPO se presentan problemas por la falta de un acueducto teniendo así que buscar el recurso por sus medios, usando agua cruda, tomada directamente de las fuentes, exponiéndose constantemente a enfermedades. El problema no solo es la falta de acueductos sino también la mala calidad del agua en algunos acueductos que la tratan. Este fenómeno se debe también al cambio climático y factores de contaminación a los recursos hídricos.

Hay ciertos factores que afectan el desarrollo de una zona rural en cuanto a agua potable en los cuales se encuentra falta de tratamiento de aguas, inversiones que se focalizan en las zonas de mayor población dejando sistemas arcaicos o nulos en las poblaciones más pequeñas, las tarifas de estos pequeños acueductos en consecuencia de la situación económica de los habitantes afectados y por último las fuentes de abastecimiento ya que las condiciones climáticas y deforestación pueden afectar la calidad del agua lo cual indica que en esta clase de plantas de tratamiento no es posible tratar ya sea por capacidad o condiciones críticas como solo son los las sequías o caudales bajos o sólidos presentes.

El propósito del proyecto es proponer diferentes alternativas que serán evaluadas posteriormente para escoger la mejor opción, donde se tendrá en cuenta las especificaciones técnicas con las que cuenta la planta de tratamiento, procedimientos empleados, condiciones ambientales y verificar las necesidades de la planta con el fin de mejorar la parte técnica y operativa.

Para la ejecución del trabajo se realizaron unas actividades de investigación para la recolección de información para conocer el estado actual de la problemática, también un estudio técnico en cual se realizaron caracterizaciones de agua, cronogramas de actividades y presupuestos.

¹ JIMÉNEZ, Cristian A. ¿Cómo es el avance en la cobertura de acueducto en Colombia? En: El Tiempo. Bogotá, D.C. 26, Marzo, 2015.

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

Desarrollar una propuesta de mejora para un sistema de potabilización del agua para el acueducto la Venta el Cofre, Cajibío, Cauca.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Determinar el estado actual del tratamiento de aguas del acueducto.
- Seleccionar el proceso más adecuado para la mejora del tratamiento.
- Definir los requerimientos técnicos de la alternativa seleccionada.
- Realizar el análisis financiero de la alternativa seleccionada.

1. GENERALIDADES

La obtención de la información requerida de la planta de tratamiento de agua potable en el departamento de Cajibío, Cauca, se logra realizando una consulta de diferentes documentos como: informes del agua suministrados por el acueducto e información directa de la empresa y fuentes bibliográficas.

1.1 MUNICIPIO DE CAJIBÍO

Según la investigación hecha por María José Aguilera y Leonardo Salcedo,² el municipio de Cajibío está localizado entre la cordillera occidental y central en el centro del departamento del Cauca, como se puede apreciar en la Figura 1. Tiene una extensión total de 54.700 hectáreas y en su mayoría de territorio es quebrado y de altas pendientes montañosas, especialmente hacia el occidente, este municipio está constituido por los ríos Cauca, Palace, Cajibío, Urbío, y Piendamó, límite con los municipios de Morales y Piendamó.

El municipio cuenta con un ecosistema ecuatorial con variedad de climas y elevaciones, lo cual incluye a muchas especies vegetales en bosques, así como una buena fuente hídrica compuesta por las microcuencas de los ríos Urbío, Cajibío, Piendamó y Puente alto.

1.2 ACUEDUCTO LA VENTA EL COFRE

El acueducto la Venta el Cofre se crea ante la necesidad de agua potable dentro del municipio y sus aledaños, “es una empresa de servicios públicos sin ánimo de lucro que presta sus servicios para el saneamiento básico del agua, sin intervención estatal, donde se garantiza la prestación del servicio de forma eficiente, manejo administrativo de recursos a través de tecnologías y talento humano por medio de estrategias de sostenibilidad ambiental, económica y social”.³ El acueducto provee cobertura de servicio a un total de cinco veredas del municipio de Cajibío.

² AGUILERA, María José. SALCEDO, Leonardo. Análisis de estructura de la propiedad en el municipio de Cajibío (Cauca). En INCODER - Centro de estudios interculturales de la Universidad Javeriana de Cali. [Sitio web]. Cali: INCODER [Consulta 24 octubre 2018]. Archivo pdf. Disponible en: https://www.javerianacali.Edu.co/sites/ujc/files/node/field-documents/field_document_file/informefinal_analisis_de_estructura_de_la_propiedad_en_el_municipio_de_cajibio_nov20.pdf

³ ASOCIACIÓN ACUEDUCTO LA VENTA EL COFRE, Acueducto rural. [sitio web]. Cauca. [consultado: 24 octubre 2018]. Disponible en: <https://www.blogger.com/profile/11530208596775628082>

1.3 FUENTE HÍDRICA

La fuente hídrica del acueducto es el río el Cofre el cual tiene su origen en la cordillera central, en el departamento del Cauca, en el municipio de Totoró, luego fluye hacia el oeste antes de llegar al río Palacé al norte de Popayán.

1.4 ALTITUD, TEMPERATURA Y PRECIPITACIÓN ANUAL

La microcuenca del río Cofre cuenta con una extensión de 212.46 Km² que en su mayoría están ubicados en Totoró, en este mismo municipio donde nace el río Cofre a 3.400 m de altitud donde la primera parte de su recorrido pasa por suelos de montaña y zonas de páramo hasta desembocar en aguas del río Palacé a una altura de 1.800 m.s.n.m. en cuanto a la precipitación y temperatura media de la microcuenca, según los registros del IDEAM⁴, son de 1615.12 mm/año y 14.4°C, respectivamente.

Figura 1. Área de estudio, Cajibío, Cauca



Fuente: AGUILERA, María José. SALCEDO, Leonardo. Análisis de estructura de la propiedad en el municipio de Cajibío (Cauca). Modificado por los autores. 2018.

⁴ YANZA L., Jeffrey.; Narváez D., Santiago.; Terán R., Silvio.; Núñez, Mabel. Reglamentación de Uso del Agua de la Derivación No. 1 derecha del río Cofre. Localización geográfica y Área de drenaje. [sitio web]. Popayán: Corporación Autónoma Regional del Cauca (CRC). [consultado 28 octubre 2018]. Archivo pdf. Disponible en: <http://web2018.crc.gov.co/images/PDF2017/documentosreglamentacion/Documento-Reglamentacin-Derivacin-1-Ro-Cofre-14-12-17.pdf>

1.5 CAPACIDAD NOMINAL DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO

La capacidad nominal de la planta es de 10 L/s, el periodo de diseño fue considerado a 20 años, con una proyección de población de 3.280 habitantes.

1.5.1 Cobertura de Servicio. El suministro del servicio de agua potable, se realiza a cinco veredas del Corregimiento La Venta, municipio de Cajibío-Cauca. Como se representa en el cuadro 1.

Cuadro 1. Suministro a veredas desde el acueducto

VEREDAS	Isla del Pontón
	La Venta
	El Cofre
	La Viuda
	Siloé

Fuente: elaboración propia

Teniendo en cuenta el número de suscriptores actualmente atendidos, el número de usuarios es de 3.832 y tiene un área de 981,9459 Hectáreas.

2. MARCO TEÓRICO

El agua potable es la mejor estrategia de prevención de enfermedades por lo cual es evidente que el desarrollo de un municipio no podría progresar si no tiene una infraestructura adecuada para garantizar la prestación de un servicio apropiado. A partir de esto, se presentarán los conceptos claros los cuales se tratarán en toda la investigación para así proporcionar un buen desarrollo de este proyecto.

2.1 AGUA CRUDA

El agua cruda de la cual se llevará a cabo este proyecto viene del río el Cofre, sin tener ningún tipo de procesamiento, esta agua necesita de un tratamiento por cloro o uno de sus compuestos, hipoclorito o dióxido de cloro. Pueden existir problemas al realizar un tratamiento con esta agua en épocas de sequía prolongada.

Con base a lo proporcionado por Rotoplas S.A⁵, el agua cruda es aquella que no ha sido sometida a proceso de tratamiento. El propósito principal de un sistema de abastecimiento de agua es suministrar agua segura para el consumo humano. El grado de tratamiento y la combinación de los procesos de potabilización dependen de la fuente de agua y de su calidad, la cual varía según el contexto geográfico, hidrogeográfico y económico, según se trate de una región agrícola, urbana o industrial. Por ello, algunas zonas resultan más favorecidas que otras.

2.2 AGUA POTABLE

El agua potable se define como el agua que puede ser para consumo humano habiendo sido tratada por un proceso de potabilización y que no representa ningún riesgo para la salud.

Las características de esta agua se encuentran en el decreto 1575 de 2007⁶ que describe que el agua potable o agua para consumo humano, es aquella que por cumplir las características físicas, químicas y microbiológicas, reglamentadas en las normas de calidad en Colombia, es apta para el consumo humano.

2.3 CARACTERÍSTICAS FÍSICAS

El agua tiene ciertas características físicas que permiten definir las condiciones estéticas y de qué tan aceptable puede ser, estos criterios se basan en

⁵ ROTOPLAS S.A. Agua cruda [<https://rotoplas.com.mx/agua-cruda/>]. Ciudad de México, México, Delegación Miguel Hidalgo. [Consultado: 16 mayo 2019]. Disponible en <https://rotoplas.com.mx/agua-cruda/>

⁶ COLOMBIA. MINISTERIO DE AMBIENTE, VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL. Resolución 2115 de 2007. Bogotá.

características como la turbidez, los sólidos solubles e insolubles, el color, el olor y sabor, la temperatura y la conductividad.

2.3.1 Turbidez. De acuerdo con Lenntech⁷ Es una medida del grado en el cual el agua pierde su transparencia debido a la presencia de partículas en suspensión. Cuantos más sólidos en suspensión haya en el agua, más sucia parecerá ésta y más alta será la turbidez.

La turbidez es considerada una buena medida de la calidad del agua.

Hay varios parámetros que influyen en la turbidez del agua. Algunos de estos son:

- Fitoplancton.
- Sedimentos procedentes de la erosión.
- Sedimentos suspendidos del fondo (frecuentemente revueltos por peces que se alimentan por el fondo, como la carpa).
- Descarga de efluentes.
- Crecimiento de las algas.
- Escorrentía urbana.

2.3.2 Sólidos y Residuos. Según Cabera, Fleites y Contreras ⁸Se hace referencia a sólidos y residuos lo que se obtiene después de que una muestra de agua ha sido evaporada y secada, sus partículas pueden estar disueltas, lo cual no interfiere en la turbiedad más si afectara en el color y posiblemente en el olor del agua. Pueden formar coloidales que haría el agua más turbia, o pueden ser partículas suspendidas que estarán en el fondo cuando el agua se encuentre en reposo.

2.3.3 Color. Con base a Eumed ⁹Es la característica más visible y va de la mano con la turbiedad del agua, pero puede ser también independiente de ella. El color del agua puede ser afectado por la materia orgánica presente en el suelo, por presencia de compuestos químicos metálicos, por descomposición de materia, por el pH, la temperatura, entre otros. El color sin que el agua haya sido filtrada es conocido como color aparente y una vez esta ha sido procesada o filtrada se le conoce como el color verdadero.

⁷ LENNTECH. Wáter treatment solutions. Turbidez. [en línea].Lenntech [consultado 12 febrero 2019]. Recuperado de: <https://www.lenntech.es/turbidez.htm>

⁸ CABRERA, Xiomara. FLEITES Marisol. CONTRERAS, Ana. Estudio del proceso de coagulación floculación de aguas residuales de la empresa textil “Desembarco del granma” a escala de laboratorio”. En: Diciembre 2009. Vol. 29. No. 3. Pp.64-73 Recuperado de: <http://www.redalyc.org/pdf/4455/445543760009.pdf>

⁹ EUMED.NET. Manual de métodos analíticos para la determinación de parámetros fisicoquímicos básicos en aguas. Color. [Sitio web].Bogotá D.C. Eumed.net. [Consultado el 10 de octubre 2018]. Disponible en: <http://www.eumed.net/libros-gratis/2013a/1326/color-agua.html>

2.3.4 Olor y Sabor. Según Aznar ¹⁰ Estas dos características se deben a que hay sustancias químicas volátiles en el agua y presencia de materia en descomposición. La eliminación de estos puede realizarse por medio de aireación o la adición de carbón activado.

2.4 CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS

El agua es de los compuestos químicos más importantes, esta se puede encontrar tanto en estado líquido como gaseoso y tiene ciertas características físicas, químicas y microbiológicas para llegar a ser potable, dentro de estas se encuentran puntos de referencia, como su alcalinidad dureza, pH, hierro, cloruros o cloro residual libre, nitratos y sulfatos.

2.4.1 Alcalinidad. Según Vives¹¹, la alcalinidad la capacidad del agua para neutralizar ácidos y representa la suma de las bases que pueden ser tituladas. Dado que la alcalinidad de aguas superficiales está determinada generalmente por el contenido de carbonatos, bicarbonatos e hidróxidos, ésta se toma como un indicador de dichas especies iónicas. No sólo representa el principal sistema amortiguador (tampón, buffer) del agua dulce, sino que también desempeña un rol principal en la productividad de cuerpos de agua naturales, sirviendo como una fuente de reserva de CO₂ para la fotosíntesis. Internacionalmente es aceptada una alcalinidad mínima de 20 mg de CaCO₃/L para mantener la vida acuática. Cuando las aguas tienen alcalinidades inferiores se vuelven muy sensibles a la contaminación, ya que no tienen capacidad para oponerse a las modificaciones que generen disminuciones del pH (acidificación). Se han propuesto clasificaciones de las aguas según su capacidad amortiguadora (alcalinidad), lo que permite manejar descriptores categóricos sencillos a ser utilizados en el análisis de calidad de agua.

2.4.2 Dureza. Con base al manual de Pimienta ¹² La dureza es debida a la presencia de calcio y de magnesio. Anteriormente esta era determinada por la cantidad de jabón necesario para la formación de una espuma persistente. Esta puede ser conocida como dureza total, sin embargo, existe una dureza temporal que hace referencia a la diferencia entre la dureza total y la dureza permanente.

¹⁰ AZNAR, Antonio. Determinación de los parámetros físico-químicos de calidad de las aguas. En: Instituto tecnológico de Química y materiales. [Sitio web]. [Consultado 10 octubre 2018]. Archivo pdf. Disponible en: <http://ocw.uc3m.es/ingenieria-quimica/ingenieria-ambiental/otros-recursos-1/OR-F-001.pdf>

¹¹ VIVES José. Parámetros fisicoquímicos: Alcalinidad. En: Manual de técnicas analíticas para la determinación de parámetros fisicoquímicos y contaminantes marinos. Colombia.: Invemar, 2007.5p.

¹² PIMIENTA, Jean. La captación de aguas subterráneas. Dureza del agua. 2 ed. Barcelona, España. Editores técnicos asociados sea. 1980. 186 p.

2.4.3 pH. Con base el estudio técnico de GESTA¹³ Esta característica es la que influye en diferentes fenómenos como son la corrosión y las incrustaciones en las redes de distribución y tuberías. Determina el nivel de acidez o alcalinidad. La escala de pH se usa para clasificar soluciones en términos de su acidez o alcalinidad (qué tan básica es). Puesto que la escala está basada en valores de pH, es logarítmica, lo que significa que un cambio en una unidad de pH corresponde a un cambio diez veces mayor en la concentración de iones H⁺. A menudo se dice que la escala de pH va de 0 a 14 y la mayoría de las soluciones entran en este rango, sin embargo es posible encontrar soluciones con pH menor a 0 o mayor a 14. Cualquier valor menor a 7.0 es ácido y cualquier valor mayor a 7.0 es básico o alcalino.

2.4.4 Hierro Total. Con base a la investigación de PSA¹⁴ El hierro y el manganeso son uno de los metales más abundantes de la corteza terrestre y suelen encontrarse asociados entre sí. Su presencia en el agua puede deberse a diferentes causas:

- Utilización de coagulantes de hierro.
- Corrosión de tuberías durante la distribución de agua.
- Origen natural en muchas fuentes de aguas superficiales y subterráneas.

En ocasiones la presencia del hierro en el agua está asociada a la proliferación de cierto grupo de algas causantes de la marea roja. Cuando la concentración de hierro es mayor a 0,3 ppm y la de manganeso mayor a 0,1 ppm se presenta problemas en el uso y manejo del agua.

Usualmente este elemento se encuentra en altas concentraciones en el cual el agua es cruda, es el causante de la afectación del sabor en aguas y también causa obstrucciones, cambio de color lo que está visto mal estéticamente. Cuando hay condiciones de reacción para el hierro en el agua, este es encontrado de forma de hierro ferroso. No es un causante de problemas en la salud y en cuanto el agua ya es potable este se da debido a las filtraciones del suelo, de la tubería incluso de piedras encontradas durante el proceso de potabilización.

2.4.5 Cloruros. Según el portal Ambientum¹⁵ Las aguas naturales tienen contenidos muy variables en cloruros dependiendo de las características de los terrenos que atraviesen pero, en cualquier caso, esta cantidad siempre es menor que las que se

¹³ GRUPO DE ESTUDIO TECNICO AMBIENTAL PARA EL AGUA- GESTA AGUA. En GESTA. [sitio web]. Perú. [Consulta 24 febrero 2019]. Archivo pdf. Disponible en : http://www.digesa.minsa.gob.pe/DEPA/informes_tecnicos/GRUPO%20DE%20USO%201.pdf

¹⁴ PSA MEJORA TU VIDA. Hierro y manganeso. Problemas en el uso y manejo del agua. [Sitio web]. Perú. [Consulta: 16 enero 2019] Disponible en : <https://www.psa.com.ar>

¹⁵ AMBIENTUM. El portal profesional del medio ambiente. [Sitio web]. Madrid. [Consulta: 15 enero 2019]. Disponible en: https://www.ambientum.com/enciclopedia_medioambiental/aguas/determinacion_de_cloruro. Asp. Recuperado en: https://www.ambientum.com/enciclopedia_medioambiental/aguas/determinacion_de_cloruro.asp

encuentran en las aguas residuales. El aumento en cloruros de un agua puede tener orígenes diversos. Si se trata de una zona costera puede deberse a infiltraciones de agua del mar. En el caso de una zona árida el aumento de cloruros en un agua se debe al lavado de los suelos producido por fuertes lluvias. En último caso, el aumento de cloruros puede deberse a la contaminación del agua por aguas residuales. Los contenidos en cloruros de las aguas naturales no suelen sobrepasar los 50-60 mg/l. El contenido en cloruros no suele plantear problemas de potabilidad a las aguas de consumo. Un contenido elevado de cloruros puede dañar las conducciones y estructuras metálicas y perjudicar el crecimiento vegetal. La reglamentación técnico-sanitaria española establece como valor orientador de calidad 250 mg/l de Cl y, como límite máximo tolerable, 350 mg/l de Cl, ya que no representan en un agua de consumo humano más inconvenientes que el gusto desagradable del agua.

2.4.6 Cloro Residual. Con base a la investigación de Aqua tecnología quien otorga esta definición¹⁶ El cloro es el agente más utilizado en el mundo como desinfectante en el agua de consumo humano, debido principalmente a:

- Su carácter fuertemente oxidante, responsable de la destrucción de los agentes patógenos (en especial bacterias) y numerosos compuestos causantes de malos sabores.
- Su más que comprobada inocuidad a las concentraciones utilizadas.
- La facilidad de controlar y comprobar unos niveles adecuados.

Es fundamental mantener en las redes de distribución pequeñas concentraciones de cloro libre residual, desde las potabilizadoras hasta las acometidas de los consumidores, para asegurar que el agua ha sido convenientemente desinfectada. No obstante, es importante señalar que la ausencia de cloro libre residual no implica la presencia de contaminación microbiológica.

El cloro residual libre en el agua de consumo humano se encuentra como una combinación de hipoclorito y ácido hipocloroso, en una proporción que varía en función del pH. El cloro residual combinado es el resultado de la combinación del cloro con el amonio (cloraminas), y su poder desinfectante es menor que el libre. La suma de los dos constituye el cloro residual total.

2.4.7 Nitrato y Nitrito. Según Sigler¹⁷ El estándar por nitrato-N es 10.0 mg/L en el agua potable, o 1 centésima parte de un gramo en un litro de agua. El estándar por nitrito-N es 1 mg/L. Estos estándares solamente regulan las fuentes de agua

¹⁶ AQUA TECNOLOGÍA. INGENIERÍA EN TRATAMIENTO DE AGUA Y PROCESOS. [Sitio web]. Perú. [Consulta 15 enero 2019]. Disponible en: <http://acquatecnologiaperu.com>

¹⁷ SIGLER, Adam.; BAUDER, Jim. Nitrato y nitrito. EN: WELL EDUCATED. [Sitio web]. Montana: Universidad estatal de Montana. [Consulta 10 Abril 2019]. Archivo pdf. Disponible en http://region8water.colostate.edu/PDFs/we_espanol/Nitrate%202012-11-15-SP.pdf.

pública, pero son una guía relevante para dueños de pozos de agua privados.

2.5 ANÁLISIS MICROBIOLÓGICO EN EL AGUA

De acuerdo con el Foro de análisis microbiológico¹⁸ puede definir el análisis microbiológico como el conjunto de operaciones encaminadas a determinar los microorganismos presentes en una muestra problema de AGUA.

Los factores que inciden en la flora bacteriana:

- La acidez disminuye el contenido de microorganismos.
- La materia orgánica lo aumenta.
- Mucho oxígeno disuelto disminuye los microorganismos anaerobios.
- Las sales, si son abundantes, producen que el agua sea casi estéril.
- Si existe poca cantidad de sales se estimula el desarrollo bacteriano.
- La filtración disminuye el número de microorganismos.
- La temperatura puede aumentar o disminuir el contenido bacteriano.
- La turbidez hace que el contenido bacteriano pueda aumentar, ya que los rayos U.V. no manifiestan su acción.
- Los protozoos fagocitan bacterias y así disminuyen el número de estas.

El interés se centra en los microorganismos patógenos, que son los diferentes tipos de bacterias, virus, protozoos y otros organismos, que transmiten enfermedades.

2.5.1 Coliformes Totales. Conforme a Díaz¹⁹ estos coliformes totales son microorganismos de la familia de las enterobacterias, Estos podrían ser distinguidos como Escherichia , enterobacter, citrobacter, serratia, klebsiella y estas bacterias pueden ser encontradas tanto en alimentos como en el agua potable ya que estos microorganismos pueden transmitirse tanto por vía alimenticia, vegetal incluso esta bacteria puede encontrarse en el cuerpo humano. En aguas tratadas, los coliformes totales funcionan como una alerta de que ocurrió contaminación, sin identificar el origen. Indican que hubo fallas en el tratamiento, en la distribución o en las propias fuentes domiciliarias. Su presencia acciona los mecanismos de control de calidad y de procesamiento dentro de la planta de tratamiento de agua, e intensifica la vigilancia en la red de distribución.

2.5.2 Coliformes Fecales. Según Díaz²⁰ Estos coliformes son capaces de fermentar la lactosa a 44.5°C y aproximadamente el 95% son formados por

¹⁸ FORO análisis microbiológico del agua [en línea]. Cartagena. José María Obon de Castro. [Fecha de consulta: 16 enero 2019]. Archivo pdf. Disponible en : https://www.upct.es/~minaeees/analisis_microbiologico_aguas.pdf

¹⁹ DIAZ DELGADO Carlos. Indicadores de contaminación fecal en aguas. En: Agua potable para comunidades rurales, reúso y tratamientos avanzados de aguas residuales domésticas. Buenos Aires: RIPDA-CYTED, 2001 p.224.

²⁰ Ibid.,p225

Escherichia coli, estos son encontrados en las heces de animales. El problema de estas en cuanto al agua es que tienden a multiplicarse en ella, estos son termo tolerantes.

2.6 PRETRATAMIENTO

De acuerdo con Camacho Chulluncuy ²¹ con la etapa de pre tratamiento el agua debe ser sometida a unos procesos de calidad con unos niveles de aceptabilidad estipuladas según reglamentación establecida para que sea apta para el consumo humano. Esto se da por medio de procesos físicos y mecánicos para separar el agua de materiales de diferentes tamaños, grasas en general o naturaleza de esta. Es para eliminar materiales de gran tamaño lo cual es importante, ya que de no cumplirse esto podría afectar los procesos posteriores. Entre los procesos de pre tratamiento se encuentran unidades de operación como los desarenadores, presedimentadores, prefiltros y microtamices; los cuales tienen como objetivo eliminar o retener barros, grava o arenas, mientras que el agua clarificada sigue a la siguiente etapa y generalmente se utilizan también rejillas o diferentes tipos de tamices.

2.7 POTABILIZACIÓN DEL AGUA

El tratamiento y potabilización de aguas es una de las formas más antiguas para proteger la salud pública, se conoce que las fuentes naturales de agua contienen grandes cantidades de sustancias orgánicas e inorgánicas. La presencia y la concentración de estas impurezas en el agua cruda cambian según el tipo de fuente de agua, dado que la calidad del agua de ríos, lagos y acuíferos son diferentes. Por tal razón, las plantas de tratamiento se han diseñado con el objetivo de mejorar la calidad del agua antes de ser distribuida al consumidor final, en este proceso se remueven las impurezas, microorganismos, minerales, metales pesados y sustancias que provocan dureza y mal aspecto (olores y sabores desagradables).

Los procesos indispensables que corresponden a un grado de tratamiento se aprecian en el cuadro 2.

²¹ CHULLINCUY CAMACHO, Nadia cristina. Tratamiento de agua para consumo humano. En: Sistema de información científica. [Sitio web]. Perú: Universidad autónoma de san marcos. [Consulta 11 abril 2019]. Archivo pdf. Disponible en: <http://www.redalyc.org/pdf/3374/337428495008.pdf>

Cuadro 2. Procesos unitarios referidos a cada grado de tratamiento

Grado de tratamiento	Composición de tratamiento	Descripción
TIPO A1	Tratamiento físico simple + desinfección	Filtración rápida + desinfección
TIPO A2	Tratamiento normal + tratamiento químico + desinfección	Per cloración + coagulación / floculación +decantación +filtración + desinfección
TIPO A3	Tratamiento físico y químico intensos + afino + desinfección	Cloración +coagulación / floculación + decantación +filtración +afino con carbón activado +desinfección

Fuente: ROMERO, Mynor. Tratamientos utilizados en potabilización de agua. Universidad Rafael Landívar. Modificado por los autores.

2.8 TRATAMIENTO

Los tratamientos de todo el proceso de potabilización de agua, según Romero²² se fijan en los siguientes propósitos:

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

Los tratamientos para potabilizar el agua, se pueden clasificar de acuerdo con:

- Los componentes o impurezas a eliminar.
- Parámetros de calidad
- Grados de tratamientos de agua

En tal sentido, se puede realizar una lista de procesos unitarios necesarios para la potabilización del agua en función de sus componentes.

²² ROMERO, Mynor. Tratamientos utilizados en potabilización de agua. En: Universidad Rafael Landívar. [Sitio web] Guatemala. [consulta: 16 enero 2019]. Archivo pdf en: http://www.fgsalazar.net/LANDIVAR/ING-PRIMERO/boletin08/URL_08_ING02.pdf

2.8.1 Cloración. De acuerdo con la fuente safe drinking water foundation²³ Es uno de los métodos que se usan para desinfectar el agua. Este procedimiento se utilizó por primera vez hace más de un siglo, y todavía se utiliza en la actualidad. Este es un método de desinfección química se utiliza diferentes tipos de cloro o sustancias que contienen cloro para la oxidación y desinfección de lo que será la fuente de agua potable. La operación básicamente es el momento que se separa un líquido de un sólido o de un líquido de mayor densidad mediante trasiego de la capa superior después de que la materia más pesada se haya sedimentado.

Cuadro 3. Procesos unitarios que pueden ser utilizados en la potabilización en función de los contaminantes presentes

TIPO DE CONTAMINANTE	OPERACIÓN UNITARIA
Sólidos gruesos	Desbaste
Partículas coloidales	Coagulación, floculación, decantación
Sólidos en suspensión	Filtración
Materia orgánica	Afino con carbón activado
Amoniaco	Cloración al breakpoint
Gérmenes patógenos	Desinfección
Metales indeseables (Fe, Mn)	Precipitación por oxidación
Sólidos disueltos (Cl ⁻ , Na ⁺ , K ⁺)	Ósmosis inversa

Fuente: ROMERO, Mynor. Tratamientos utilizados en potabilización de agua. En: Universidad Rafael Landívar. Modificado por los autores.

2.8.2 Aireación. Según Romero²⁴, en purificación de aguas se agrega oxígeno mediante aireación para la remoción de hierro y manganeso principalmente. La aireación se utiliza para la remoción de olores, sabores y gases disueltos causados por sustancias volátiles en el agua, en este caso la adición de oxígeno se cumple a través del arrastre o barrido de las sustancias volátiles causados por la mezcla turbulenta del agua con el aire y el proceso de oxidación de los metales y los gases.

2.8.3 Coagulación. Conforme a Lambis²⁵ la principal característica de la coagulación es hacer la neutralización de la carga de coloides que son generalmente electronegativos y están presentes en el agua, es un buen método

²³ Safe Drinking Water Foundation. [Sitio web]. Saskatoon: SDWF, Chlorination. [consultado: 09 enero 2019]. Disponible en: <https://www.safewater.org/fact-sheets-1/2017/1/23/what-is-chlorination>

²⁴ ROMERO ROJAS, Jairo. Acupurificación. Diseño de sistemas de purificación de aguas. 2 ed. Bogotá D.C.: Editorial Escuela Colombiana De Ingeniería, 1997.27p.

²⁵ LAMBIS ORTIZ, Manuel Ricardo. Tratamiento de lixiviados mediante el uso de la quitina como coagulante natural. Caso de estudio: Parque ambiental loma de los cocos de la ciudad de Cartagena de indias. [en línea]. Tesis de pregrado. Universidad de Cartagena, 2015 [consultado 15 octubre 2018]. Disponible en: http://repositorio.unicartagena.edu.co:8080/jspui/bitstream/11227/1557/1/Tramiento%20de%20lixiviado%20con%20Quitina-Manuel_Lambis%202015.pdf

para eliminar impurezas en el agua como materiales en suspensión u orgánico, considerando la discusión teórica que antecede, Stumm y O'Melia identificaron varias etapas en el proceso de coagulación:

- Hidrólisis de los iones metálicos multivalentes y su consecuente polimerización hasta llegar a especies hidrolíticas multinucleadas.
- Adsorción de las especies hidrolíticas en la interfaz de la solución sólida para lograr la desestabilización del coloide.
- Aglomeración de las partículas desestabilizadas mediante un puente entre las partículas que involucra el transporte de estas y las interacciones químicas.
- Aglomeración de las partículas desestabilizadas mediante el transporte de las mismas y las fuerzas de Van der Waals.
- Formación de los flóculos.

2.8.3.1 Dosis Óptima. Según Berrenchea²⁶, la influencia de este factor en la eficiencia del proceso se encuentra claramente definida en la Figura 2 en la cual se presentan cuatro curvas de variación de la turbiedad residual en función de la dosificación de coagulante con pH constante. Estas curvas están basadas en aguas naturales tratadas con sales de aluminio o hierro (III), que contienen grandes concentraciones de materia coloidal.

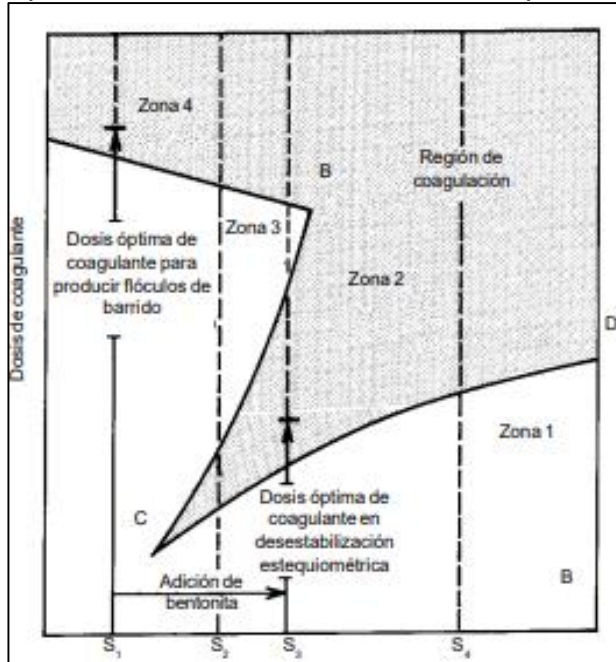
Las curvas de coagulación pueden dividirse en cuatro zonas:

- La zona 1 corresponde a dosis bajas, donde se ha agregado coagulante en cantidad insuficiente para realizar la desestabilización.
- La zona 2 corresponde a dosis un poco más altas, donde se realiza la desestabilización y el flóculo precipita.
- La zona 3 donde dosis aún más altas pueden re estabilizar las dispersiones con ciertos valores de pH.
- La zona 4 que tiene gran cantidad de hidróxido de aluminio (o hierro), actúa de tal forma que captura las partículas coloidales (coagulación de barrido).

De esta forma, lo anterior, se puede apreciar en la Figura 2.

²⁶ BERRENCHEA, Ada. Coagulación [En línea]. [consultado 15 febrero 2019]. p.216Recuperado en : http://www.bvsde.paho.org/bvsatr/fulltext/tratamiento/manual/tomol/ma1_tomo1_cap4.pdf

Figura 2. Concentración de coloide, expresada como concentración de superficie.



Fuente: BERRENCHEA, Ada. Coagulación [En línea]. [Consultado 15 febrero 2019]. p.216 Recuperado en: http://www.bvsde.paho.org/bvsatr/fulltext/tratamiento/manual/tomol/ma1_tomo1_cap4.pdf

2.8.4 Floculación. De acuerdo con SANS²⁷, la floculación es la operación que las partículas en suspensión aumentan su superficie de contacto. Esto se debe a la adición de algún producto químico en el proceso ya sea por precipitación química o químicamente asistida. Esta se ve favorecida por una moderada agitación para lograr así crear floculos. Es importante tener en cuenta el tiempo de floculación antes de la sedimentación.

2.8.5 Decantación. Con base a lo estipulado por María Flores,²⁸ este procedimiento consiste en separar dos componentes o más que contengan diferentes fases como

²⁷ SANS, Ramón Tratamiento de aguas residuales. En: Ingeniería ambiental: Contaminación y tratamientos. 2 edición. Barcelona, España. Marcombo boixareu editores. 1989. P 97.

²⁸ FLORES, María, Métodos de separación. Decantación. En: Universidad Nacional de la Patagonia San Juan Bosco. [sitio web]. Argentina: Farmacognosia. [consulta 15 octubre 2018]. Archivo pdf. Disponible en: <http://www.fcn.unp.edu.ar/sitio/farmacognosia/wp-content/uploads/2017/03/COMPL-TEORICO-UNIDAD-2-M%C3%A9todos-de-Separaci%C3%B3n-2017-FARGNOSI-FCN-UNPSJB.pdf>

por ejemplo, dos sustancias que no se mezclan; un sólido y un líquido. Esta condición se cumple siempre y cuando las densidades son significativas. Este método se puede acelerar mediante una centrifugación.

2.8.6 Sedimentación. Según Romero²⁹, los flóculos formados por los agentes químicos (coagulantes y floculantes) sedimentan en decantadores o piletas de capacidad variable, donde por la parte superior se obtiene el agua clarificada y por el fondo mediante el accionamiento de válvulas se extrae una corriente de lodos que contiene los flóculos sólidos por conductos especiales de limpieza de forma continua o periódica. Comúnmente la retención de velocidad del agua que se produce en esta zona varía de 40 minutos a 1 hora, y después de éste tiempo el agua clarificada es captada por vertederos y llevada a la zona de filtración.

2.8.7 Filtración. Siguiendo la revista EIA³⁰ La filtración consiste en la remoción de partículas suspendidas y coloidales presentes en una suspensión acuosa que escurre a través de un medio poroso. Es la responsable principal de la producción de agua de calidad coincidente con los estándares de potabilidad. Una vez se decanta el agua para finalizar el proceso de clarificación, se pasa por la etapa de filtración que hace pasar el agua que aún contiene materia en suspensión a través de un medio filtrante que permite el paso de solo el líquido ya que las partículas sólidas quedan atrapadas en el medio filtrante. De tal modo que las partículas que no se han sedimentado en el decantador son retenidas por los filtros.

2.8.7.1 Tipos de lechos filtrantes. Los filtros utilizan generalmente un solo medio arena o antracita; un medio dual, arena y antracita o un lecho mezclado, arena, antracita y granate o ilmenita.

- Rápido de arena
- Medio dual
- Medio múltiple

²⁹ ROMERO ROJAS, Op.cit., p.67

³⁰ GONZALES, Carolina. SANCHEZ, Adriana. Control de fascia hepática en el agua de consumo animal a través de filtración rápida y lenta. En: Junio 2013, pp 135. Recuperado en <http://www.scielo.org.co/pdf/eia/n19/n19a12.pdf>

Cuadro 4. Clasificación de los lechos filtrantes

Lecho filtrante	Carga sobre el lecho	Control operacional	Sentido del flujo
Simple (arena o antracita)	A gravedad	Tasa constante y nivel variable	Descendente
Lechos dobles o múltiples	A presión	Tasa constante y nivel constante Tasa declinante	Ascendente Ascendente - descendente

Fuente: VARGAS, Lidia. Tratamiento de agua para consumo humano Plantas de filtración rápida. Lima, Perú. Modificado por los autores.

- **Filtración ascendente.** De acuerdo con Lidia Vargas³¹, la filtración ascendente presenta la ventaja de que el agua afluyente escurre en el sentido en que los granos del medio filtrante disminuyen de tamaño, lo que hace posible que todo el medio filtrante, constituido por arena, sea efectivo en la remoción de partículas suspendidas. Aunque en la filtración ascendente de agua decantada las carreras de filtración resultan más largas si se las compara con la filtración descendente en lecho de arena, la carga hidráulica necesaria aguas arriba de los filtros y el mayor espesor de la capa han limitado mucho el uso de la filtración ascendente.
- **Filtros de lecho simple.** De acuerdo por Lidia³², en los medios de arena convencionales, la permeabilidad aumenta con la profundidad del filtro. En estas condiciones los granos más pequeños quedarían arriba y los más grandes abajo, es decir, que a medida que el floculo es penetrado dentro del lecho encontrara poros más grandes para atravesar con facilidad haciendo que el porcentaje de partículas quede retenido en la superficie haciendo que la capacidad de almacenamiento de flóculos sea limitada.
- **Filtros de lecho Múltiple.** Según Lidia³³, este consiste en conseguir que la permeabilidad del lecho disminuya con la profundidad así los flóculos van a poder penetrar y encontrar el medio más fino en las capas interiores y el más grueso en las etapas superiores.
- **Filtración a presión.** De acuerdo Lidia³⁴, estos pueden ser de flujo ascendente, descendente con medios filtrantes constituidos por una o más capas y ascendente-descendente. Esta filtración se realiza en tanques de lámina de acero y puede ser tanto de flujo ascendente, descendente con medios filtrantes constituidos por una o más capas.

³¹ VARGAS, Lidia. Tratamiento de agua para consumo humano. Plantas de filtración rápida, 2 ed. Lima, Perú. 2004. pg. 127.

³² *Ibíd.*, p.140

³³ *Ibíd.*, p.141

³⁴ *Ibíd.*, p 142

En la Tabla 5 se presentan las ventajas de los filtros en arena.

Tabla 1. Ventajas de filtros arena

Características	Método	Eficiencia
Elimina Virus	<ul style="list-style-type: none"> • Colado Físico • Predación • Muerte Natural 	~99%
Elimina Protozoos	<ul style="list-style-type: none"> • Colado Físico • Predación • Muerte Natural 	~99%
Elimina Hierro	<ul style="list-style-type: none"> • Se oxida en partículas que son coladas • Por colado físico 	-
Elimina Bacterias	<ul style="list-style-type: none"> • Colado Físico • Predación • Muerte Natural 	90 – 99.99% de las veces
Elimina Helmintos	<ul style="list-style-type: none"> • Colado Físico 	100%

Fuente: Elaboración propia basada en RAMIREZ, Francisco. Tratamiento de desinfección del agua potable. En: Editorial canal educa. [Sitio web][Consulta 12 febrero 2019]. Archivo pdf. Disponible en: <https://www.canaleduca.com/wp-content/uploads/2015/08/Tratamiento-de-desinfeccion-del-agua-potable2.pdf>

2.8.8 Desinfección. Finalmente, en la última etapa del proceso de aguas potables siempre es la desinfección de acuerdo con Ramírez ³⁵ hay tres tipos de desinfección tratamientos físicos, químicos y radiación. En algunos casos las plantas muy sencillas, en realidad esta es la única etapa del proceso.

2.9 MARCO LEGAL

De acuerdo con la norma colombiana del Ministerio de la protección social, ministerio de ambiente, vivienda y desarrollo territorial por medio de la resolución número 2115 de 2007 indica: “Agua potable” es aquella que, por cumplir las características físicas, químicas y microbiológicas, al que puede ser consumida sin restricción debido a un proceso de purificación que no representa un riesgo para la salud. El término se aplica al agua que cumple con las normas establecidas por organismos de control tanto nacionales como internacionales.

³⁵ RAMIREZ, francisco. Tratamiento de desinfección del agua potable. En: Editorial canal educa. [Sitio web][consulta 12 febrero 2019]. Archivo pdf. Disponible en : <https://www.canaleduca.com/wp-content/uploads/2015/08/Tratamiento-de-desinfeccion-del-agua-potable2.pdf>

2.9.1 Artículo 365 de la constitución política de Colombia de 1991. Indica que los servicios públicos domiciliarios podrán ser prestados directa o indirectamente por el estado, por privados o por comunidades organizadas, con el que se da potestad a las comunidades rurales en la prestación de los sistemas de acueducto y alcantarillado. En Colombia la normatividad legal vigente está regulando los sistemas de acueductos en diferentes aspectos como los subsidios, las tarifas, el adecuado manejo de las fuentes hídricas, índices de los riesgos de la calidad del agua, derechos, obligaciones de los consumidores, etc. La regulación de lo anteriormente nombrado determina así los consumidores podrán hacer uso o no de la planta de tratamiento.

2.9.2 Resolución 1096 de 2000 (RAS). Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento básico. Sección II. TÍTULO B Sistemas de potabilización. Aspectos generales de los sistemas de acueducto, por medio del cual “se fijan criterios básicos, requisitos mínimos, valores específicos y límites que se deben tener en cuenta en los sistemas de acueducto”.³⁶

2.9.3 Resolución 2115 de 2007. El ministerio de educación enuncia³⁷ mediante la resolución, las características, instrumentos básicos y frecuencias del sistema de control y vigilancia para la calidad del agua para consumo humano.

2.9.4 Resolución 2115 del 22 de junio de 2007. Según la resolución del ministerio de Protección social y Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial³⁸, 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, algunas de estas características se evidencian en la Tabla 6.

³⁶ COLOMBIA. MINISTERIO DE DESARROLLO ECONÓMICO, DIRECCIÓN DE AGUA POTABLE Y SANEAMIENTO BASICO. RAS 2000. (17 noviembre 2000) Reglamento técnico del sector de agua potable y saneamiento básico. Sistemas de potabilización. Diario Oficial. Bogotá, D.C., 2000. no. p. 1-480

³⁷ COLOMBIA. MINISTERIO DE LA PROTECCIÓN SOCIAL, MINISTERIO DE AMBIENTE, VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL. Resolución 2115 de 2007, (04, julio, 2007). Diario Oficial. Bogotá, D.C., 2007. no.46679 p. 1-23

³⁸ COLOMBIA, MINISTERIO DE AMBIENTE, VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL. Resolución número 2115. (22 junio 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.

Tabla 2. Características físicas de la resolución 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: COLOMBIA, MINISTERIO DE AMBIENTE, VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL. Resolución número 2115. (22 junio 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.

2.9.5 Norma técnica colombiana NTC-ISO 5667-2. Norma técnica colombiana. Gestión ambiental. Calidad del agua. Muestreo. Técnicas generales de muestreo. “Esta norma constituye una guía sobre técnicas de muestreo utilizadas con el fin de obtener los datos necesarios para hacer el análisis con propósitos de control de calidad, caracterización de la calidad e identificación de fuentes de contaminación del agua”.³⁹

2.9.6 Norma técnica colombiana NTC 3903. Norma técnica colombiana. Procedimiento para el ensayo de coagulación – floculación en un recipiente con agua o método de jarras. “Esta norma establece un procedimiento general para determinar la dosis óptima de reactivo químico a utilizar con el fin de reducir del agua el material disuelto, en suspensión, coloidal y de difícil sedimentación, mediante ensayos de coagulación, floculación y sedimentación por gravedad”.⁴⁰

³⁹INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMALIZACIÓN Y CERTIFICACIÓN. Gestión ambiental. Calidad del agua. Muestreo. Técnicas generales de muestreo. NTC ISO 5667-2. BOGOTÁ D.C.: El instituto, 1995. 1-15 p

⁴⁰ INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMALIZACIÓN Y CERTIFICACIÓN. NTC ISO 5667-5. Procedimiento para el ensayo de coagulación – floculación en un recipiente con agua o método de jarras. Bogotá D.C.: El instituto, 2008. 1-26 p.

3. DIAGNÓSTICO DE LA PLANTA

Para llevar a cabo la propuesta de mejora de la planta de potabilización de agua se realizarán una serie de actividades que permitan analizar el proceso total donde se analiza el efluente, pasando por cada una de las etapas del proceso hasta finalmente realizar el análisis detallado e identificar cuáles son las fallas que hay dentro del proceso.

3.1 CARACTERÍSTICAS DEL PROCESO

La planta de tratamiento que tiene el acueducto, corresponde a una planta fisicoquímica de tipo convencional con una fuente de abastecimiento del río el cofre con un caudal de 14 L/s y cuenta con una tubería de 6". El agua es destinada para el consumo humano y usos domésticos, por lo cual se requiere analizar el comportamiento histórico de las características que es suministrada a los consumidores.

3.1.1 Captación del agua. El Acueducto la Venta el Cofre cuenta con una estructura de captación sobre el río El Cofre, que corresponde a una toma lateral sobre el río como se evidencia en la Figura 3 esta estructura en la encargada de recibir el agua de la fuente disminuyendo la velocidad, lo que permite sedimentar algunos sólidos suspendidos, posteriormente el agua pasa a través de una rejilla que tiene instalada en la primera sección, a fin de impedir el paso de ramas y hojas al interior de la estructura. La derivación del agua se hace a través de una rejilla que tiene una longitud 1.40 m y de ancho 0.40 m; la separación entre barras es de 2.5 cm, con varillas de calibre $\frac{3}{4}$ ", el agua fluye entre las rejillas y se filtra a través del espacio, el agua cae en la cámara ubicada a la margen izquierda; en esta se encuentra conectada la tubería de PVC de 8", con una longitud de 700 m, tramo que cuenta con válvula reguladora de caudal en HF de 8" y válvulas ventosas; la tubería se encuentra descubierta en algunos tramos, posee anclajes y dos viaductos; luego conecta a una tubería de PVC de 6" de diámetro con una longitud de 2.200 m que conducen el agua al desarenador. La estructura tiene un vertedero que se encarga de derivar los excesos al aumentar el nivel de agua de la fuente, además tiene instalada una tubería sanitaria de 6" con sus respectivos adaptadores de limpieza que se utilizan para el mantenimiento de la estructura.

Figura 3. Captación de agua en el acueducto La Venta el Cofre.



Fuente: elaboración propia

3.1.2 Aducción de agua. La línea de aducción en el acueducto tiene una longitud total de 2.900 m en tubería PVC en 8" y 6", la primera sección con 700 m y 8" y su segunda etapa de 3.760 m en 6" PVC, esta línea desde la estructura de captación hasta la planta de tratamiento como se evidencia en la Figura 4. Este componente está dotado de válvulas de purga, ventosas triple efecto, sistema de pasos elevados que se encuentran a lo largo de este pasaje localizados especialmente en la parte inicial y los sistemas de anclaje.

Figura 4. Viaducto tubería de aducción.



Fuente: elaboración propia

3.1.3 Desarenador. Este se encuentra ubicado a 2.900 m de la captación, semienterrado y cubierto por tres tapas de inspección, un sistema un sistema de

rebose y una cámara de lavado con una válvula de purga de 4", la estructura corresponde a un sistema convencional de flujo horizontal. Tiene una longitud total de 4.40 m, ancho de 1.47 m y 1.60 m como máxima profundidad, la disminución de velocidad se da mediante una pantalla deflectora que conduce el agua al interior de la cámara de decantación, que confluyen en un único punto de evacuación de lodos ubicado en la zona media, esta cámara tiene una longitud de 3.73 m. La zona de salida cuenta con una cámara que conecta a la línea de conducción en tubería de 6" a la planta de tratamiento. Las cámaras de ingreso y sedimentación cuentan con una cobertura, evitando el ingreso de material aéreo. Actualmente la etapa del desarenador no puede ser visible, como se evidencia en la Figura 5.

Figura 5. Desarenador.



Fuente: elaboración propia

3.1.4 Coagulación – Floculación: El sistema del acueducto funciona en una sola etapa donde sucede la coagulación y floculación casi al mismo tiempo.

3.1.4.1 Mezcla de reactivos. En esta fase del proceso, se hace la mezcla del policloruro de aluminio (PAC) que es el coagulante utilizado, esta mezcla se hace en dos cubetas, cada una de 500 L y se deja caer por gravedad por medio de tubos PVC para después ser enviado a la etapa de floculación. Este PAC es utilizado en el proceso tanto como coagulante como floculante. Sin embargo, los valores de la dosificación del acueducto son iguales en épocas de lluvia y sequía lo cual concluye que en las épocas de lluvia va a haber un mayor nivel de turbiedad. Actualmente en el acueducto se ingresan 25 mg/L de policloruro de aluminio diluido en un tanque de 500 L, pero existe una inexactitud ya que no se está revisando los valores de

turbiedad en las diferentes épocas del año y se presentas ineficiencias en los resultados.

3.1.4.2 Policloruro de aluminio. De acuerdo con el foro Alquimia⁴¹ se emplea en la potabilización de aguas superficiales y en el tratamiento de los efluentes líquidos residuales. Su función es la de coagular y acelerar la sedimentación de sólidos en suspensión modificando el potencial zeta de los líquidos a tratar neutralizando las fuerzas de repulsión. En la Tabla 7 se puede evidenciar las propiedades del PAC y en la Figura 6 la forma en que el PAC es inyectado.

Tabla 3. Propiedades relevantes de policloruro de aluminio.

Propiedades físico-químicas	
Color	Ámbar o ámbar coloreado
pH (10%)	3,0 a 4,0
Densidad a 20°C (g/cm ³)	1,36 – 1,41
Características generales	
Aplicación	Tratamiento de aguas, coagulante
Descripción	Se comercializa como un líquido de color ambarino, también denominado Policloruro de Aluminio

Fuente: Foro de internet Arquimia [Consultado 3 de Abril de 2019, 12:10] Disponible en: http://www.arquimiasa.com.ar/descargar_archivoB.php?id=19

Figura 6. Punto de inyección de coagulante y toma de agua cruda para laboratorio.



Fuente: elaboración propia

⁴¹ Foro de internet Arquimia [Consultado 3 de Abril de 2019, 12:10] Disponible en: http://www.arquimiasa.com.ar/descargar_archivoB.php?id=19

3.1.5 Floculación. Según Arboleda⁴² La floculación se lleva a cabo mediante un floculador y el objetivo principal de este es proporcionar al agua una agitación lenta aplicando velocidades decrecientes para promover el crecimiento de flóculos hasta que la suspensión de agua y flóculos salga de la unidad. Actualmente el acueducto maneja un tanque de floculación de pantallas de flujo horizontal mostrado en la figura 7, donde sus medidas son de 1 m de alto X 2 m de ancho X 11.30 m de largo.

Figura 7. Floculador de pantallas de flujo horizontal.



Fuente: elaboración propia

3.1.6 Sedimentación. Existe un módulo sedimentador convencional y de flujo horizontal para atrapar los flóculos que precipitan y realizar de esta forma la clarificación del agua. Sus dimensiones son de 2.2 m de alto X 4.9 m de ancho X 4.9 m de largo y el sedimentador es mostrado en la figura. 8.

⁴² ARBOLEDA VALENCIA. Jorge. Teoría y purificación del agua. Mac-Graw Hill, 2000. 91 p.

Figura 8. Sedimentadores.



Fuente: Elaboración propia

3.1.7 Filtración. El sentido de los flujos en el acueducto es descendente y utilizan grava como se especifica en la Tabla 8 y se evidencia en la figura 9. La velocidad de filtración es rápida y la carga sobre el lecho es por gravedad. En el acueducto se está utilizando un lecho filtrante de grava y arena de los cuales utiliza 4 filtros dentro del procesos y las dimensiones de estos son: 1.50 m de alto X 2.2 m de ancho X 5 m de largo.

Tabla 4. Especificaciones del filtro

ESPECIFICACIONES	
FILTROS	ESTRUCTURA EN CONCRETO
TIPO DE LECHO FILTRANTE	GRAVA
DIMENSIÓN LECHO FILTRANTE	8 m ³
PESO MATERIAL FILTRANTE	0.0015 gramos
ESPESOR MATERIAL FILTRANTE	0.5 cm

Fuente: elaboración propia.

Figura 9. Filtros.



Fuente: elaboración propia

3.1.8 Desinfección. Según Lidia Vargas⁴³, el proceso de desinfección es de gran importancia y es el último proceso a realizarse, el objetivo principal es garantizar la calidad del agua desde el punto de vista microbiológico y asegurar que sea inocua para la salud del consumidor. Estas dosificaciones de desinfectante se regulan con base a la literatura ya que el exceso de este puede provocar excesos de cloruros y por lo tanto bajar a calidad del agua. El acueducto La Venta El Cofre realiza este proceso con Hipoclorito de calcio granulado al 70 %, lo que garantiza su efectividad dosificación que se realiza mediante descargas con bombas dosificadoras de acuerdo al caudal y los parámetros físicos químicos del agua que llegan a la planta.

El acueducto realiza este proceso de desinfección inyectando Hipoclorito de calcio. Según distribuciones y especialidades químicas DYE⁴⁴ el Hipoclorito de Calcio es algicida, y desodorante. Por dichas propiedades se usa en la purificación de agua potable y desinfección de aguas de piscinas. En la Tabla 9 se evidencian ciertas propiedades relevantes de este.

⁴³ VARGAS Lidia, Op.cit.,p155

⁴⁴ DISTRIBUCIONES Y ESPECIALIDADES QUIMICAS. [Sitio web] Barranquilla. Hipoclorito de calcio [Consulta: 15 Marzo 2019'. Disponible en: <https://www.dyeq.co/fichas/hipoclorito-de-calcio/>

Tabla 5. Propiedades relevantes de hipoclorito de calcio al 70 %

Propiedades físico-químicas	
Color	Blanco
pH (sln 1%)	11,5
Gravedad específica (agua =1)	2,35
Características generales	
Aplicación	Purificación de agua, bactericida
Descripción	Sólido blanco, cristalino. Se descompone a 100°C. Descompone en agua y alcohol. No es higroscópico, prácticamente transparente en solución acuosa. Portador estable de cloro, material oxidante.

Fuente: DISTRIBUCIONES Y ESPECIALIDADES QUIMICAS. [Sitio web] Barranquilla. Hipoclorito de calcio [Consulta: 15 Marzo 2019]. Disponible en: <https://www.dyeq.co/fichas/hipoclorito-de-calcio/>

Figura 10. Punto de inyección de hipoclorito de calcio al 70%.



Fuente: elaboración propia

3.1.9 Almacenamiento De Agua. El sistema cuenta con dos tanques de almacenamiento en concreto semienterrados ubicados en la planta de tratamiento, cada uno con capacidad de 100 m³, con válvulas en HF y bronce para la distribución independientes en diámetros de 4" y 2½", que controlan y regulan el suministro de las redes principales, cuenta con un sistema de ventilación en un diámetro de 2", el

lavado se realiza a través de tubería sanitaria. Cada uno de estos tanques cuenta con 2.9 m de alto x 6.18m de ancho x 6.25 m largo como se puede ver en la Figura 11.

Figura 11. Tanques de almacenamiento.



Fuente: elaboración propia

3.1.10 Redes De Distribución. La demanda diaria de agua potable es de alrededor de 950 a 1000 m³ por día y para suplir esta demanda se encuentran dos líneas de distribución.

3.1.10.1 Red de distribución principal. A partir de los tanques de almacenamiento se extienden dos líneas principales de conducción que distribuyen el agua a diferentes sectores, ubicadas en forma paralela al margen derecho de la vía Panamericana Cali-Popayán cubiertas completamente en todo el trayecto con las especificaciones mostradas en la Tabla 10.

Tabla 6. Materiales de la red de distribución primaria

Material	Diámetro (pulgadas)	Longitud (m)	Edad (años)
PVC	4"	2.124 m	16
PVC	2 ½"	1.300 m	16

Fuente: elaboración propia

3.1.10.2 Red de distribución secundaria. La dimensión de la red de distribución se encuentra en la tabla 10 donde se describe los diámetros y longitudes. Las redes cuentan con válvulas de corte, purga y ventosas. Las conexiones domiciliarias cuentan con su respectivo sistema de micro medición.

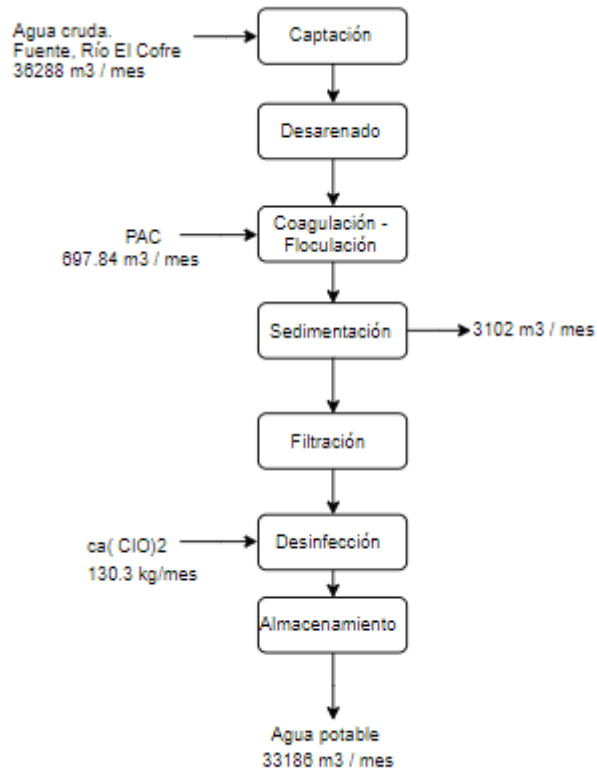
Tabla 7. Materiales y dimensiones de la red de distribución secundaria.

Material	Diámetro (pulgadas)	Longitud (m)	Edad (años)
PVC	2"	6.533	16
PVC	1 ½"	2.931	16
PVC	1"	1.384	16

Fuente: elaboración propia

El proceso global mencionado anteriormente, se muestra en el Diagrama 1. Donde se aprecia cada uno de las etapas en el proceso de potabilización de la planta y también donde se agregan los insumos.

Diagrama 1. Diagrama de Bloques proceso actual



Fuente: elaboración propia

3.2 DIAGNÓSTICO OPERACIONAL

El acueducto La Venta El Cofre cuenta con equipos necesarios para lograr una buena calidad de agua, después de una inspección visual se concluyó que este no cuenta con alta corrosión marcada en ninguno de sus procedimientos ni maquinaria.

En la captación el agua tiene una presión de entrada a la bocatoma es de 6.3 kg/cm^2 y tiene un caudal de 14 L/s , este tiene un vertedero de rebose que funciona para derivar excesos cuando el nivel de agua aumenta, sin embargo después de una inspección visual se diagnosticó que en sus rejillas hay un bajo nivel de corrosión y su estructura en concreto se encuentra expuesta a la intemperie sin tapas de inspección, permitiendo que entre material orgánico a través de la rejilla y este aumenta notablemente en periodo de lluvias, así mismo como se puede observar en la figura 3, la captación cuenta con poca capacidad de agua, con apenas un volumen de 6.40 m^3 impidiendo tener proyecciones con el aumento de

la población. Y según la RAS 2000⁴⁵, para los niveles bajo y medio de complejidad, la capacidad de las estructuras de toma debe ser igual al caudal máximo diario, más las pérdidas en la aducción y las necesidades en la planta de tratamiento, si existe almacenamiento, o igual al caudal máximo horario si no existe almacenamiento.

En la etapa de aducción, esta se encuentra a la intemperie y esto conlleva al debilitamiento del material y por ende tendrá daños a futuro, parte de esta red de aducción se encuentra en sectores privados por tanto la tubería en estos sectores debe estar enterrada. Sin embargo, su diámetro de 8" y 6" es el adecuado, puesto que tiene más capacidad de la que se transporta en la actualidad.

En la etapa de desarenador, este se encuentra semienterrado y cubierto por tres tapas de inspección, carece de válvulas de ingreso y salida impidiendo así su operatividad y mantenimiento, así mismo carece de *bypass* que es el dispositivo utilizado para no suspender el servicio en caso de mantenimiento de la estructura. Cabe aclarar que es importante el mantenimiento tanto preventivo como correctivo con el fin de prevenir daños que afecten el flujo del agua y su óptima regularidad, lo que podría dar resultados con un agua de baja calidad o con características no aptas para el consumo humano.

En seguida en la etapa de coagulación - floculación el acueducto utiliza policloruro de aluminio como coagulante y floculante, sin embargo, la planta no maneja una dosis adecuada de coagulante ya que en su preparación no son exactos y tampoco se cuenta con bombas dosificadoras lo que conlleva a generar más gastos en la cantidad de insumos que se están utilizando y por esto parámetros como lo es la turbidez están afectando el proceso. Los operarios no tienen en cuenta los niveles de turbidez por eso la dosificación siempre es la misma.

Actualmente el acueducto agrega 23,26 L aproximadamente de coagulante por día lo que significa que se adiciona mensualmente 697,84 L y se compran tambores de 250 kg de PAC en estado líquido lo cual requiere un poco más de 3 tambores y medio al mes, este no está dosificado dependiendo de la pluviosidad o época del año por lo que en ocasiones se puede agregar más coagulante de lo que se requiere y esto provoca una sobredosificación pero si se agrega menor coagulante de lo requerido no se obtiene una coagulación con un buen rendimiento y esto afectaría parámetros como la turbidez y hierro.

En la etapa de floculación se puede observar visualmente que no se existen fallas representativas, ya que se evidencia con facilidad los flóculos formados durante este proceso, sin embargo para la obtención de un diagnóstico operacional adecuado de este proceso se llevó a cabo la verificación del tiempo de retención, la pérdida de carga y de la gradiente de velocidad con el fin de saber si actualmente está funcionando con adecuadas condiciones, los cálculos se pueden evidenciar en el

⁴⁵COLOMBIA. MINISTERIO DE DESARROLLO ECONOMICO. Ras- 2000 (Noviembre. 2000) reglamento técnico del sector de agua potable y saneamiento básico. Bogotá. D.C., El Ministerio, 2000. 51 p.

Anexo A y estos fueron comparados por los valores establecidos por la RAS 2000, como resultado se obtuvo un tiempo de retención de 0.093 m/s y según la RAS 2000, el floculador debe diseñarse de manera que la velocidad del agua a través del tanque sea entre 0.2 m/s a 0.6 m/s , lo cual indica que este valor no está dentro de los rangos otorgados por la RAS2000⁴⁶, esto quiere decir que se está produciendo sedimentación de flóculos y esto implica mayor acumulación de sedimentos y se requiere aumentar la velocidad u obtener un flujo mayor, sin embargo, esto varía según la altura de la lámina de agua del tanque de floculación que podría llegar a alcanzar hasta 0.95 m. Por otro lado al obtener la gradiente de velocidad se obtuvo un valor de 27.65 S⁻¹ y según la RAS 2000⁴⁷ estos valores deben estar por un rango de 20 S⁻¹ y 70 S⁻¹.Entonces, haciendo esta comparación se pudo concluir que el floculador no está operando apropiadamente ya que su velocidad de floculación no es la adecuada.

En la sedimentación se cuenta con sedimentador de flujo horizontal el cual cuenta con un volumen de 52.82m³ y con las dimensiones adecuadas para este proceso en la planta. Se procede a hacer una evaluación para saber si su funcionamiento es correcto o no. Donde según el Ministerio de vivienda⁴⁸ se dictan los requerimientos técnicos que se deben cumplir ya sea en obras, equipos o en procedimientos que se deben utilizar en las empresas de servicios públicos para garantizar la calidad del servicio a través de la Resolución 0330-2017. En la cual se evalúan los siguientes parámetros:

- Verificación carga superficial del sedimentador de flujo horizontal que está en uso. La carga superficial para este tipo de sedimentador de flujo horizontal debe estar entre los valores de 15-30 m³/m²/día.
- Tiempo de retención hidráulica. El tiempo de retención del tanque debe estar entre los valores de 2h a 4h.
- Velocidad promedio de flujo. La velocidad de flujo dentro del sedimentador debe estar en valores: <1cm/s.

Se hizo la verificación de cada uno de ellos que son mostrados en el Anexo B y se encontró que la carga superficial del sedimentador es de 25,18 m³ /m²* día. El tiempo de retención fue de 2,1h y por último la velocidad promedio fue de 0.065 cm/s, indicando así que todos estos parámetros se encuentran dentro de la resolución 0330-2017 para diseño de sedimentadores hidráulicos.

En la etapa de filtración el acueducto hace uso de lecho filtrante con grava y arena media cuyas alturas aproximadas son de 0,3 m de arena y 0,5 m de grava. El flujo

⁴⁶ *Ibíd.*,p 47

⁴⁷ *Ibíd.*,p 47

⁴⁸ COLOMBIA. MINISTERIO DE VIVIENDA, CIUDAD Y TERRITORIO. Resolución 0330. (08 de junio de 2017). Por la cual se adopta el reglamento técnico para el sector de agua potable y saneamiento básico y se dictan otras disposiciones. Bogotá: El Ministerio. 2017. p 68.

de agua pasa por la parte superior y este tiene una profundidad de 0.7 a 1.00 m. Para el diagnóstico de esta etapa, se evaluó la eficiencia hallada con la Ecuación 1. Encontrada en la norma técnica RAS 2000⁴⁹. Para esto se tomó una muestra de agua antes y después de pasar por el lecho con la ecuación y se obtuvieron los datos presentados en la Tabla 12

Ecuación 1. Eficiencia de la filtración.

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

Fuente: COLOMBIA. MINISTERIO DE DESARROLLO ECONOMICO. Ras- 2000 (Noviembre. 2000) reglamento técnico del sector de agua potable y saneamiento básico. Bogotá. D.C., El Ministerio, 2000. 73 p.

Tabla 8. Evaluación del lecho actual

FILTRO ACTUAL	Turbiedad entrada (NTU)	Turbiedad después del lecho (NTU)	Eficiencia (%)
MUESTRA 1	3.87	2.09	45.994
MUESTRA 2	3.79	2.01	46.965
MUESTRA 3	3.82	1.89	50.523
			47.828

Fuente: elaboración propia

Este lecho de grava es considerado ideal, sin embargo, en épocas de lluvias sigue habiendo presencia de hierro y turbidez en el agua, actualmente no cuenta con una buena eficiencia la cual fue calculada tomando una muestra de agua antes y después del filtro, y se obtuvo un valor de 48% que se considera una eficiencia no apropiada para el proceso.

En general la planta de tratamiento cuenta con los equipos necesarios, y tiene un sistema de ventilación adecuado ya que ninguno de sus procedimientos se hace subterráneo, también se realiza limpieza a paredes y retiro de lodos trimestralmente

⁴⁹ Óp. Cit., p. 89.0

tanto en el floculador como en el sedimentador y a los tanques de almacenamiento se les realiza un lavado y desinfección semestralmente.

En conclusión, se observaron fallas representativas en la etapa de coagulación-floculación debido a que no hay una dosificación de coagulante apropiada, también se sugiere la implementación de válvulas en la entrada del desarenador y modificación de los filtros. Adicionalmente se propone una modificación en la captación actual modificando su estructura para permitir un mayor almacenamiento de agua y encerrando la estructura para disminuir la entrada de material orgánico y se observó una ineficiencia en cuanto a la velocidad del agua a través del tanque floculador ya que se encuentra por debajo de los valores dados por la RAS2000.

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

Con el objetivo de analizar la calidad del agua, las características que posee y cuáles de estas son modificadas por la planta de tratamiento, se realiza una toma de muestras de agua proveniente del río El Cofre y finalmente se toman muestras del agua potabilizada por la planta.

Se realizó un análisis físico-químico del agua cruda bajo el DECRETO 1594 de 1984⁵⁰ y del agua tratada por la planta de tratamiento bajo la norma MSP decreto 1575, mayo 9 del 2007 RESOLUCIÓN 2515 de junio 22 del 2007⁵¹ la caracterización agua cruda se realizó desde el 6 de diciembre hasta el 27 de diciembre.

3.4 CARACTERIZACIÓN DEL AGUA TRATADA EN ÉPOCA DE LLUVIA Y SEQUIA

Las muestras fueron analizadas en el primer semestre del año, en condiciones de lluvia y sequía, realizadas el 27 de junio de 2018. Se realizó el muestreo y las caracterizaciones para la época de lluvia, en el segundo semestre del año, las pruebas fueron realizadas el 8 de octubre de 2018, encontrando valores por encima

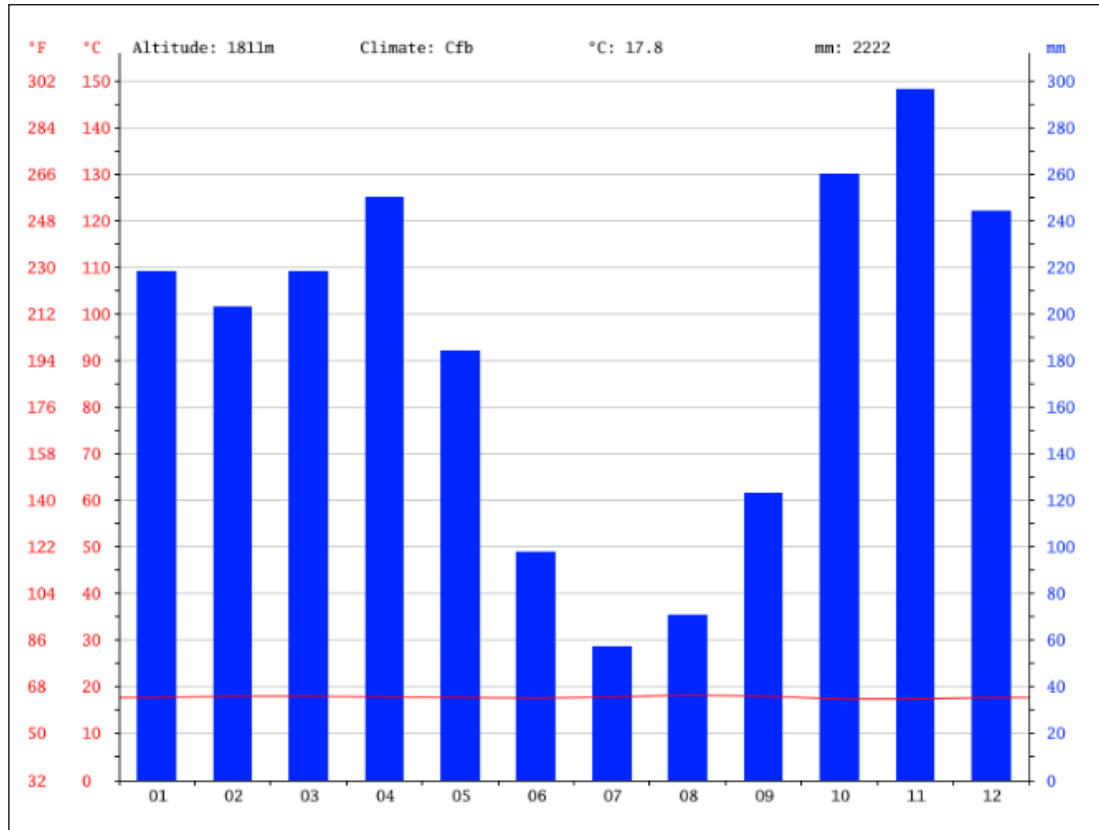
⁵⁰ COLOMBIA. MINISTERIO DE AMBIENTE, VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL. Decreto 9330 (25 octubre 2010). Por el cual se reglamenta parcialmente el Título I de la Ley 9 de 1979, así como el Capítulo 11 del Título VI-Parte 11I- Libro 11 del Decreto - Ley 2811 de 1974 en cuanto a usos del agua y residuos liquidas y se dictan otras disposiciones. Bogotá D.C.: El ministerio, 1993. 9p.

⁵¹ COLOMBIA, MINISTERIO DE LA PROTECCIÓN SOCIAL MINISTERIO DE AMBIENTE, VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL. Resolución numero 2115 (22 junio 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. Bogotá D.C: El ministerio, 1993. 2p.

de la norma como se puede observar en el Anexo C y D respectivamente. Los resultados de dichas caracterizaciones se encuentran en la tabla 13.

El comportamiento climático en Cajibío se muestra en el gráfico 1. El cual que indica que el mes más seco es en julio, con una precipitación media de 57 mm de lluvia, mientras que la caída media en noviembre es el mes en el que tiene las mayores precipitaciones del año con un indicador de 296 mm.

Gráfico 1. Climograma de Cajibío, Cauca



Fuente: Datos climáticos mundiales. [Sitio web]. Bogotá. Climate-Data.org
Climograma Cajibío. [Consultado el 29 septiembre 2018]. Disponible en:
<https://es.climate-data.org/america-del-sur/colombia/cauca/cajibio-44555/>

Los cambios climáticos influyen directamente el proceso de tratamiento ya que en los últimos meses del año que son las épocas más intensas de lluvia indica que las precipitaciones generan un cambio en el aumento del caudal, las lluvias arrastran lodos y materiales sólidos no deseados los cuales se aglomeran en la entrada de la bocatoma y puede llegar a obstruir el paso del agua por lo cual se crean problemas de suministro hacia la planta, por lo tanto el agua que pasa a las tuberías de aducción llegará con bajas condiciones de tratamiento como materiales sólidos y alta carga de turbiedad y para se tendrá que emplear más químicos; o modificar

algunas propiedades; que usados dentro del proceso para mantener la calidad del agua tratada.

Teniendo presente que las características del agua pueden variar según la época del año y las condiciones ambientales. Las épocas más oportunas para el tratamiento son las épocas secas ya que el agua llega más clarificada a la planta de tratamiento, esto indica que tienen menores niveles de turbiedad, pero si se pasa el límite donde son épocas muy secas o existen fenómenos de sequía se van a presentar problemas graves de suministro por ende el caudal va a disminuir y no será posible alcanzar el nivel mínimo para canalizar el agua hasta la planta y así realizar el proceso de potabilización.

Tabla 9. Caracterización de agua cruda, fuente río el Cofre.

ANÁLISIS	RESULTADO	UNIDADES	VALOR MÁXIMO
Coliformes fecales	350	NMP/100 mL	2000
coliformes totales	2,2X10 ⁴	NMP/100 mL	20000
pH	7,1	–	5,0-9,0
Color	30	–	75 unidades
Cloruros	3,7	mg Cl/L	250
Nitritos	0,04	mg NO ₂ /L	10
Nitratos	1,2	mg NO ₃ /L	10
Sulfatos	<10	mg SO ₄ /L	400
Arsénico	<0,001	mg As/L	0,05
Bario	<0,06	mg Ba/L	1
Cadmio	<0,006	mg Cd/L	0,01
Cobre	<0,01	mg Cu/L	1
Mercurio	<0,001	mg Hg/L	0,002
Selenio	<0,01	mg Se/L	0,01
Detergentes	0,6	mg Las/L	-
Alcalinidad Total	20,7	mg CaCO ₃ /L	-
Dureza Total	20	mg CaCO ₃ /L	-
Turbidez	6,8	UNT	-
Calcio	4,32	mg Ca/L	-
Cromo Total	<0,01	mg Cr/L	-
Níquel	<0,01	mg Ni/L	-
Carbono orgánico total	<2	mg COT/L	-
Organofosforados	<0,00002	mg/L	-
Trihalometanos	0,02	mg/L	-
Plomo	<0,01	mg Pb/L	-

Fuente: elaboración propia, información suministrada por: ACUEDUCTO Y ALCANTARILLADO DE POPAYÁN

Tabla 10. Caracterización de agua en el mes de Octubre

Parámetro	Unidades	Resultado en época de sequía (concentración)	Normas M.S.P Límite permitido	Resultado en época de lluvia (concentración)
Conductividad	$\mu\text{S/cm}$ (microsiemens/cm)	88,5	Hasta 1000	59,6
Turbiedad	N.T.U	0,57	≤ 2.0	2,26
Color aparente	Unidades de platino cobalto (UPC)	1,12	≤ 15	5,20
pH	Unidades de pH	7,11	Entre 6.5 -9.0	7,11
Cloro residual	mg/L Cl_2	1,26	Entre 0.3 -2	1,23
Alcalinidad total	mg/L CaCO_3	29,8	Hasta 200	35,5
Dureza total	mg /L CaCO_3	22,4	Hasta 300	13,8
Cloruros	mg /L Cl^-	10,4	Hasta 250	14,3
Sulfatos	mg /L SO_4^{2-}	2,75	Hasta 250	3,80
Hierro total	mg/L Fe(II)	0,12	Hasta 0.3	0,45
Aluminio	mg/L Al (III)	0,05	Hasta 0.2	0,05
Nitritos	mg/L NO_2	0,001	Hasta 0.1	0,001
Nitratos	mg/L NO_3	0,88	Hasta 10.0	1,22
Temperatura	Grados centígrados °	18,4	° centígrados	17,4
SDT	mg/L	44,3	≤ 500	29,8
Coliformes totales en 100 mL	-	0,0	< 1 NMP	0,0
Ensayo confirmativo para E. Coli en 100 mL.	-	0,0	< 1 NMP	0,0

Fuente: elaboración propia, información suministrada por: ACUEDUCTO Y ALCANTARILLADO DE POPAYÁN

En cuanto a los parámetros fisicoquímicos evaluados en las caracterizaciones se encontró que el nivel de hierro esta 0.45 mg/L y la turbiedad en 2.26 NTU, según el Informe de la Defensoría del pueblo ⁵² el 14% de los municipios evaluados no cumple con remoción de hierro y la turbiedad alcanza valores del 17 %, sin embargo

⁵² DEFENSORIA DEL PUEBLO. Diagnóstico sobre calidad de agua para consumo humano. Defensoría del pueblo. Octubre 6 de 2006. Recuperado de: www.defensoria.gov.co/attachment/14/informe_123.pdf

en el departamento del Cauca se muestra que estos valores alcanzan el 17% de turbiedad.

La Asociación Acueducto La Venta El Cofre venía realizando la toma de muestras cada dos meses en un solo punto de muestreo hasta el mes de junio 2018, sin embargo, debido a los elevados costos que implicaba la caracterización del afluente se decidió que a partir de la fecha se realizará este muestreo cada seis meses, por lo cual es imposible tener el registro histórico de su comportamiento.

Los últimos análisis de caracterización del agua del afluente suministrados por el acueducto La Venta El Cofre corresponden a octubre del año 2018, la toma de muestra se realiza el día 08 de octubre mediante el método de muestreo y los análisis son realizados el mismo día 08 de octubre por el laboratorio propiedad del Acueducto.

4. PLAN DE MEJORAMIENTO PARA LA PLANTA

Para realizar una mejora a la planta y disminuir las cantidades de hierro y la turbidez se proponen tres alternativas, las cuales se evaluarán teóricamente y después se elegirá cual es la de mejor eficiencia para llevarla a cabo mediante una experimentación a escala laboratorio.

4.1 ALTERNATIVAS PARA LA POTABILIZACIÓN DE AGUA

Haciendo un análisis previo con los resultados obtenidos en un rango de fechas entre junio y diciembre de 2018 se puede observar un nivel de hierro total de 0.45 mg/L y turbidez de 2.26 NTU, ambos por encima de los valores permisibles por la norma una vez se ha pasado por el proceso de potabilización, por esto, se realiza un planteamiento de alternativas de mejora con el fin de corregir estas fallas y lograr obtener agua potable bajo los parámetros de la norma.

4.1.1 Alternativa #1. Evaluación del coagulante-floculante actual y del lecho filtrante. Con los resultados obtenidos se observan dos variables que no cumplen con la norma que son hierro y turbiedad. De acuerdo con Cárdenas ⁵³La causante de la turbiedad y el agua son partículas coloidales, esto sucede cuando se encuentran en suspensión durante un tiempo prolongado y pueden atravesar el medio filtrante, una de las soluciones para eliminar estas partículas es cuando se recurre a procesos con coagulación y floculación.

Por esto es considerado evaluar la opción del coagulante-floculante actual ya que la etapa de coagulación es fundamental para eliminación de turbiedad. Esta alternativa se llevará a cabo realizando el proceso de coagulación y floculación, con el fin de comprobar si se está haciendo la dosificación adecuada,

Actualmente el acueducto agrega el Policloruro de Aluminio (PAC) en forma líquida, siendo este un coagulante con altas ventajas, según Rinne⁵⁴y haciendo una comparación con otros coagulantes, con este, el pH óptimo de la coagulación puede ser más alto cuando se usa el Alm. Igualmente que la remoción de las sustancias orgánicas es mejor al utilizar el PAC en comparación con otro coagulante.

⁵³CÁRDENAS, Yolanda. Tratamiento de agua coagulación y floculación. [En línea]. Sedepal, 2000. [Consulta 15 abril 2019]. Disponible en: http://www.sedepal.com.pe/c/document_library/get_file?uuid=2792d3e3-59b7-4b9e-ae55-56209841d9b8&groupId=10154

⁵⁴ RINNE, tuomas. potabilización con diferentes coagulantes de aluminio y hierro. en: xxii congreso de Centroamérica y panamá de ingeniería sanitaria y ambiental "superación sanitaria y ambiental: el reto. P 3 [En línea] Disponible en: <http://www.bvsde.paho.org/bvsaidis/centroa22/Ponencia18.pdf>

Además de las anteriores ventajas nombradas y según la página web Cinética Química⁵⁵ este PAC también genera un menor residual de aluminio, mejora la velocidad de formación de flocs, mejora en la remoción de color o turbidez, genera mayor velocidad de sedimentación, requiere menores tiempos de mezclado para coagular, mejora la eficiencia de la filtración, aumento de la operación de filtros, su costo no es alto entre otras ventajas más. Entonces con base a las anteriores ventajas se considera que es conveniente la evaluación del mismo coagulante y constatar que su dosificación está siendo adecuada.

Como se mencionó anteriormente cuando las partículas coloidales se encuentran en suspensión pueden atravesar el lecho filtrante, es por eso que esta propuesta se basa en también hacer una evaluación de este lecho, ya que la eficiencia del lecho actual, según el cómo se evidencio en el diagnostico operacional fue de 48%. En el cuadro 5 se puede observar las ventajas y desventajas de esta alternativa.

⁵⁵ CINETICA QUIMICA. Policloruro de aluminio. [Sitio web].Bogotá. Q Cinética Química [consultado 14 abril 2019]. Disponible en <https://policlorurodealuminio.com/>

Cuadro 5. Ventajas y desventajas de la alternativa 1.

Alternativa	Ventajas	Desventajas
<p>Evaluación del coagulante-floculante actual y del lecho filtrante</p>	<p>El Policloruro actual puede utilizarse como coagulante y floculante y según Rinne⁵⁶. Muchas veces es posible usar el PAC sin alcalinización en el proceso de coagulación. La remoción de las sustancias orgánicas es mejor con el PAC en comparación con el Alum. Problemas con agua fría y con un proceso demasiado lento de la formación de flóculos pueden muchas veces ser resueltos con el PAC porque reacciona más rápido que el Alum.</p> <p>En relación con el medio ambiente el PAC según su NFPA⁵⁷ presenta un valor poco peligroso de riesgo.</p> <p>Según Romero entre los procesos que mejoran 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.⁵⁸</p>	<p>De acuerdo con Blacio y Palacios⁵⁹ el mantenimiento de estos filtros requiere una limpieza alrededor de 2 o 3 meses y después de 4 o 5 limpiezas es necesario realizar una mejora completa al filtro. Es un proceso que tarda aproximadamente 20 días y en climas cálidos entre 10 y 15 días, lo que sería una desventaja en caso de solamente tener un filtro en operación.</p> <p>De acuerdo con Torres y Villanueva⁶⁰ Se debe contar con más de un filtro y este debe cumplir con el ingreso de un agua problema de hasta 20 unidades nefelométricas de turbiedad para que el sistema no se colmate y disminuya su vida útil.</p>

⁵⁶ RINNE. Op. cit., p3

⁵⁷ MASS, MEDIO AMBIENTE, SALUD Y SEGURIDAD. En: GTM GRUPO TRANSMERQUIM. [sitio web]. Bogotá. [Consulta 14 marzo 2019]. Archivo pdf. Disponible en:

[http://www.gtm.net/images/industrial/p/POLICLORURO%20DE%20ALUMINIO%20LIQUID O.pdf](http://www.gtm.net/images/industrial/p/POLICLORURO%20DE%20ALUMINIO%20LIQUID%20O.pdf)

⁵⁸ ROMERO; Op. Purificación del agua., p. 20.

⁵⁹ BLACIO, Diego Andrés. PALACIOS, José Luis. Título de ingeniería civil. Ecuador. Universidad de cuenca.2001. 54p. Recuperado de <http://dspace.ucuenca.edu.ec/bitstream/123456789/751/1/ti878.pdf>

⁶⁰ TORRES, Alberto. VILLANUEVA, Sonia. El filtro de arena lento: Manuel para el armado, instalación y monitoreo. [En línea]. Universidad piloto de Colombia ,2014. [Consulta 15 abril 2019]. Disponible en: <http://www.unipiloto.edu.co/wp-content/uploads/2013/11/El-filtro-de-arena-Lento-a-color-para-la-web.pdf>. ISBN: 978-958-8537-79-5

4.1.2 Alternativa #2. Implementación de un aireador de bandejas múltiples. Este consiste en una serie de bandejas equipadas con ranuras, fondos perforados o mallas de alambre, sobre las cuales se distribuye el agua y se deja caer a un tanque receptor en la base. “La ventilación es un factor importante en el diseño de estos aireadores y debe estudiarse cuidadosamente para la selección del sitio de localización”.⁶¹

La forma de llevar a cabo esta alternativa antes del proceso de coagulación-floculación se implementará una torre de aireación con bandejas, haciendo un escalamiento de la unidad simulando la caída del agua haciendo uso de un material que puede ser considerando carbón activado o Pall rings que es una tecnología para la absorción de hierro en torres de aireación⁶², donde según Prada y Robelto⁶³ estas torres funcionan con la caída del agua entre las bandejas donde el tiempo de contacto debe ser suficiente para la oxidación por medio del aire que posteriormente precipita las partículas insolubles de hierro y estas son adheridas a los anillos. Puede ser una gran técnica para la oxidación de hierro y remoción de compuestos orgánicos volátiles, su costo es bajo puesto que no involucra la adición de sustancias, sin embargo, según⁶⁴ Garcés y Rosero, las eficiencias de este método no son significativas. En el cuadro 6 se pueden observar las ventajas esta alternativa.

⁶¹ ROMERO ROJAS, Jairo. Purificación del agua. 2ed. Bogotá D.C: Editorial Escuela Colombiana de Ingeniería, 200.36 p.

⁶² FILTRA H2O Ltda. Tratamiento de aguas. Anillos Pall ring. [Sitio web]. Bogotá. Trece 99. [consultado 30 de marzo de 2019]. Disponible en: <http://www.filtrah2oltda.com/anillos-pall-ring/>

⁶³ PRADA, Diego. ROBELTO, Cristian. Propuesta para un sistema de tratamiento de agua potable para el acueducto aguas del trapiche S.A.S. en Villavicencio, Meta. [en línea]. Tesis de pregrado. Fundación Universidad de América. Bogotá D.C. 2016. [consultado el 30 de marzo de 2019]. Disponible en: repository.uamerica.edu.co/bitstream/20.500.11839/622/1/6121826-2016-2-IQ.pdf

⁶⁴ GARCÉS, Ana. ROSERO, Laura. Determinación de la eficiencia de remoción de hierro y manganeso utilizando un aireador de bandejas con lechos de coque, grava y una combinación de ambos en la ciudad de San Juan de Pasto. [en línea]. Tesis de pregrado. Universidad de Nariño. San Juan de Pasto. 2014. [consultado el 27 de abril de 2019]. Disponible en: <http://biblioteca.udenar.edu.co:8085/atenea/biblioteca/89980.pdf>

Cuadro 6. Ventajas y desventajas de la segunda alternativa.

Alternativa	Ventajas	Desventajas
<p>Implementación de un aireador de bandejas múltiples</p>	<p>Es un dispositivo eficiente en la reducción de hierro, Se haría un cambio de estructura lo cual incrementaría costos. Como dice Wang, Hung y Shammass⁶⁵ la aireación por bandejas tiene un nivel de habilidad de operación requerido bajo lo que indica que no requiere inversiones de este tipo, el nivel de mantenimiento requerido y el requerimiento de energía también son bajos dado que no hay ventiladores y por último los materiales tienen buena vida útil.</p> <p>De acuerdo con Prada y Robelto⁶⁶ se requieren un tipo de producto químico para hacer limpieza en la bandejas, dependiendo del material que se use se tendrá que sacar o separar para hacer su limpieza. El riesgo ambiental es bajo dado que la deposición del material está sujeto a la eliminación de este y como se indicó anteriormente, tiene buena vida útil</p>	<p>La eliminación de carbono variara según la estación y las condiciones del viento.</p> <p>Altos costos de limpieza o sustitución de materiales (carbón o pall rings).</p> <p>La efectividad es buena pero no lo suficiente ya que según Ronny y Abdul⁶⁷ realizaron un estudio donde efectivamente los niveles de hierro disminuyen, pero aún sigue habiendo trazas de hierro en concordancia a los requerimientos del Ministerio de Salud de la Republica de Indonesia.</p> <p>Muestran una tendencia a obstruirse cuando el agua viene con altos niveles de hierro y por lo tanto dificultaran el goteo</p> <p>Finalmente, conforme a lo planteado por Wang, Hung y Shammass⁶⁸ se requiere de un equipo de retrolavado en lo aireadores para eliminar hidratos.</p>

Fuente: elaboración propia

⁶⁵ WANG, Lawrence. HUNG, Yung-Tse. SHAMMAS, Nazik. Advanced Physicochemical treatment processes. [En línea]. 4ª.ed. New Jersey, Totowa: Humana Press Inc. 2007. [citado el 30 de abril de 2019]. Disponible en: <https://bit.ly/2wEO4ua>. ISBN: 1-59259-029-4

⁶⁶ PRADA Y ROBELTO. Op. cit., p. 51

⁶⁷ HASIM Ronny, HASIM Abdul. Effectiveness of multiple tray-aerator in reducing iron (Fe) water wells in Gowa, Indonesia. Ecology, Environment and Conservation. 2018. p. 22-25.

⁶⁸ WANG, Lawrence. HUNG, Yung-Tse. SHAMMAS, Nazik. Biological Treatment Processes, Op. cit. p. 187.

4.1.3 Alternativa #3. Evaluación de un nuevo coagulante.

De acuerdo con la caracterización de agua y los resultados obtenidos, se propone la evaluación de un nuevo coagulante. Para llevar a cabo esta alternativa, se tendrá en cuenta factores como la velocidad de formación de flóculos y posible dispersión del coagulante en la mezcla rápida.

Los coagulantes más comunes que se usan en el tratamiento de aguas son compuestos inorgánicos de aluminio o hierro como el sulfato de aluminio, aluminato de sodio, sulfato ferroso, sulfato férrico y cloruro férrico⁶⁹. Cada coagulante tiene un rango específico de pH donde tiene la mínima solubilidad y ocurre la máxima precipitación dependiendo, también, de las características químicas del agua cruda. Para llevar a cabo esta alternativa se evaluará la etapa de mezcla rápida en donde se hará un mejoramiento determinando la dosificación adecuada, teniendo en cuenta parámetros como el pH y turbidez y finalmente haciendo una comparación de cada uno de ellos para conocer los mejores rendimientos y dosificaciones. En el cuadro 7 se evidencian las ventajas y desventajas de esta alternativa.

Cuadro 7. Ventajas y desventajas alternativa 3

Alternativa	Ventajas	Desventajas
Evaluación de un nuevo coagulante	La estructura actual permanecerá igual. Dependiendo de las características de los coagulantes, muchos tienen propiedades efectivas para la disminución de la turbiedad y de acuerdo con Restrepo ⁷⁰ entre Sales de aluminio, sales de hierro y polímeros poli electrónicos. Las sales de aluminio tienen ventaja ya que tiene un bajo costo y manejo relativamente sencillo y en cuanto a los polímeros, aunque su precio es mayor sus concentraciones son bajas y esto compensa el costo.	Es eficaz sólo en cierto intervalo de pH Una buena floculación puede no ser posible con alumbre en algunas aguas.

Fuente: elaborado por los autores.

⁶⁹COGOLLO, Juan Miguel. Clarificación de aguas usando coagulantes polimerizados: caso del hidroxiclورو de aluminio. En: DYNNA.2011.Vol.78, Nro165, pp.20 [En línea]. Recuperado de: <http://www.redalyc.org/pdf/496/49622372002.pdf>

⁷⁰ RESTREPO, Alonso. Evaluación de coagulación – floculación de una planta de tratamiento de agua potable. Ingeniería civil. Medellín. Universidad nacional de Colombia 2009. 5p. Recuperado en http://www.bdigital.unal.edu.co/877/1/15372239_2009.pdf

4.2 SELECCIÓN DE LA ALTERNATIVA DE MEJORA

A partir de los datos recopilados y del diagnóstico de la planta se tomaron tres posibles alternativas para lograr disminuir la cantidad del hierro y la turbidez y lograr condiciones óptimas en diseño del acueducto. Para la selección del método adecuado se analizan características técnicas de la planta, viabilidad económica, manejo operacional e incluso características ambientales, cada una de las alternativas se estudiaron previamente para ser desarrollada dentro de la planta y que podrán ser viables dentro de ella.

El procedimiento se realiza mediante una matriz de selección por medio del método de los factores ponderados para determinar los parámetros y métodos que favorecen o no las alternativas propuestas y las cuales serán evaluadas de 1 a 5 representados en la tabla 18.

Tabla 11. Puntaje de los criterios de selección

Valoración	
Mala	1
Regular	2
Buena	3
Muy Buena	4
Excelente	5

Fuente: elaboración propia

“la puntuación de cada alternativa se obtiene utilizando un desarrollo matemático, encontrado en el libro manual de mantenimiento industrial de Robert C. Rosaler”⁷¹ Expresado mediante la Ecuación 2.

Ecuación 2. Puntuación Global ponderada

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

⁷¹ ROSALEER, Robert y RICE, James, Manual de mantenimiento industrial, Citado por Alonso, Jhon y Sánchez, Catalina. Propuesta de mejora para la planta de agua potable de la empresa fertilizantes colombianos S.A. [En línea]. Tesis de pregrado. Fundación universidad de América. Bogotá D.C. 2017. [Consultado 15 marzo 2019]. Disponible en <http://repository.uamerica.edu.co/bitstream/20.500.11839/6260/1/6111635-2017-1-IQ.pdf>

Se realiza una explicación de cada criterio y se le da un peso ponderado a cada parámetro según Alonso y Sanchez ⁷² y según la investigación de Guerrero⁷³ se determinó el criterio operativo y de costos los cuales tienen un valor de 0.4 y 0.5 respectivamente y el criterio ambiental tendrá un valor de 0.1.

- Costos (0.4): Se realiza un análisis de costos de inversión en el cual se deben tener en cuenta ciertos criterios para implementar la estrategia de mejora de la planta como lo son equipos, recursos, etc.
- Inversión: Se refiere al dinero que se requiere para la adquisición de activos como lo son los equipos, materia prima y dispositivos que se necesitan para la ejecución de la alternativa.
- Operatividad: Se refiere al consumo de servicios o gastos necesarios como la mano de obra para implementar la alternativa seleccionada.
- Mantenimiento: Los requerimientos que se deben usar en la implementación de la nueva alternativa, tiempo de mantenimiento, dinero de inversión, entre otros.
- Operativo (0.5): Hace referencia a las dificultades o ventajas operativas de cada alternativa, con el fin de obtener las mayores ventajas y facilidades operativas.
- Tiempo de operación: El tiempo en el que se llevará a cabo esta alternativa.
- Vida útil: Es el tiempo de vida útil estimado de duración de los equipos.
- Seguridad industrial: Es la prevención de riesgos que pueden suceder durante la implementación de la alternativa. También incluye la seguridad de cada uno de los operarios.
- Tecnología y equipos: Disponibilidad de los equipos y que tengan fácil adaptabilidad a los cambios de la alternativa.
- Reactivos: Disponibilidad de reactivos requeridos.
- Ambiental (0.1): En este se encuentran los análisis necesarios de impacto ambiental a la zona generados por contaminantes o lodos, causados por la implementación de las actividades que se presenten en cada alternativa. En este criterio se evaluará específicamente el riesgo ambiental causante por la expulsión de lodos en el área de sedimentación, el manejo de reactivos, los desechos orgánicos que se presenten en el mantenimiento del acueducto y el riesgo que represente la implementación de cada una de las alternativas propuestas en cuando a la construcción y manejo adecuado de materiales.

Con los valores mostrados en la tabla 18, se hará una clasificación con base a los parámetros nombrados anteriormente, dándole a cada uno de estos un cierto

⁷² ALONSO, Jhon. SANCHEZ, Catalina. Propuesta de mejora para la planta de agua potable de la empresa fertilizantes colombianos S.A. [En línea]. Tesis de pre grado. Fundación Universidad América. Bogotá 2017 [Consultado el 1 Marzo 2019]. Disponible en : <http://repository.uamerica.edu.co/bitstream/20.500.11839/6260/1/6111635-2017-1-IQ.pdf>

⁷³ GUERRERO, J. Modelo de selección de tecnología para el tratamiento de aguas residuales en pequeñas localidades. En: Universidad Tecnológica de Pereira. [Sitio web]. [Consulta 1 Marzo 2019]. Archivo pdf.

porcentaje con base a su importancia y el que indique el valor mayor en la matriz de decisión será la alternativa que será elegida.

Tabla 12. Matriz de selección de la mejor alternativa

Criterios	Parámetros de selección	Valor ponderado	Evaluación del PAC y lecho filtrante	Implementación de un aireador de bandejas múltiples	Evaluación de implementación de un nuevo coagulante	Valor ponderado por cada propuesta respectivamente		
Costos	Inversión	0,3	4	3	3	1,2	0,9	0,9
	Mantenimiento	0,1	3	2	4	0,3	0,2	0,4
	Operatividad	0,1	4	3	3	0,4	0,3	0,3
	Tiempo de operación	0,06	3	4	3	0,18	0,24	0,18
	Vida Útil	0,11	3	4	4	0,33	0,44	0,44
Operativo	Seguridad industrial	0,05	4	4	3	0,2	0,2	0,15
	Tecnología y equipos	0,08	4	2	4	0,32	0,16	0,32
	Reactivos	0,1	4	2	2	0,4	0,2	0,2
Ambiental	Riesgo ambiental	0,1	4	4	4	0,4	0,4	0,4
						3,73	3,04	3,29

Fuente: elaboración propia.

Se le proporcionó un valor o puntaje a cada uno de los factores evaluados y todos ellos se hicieron con base a las ventajas y desventajas de las alternativas y en conjunto con operarios e ingenieros de la planta para llegar a un resultado más exacto y tomar la mejor opción disponible.

Allí se realizó un promedio ponderado con el fin de encontrar la mejor alternativa que según la tabla 17, indica que la mejor alternativa según las propuestas es: Evaluación del PAC y lecho filtrante.

Si bien las demás alternativas son buenas opciones que podrían ser usadas en el acueducto, la alternativa tres representa gastos en capacitación de personal del nuevo coagulante y nuevos reactivos o agentes químicos, efectos sobre tratamientos de los nuevos productos o lodos y los nuevos desechos que se generan por el nuevo coagulante aunque se vería un ahorro en tiempo ya que no es necesario hacer adecuaciones físicas dentro del proceso y sería un punto positivo para la planta ya que no requiere mucha inversión. Por otro lado la última opción recomendada es Implementación de un aireador de bandejas múltiples, pero en este proceso las condiciones más efectivas para la remoción de hierro ocurre entre un pH determinado, este se da entre pH de 7-9, pero la aireación será la mejor en un pH de 8 y no debería ser operado por debajo de pH de 7.5 en este caso se incurriría a la adición de un neutralizante de pH como soda cáustica para tener control de esta variable y además habrá que hacer una inversión de la estructura donde irán las bandejas y agregar una bomba dosificadora. La retención dependerá del tipo de bandejas y los materiales en que se usarán dentro de estas, por ejemplo materiales sintéticos, metales, carbón o materiales cerámicos.⁷⁴

Este sistema es sensible a la obstrucción ya que si no se tiene una unidad de desarenador eficiente podría afectar el funcionamiento de esta, pero debido a que ocurre la oxidación debe realizarse una limpieza periódicamente del material de embalaje eliminando la contaminación por hierro.

4.3 APLICACIÓN DE LA ALTERNATIVA SELECCIONADA

Para el desarrollo experimental se llevó a cabo ensayo de test de jarras, donde será evaluado el coagulante-floculante usado por el acueducto. El problema actual es que en época de lluvias el agua presenta resultados con un contenido de hierro y turbidez que sobrepasa la norma y al ser dos características que son relacionadas, se evaluó la opción de implementar esta alternativa de modo que, con las modificaciones adecuadas, el estudio del coagulante- floculante y la evaluación del filtro, el hierro pueda ser eliminado y por ende la turbidez baje de nivel hasta llegar al límite permitido.

⁷⁴ CRITTENDEN, John C. TRUSSELL, Rhodes. HAND, David W. HOWE. Kerry J. Air Stripping and Airation, En: Water Treatment: Principles and Design. 3 ed. Hoboken, NJ, USA. John Wiley & Sons, Inc. 2012. p. 146-147

4.4 DESARROLLO EXPERIMENTAL

“El ensayo de jarras ha sido ampliamente usado; sus resultados tienen gran aplicabilidad en el diseño y la operación real de las unidades de tratamiento, así como en la optimización de plantas existentes. El procedimiento requiere como datos previos los valores de pH, turbiedad, color y alcalinidad del agua cruda”.⁷⁵ Entonces dentro del desarrollo experimental se decidió realizar el test de jarras ya que es un método donde se pueden simular procesos de coagulación, floculación y sedimentación cuando se trata de encontrar concentraciones, dosis óptimas de químicos y otros parámetros para la potabilización de agua.

De acuerdo con la norma NTC3903 ⁷⁶ se llevara a cabo el test de jarras para determinar la dosis óptima de reactivo, en este caso el policloruro de aluminio, con el fin de reducir el material disuelto del agua, en suspensión, coloidal y de difícil sedimentación. Por medio de este procedimiento también se podrá evaluar la eficiencia en la remoción de color, turbiedad y reducción de dureza entre otros. Según la investigación realizada por Lorenzo ⁷⁷ para este proceso influyen factores químicos e hidráulicos, entre estos se encuentran:

- pH: Es una variable muy importante en los fenómenos de coagulación-floculación. Preferiblemente el pH debe quedar dentro de la zona correspondiente al mínimo de solubilidad de los iones metálicos de coagulante usado.
- Temperatura: Esta es un gran influyente en la efectividad de la coagulación y la velocidad de formación del floculo. Al disminuir la temperatura del agua debe aumentarse la dosis de los productos químicos con los cuales se está llevando a cabo la coagulación para así lograr la formación de floculos adecuados.
- Concentración de coagulante: esta variable se considera fundamental dentro de la coagulación, según la investigación de Claudia Barajas y Andrea León⁷⁸ a una

⁷⁵ MARSELLA, Luis Antonio. Comparación de la eficiencia del sulfato de aluminio y el sulfato ferroso en la remoción de sólidos en suspensión en aguas residuales de tipo ordinario. [en línea]. Tesis de pregrado. Universidad de San Carlos de Guatemala, 2014. [Consultado 19 de marzo de 2019]. Disponible en: http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08_1457_Q.pdf

⁷⁶ INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TECNICAS Y CERTIFICACION. Procedimiento para el ensayo de coagulación- floculación en un recipiente con agua o método de jarras. NTC3903. Bogotá D.C.:

⁷⁷ LORENZO, Yaniris. Estado del arte del tratamiento de aguas por coagulación-floculación. *En*: 2006, volumen XL, num. 2, p 14. ISSN 0138-6204. Recuperado de: www.redalyc.org/pdf/2231/223120664002.pdf

⁷⁸ BARAJAS, Claudia. LEÓN, Andrea. Determinación de la dosis óptima de sulfato de aluminio (al₂(so₄)₃ 18h₂o) en el proceso de coagulación - floculación para el tratamiento de agua potable por medio del uso de una red neuronal artificial. [en línea]. Tesis de

concentración determinada, la dosis se empleará a través de un volumen indicado de cual sea el agente coagulante con el que se logrará la formación de flóculos con mayor compactación y velocidad de sedimentación, lo que a su vez permitirá obtener un mejor resultado de la turbiedad.

- Tiempo y secuencia de aplicación de los reactivos y/o aplicación de químicos, de acuerdo con Vargas ⁷⁹ cuando el coagulante se adiciona a cada vaso n diferentes tiempos según su turno, podría ser un procedimiento inefectivo, en particular cuando se están usando ayudantes de coagulación, entonces el tiempo entre la adición del coagulante y el ayudante siempre es crítico.

4.4.1 Metodología de experimentación. Se tomaron 9 L de muestra de agua cruda en los meses de Marzo y Abril, en este caso se realizaron muestreos donde se presenta mayor época de lluvias, como se representó en el Grafico 1.

4.4.2 Test De Jarras. Se obtuvieron cuatro muestras de agua proveniente del acueducto La venta El Cofre en su tercera etapa del proceso, en el punto de aducción y en épocas de lluvia, más exactamente en la segunda y última semana de marzo y también se toman dos muestras en la primera y tercera semana de abril, en total se tomaron 9 litros de agua para cada muestreo como se observa en la Tabla 20.

Tabla 13. Fechas y cantidad de agua tomada en cada mes

	Día	Litros de Agua	Hora
	11	9L	9:35 a. m.
Marzo	28	9L	8:40 a. m.
	2	9L	9:40 a. m.
			10:30 a.
Abril	8	9L	m.

Fuente: elaboración propia

Esto con el objetivo de disminuir el porcentaje de error en los resultados finales y obtener con mayor precisión la dosificación adecuada para obtener óptima calidad de agua y finalmente se determinaron los parámetros de turbiedad y pH.

4.4.1.1 Mezcla Rápida. Se procede a realizar la mezcla rápida o punto de coagulación, donde se prepararon 4 vasos cada uno con 700 ml de agua y se registró la temperatura, pH, y turbiedad de la muestra al comienzo del ensayo, seguido a esto se establece el tiempo total de agitación, donde se tomó como referencia una agitación a una velocidad de 100 rpm por 30 minutos. A cada uno de

pregrado. Universidad Santo Tomás. Bogotá D.C. 2015. [consultado 27 de marzo de 2019]. Disponible en: <https://bit.ly/2FIDXIS>

⁷⁹ VARGAS. Op. Cit., p 236

los vasos se le agrega una dosis de policloruro de aluminio (PAC) basado en la turbiedad inicial del agua como se muestra en la Ecuación 2 y se define un rango de dosificación para cada vaso. En este punto se adicionó como coagulante policloruro de aluminio.

Ecuación 3. Dosis del coagulante

$$Dosis (ppm) = 2.3959 * Ln(Turbiedad, NTU) + 24.355$$

Fuente: COGOLLO, Juan Miguel. Clarificación de aguas usando coagulantes polimerizados: caso del Hidroxicloruro de aluminio. En: bdigital Universidad Nacional de Colombia. 5 de octubre de 2010, vol. 78 no. 165. p. 18-27.

Es necesario resaltar los resultados de las pruebas de jarras y, por ende, el modelo de ajuste matemático entre dosis de coagulante y turbiedad del agua cruda, sólo son aplicables para el rango de turbiedad del agua cruda objeto de estudio y con características fisicoquímicas similares. Los valores de turbiedad de la experimentación arrojaron valores comprendidos entre 4.2 NTU hasta 7.22 NTU.

Sólo es aplicable la Ecuación 2 en el rango de turbiedad de 0.87 hasta 7.25 NTU. Esta consideración es razonable ya que la cantidad de coagulante a adicionar en aguas con turbiedad por encima del rango estudiado puede ser menor al predicho por el modelo, debido a que cuando ésta aumenta, la probabilidad de colisión entre las partículas también es muy elevada y la coagulación se realizaría con facilidad usando menor concentración de coagulante. De modo análogo, cuando la turbiedad es baja, la coagulación se realiza difícilmente y la cantidad de coagulante es igual o mayor que si la turbiedad fuera alta. Por lo anterior, es imprescindible divulgar y especificar al personal encargado de la operación rutinaria estos rangos operativos y establecer las medidas correctivas cuando el agua cruda presente características fuera de los mismos.⁸⁰

Se creó un rango a partir de la ecuación 2, con respecto a la turbiedad de cada muestreo donde se obtuvo un valor de 29.071 mg/L para el muestreo del 11 de marzo. Los demás se pueden evidenciar en el Anexo L

$$Dosis (ppm) = 2.3953 \ln(7.22) + 24.335 = 29.071 \text{ ppm}$$

4.4.1.2 Mezcla Lenta. Enseguida se redujo la velocidad de los agitadores a 40 rpm con el fin de mantener en suspensión uniforme las partículas de flóculos al finalizar la mezcla rápida hasta obtener la primera formación visible de los flóculos.

⁸⁰ COGOLLO, Juan Miguel. Clarificación de aguas usando coagulantes polimerizados: caso del hidroxocloruro de aluminio. En: *DYNA*. 2011, Vol.78, Nro. 165, pp. 18-27. [En línea] Recuperado de: <https://revistas.unal.edu.co/index.php/dyna/article/view/25636/26091>

4.4.1.3 Sedimentación. Cuando termina el proceso de agitación se deja que los flóculos se sedimenten, es decir, que las jarras se dejan estables por 15 minutos para obtener la mayor parte de los flóculos.

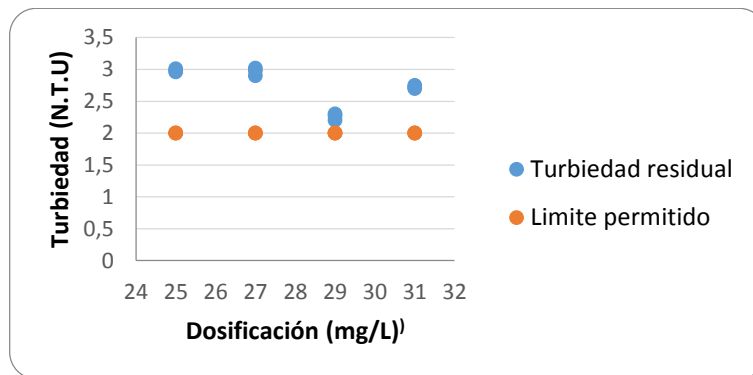
4.4.1.4 Resultados de dosificación del Policloruro de Aluminio. A continuación se evidenciarán los resultados del agua tomados en diferentes meses en épocas de lluvia entre marzo y abril, donde se analizaron parámetros importantes como la turbiedad, el pH inicial y final de cada muestra.

Tabla 14. Resultados de parámetros de agua cruda y después de dosificar. Fecha 11 marzo 2019

	Jarra 1			Jarra 2			Jarra 3			Jarras 4		
Dosificación PAC (mg/L)	25	25	25	27	27	27	29	29	29	31	31	31
Turbiedad inicial (NTU)	7.22	7.22	7.22	7.22	7.22	7.22	7.22	7.22	7.22	7.22	7.22	7.22
Turbiedad residual (NTU)	2.96	3.01	2.98	3.02	2.9	2.98	2.2	2.3	2.27	2.75	2.7	2.72
pH Inicial	8.3	8.3	8.3	8.3	8.3	8.3	8.3	8.3	8.3	8.3	8.3	8.3
pH final	8.01	7.92	7.95	7.86	7.8	7.84	7.6	7.56	7.5	7.82	7.8	7.77
%Remoción turbiedad	59.00	58.31	58.72	58.17	59.83	58.72	69.52	68.14	68.55	61.91	62.60	62.32

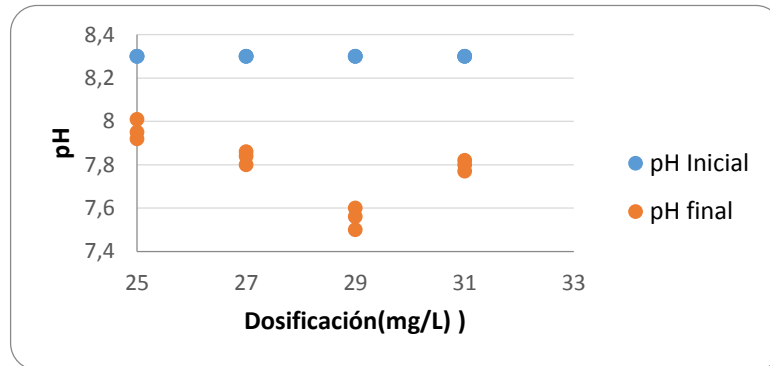
Fuente: elaboración propia.

Gráfico 2. Resultados de turbiedad vs dosificación de PAC



Fuente: Elaboración propia.

Gráfico 3 Resultados pH vs Dosificación de PAC.



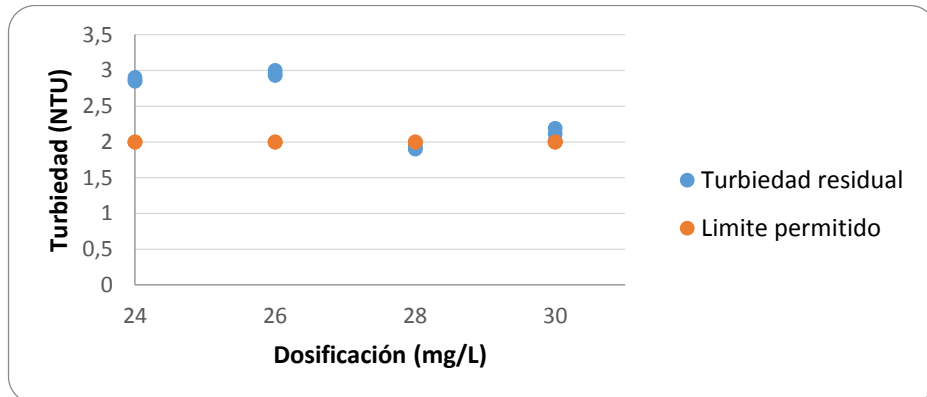
Fuente: elaboración propia

Tabla 15. Resultados de parámetros de agua cruda y después de dosificar. Fecha 28 Marzo 2019

28 / marzo / 2019	Jarra 1			Jarra 2			Jarra 3			Jarras 4		
Dosificación coagulante (mg/L)	24	24	24	26	26	26	28	28	28	30	30	30
Turbiedad inicial (NTU)	6.8	6.8	6.8	6.8	6.8	6.8	6.8	6.8	6.8	6.8	6.8	6.8
Turbiedad residual (NTU)	2.9	2.86	2.85	3	2.95	2.93	1.9	1.96	1.91	2.01	2.11	2.19
pH Inicial	7.83	7.83	7.83	7.83	7.83	7.83	7.83	7.83	7.83	7.83	7.83	7.83
pH final	7.77	7.74	7.71	7.69	7.67	7.69	7.4	7.49	7.52	7.52	7.54	7.53
%Remoción turbiedad	57.39	57.94	58.08	55.88	56.61	56.91	72.05	71.17	71.91	70.44	68.97	67.79

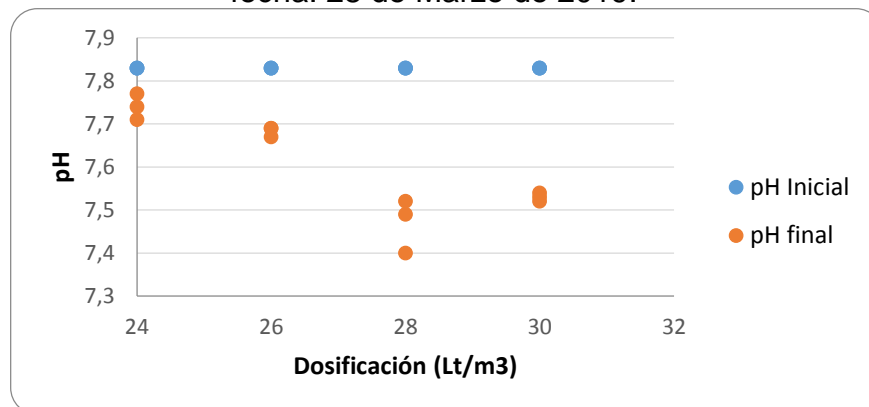
Fuente: elaboración propia.

Gráfico 4 Resultados de turbiedad de PAC en la fecha: 28 de Marzo de 2019.



Fuente: elaboración propia

Gráfico 5 Resultado de pH vs Concentración de PAC para la fecha: 28 de Marzo de 2019.



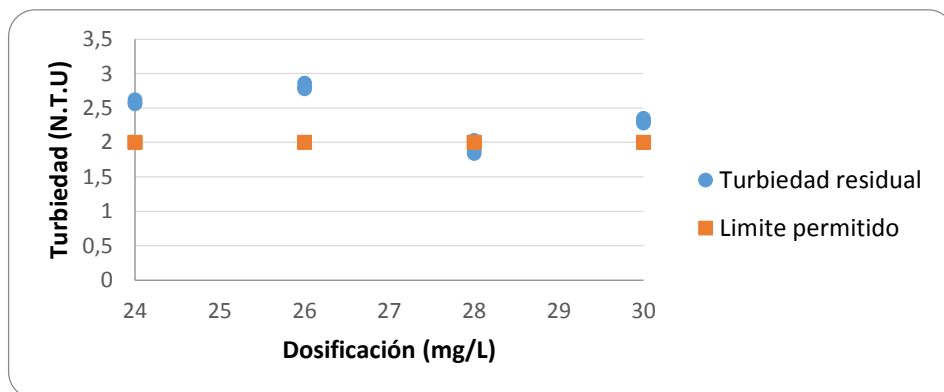
Fuente: elaboración propia.

Tabla 16. Resultados de parámetros de agua cruda y después de dosificar.

2 / abril / 2019	Jarra 1			Jarra 2			Jarra 3			Jarras 4		
Dosificación PAC (mg/L)	24	24	24	26	26	26	28	28	28	30	30	30
Turbiedad inicial (NTU)	4.2	4.2	4.2	4.2	4.2	4.2	4.2	4.2	4.2	4.2	4.2	4.2
Turbiedad residual (NTU)	2.56	2.58	2.62	2.86	2.8	2.78	1.89	1.84	2.03	2.31	2.35	2.28
pH Inicial	7.32	7.32	7.32	7.32	7.32	7.32	7.32	7.32	7.32	7.32	7.32	7.32
pH final	6.91	6.88	6.93	6.79	6.76	6.89	7.09	7.06	7.11	7.13	7.11	7.08
%Remoción turbiedad	39.04	38.57	37.61	31.90	33.33	33.80	55.00	56.19	51.66	45.00	44.04	45.71

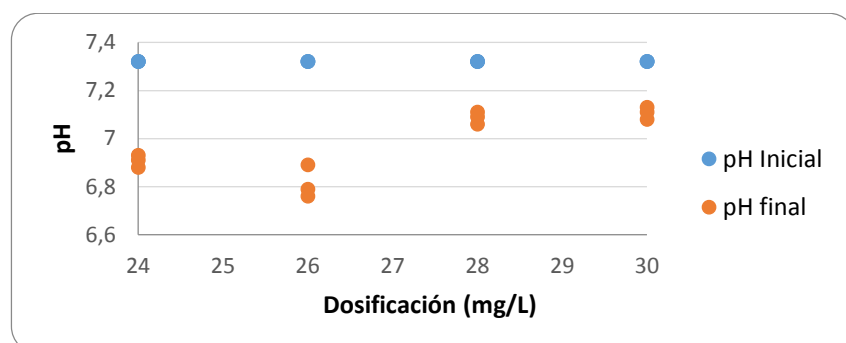
Fuente: elaboración propia.

Gráfico 6. Resultados de turbiedad vs Dosificación de PAC en la fecha: 2 de Abril de 2019.



Fuente: elaboración propia

Gráfico 7. Resultados de pH vs Concentración de PAC para la fecha: 2 de Abril de 2019



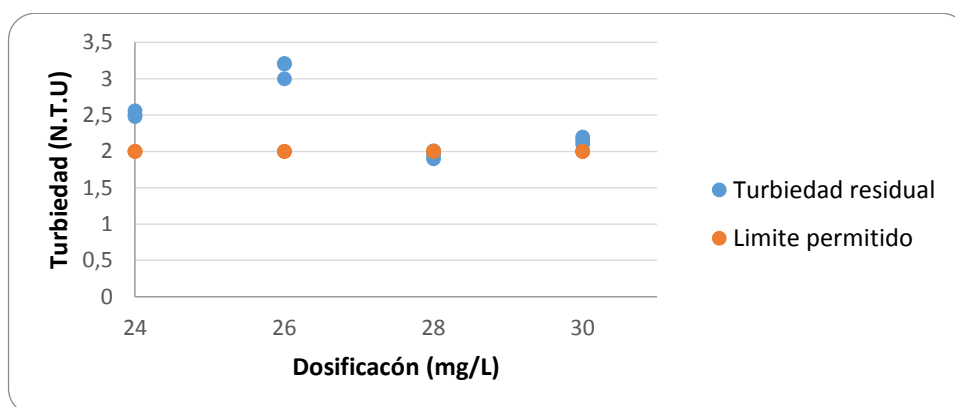
Fuente: elaboración propia

Tabla 17. Resultados de parámetros de agua cruda y después de dosificar. Fecha 2 de abril 2019

08/ 2019	abril/	Jarra 1			Jarra 2			Jarra 3			Jarras 4		
		24	24	24	26	26	26	28	28	28	30	30	30
	Dosisificación PAC (mg/L)												
	Turbiedad inicial (NTU)	5.98	5.98	5.98	5.98	5.98	5.98	5.98	5.98	5.98	5.98	5.98	5.98
	Turbiedad residual (NTU)	2.48	2.56	2.5	3.21	3.2	3	1.95	1.9	2.01	2.1	2.16	2.2
	pH Inicial	8.3	8.3	8.3	8.3	8.3	8.3	8.3	8.3	8.3	8.3	8.3	8.3
	pH final	7.11	7.05	7.09	7.3	7.32	7.35	7.42	7.49	7.41	7.12	7.14	7.09
	%Remoción turbiedad	58.52	57.19	58.19	46.32	46.48	49.83	67.39	68.22	66.38	64.88	63.87	63.21

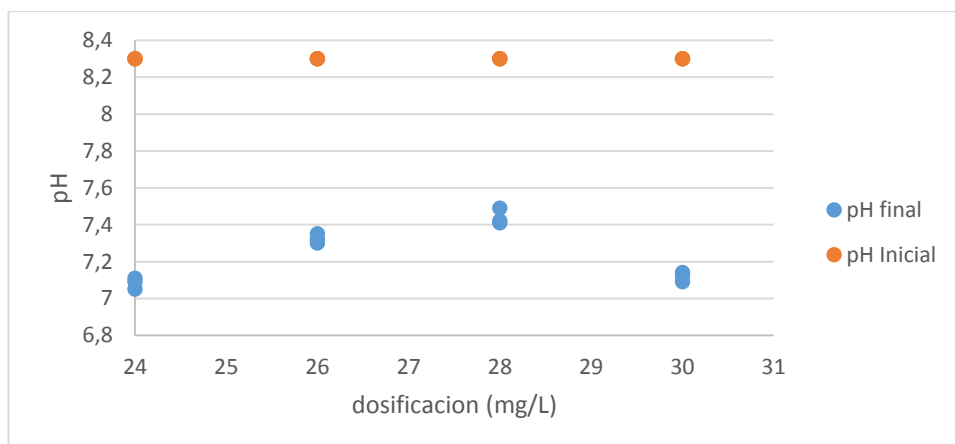
Fuente: elaboración propia

Gráfico 8. Resultados de turbiedad vs Dosificación de PAC en la fecha: 8 de abril de 2019.



Fuente: elaboración propia

Gráfico 9. Resultados de pH vs Concentración de PAC para la fecha: 8 de Abril de 2019.



Fuente: elaboración propia

4.5 ANÁLISIS DE RESULTADOS DE DOSIFICACIÓN DEL POLICLORURO DE ALUMINIO

De acuerdo con las muestras tomadas, en época de lluvia se determinó que para las muestras tomadas en los meses de marzo y Abril la dosificación óptima es mayor a la que el acueducto está usando actualmente, lo que puede estar ocasionando que no se alcanzan los límites de remoción.

Se puede observar en los gráficos de turbiedad en función de la dosificación que la turbiedad disminuyó al aplicar la dosificación del coagulante que en los muestreos

de marzo es de 29 mg/L y para el mes de abril de 28 mg/L lo cual indica que se podría hacer una dosificación entre esos valores de concentración. Con respecto al pH en función de la dosificación del PAC se observa que en ninguna de sus dosificaciones el pH obtenido es mayor que el pH inicial, por esto no requerirá de un neutralizante, lo cual se le atribuye al PAC, haciendo referencia a lo expuesto por Rinne⁸¹ el policloruro de aluminio en su mayoría de casos no requiere un ajuste de pH y éste se mantiene por los requerimientos exigidos por la norma.

La turbiedad se reduce, pero como se propuso en la alternativa, después de evaluar la dosificación de coagulante- floculante, se llevara a cabo la evolución del lecho filtrante.

4.6 EVALUACIÓN DE UN NUEVO LECHO FILTRANTE

De acuerdo con Pérez⁸² Los medios filtrantes pueden utilizarse para separar ya sea con baja carga superficial (filtros lentos) o con alta carga superficial (filtros rápidos), dependiendo del uso de medios granulares y medios porosos, básicamente el objetivo de los lechos filtrantes es que las partículas queden adheridas a los granos que forman dichos poros que es determinada por granulometría y granos de un cierto peso específico que requiere una cantidad mínima de agua para ser lavado específicamente y que es capaz de remover la mayor cantidad posible de partículas suspendidas, produciendo un efluente de buena calidad. La selección y acondicionamiento de la arena y la grava es importante para el funcionamiento efectivo y eficiente del filtro por lo que en este caso se propone un lecho filtrante donde se pueda determinar los resultados satisfactorios de los parámetros en estudio.

Dentro del proceso en el acueducto se utiliza el lecho filtrante con grava y arena media, este proceso de filtración es posterior a la sedimentación lo que indica que aún están saliendo partículas y que deben ser eliminadas.

El acueducto cuenta con un tipo de filtración rápido de arena con flujo descendente construido en concreto con una capa de grava y arena media donde el agua filtrada se retira al fondo del tanque para posteriormente pasar al proceso de desinfección.

4.6.1 Propuesta de los lechos filtrantes. Con base a Romero⁸³ se han propuesto los siguientes lechos filtrantes

- Arena: La arena que se usa en los filtros rápidos es de 2.0mm de diámetro y está compuesta de material silíceo con una dureza de 7 en la escala de Moh y

⁸¹ RINNE. Op. Cit., p3

⁸² PEREZ, Jorge Arturo. Tratamiento de aguas. En: Universidad Nacional. PEREZ, Jorge Arturo. Filtración [en línea]. Universidad Nacional de Colombia. Bogotá .138 p [Fecha de consulta 19 Mayo 2019]. Disponible en : http://bdigital.unal.edu.co/70/6/45_-_5_Capi_4.pdf

⁸³ROMERO, Rojas. Filtración En: Purificación del agua. 2ª edición. Colombia. Monarka. P 218-219

un peso específico no menor de 2. Deberá estar limpia: sin barro ni materia orgánica y no más del 1% podrá ser material laminar o micáceo.

La porosidad varía según el grado de comparación y la limpieza del mismo. Lechos sucios tienen bajas porosidades y al progresar la carrera de filtración se compactan.

- Antracita: La antracita debe tener una dureza de 2.7 o mayor en la escala de Moh y su peso específico no debe ser menor de 1.40.

Una de las principales características de la antracita debe ser la durabilidad. Las antracitas son arrastradas por el flujo de lavado, con lo que el volumen y la altura del medio en los filtros disminuyen. Su porosidad varía entre el 56 % y el 60 % y su capacidad de retención del material es mayor que el de la arena

- Grava : según Arboleda⁸⁴ La grava se coloca sobre el sistema de drenaje , cuando este lo requiere y tiene un doble propósito:

- Servir de soporte al lecho de arena durante la operación de filtrado para evitar que esta se escape por los drenes

- Distribuir el agua de lavado.

- Carbón Activado: Se utiliza carbón antracita porque su capacidad de retención de material es mayor que es de la arena.

4.6.2 Tasa de eficiencia del lecho filtrante actual. La evaluación del lecho actual, fue evidenciada en el diagnostico operacional donde se obtuvo una eficiencia promedio de 48%, entonces, se realizan las propuestas anteriores con el fin de obtener un lecho filtrante con una eficiencia más alta para poder obtener tanto los porcentajes de turbidez como de hierro bajo los parámetros permitidos por la norma.

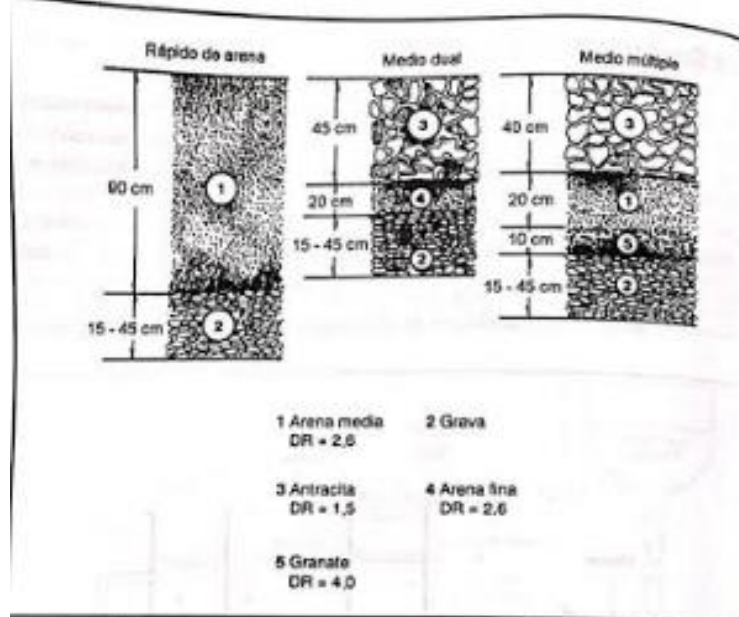
4.6.3 Desarrollo experimental del lecho filtrante. Dentro de la etapa de experimentación de los medios filtrantes se va a realizar un filtro a escala laboratorio donde se va a evaluar la turbidez y la cantidad de hierro con el fin de identificar de los lechos que entregará resultados positivos para la remoción y así poder implementar esta propuesta dentro del proceso de filtración. Se necesita preparar una cama especial de filtrado a fin de retener las partículas más finas del agua proveniente de la coagulación cuando se filtra, que en este caso se realiza a condiciones normales donde se dejará que el agua atraviese el lecho filtrante por la acción de la gravedad.

Para el desarrollo experimental se tomó un recipiente de vidrio con una escala de 1:10 de los valores reales del filtro actual y de cada uno de los materiales como se evidenció en la Tabla 25. Allí se agregó cada uno de los lechos filtrantes y enseguida se añadió la muestra de agua una vez pasada por la experimentación del test de

⁸⁴ ARBOLEDA. Jorge. Diseño de unidades de filtración. En: Teórica y práctica de la purificación del agua. 3 ed. Santa Fe de Bogotá, D.C: Mc Graw Hill, 2000. p. 443-444

jarras, esto con el propósito de poder determinar la eficiencia de cada uno de ellos y tomar el que más beneficie al acueducto. Se tomaron medidas de cada lecho filtrante a partir de lo estipulado por Romero⁸⁵ donde la profundidad grava se toma en un medio dual junto con los demás lechos filtrantes como se muestra en la figura 12 donde se propone de 60% de antracita, 20% de grava y 20% de arena fina o media y por ultimo carbón activado de 7,5 cm donde según el autor la profundidad del medio debe ser entre 0,6cm y 0,75cm.

Figura 12. Tipos de lecho filtrante



Fuente: ROMERO ROJAS, Jairo. Acuípurificación. Diseño de sistemas de purificación de aguas. 2 ed. Bogotá D.C.: Editorial Escuela Colombiana De Ingeniería, 1997.27p.

Tabla 18. Escala laboratorio de lecho filtrante 1:10. Antracita, arena fina y grava.

Antracita	4.5 cm
Arena Fina	1,5 cm
Grava	1,5 cm

Fuente: elaboración propia

⁸⁵ ROMERO. Jairo. Op.

Tabla 19. Escala de lecho filtrante 1:10. Antracita , arena media y grava

Antracita	4.5 cm
Arena media	1,5 cm
Grava	1,5 cm

Fuente: elaboración propia

Tabla 20. Escala laboratorio de lecho filtrante 1:10 Carbón activado

Carbón activado	7,5 cm
-----------------	--------

Fuente: elaboración propia

5.6.4 Resultados del desarrollo experimental del lecho filtrante. Con cada muestra de agua después de ser analizada por el coagulante-floculante, se midió la turbidez posteriormente esta agua fue pasada por el lecho filtrante y nuevamente se midió la turbidez a la salida del filtro. Se tomaron 2 ensayos por cada filtro y se obtuvieron los resultados reflejados en la Tabla 28.

Después de analizar cada uno de los lechos filtrantes a nivel laboratorio, de obtener sus turbiedades y eficiencia, se puede evidenciar que la turbiedad baja hasta llegar a los niveles permitidos por la norma. El lecho filtrante con más eficiencia es el lecho con Arena fina, Antracita y Grava con una eficiencia de 86.3 % lo que al compararlo con la eficiencia del lecho actual se evidencia un aumento de eficiencia del 38.48%.

Tabla 21. Resultado de turbiedad con cada uno de los lechos filtrante.

Réplicas	No. de filtro	Lecho	Turbiedad entrada (NTU)	Turbiedad después del lecho (NTU)	Eficiencia (%)
Réplica 1	1	Arena media, Antracita y grava	2,05	0,49	76,09
Réplica 2	1	Arena media, Antracita y grava	2,05	0,45	78,04
Réplica 1	2	Arena fina , Antracita y grava	2,05	0,29	85,85
Réplica 2	2	Arena fina , Antracita y grava	2,05	0,27	86,82
Réplica 1	3	Carbón activado	2,05	0,45	78,04
Réplica 2	3	Carbón activado	2,05	0,43	79,02

Fuente: elaboración propia

Para comprobar que los niveles de hierro también han bajado se analizó la muestra después de haber pasado el lecho filtrante y los resultados que se obtuvieron se muestran en la tabla 29 y en el Anexo H.

Tabla 22. Resultados de la caracterización del agua, después de la alternativa seleccionada.

Variable	Unidad	Resultados	Res 2115-2007
Hierro Total, Fe	mg/L	0,034	0,3
Color Aparente	Pt- Co	0	15
Turbidez	NTU	0,285	2

Fuente: elaboración propia

4.7 REQUERIMIENTOS TECNICOS DE LA ALTERNATIVA

Con base a lo trabajado anteriormente se lleva a cabo la elaboración de un diagrama P&ID, con las modificaciones y sugerencias realizadas por los autores para el acueducto, iniciando por la estructura de mejora en la captación, modificaciones estructurales en el actual desarenador, en cuando a la coagulación y floculación seguirá con el mismo funcionamiento pero agregando la dosificación adecuada, y se implementara una bomba dosificadora antes de iniciar este proceso, finalmente el agua pasara por la sedimentación, desinfección y llegara a los tanques de almacenamiento.

4.7.1 Mejora en la estructura de captación del sistema. Para disminuir la cantidad de material orgánico y evitar atascamientos se requiere modificar la estructura en concreto haciendo un cerramiento y modificación en el sistema de rebose para disminuir la cantidad de agua que entra a la aducción en épocas de alta pluviosidad.

4.6.7. Bombas dosificadoras de PAC. Es necesario incluir una bomba dosificadora de coagulante para mejorar la dosificación durante la época de lluvia, se realizó una cotización con los parámetros requeridos de tres bombas y se escogió la que mejor se adapte al proceso y se evaluará cuál es la mejor dependiendo de características y valor en el mercado. De las tres bombas dosificadoras se tuvieron en cuenta criterios como la presión, el tipo del caudal y costo como se representa en la Tabla 23.

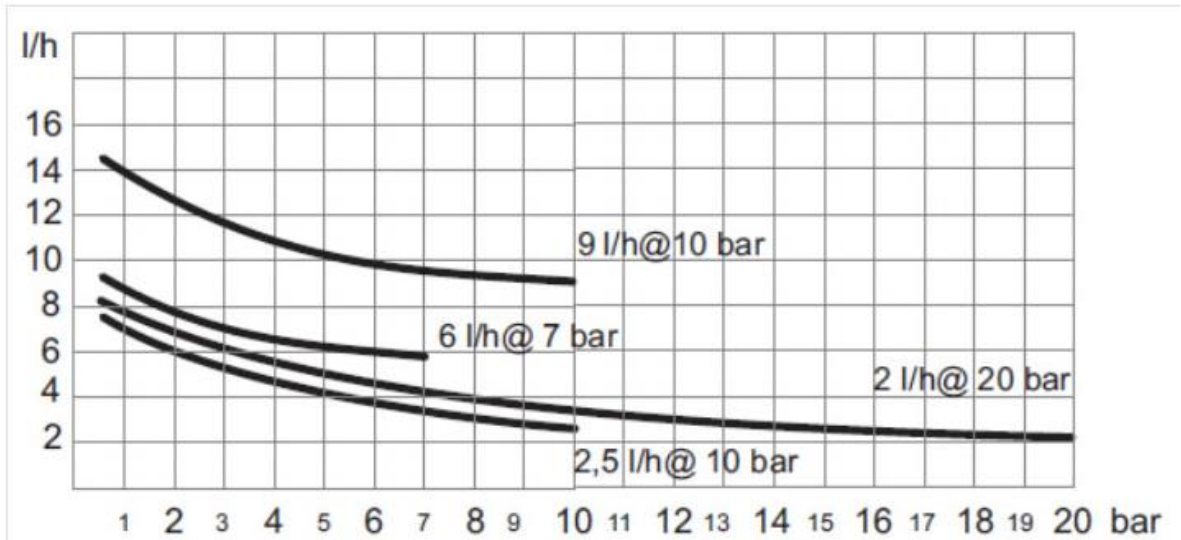
Tabla 23. Comparación de las 3 bombas dosificadoras.

Características	Modelo AMS CO PLUS 0720	DOSITEC –MD	Modelo AMS CO PLUS 0720
Tipo	Diafragma de PTFE	Diafragma en PTFE	Diafragma en PTFE (Teflón®)
Flujo ajustable	Manual	Manual	Automático
Caudal máximo (L/h)	20	20	20
Presión máxima (bar)	7	10	7
Cabezal	PVDF	PP, PVDF o PTFE	PVDF
Alimentación eléctrica (VAC)	110	110	110
Precio (€)	875	365,33	1235

Fuente: elaboración propia.

Entre las anteriores características se evaluó el rendimiento de los caudales obtenidos. Se seleccionó la segunda bomba dosificadora, de acuerdo con los parámetros de presión y caudal, estos parámetros se muestran en el Gráfico 10; en donde se puede observar su rendimiento en litros por hora. Se observa que esta bomba se ajusta a los requerimientos técnicos del acueducto ya que se encuentra adaptada para alimentar líquidos con capacidades entre 0 a 15 litros y una presión promedio de hasta 20 bares.

Gráfico 10. Presión de Flujo bomba dosificadora Dositec MD.



Fuente: DOSING PUMPS, Bomba dosificadora electromagnética manual [Consultado 10 mayo de 2019] [Sitio web]. Disponible en: <https://www.itc.es/products/dositec-md/#product-information>

La densidad del Policloruro de aluminio es muy cercana a la del agua para proveer una dosificación óptima, la bomba dosificadora debe generar alrededor de 0,4 ml por bombeo o impulso a una presión máxima de 10 bares o menos, el sistema de control se realiza por medio de un PLC con diámetro interno de manguera de 4mm, se controla el porcentaje de flujo que se está generando a través de un regulador.

4.6.8 Cambio del lecho filtrante. Para mejorar el proceso de filtración se requiere cambiar el lecho filtrante por arena fina, antracita y grava, por lo cual se define la cantidad con base a Romero ⁸⁶ de cada uno de los componentes y las respectivas alturas al igual que el tamaño granular recomendado para cada una. El filtro actual tiene unas dimensiones de 1.50 metros de profundidad, 5,0 metros de largo y 2,2 metros de ancho. A este se le agregara una carga de 0.45 m de grava, 0.15 m de arena fina y 0.15 m de antracita y el volumen total del lecho es de 8.25 m³, como se muestra en la tabla 30 y la ficha técnica de cada material filtrante se muestra en los Anexos E, F,I)

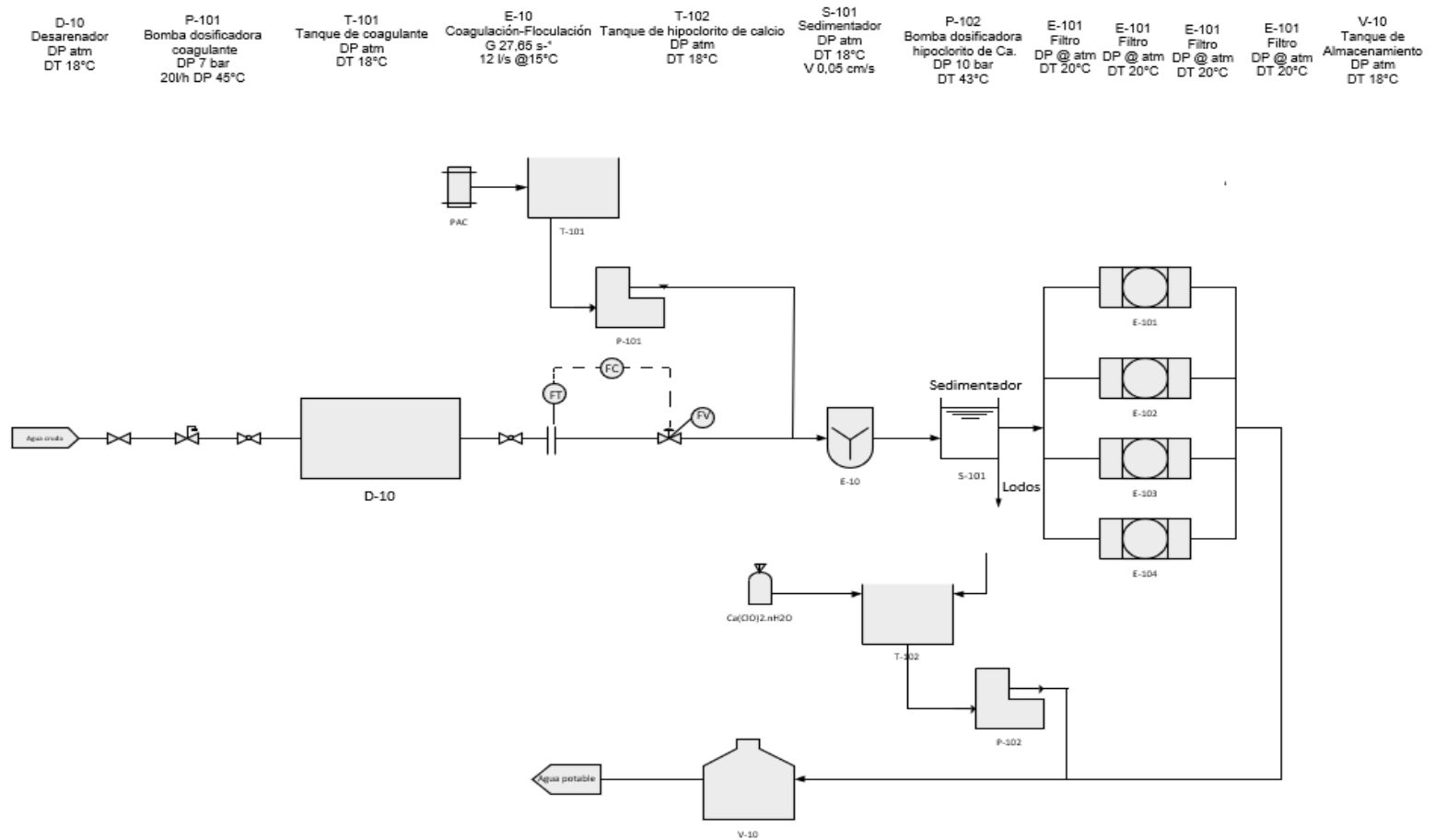
⁸⁶ ROMERO. Op. Purificación del agua., p 218

Tabla 24. Especificaciones técnicas del lecho filtrante.

Lecho filtrante	Antracita	Arena fina	Grava
Altura (m)	0.45	0.15	0.15
Tamaño granular (mm)	0.8 - 1.4	<2	4
Volumen (m³)	4.95	1.65	1.65
Cantidad de lecho (Kg)	5643	3279.37	3242.25
GE (g/cm³)	1.4	2.65	2.5
Densidad (kg/m³)	1400	2650	2500
% de lecho filtrante	60	20	20

Fuente: elaboración propia

Diagrama 1. Tuberías e instrumentación (P&ID) de la planta de tratamiento.



Fuente: elaboración propia

5. ANÁLISIS FINANCIERO

Para saber cuál será el costo de instauración y ajustes de la propuesta de mejora seleccionada se evaluará según el costo de inversión el cual se determina por la compra de nuevos equipos, reactivos y materiales que serán requeridos para el desarrollo de esta. En esta evaluación financiera se realiza un análisis de la situación actual y futura con los valores de valor presente y tasa interna de oportunidad.

5.1 COSTOS DE OPERACIÓN ACTUAL

Se realiza un análisis de la situación financiera actual del acueducto y en este estudio solo se tienen en cuenta costos operacionales ya que como se sabe la planta ya tuvo una inversión de construcción, materiales, etc.

Para conocer los costos operacionales se recibieron datos del acueducto y se mostraran detalladamente en la tabla 31.

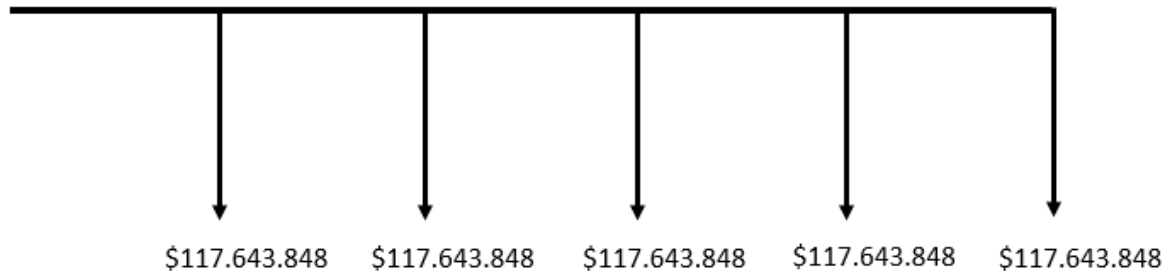
Tabla 25. Gastos actuales de operación y mantenimiento

Ítems		Unidades	Consumo mensual	Consumo anual	Costo unitario	Costo mensual	Costo anual
Servicios	Energía eléctrica	kWh	328	3936	\$ 498	\$ 14.951	\$ 1.961.624
	Transporte de insumos	\$	1	1	\$ 370.000	\$ 370.000	\$ 4.440.000
Insumos Químicos	Policloruro de Aluminio	L	697,84	8374,2	\$ 2.052	\$ 1.861.574	\$ 22.338.893
	Hipoclorito de calcio al 70%	Kg	130,3	1563,6	\$ 9.900	\$ 1.289.970	\$ 15.479.640
Mano de obra	Sueldo básico	\$	3	3	\$ 1.200.000	\$ 3.600.000	\$ 43.200.000
	Auxilio de transporte	\$	3	3	\$ 88.211,00	\$ 264.633,00	\$ 3.175.596
	Salud	\$	3	3	\$ 102.000	\$ 306.000	\$ 3.672.000
	Pensión	\$	3	3	\$ 144.000	\$ 432.000	\$ 5.184.000
	Prima	\$	3	3	\$ 99.960	\$ 299.880	\$ 3.598.560
	Cesantías	\$	3	3	\$ 99.960	\$ 299.880	\$ 3.598.560
	Interés a las cesantías	\$	3	3	\$ 12.000	\$ 36.000	\$ 432.000
	vacaciones	\$	3	3	\$ 49.920	\$ 149.760	\$ 1.797.120
	Riesgos laborales	\$	3	3	\$ 29.232	\$ 87.696	\$ 1.052.352
	Parafiscales	\$	3	3	\$ 114.264	\$ 342.792	\$ 4.113.504
Otros		\$	3	3	\$ 100.000	\$ 300.000	\$ 3.600.000
						Total	\$ 117.643.848

Fuente: elaboración propia.

5.1.1 Flujo de caja actual. A partir de la tabla 31 y solamente basándose en un análisis operacional se realiza un flujo de caja actual que será proyecto a 5 años la cual se muestra en la figura 12.

Figura 13. Flujo de caja anual



Fuente: elaboración propia

Se calcula la tasa interna de oportunidad (TIO) como se representa en la ecuación 4, en el cual se requiere para calcular el valor neto actual de los flujos de caja futuros que estén dentro del proyecto.

Ecuación 4. Tasa interna de oportunidad

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

Fuente: RIVERO, Diana. Análisis financiera para construcción de una bodega multifuncional en una empresa transportadora de carga. Tasa interna de oportunidad. [Sitio web]. Bogotá: Saxon services. [Consultado 31 de mayo de 2019]. Archivo pdf. Disponible en: <https://repository.unimilitar.edu.co/bitstream/handle/10654/11854/AN%C1LISIS+%20%20.pdf;jsessionid=FA8C8251CDCECD0727CF27C243C995DD?sequence=1>

Donde:

DTF = Depósito a Término Fijo que rige a una tasa promedio de 4,54

Tasa de riesgo de inversionista = Determinada para el proyecto = 4%

$$TIO = (1 + 0,0454) * (1 + 0,04) - 1$$

$$TIO = 0,087216 = 8,721\%$$

Se procede a realizar el cálculo del Valor Presente (Vp), el cual indicará el presupuesto actual pero que a futuro se recibirá un determinado valor.

Ecuación 5. Valor presente.

$$VP = \sum_{t=0}^n \frac{Ft}{(1 + TIO)^t}$$

Fuente: JIMÉNEZ Francisco. ESPINOZA, Carlos L. FONSECA, Leonel. Ingeniería Económica. [En línea] Costa Rica: Editorial Tecnológica de Costa Rica. 2007. [citado el 31 de marzo de 2019]. Disponible en: https://books.google.com.co/books?id=LVLZA74NNwwC&pg=PA80&dq=formula+del+vp+flujo+neto+anual&hl=es-419&sa=X&ved=0ahUKEwis-tqGmr_iAhUmwVkKHZFzBy8Q6wEIKjAA#v=onepage&q=formula%20del%20vp%20flujo%20neto%20anual&f=false. ISBN: 978-9977-66-188-9.

Donde:

Ft = Flujo actual

TIO = Tasa interna de oportunidad

t = Tiempo de inversión del proyecto

$$VP = \frac{117.643.848}{(1 + 0,087216)^1} + \frac{117.643.848}{(1 + 0,087216)^2} + \frac{117.643.848}{(1 + 0,087216)^3} + \frac{117.643.848}{(1 + 0,087216)^4} + \frac{117.643.848}{(1 + 0,087216)^5}$$

$$VP = \$ 460.918.219$$

5.2 COSTOS DE MATERIALES E INSUMOS DE LA PROPUESTA DE MEJORA

Se realiza una planeación en donde se muestra detalladamente los materiales e insumos requeridos dentro de la propuesta para asegurar que se tengan disponibles las cantidades adecuadas y partes componentes correspondientes a cada sección a mejorar, donde se evalúan los costos y una estimación del flujo de caja futuro o esperado del proyecto. Se tendrán en cuenta varios proveedores y fabricantes con los que se realizaron cotizaciones en la cual se tuvo en cuenta varias características.

5.2.1 Coagulación. Para la evaluación de los costos del coagulante se hizo una cotización con la empresa Productos Químicos Panamericanos S.A. que se muestra en la tabla 32. Se hizo un análisis del producto con IVA y sin IVA, esta empresa solo vende tambores de 250 kg de PAC y el valor del kg es de \$2442 con IVA. A parte de esto se requerirá una bomba dosificadora en la cual se evaluaron características

como presiones, costos, etc. En la tabla 33 se muestra cada una de estas características de las bombas elegidas

Tabla 26. Costos del coagulante

Ítems	Con IVA (precio pesos)	Sin IVA (precio pesos)
PAC (250kg - tambor)	610.400	512.941
0,77 L = 1kg de PAC	2442	2052
Caudal L/S	10	10
Coagulante en L requerido por mes.	781,58	781,58
Coagulante en L requerido por día.	26,05	26,05
Costo coagulante/mes	\$ 2.481.228	\$ 2.084.963

Fuente: elaboración propia

Tabla 27. Comparación de tres tipos de bombas dosificadoras

Características	Modelo AMS CO PLUS 0720	DOSITEC –MD	Modelo AMS CO PLUS 0720
Tipo	Diafragma de PTFE	Diafragma en PTFE	Diafragma en PTFE (Teflón®)
Flujo ajustable	Manual	Manual	Automático
Caudal máximo (L/h)	20	20	20
Presión máxima (bar)	7	10	7
Cabezal	PVDF	PP, PVDF o PTFE	PVDF
Alimentación eléctrica (VAC)	110	110	110
Precio (€)	875	365,33	1235
Euro cotizado en pesos 25/05/2019	\$3778	\$3778	\$3778
Precio en pesos (+IVA)	\$3.305.750,00	\$1.380.216,74	\$4.665.830,00

Fuente: elaboración propia

5.2.2 Filtración. Para la etapa de filtración se hizo una cotización total de todos los lechos filtrantes en la empresa La Leñería la cual es una empresa que tiene experiencia en lechos filtrantes. Se tuvieron en cuenta los datos mostrados en la tabla 34 y con base a esto tiene una altura de lecho de 0,75 m con una altura total de filtro 1.50 m, lo cual indica que 75 cm del área restante son para el caudal del agua a filtrar y esto se encuentra bajo la norma. Finalmente se realiza un análisis de costos con base al número de bultos necesarios y el precio por unidad de estos.

Tabla 28.8 Costo del lecho filtrante

Lecho filtrante	Precio con IVA		Precio sin IVA	
	Precio (pesos)	Precio total	Precio (pesos)	Precio total
antracita (25kg)	\$22.000,00	\$4.965.840,00	\$22.000,00	\$4.965.840,00
Arena (25kg)	\$14.000,00	\$1.836.450,00	\$11.765,00	\$1.543.273,88
Grava (25kg)	\$14.000,00	\$1.815.660,00	\$11.765,00	\$1.525.802,85
Total		\$8.617.950,00		\$8.034.916,73

Fuente: elaboración propia

Se obtiene un precio parcial de \$8.617.950 pero actualmente el acueducto tiene cuatro filtros operando por tanto el valor total reflejado será de \$32.139.666,92 pero las vidas útiles de los lechos filtrantes según el fabricante son de alrededor de 5 años ya que este solo es limitado por el lavado de los filtros, siendo así el valor por año de la inversión será de \$6.427.933,38.

5.2.3 Captación. Para realizar las modificaciones pertinentes en la captación se propone un mejoramiento haciendo un encerramiento de la estructura actual con el objetivo de eliminar residuos que vienen con la corriente, los costos se pueden evidenciar en la Tabla 35.

Tabla 29. Materiales requeridos para la unidad de captación

Materiales	Cantidad requerida	Unidades	Costo/ unidad	Costo total
Concreto (3000 psi)	24	M ³	\$ 336.240	\$ 8.069.760
Varillas de 3/4"	70	Und	\$ 12.970	\$ 907.900
Formaleta	46	M ²	\$ 10.000	\$ 460.000
Rejillas	2	Und	\$ 100.000	\$ 200.000
Alambre	1	@	\$ 100.000	\$ 100.000
Tapas	6	Und	\$ 100.000	\$ 600.000
Mano de obra				\$ 2.067.532
			Total	\$ 10.337.660

Fuente: elaboración propia

5.3. INVERSIONES DE LA PROPUESTA DE MEJORA

Se realiza un análisis financiero con la propuesta de mejora que en este caso se tendrán en cuenta los gastos de inversión mostrados en la Tabla 36 y los gastos operacionales en la Tabla 37. Con gastos se refiere a la compra de materiales y equipos que son descritos anteriormente.

Tabla 30. Costos de inversión de la propuesta de mejora.

Materiales	Unidades	Cantidad	Costo/ Und	Costo total
Arena Fina	Mínimo 25 Kg	13117,5	\$ 11.765	\$ 6.173.096
Grava	Mínimo 25 Kg	12969	\$ 11.765	\$ 6.103.211
Antracita	Mínimo 25 Kg	22572	\$ 22.000	\$ 19.863.360
Concreto (3000 psi)	m ³	24	\$ 336.240	\$ 8.069.760
Varillas de 3/4"	und	70	\$ 12.970	\$ 907.900
Formaleta	m ²	46	\$ 10.000	\$ 460.000
Rejillas	und	2	\$ 100.000	\$ 200.000
Alambre	@	1	\$ 100.000	\$ 100.000
Tapas	und	6	\$ 100.000	\$ 600.000
Equipos				
Válvulas	\$	2	\$ 31.990	\$ 63.980
Bomba dosificadora	\$	1	\$ 1.380.216	\$ 1.380.216
Costo coagulante/mes	L	781,58	\$2052	\$ 2.084.963
Total				\$ 46.006.486

Fuente: elaboración propia

5.3.1. COSTOS DE OPERACIÓN DE LA PROPUESTA

Se presenta en la Tabla 37 los costos operacionales de la propuesta de mejora incluyendo la cantidad de coagulante requerido y el aumento de consumo energético, los demás gastos de operación son iguales que el flujo de caja actual del acueducto. El aumento en la factura de energía eléctrica se calculará solo con base a la bomba dosificadora que se tendrá que agregar en la etapa de coagulación – floculación que fue propuesta anteriormente y tiene un gasto energético de 24 W. Se tendrá en cuenta que esta estará en funcionamiento las 24 horas, los 30 días del mes, por lo cual se hará el cálculo a partir de lo que consume adicionalmente más lo que se venía consumiendo.

Consumo adicional de energía= (0,024 kW * 1 bomba * 30 días * 24 horas día)

Consumo adicional de energía = 17,28 kW

Aumento de energía eléctrica = 345,28

Tabla 31. Costos operacionales con proyecto

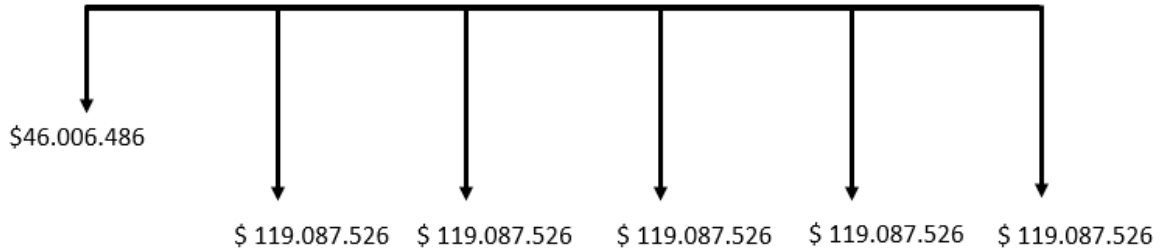
Ítems	Unidades	Consumo mensual	Consumo anual	Costo unitario	Costo mensual	costo anual
Servicios	Energía eléctrica	kWh	345,28	\$ 4.143	\$ 498	\$ 2.064.968
	Transporte insumos	de \$	1	1	\$ 370.000	\$ 4.440.000
Insumos Químicos	Policloruro Aluminio	de L	781,58	9379,05	\$ 2.052	\$ 23.679.226
	Hipoclorito calcio al 70%	de Kg	130,3	1563,6	\$ 9.900	\$ 15.479.640
Mano de obra	Sueldo básico	3	3	3	\$ 1.200.000	\$ 43.200.000
	auxilio transporte	de 3	3	3	\$ 88.211	\$ 3.175.596
	salud	3	3	3	\$ 102.000	\$ 3.672.000
	pensión	3	3	3	\$ 144.000	\$ 5.184.000
	prima	3	3	3	\$ 99.960	\$ 3.598.560
	Cesantías	3	3	3	\$ 99.960	\$ 3.598.560
	interés de cesantías	3	3	3	\$ 12.000	\$ 432.000
	vacaciones	3	3	3	\$ 49.920	\$ 1.797.120
	riesgos laborales	3	3	3	\$ 29.232	\$ 1.052.352
	parafiscales	3	3	3	\$ 114.264	\$ 4.113.504
	Otros	3	3	3	\$ 100.000	\$ 3.600.000
						87.696
						\$ 342.792
						\$ 300.000
						\$ 119.087.526

Fuente: elaboración propia

5.3.2 FLUJO DE CAJA CON LA PROPUESTA DE MEJORA

Al igual que el flujo de caja actual mostrado anteriormente, se realiza una proyección a 5 años a partir de los gastos de inversión y operación para un flujo de caja con la implementación de la propuesta como se muestra en la figura 13.

Figura 14. Flujo de caja con el proyecto



Fuente: elaboración propia

La tasa interna de oportunidad de mantendrá igual con la propuesta de mejora, en donde se calculará el valor presente (Vp) y se considera el valor inicial o de inversión.

$$VP = 46.006.486 + \frac{119.087.526}{(1 + 0,087216)^1} + \frac{119.087.526}{(1 + 0,087216)^2} + \frac{119.087.526}{(1 + 0,087216)^3} + \frac{119.087.526}{(1 + 0,087216)^4} + \frac{119.087.526}{(1 + 0,087216)^5}$$

$$Vp = \$ 512.580.906$$

5.4 ANÁLISIS DE COSTOS FINALES

Se realiza un análisis comparativo de los valores finales de costos finales con y sin implementación de la propuesta de mejora y se presenta en la tabla 38.

Tabla 32. Comparación de los costos actuales con los costos futuros de la propuesta

	Costos actuales	Costos futuros
Gastos de inversión	-	\$ 46,006,486
TIO	8,72%	8,72%
Gastos operacionales	\$ 117.643.848	\$ 119.087.526
Vp	\$ 460.918.219	\$ 512.580.906

Fuente: elaboración propia.

Costo anual equivalente

$$Diferencia de los valores anuales = 117.643.848 - 119.087.526$$

$$Diferencia de los valores anuales = \$ - 1.443.678$$

Según el certificado de la DIAN ⁸⁷ se registró un total de ingresos brutos al año 2018 de \$240'128.000 pesos lo que indica que si la empresa de acueducto llegará a cerrar se producirían pérdidas de \$657.884 pesos al día aproximadamente.

$$\frac{\$240.128.000}{365 \text{ días}} = \frac{\$657.884,93}{\text{día}}$$

Como se indica en la diferencia de valores anuales con la implementación de la propuesta resulta mayor haciendo una comparación con los costos anuales actuales de la planta de tratamiento de agua, esto indica que los costos del coagulante aumentaran al igual que los costos de energía eléctrica que no es tan significativo se indica un valor negativo lo cual hace referencia a que el proyecto no es viable pero este valor solo es de -1.443.678, no indica un valor muy elevado para el acueducto y se puede garantizar que cumpla con los requerimientos de la resolución 2115 de 2007 y evitar multas.

5.5 SANCIONES PARA PRESTADORES DE SERVICIO DE ACUEDUCTO

Se ejecutaran sanciones a quienes no cumplan con la norma y se tomara una decisión judicial por un tribunal administrativo el cual dictaminará el valor total de la multa. “Establece que la Superintendencia de Servicios. Públicos Domiciliarios podrá imponer sanciones a quienes violen las normas a las que deben estar sujetas, según la naturaleza y la gravedad de la falta, entre ellas multas hasta por el equivalente a dos mil (2.000) salarios mínimos legales mensuales para personas naturales y hasta por el equivalente a cien mil (100.000) salarios mínimos legales mensuales para personas jurídicas.”.⁸⁸ Por ende, el acueducto se encuentra en el grupo III del costo de infracciones mostrado en la tabla 36.

Grupo I: Son aquellas conductas relativas a la falta de respuesta o respuesta inadecuada de peticiones, quejas y recursos interpuestos por los usuarios de acuerdo con el artículo 123 del decreto ley 2150 de 1995.

⁸⁷ DIRECCIÓN DE IMPUESTOS Y ADUANAS NACIONALES. [sitio web]. Bogotá: DIAN. Declaración de renta y complementario o de ingresos y patrimonio para personas jurídicas y asimiladas y personas naturales y asimiladas no residentes y sucesiones liquidadas de causantes no residentes. [consulta: 2 de junio de 2019]. Archivo pdf. Disponible en: <https://tinyurl.com/yxcbq8am>

⁸⁸ COLOMBIA. DEPARTAMENTO NACIONAL DE PLANEACIÓN. Decreto No. 1158. (7 de julio de 2017). Por el cual se adiciona el Decreto 1082 de 2015, con el fin de reglamentar los criterios y metodología para graduar y calcular las multas por parte de la Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios por infracciones relacionadas con los servicios públicos domiciliarios de acueducto, alcantarillado y aseo. Bogotá D.C. Departamento de planeación. 2017. p 3.

Grupo II. Son aquellas conductas relativas a la violación del régimen jurídico y que no implican falla en la prestación de servicio

Grupo III: Son aquellas conductas relativas a la violación del régimen jurídico y que estén relacionadas con una falla en la prestación del servicio. Los costos de multas según los grupos mencionados se ven evidenciados en la Tabla 39.

Tabla 33. Costo de infracciones

Grupo	Valor de referencia para calcular la multa
Grupo I	De 1 a 100 SMLMV
Grupo II	De 1 hasta 50.000 SMLV
Grupo III	De 1 hasta 100.000 SMLV

Fuente: COLOMBIA. DEPARTAMENTO NACIONAL DE PLANEACIÓN. Decreto No. 1158. (7 de julio de 2017). Por el cual se adiciona el Decreto 1082 de 2015, con el fin de reglamentar los criterios y metodología para graduar y calcular las multas por parte de la Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios por infracciones relacionadas con los servicios públicos domiciliarios de acueducto, alcantarillado y aseo. Bogotá D.C. Departamento de planeación. 2017. p 3.

6. CONCLUSIONES

- Después de realizar un diagnóstico para determinar el estado actual del tratamiento de aguas del acueducto se evidenció en las caracterizaciones del agua, en épocas de lluvia, que la cantidad de hierro y la turbidez está por encima de la norma actual de potabilización de agua, a partir de esto, se evaluaron las etapas del proceso y se concluyó que existen fallas representativas en coagulación-floculación y en la eficiencia de los filtros. Sin embargo también se encontraron fallas en el floculador debido a la velocidad del agua a través del tanque, siendo esta de 0.093 m/s, lo cual indica una acumulación de sedimentos.
- Se realizó una matriz de selección en donde se evaluaron tres alternativas teniendo en cuenta el diagnóstico operacional y se seleccionó la alternativa de evaluación del coagulante-floculante Policloruro de Aluminio y del lecho filtrante, a partir de esto se sugiere una dosificación de 29 mg/L de PAC, y adicionalmente se hizo la evaluación de diferentes lechos filtrantes y se eligió el lecho de arena fina, antracita y grava. Con la implementación de este lecho se aumentó la eficiencia en un 38.48%, se redujo la turbiedad a 0.285 NTU y el hierro a 0.034 mg/L.
- De acuerdo al diagnóstico realizado se propuso una encerramiento en la estructura de la captación, se agregaron válvulas a la entrada y salida del desarenador, adicionalmente se implementó una bomba dosificadora con un caudal aproximado de 12L/h y se hizo un cambio del lecho filtrante cuyas especificaciones son 45 cm de antracita, 15 cm de arena fina y 15 cm de grava.
- El costo anual antes de la implementación proyecto es de \$117.643.848 a un valor de \$119.087.526 implementando la propuesta de mejora, hubo un aumento de \$1.443.678 debido al consumo de coagulante-floculante, energía eléctrica y equipos requeridos.
- Finalmente, después de todo el desarrollo de la propuesta se estableció que se logró cumplir con los objetivos de remoción de las variables problema. A pesar de que el costo de la propuesta incremento si no se realizan las mejoras propuestas no se cumple la resolución 2115 del 2007 generando una multa de hasta 100.000 SMLV.

7. RECOMENDACIONES

- Se recomienda hacer un rediseño del floculador ya que no se tienen los valores de velocidad adecuados y esto podría causar que los flóculos se sedimenten dentro de esta unidad.
- Se sugiere la implementación de un bypass en el desarenador del acueducto para hacer un adecuado mantenimiento de esta unidad con el objetivo de no suspender el servicio.
- Es necesaria la implementación de controles rutinarios, al menos semanalmente durante la época de lluvias para verificar que las variables problema se estén corrigiendo y monitorear el estado del agua tratada por la planta con el fin de cerciorarse del correcto funcionamiento de esta y de sus equipos
- Se sugiere realizar controles en el mantenimiento de todos los equipos y etapas del proceso, así mismo pasar a realizar mantenimiento preventivo en cambio de mantenimiento correctivo, ya que no se lleva un control temporal definido, solo hasta que los equipos o etapas presenten fallas. Esto para garantizar la vida útil de los equipos y el correcto funcionamiento de todo el proceso.
- Es recomendable realizar capacitaciones a los operarios para instruir sobre el proceso que se debe llevar en toda la planta especialmente en la dosificación del PAC y hacer controles rutinarios para verificar la eficacia del procedimiento empleado.
- Se recomienda realizar una caracterización del agua entre la etapa de coagulación-floculación y filtración ya que no se conoce con certeza el valor del hierro presente; que permitirá comprobar la eficiencia de remoción de este parámetro.

BIBLIOGRAFIA

AQUA TECNOLOGIA. INGENIERIA EN TRATAMIENTO DE AGUA Y PROCESOS. [Sitio web]. Perú. [Consulta 15 enero 2019]. Disponible en: <http://acquatecnologiaperu.com>

AGUILERA, María José. SALCEDO, Leonardo. Análisis de estructura de la propiedad en el municipio de Cajibío (Cauca). En INCODER - Centro de estudios interculturales de la Universidad Javeriana de Cali. [Sitio web]. Cali: INCODER [Consulta 24 octubre 2018]. Archivo pdf. Disponible en: https://www.javerianacali.edu.co/sites/ujc/files/node/fielddocuments/field_document_file/informefinal_analisis_de_estructura_de_la_propiedad_en_el_municipio_de_cajibio_nov20.pdf

ALONSO, Jhon. SANCHEZ, Catalina. Propuesta de mejora para la planta de agua potable de la empresa fertilizantes colombianos S.A. [En línea]. Tesis de pre grado. Fundación Universidad América. Bogotá 2017 [Consultado el 1 Marzo 2019]. Disponible en: <http://repository.uamerica.edu.co/bitstream/20.500.11839/6260/1/6111635-2017-1-IQ.pdf>

AMBIENTUM. El portal profesional del medio ambiente. [Sitio web]. Madrid. [Consulta: 15 enero 2019]. Disponible en: https://www.ambientum.com/enciclopedia_medioambiental/aguas/determinacion_de_e_cloruro. Asp. Recuperado en: https://www.ambientum.com/enciclopedia_medioambiental/aguas/determinacion_de_e_cloruro.asp

ARBOLEDA VALENCIA. Jorge. Teoría y purificación del agua. Mac-Graw Hill, 2000. 91 p.

ARBOLEDA. Jorge. Diseño de unidades de filtración. En: Teórica y práctica de la purificación del agua. 3 ed. Santa Fe de Bogotá, D.C: Mc Graw Hill, 2000. p. 443-444

ASOCIACIÓN ACUEDUCTO LA VENTA EL COFRE, Acueducto rural. [Sitio web]. Cauca. [Consultado: 24 octubre 2018]. Disponible en: <https://www.blogger.com/profile/11530208596775628082>

AZNAR, Antonio. Determinación de los parámetros físico-químicos de calidad de las aguas. En: Instituto tecnológico de Química y materiales. [Sitio web]. [Consultado 10 octubre 2018]. Archivo pdf. Disponible en: <http://ocw.uc3m.es/ingenieria-quimica/ingenieria-ambiental/otros-recursos-1/OR-F-001.pdf>

BARAJAS, Claudia. LEÓN, Andrea. Determinación de la dosis óptima de sulfato de aluminio ($Al_2(SO_4)_3$ 18h₂O) en el proceso de coagulación - floculación para el

tratamiento de agua potable por medio del uso de una red neuronal artificial. [En línea]. Tesis de pregrado. Universidad Santo Tomás. Bogotá D.C. 2015. [Consultado 27 de marzo de 2019]. Disponible en: <https://bit.ly/2FIDXIS>

BERRENCHEA, Ada. Coagulación [En línea]. [Consultado 15 febrero 2019]. p.216
Recuperado en:
[http://www.bvsde.paho.org/bvsatr/fulltext/tratamiento/manuall/tomol/ma1_tomo1_c
ap4.pdf](http://www.bvsde.paho.org/bvsatr/fulltext/tratamiento/manuall/tomol/ma1_tomo1_c
ap4.pdf)

BLACIO, Diego Andrés. PALACIOS, José Luis. Título de ingeniería civil. Ecuador.
Universidad de Cuenca.2001. 54p. Recuperado de
<http://dspace.ucuenca.edu.ec/bitstream/123456789/751/1/ti878.pdf>

CÁRDENAS, Yolanda. Tratamiento de agua coagulación y floculación. [En línea].
Sedepal, 2000. [Consulta 15 abril 2019]. Disponible en:
[http://www.sedepal.com.pe/c/document_library/get_file?uuid=2792d3e3-59b7-
4b9e-ae55-56209841d9b8&groupId=10154](http://www.sedepal.com.pe/c/document_library/get_file?uuid=2792d3e3-59b7-
4b9e-ae55-56209841d9b8&groupId=10154)

CABRERA, Xiomara. FKEITES Marisol. CONTRERAS, Ana. Estudio del proceso de
coagulación floculación de aguas residuales de la empresa textil “Desembarco del
granma” a escala de laboratorio”. En: Diciembre 2009. Vol. 29. No. 3. Pp.64-73
Recuperado de: <http://www.redalyc.org/pdf/4455/445543760009.pdf>

CHULLINCUY CAMACHO, Nadia cristina. Tratamiento de agua para consumo
humano. En: Sistema de información científica. [Sitio web]. Perú: Universidad
Autónoma de San Marcos. [Consulta 11 abril 2019]. Archivo pdf. Disponible en:
<http://www.redalyc.org/pdf/3374/337428495008.pdf>

CINETICA QUIMICA. Poli cloruro de aluminio. [Sitio web]. Bogotá. Cinética Química
[consultado 14 abril 2019]. Disponible en <https://policlorurodealuminio.com/>

COGOLLO, Juan Miguel. Clarificación de aguas usando coagulantes polimerizados:
caso del hidroxiclorigenato de aluminio. En: *DYNA*. 2011, Vol.78, Nro. 165, pp. 18-27.
[En línea] Recuperado de: [https://revistas.unal.edu.co/index.
p/dyna/article/view/25636/26091](https://revistas.unal.edu.co/index.
p/dyna/article/view/25636/26091)

COLOMBIA. DEPARTAMENTO NACIONAL DE PLANEACIÓN. Decreto No. 1158.
(7 de julio de 2017). Por el cual se adiciona el Decreto 1082 de 2015, con el fin de
reglamentar los criterios y metodología para graduar y calcular las multas por parte
de la Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios por infracciones
relacionadas con los servicios públicos domiciliarios de acueducto, alcantarillado y
aseo. Bogotá D.C. Departamento de planeación. 2017. p 3.

COLOMBIA. MINISTERIO DE VIVIENDA, CIUDAD Y TERRITORIO. Resolución
0330. (08 de junio de 2017). Por la cual se adopta el reglamento técnico para el
sector de agua potable y saneamiento básico y se dictan otras disposiciones.
Bogotá: El Ministerio. 2017. p 68.

_____. Decreto 9330 (25 octubre 2010). Por el cual se reglamenta parcialmente el Título I de la Ley 9 de 1979, así como el Capítulo 11 del Título VI-Parte 111- Libro 11 del Decreto - Ley 2811 de 1974 en cuanto a usos del agua y residuos líquidos y se dictan otras disposiciones. Bogotá D.C.: El ministerio, 1993. 9p

_____. Resolución número 2115. (22 junio 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

COLOMBIA. MINISTERIO DE DESARROLLO ECONÓMICO, DIRECCIÓN DE AGUA POTABLE Y SANEAMIENTO BASICO. RAS 2000. (17 noviembre 2000) Reglamento técnico del sector de agua potable y saneamiento básico. Sistemas de potabilización. Diario Oficial. Bogotá, D.C., 2000. no. p. 1-480

COLOMBIA, MINISTERIO DE LA PROTECCIÓN SOCIAL MINISTERIO DE AMBIENTE, VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL. Resolución número 2115 (22 junio 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. Bogotá D.C: El ministerio, 1993. 2p.

CRITTENDEN, John C. TRUSELL, Rhodes. HAND, David W. HOWE, Kerry J. Air Stripping and Airation, En: Water Treatment: Principles and Design. 3 ed. Hoboken, NJ, USA. John Wiley & Sons, Inc. 2012. p. 146-147

DIAZ DELGADO Carlos. Indicadores de contaminación fecal en aguas. En: Agua potable para comunidades rurales, reúso y tratamientos avanzados de aguas residuales domésticas. Buenos Aires: RIPDA-CYTED, 2001 p.224.

DIRECCIÓN DE IMPUESTOS Y ADUANAS NACIONALES. [Sitio web]. Bogotá: DIAN. Declaración de renta y complementario o de ingresos y patrimonio para personas jurídicas y asimiladas y personas naturales y asimiladas no residentes y sucesiones líquidas de causantes no residentes. [Consulta: 2 de junio de 2019]. Archivo pdf. Disponible en: <https://tinyurl.com/yxcbq8am>

DISTRIBUCIONES Y ESPECIALIDADES QUIMICAS. [Sitio web] Barranquilla. Hipoclorito de calcio [Consulta: 15 Marzo 2019]. Disponible en: <https://www.dyeq.co/fichas/hipoclorito-de-calcio/>

EUMED.NET. Manual de métodos analíticos para la determinación de parámetros fisicoquímicos básicos en aguas. Color. [Sitio web]. Bogotá D.C. Eumed.net. [Consultado el 10 de octubre 2018]. Disponible en: <http://www.eumed.net/libros-gratis/2013a/1326/color-agua.html>

FILTRA H2O Ltda. Tratamiento de aguas. Anillos Pall ring. [Sitio web]. Bogotá. Trece 99. [Consultado 30 de marzo de 2019]. Disponible en: <http://www.filtrah2oltda.com/anillos-pall-ring/>

FLORES, María, Métodos de separación. Decantación. En: Universidad Nacional de la Patagonia San Juan Bosco. [Sitio web]. Argentina: Farmacognosia. [Consulta 15 octubre 2018]. Archivo pdf. Disponible en: <http://www.fcn.unp.edu.ar/sitio/farmacognosia/wp-content/uploads/2017/03/COMPL-TEORICO-UNIDAD-2-M%C3%A9todos-de-Separaci%C3%B3n-2017-FARGNOSI-FCN-UNPSJB.pdf>

FORO análisis microbiológico del agua [en línea]. Cartagena. José María Obon de Castro. [Fecha de consulta: 16 enero 2019]. Archivo pdf. Disponible en: https://www.upct.es/~minaees/analisis_microbiologico_aguas.pdf

FORO Arquimia [Consultado 3 de Abril de 2019, 12:10] Disponible en: http://www.arquimiasa.com.ar/descargar_archivoB.php?id=19

GARCÉS, Ana. ROSERO, Laura. Determinación de la eficiencia de remoción de hierro y manganeso utilizando un aireador de bandejas con lechos de coque, grava y una combinación de ambos en la ciudad de San Juan de Pasto. [En línea]. Tesis de pregrado. Universidad de Nariño. San Juan de Pasto. 2014. [consultado el 27 de abril de 2019]. Disponible en: <http://biblioteca.udenar.edu.co:8085/atenea/biblioteca/89980.pdf>

GRUPO DE ESTUDIO TECNICO AMBIENTAL PATA EL AGUA- GESTA AGUA. En GESTA. [Sitio web]. Perú. [Consulta 24 febrero 2019]. Archivo pdf. Disponible en: http://www.digesa.minsa.gob.pe/DEPA/informes_tecnicos/GRUPO%20DE%20USO%201.pdf

GUERRERO, J. Modelo de selección de tecnología para el tratamiento de aguas residuales en pequeñas localidades. En: Universidad Tecnológica de Pereira. [Sitio web]. [Consulta 1 Marzo 2019]. Archivo pdf. Disponible en: https://feparunsa.files.wordpress.com/2012/07/seleccion_tecnologia_tratamiento_aguas_residuales.pdf

HASIM Ronny, HASIM Abdul. Effectiveness of multiple tray-aerator in reducing iron (Fe) water wells in Gowa, Indonesia. Ecology, Environment and Conservation. 2018. p. 22-25.

INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACIÓN. Compendio de normas para trabajos escritos. NTC-2486 – 6166. Bogotá D.C.: El instituto, 2018. ISBN 9789588585673 153 p.

_____. Gestión ambiental. Calidad del agua. Muestreo. Técnicas generales de muestreo. NTC ISO 5667-2. BOGOTÁ D.C.: El instituto, 1995. 1-15 p

_____. NTC ISO 5667-5. Procedimiento para el ensayo de coagulación – floculación en un recipiente con agua o método de jarras. Bogotá D.C.: El instituto, 2008. 1-26 p.

JIMÉNEZ, Cristian A. ¿Cómo es el avance en la cobertura de acueducto en Colombia? En: El Tiempo. Bogotá, D.C. 26, Marzo, 2015.

LAMBIS ORTIZ, Manuel Ricardo. Tratamiento de lixiviados mediante el uso de la quitina como coagulante natural. Caso de estudio: Parque ambiental loma de los cocos de la ciudad de Cartagena de indias. [En línea]. Tesis de pregrado. Universidad de Cartagena, 2015 [consultado 15 octubre 2018]. Disponible en: [http://repositorio.unicartagena.edu.co:8080/jspui/bitstream/11227/1557/1/Tramient o%20de%20lixiviado%20con%20Quitina-Manuel_Lambis%202015.pdf](http://repositorio.unicartagena.edu.co:8080/jspui/bitstream/11227/1557/1/Tramient%20de%20lixiviado%20con%20Quitina-Manuel_Lambis%202015.pdf)

LENNTech. Water treatment solutions. Turbidez. [En línea].Lenntech [consultado 12 febrero 2019]. Recuperado de: <https://www.lenntech.es/turbidez.htm>

LORENZO, Yanira. Estado del arte del tratamiento de aguas por coagulación-floculación. *En*: 2006, volumen XL, num. 2, p 14. ISSN 0138-6204. Recuperado de: www.redalyc.org/pdf/2231/223120664002.pdf

MARSELLA, Luis Antonio. Comparación de la eficiencia del sulfato de aluminio y el sulfato ferroso en la remoción de sólidos en suspensión en aguas residuales de tipo ordinario. [En línea]. Tesis de pregrado. Universidad de San Carlos de Guatemala, 2014. [Consultado 19 de marzo de 2019]. Disponible en: http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08_1457_Q.pdf

MASS, MEDIO AMBIENTE, SALUD Y SEGURIDAD. En: GTM GRUPO TRANSMERQUIM. [Sitio web]. Bogotá. [Consulta 14 marzo 2019]. Archivo pdf. Disponible en: [http://www.gtm.net/images/industrial/p/POLICLORURO%20DE%20ALUMINIO%20 LIQUIDO.pdf](http://www.gtm.net/images/industrial/p/POLICLORURO%20DE%20ALUMINIO%20LIQUIDO.pdf)

PIMIENTA, Jean. La captación de aguas subterráneas. Dureza del agua. 2 ed. Barcelona, España. Editores técnicos asociados sea. 1980. 186 p.

PSA MEJORA TU VIDA. Hierro y manganeso. Problemas en el uso y manejo del agua. [Sitio web]. Perú. [Consulta: 16 enero 2019] Disponible en: <https://www.psa.com.ar>

PRADA, Diego. ROBELTO, Cristian. Propuesta para un sistema de tratamiento de agua potable para el acueducto aguas del trapiche S.A.S. en Villavicencio, Meta. [En línea]. Tesis de pregrado. Fundación Universidad de América. Bogotá D.C.

2016. [Consultado el 30 de marzo de 2019]. Disponible en: repository.uamerica.edu.co/bitstream/20.500.11839/622/1/6121826-2016-2-IQ.pdf

RAMIREZ, Francisco. Tratamiento de desinfección del agua potable. En: Editorial canal educa. [Sitio web][Consulta 12 febrero 2019]. Archivo pdf. Disponible en: <https://www.canaleduca.com/wp-content/uploads/2015/08/Tratamiento-de-desinfeccion-del-agua-potable2.pdf>

RESTREPO, Alonso. Evaluación de coagulación – floculación de una planta de tratamiento de agua potable. Ingeniería civil. Medellín. Universidad nacional de Colombia 2009. 5p. Recuperado en http://www.bdigital.unal.edu.co/877/1/15372239_2009.pdf

RINNE, Thomas. Potabilización con diferentes coagulantes de aluminio y hierro. En: xxii congreso de Centroamérica y Panamá de ingeniería sanitaria y ambiental “superación sanitaria y ambiental: el reto. P 3 [En línea] Disponible en: <http://www.bvsde.paho.org/bvsaidis/centroa22/Ponencia18.pdf>

ROMERO ROJAS, Jairo. Purificación del agua. 2ed. Bogotá D.C: Editorial Escuela Colombiana de Ingeniería, 200.36 p.

ROMERO, Mynor. Tratamientos utilizados en potabilización de agua. En: Universidad Rafael Landívar. [Sitio web] Guatemala. [Consulta: 16 enero 2019]. Archivo pdf en: http://www.fgsalazar.net/LANDIVAR/ING-PRIMERO/boletin08/URL_08_ING02.pdf

ROMERO ROJAS, Jairo. Acupurificación. Diseño de sistemas de purificación de aguas. 2 ed. Bogotá D.C.: Editorial Escuela Colombiana De Ingeniería, 1997.27p.

ROMERO, Rojas. Filtración En: Purificación del agua. 2ª edición. Colombia. Monarca. P 218-219

ROSALER, Robert y RICE, James, Manual de mantenimiento industrial, Citado por Alonso, Jhon y Sánchez, Catalina .Propuesta de mejora para la planta de agua potable de la empresa fertilizantes colombianos S.A. [En línea]. Tesis de pregrado. Fundación universidad de América. Bogotá D.C. 2017. [Consultado 15 marzo 2019]. Disponible en <http://repository.uamerica.edu.co/bitstream/20.500.11839/6260/1/6111635-2017-1-IQ.pdf>

ROTOPLAS S.A. Agua cruda [<https://rotoplas.com.mx/agua-cruda/>]. Ciudad de México, México, Delegación Miguel Hidalgo. [Consultado: 16 mayo 2019]. Disponible en <https://rotoplas.com.mx/agua-cruda/>

SANS, Ramón Tratamiento de aguas residuales. En: Ingeniería ambiental: Contaminación y tratamientos. 2 edición. Barcelona, España. Marcombo boixareu editores. 1989. P 97.

SAFE DRINKING WATER FOUNDATION. [Sitio web]. Saskatoon: SDWF, Chlorination. [Consultado: 09 enero 2019]. Disponible en: <https://www.safewater.org/fact-sheets-1/2017/1/23/what-is-chlorination>

SIGLER, Adam.; BAUDER, Jim. Nitrato y nitrito. EN: WELL EDUCATED. [Sitio web]. Montana: Universidad estatal de Montana. [Consulta 10 Abril 2019]. Archivo pdf. Disponible en http://region8water.colostate.edu/PDFs/we_espanol/Nitrate%202012-11-15-SP.pdf.

TORRES, Alberto. VILLANUEVA, Sonia. El filtro de arena lento: Manual para el armado, instalación y monitoreo. [En línea]. Universidad piloto de Colombia ,2014. [Consulta 15 abril 2019]. Disponible en: <http://www.unipiloto.edu.co/wp-content/uploads/2013/11/El-filtro-de-arena-Lento-a-color-para-la-web.pdf>. ISBN: 978-958-8537-79-5

VARGAS, Lidia. Tratamiento de agua para consumo humano. Plantas de filtración rápida, 2 ed. Lima, Perú. 2004. pg. 127.

VIVES José. Parámetros fisicoquímicos: Alcalinidad. En: Manual de técnicas analíticas para la determinación de parámetros fisicoquímicos y contaminantes marinos. Colombia. Invemar,2007.5p

WANG, Lawrence. HUNG, Yung-Tse. SHAMMAS, Nazik. Advansed Physicochemical treatment processes. [En línea]. 4ª.ed. New Jersey, Totowa: Humana Press Inc. 2007. [Citado el 30 de abril de 2019]. Disponible en: <https://bit.ly/2wEO4ua>. ISBN: 1-59259-029-4

YANZA L., Jeffrey.; Narváez D., Santiago.; Terán R., Silvio.; Núñez, Mabel. Reglamentación de Uso del Agua de la Derivación No. 1 derecha del río Cofre. Localización geográfica y Área de drenaje. [Sitio web]. Popayán: Corporación Autónoma Regional del Cauca (CRC). [Consultado 28 octubre 2018]. Archivo pdf. Disponible en: <http://web2018.crc.gov.co/images/PDF2017/documentosreglamentacion/Documento-Reglamentacin-Derivacion-1-Ro-Cofre-14-12-17.pdf>

ANEXOS

ANEXO A.
VERIFICACIÓN DIAGNÓSTICO OPERACIONAL EN LA ETAPA DE FLOCULACIÓN

- Verificación de la velocidad de agua a través del tanque

$$V = \frac{Q}{A}$$

$$V = \frac{0.014 \frac{m^3}{s}}{0.20 m * 0.75 m} = 0.09333 \frac{m}{s}$$

Donde:

q = caudal

a= área

- Verificación radio hidráulico

$$Rh = \frac{Area}{Perimetro Mojado}$$

$$Rh = \frac{0.2 * 0.75}{0.2 + 2(0.75)} = 0.08823 m$$

- Verificación perdida de carga (he)

$$Hf = KN \frac{v^2}{2g} + Lt * \left(\frac{Vn}{Rh^2 I^3} \right)$$

$$Hf = 3.5 * 37 \frac{0.09333^2}{2g} + 54 * \left(\frac{37 * 0.013}{0.08823^2 * 1.6^3} \right) = 0.13567 m$$

- Verificación gradiente de velocidad

$$G = \sqrt{\frac{\gamma HF}{u T}}$$

$$G = \sqrt{\frac{9789 * 0.13567}{0.00102 * 1702.4}} = 27.65 S^{-1}$$

Donde:

u: viscosidad cinemática 0,00102 (Ns/m²)

T: tiempo nominal de retención (s)

γ : Peso específico del agua 9789 (Kg/ m³)

Hf: pérdida de energía debida a la fricción (m)

ANEXO B.
DIAGNÓSTICO OPERACIONAL DEL SEDIMENTADOR

Verificación carga superficial del sedimentador de flujo horizontal que está en uso:

$$Cs = \frac{Q}{As}$$

$$Cs = \frac{604,8 \frac{m^3}{día}}{4,9m * 4,9m} = 25.189 \frac{m^3}{m^2 * día}$$

- Tiempo de retención hidráulica:

$$t = \frac{Volumen}{Q}$$

$$t = \frac{4,9m * 4,9m * 2,2m}{604,8 \frac{m^3}{día}} = 0.0873 \text{ día} = 2.1h$$

- Velocidad promedio de flujo:

$$V = \frac{Q}{A}$$

$$V = \frac{604,8 \frac{m^3}{día}}{2,2m * 4,9m * 24h * 60 \text{ min} * 60s} = \frac{0.0649cm}{s}$$

ANEXO C.
CACTERIZACIÓN DE AGUA TRATADA EN EL MES DE JUNIO



ACUEDUCTO Y ALCANTARILLADO DE POPAYÁN S.A. E.S.P

NIT 891.500.117-1
NUIR 1-19001000 -1 SSPD



F.CEP.016

ANALISIS BACTERIOLOGICOS (PARTICULARES)

V 4.0

REGISTRO No 3218

DEPARTAMENTO	CAUCA
MUNICIPIO	CAJIBIO
REMITENTE	ASOCIACION ACUEDUCTO LA VENTA
FECHA DE TOMA	JUNIO 27 DE 2018
FECHA DE ANALISIS	JUNIO 27 - 28 DE 2018
RECOLECTADO POR	JAQUELINE MARTINEZ
FUENTE	RIO EL COFRE
LUGAR DE TOMA	DISPOSITIVO 130
HORA	08:40 a.m.

AGUA TRATADA
FILTRACIÓN/MEMBRANA
SUSTRATO DEFINIDO NORMA
I.N.S. DCTO Nº 1575 - 05/2007
RESOL. 2115/08/2007

INFORME DE LABORATORIO

COLIFORMES TOTALES EN 100 ml.	0.0	<1 NMP
ENSAYO CONFIRMATIVO PARA E. COLI EN 100 ml.	0.0	<1 NMP

NOTA: LA MUESTRA ANALIZADA PRESENTA PARAMETROS MICROBIOLÓGICOS EN NORMA PARA AGUA TRATADA.


NATALY GUZMAN ESCOBAR
Bacteriologa

Laboratorio autorizado para la realización de análisis según Resolución No1615 del 15 de Mayo de 2015 Ministerio
Tel:(28) 32 64 08 FAX:(2) 824 20 14 - 824 04 66 www.acueductopopayan.com.co

ANEXO D. CACTERIZACIÓN DE AGUA TRATADA EN EL MES DE OCTUBRE

ACUEDUCTO Y ALCANTARILLADO DE POPAYAN S.A E.S.P.
NIT 891.500.117-1
NUIR 1-19001000 -1 SSPD
ANÁLISIS FÍSICO QUÍMICO PARTICULARES
AGUA TRATADA

F.CEP.004

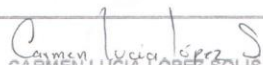
V 5.0

REGISTRO N°. R 5214

PROCEDENCIA	CAJIBIO
FUENTE	RIO COFRE
ANÁLISIS SOLICITADO	FÍSICO - QUÍMICO
PUNTO DE CAPTACION	130
ORDENADO POR	ASOCIACION ACUEDUCTO LA VENTA / EL COFRE
RECOLECTADO POR	MIGUEL RIVERA
FECHA DE TOMA	8 de octubre de 2018
HORA DE TOMA	08:15 A.M
FECHA DE ANÁLISIS	8 de octubre de 2018

ANÁLISIS	CONCENTRACIÓN	DATOS EXPRESADOS EN	NORMAS M.S.P. Decreto 1575 de Mayo 9 /2007 Resol. 2115 de Junio 22 /2007 H ₂ O Tratada
Conductividad	58,8	µS/cm (Microsiemens / cm)	Hasta 1000
Turbiedad	2,28	N.T.U.	<= 2,0
Color Aparente	5,20	Unidades de Platino Cobalto (UPC)	<= 15
pH	7,11	Unidades de pH	Entre 6,5 - 9,0
Cloro Residual	1,23	mg/L Cl ₂	Entre 0,3 - 2,0
Alcalinidad Total	33,5	mg/L CaCO ₃	Hasta 200
Dureza Total	13,8	mg/L CaCO ₃	Hasta 300
Cloruros	14,3	mg/L Cl ⁻	Hasta 250
Sulfatos	3,80	mg/L SO ₄ ²⁻	Hasta 250
Hierro Total	0,45	mg/L Fe (II)	Hasta 0,3
Aluminio	0,05	mg/L Al (III)	Hasta 0,2
Nitritos	0,001	mg/L NO ₂	Hasta 0,1
Nitratos	1,22	mg/L NO ₃	Hasta 10,0
Temperatura	17,4	Grados Centigrados (°C)	° Centigrados
SDT	29,8	mg/L	<= 500

NOTA: LA MUESTRA TIENE LOS PARÁMETROS ANALIZADOS DENTRO DE LA NORMA DE AGUA TRATADA.


CARMEN LUCIA LOPEZ SOLIS
Química

Laboratorio autorizado para la realización de análisis según Resolución No 1615 del 15 de Mayo de 2015 "Planta de Tratamiento Tablazo" (28) 32 64 08 Conmutador: (28) 24 15 53 FAX: 24 20 14 - 24 04 66
www.acueductopopayan.com

ANEXO E. FICHA TÉCNICA DE LA ANTRACITA



FICHA TÉCNICA DEL CARBÓN ANTRACITA

ESPECIFICACIONES

PARAMETROS	VALOR
Carbono Fijo B. Seca*	87.99%
Materia Volátil*	5.81%
Cenizas B. Seca*	6.20
Dureza (Escala Mohs)	3.50
Desgaste	0.73%
Humedad Total*	3.28 %
Solubilidad en HCL (20% peso, 24h)	0.70%
Solubilidad en NaOH (10% peso, 24h)	0.41%
Densidad	0.75 Ton/m3
Gravedad Especifica	1.52

* Método ASTM D.

El producto cumple con la norma AWWA B 100 – 01 y NTC 2572.

GRANULOMETRÍA

- Tamaño Efectivo: Mínimo 0.80 mm – Máximo 1.20 mm
- Coeficiente de Uniformidad: 1.45 – 1.70

CARACTERÍSTICAS

La Antracita es procesada con carbón Antracita de los más altos índices de carbono fijo. Esta es seleccionada específicamente para tratamientos de aguas y durante su producción pasa por varias inspecciones de tamaño. Muestras representativas son elegidas al azar para un completo análisis de control de calidad en el laboratorio en cuanto a tamaño efectivo, coeficiente de uniformidad, peso específico, solubilidad al ácido y dureza.

EMPAQUE

Sacos de Polipropileno cocidos y pesados a 25 kg y 50 kg.

ALMACENAMIENTO

Debe almacenarse en un lugar seco y proteger el empaque del sol, la humedad y el agua.

PRECAUCIÓN

La Antracita no es un producto peligroso, sin embargo se recomienda utilizar protección respiratoria y para los ojos.

DOMICILIOS 8AM a 8PM:  300 5717965 - 7031077

Calle 138 N° 46A-16 Bogotá

www.laleñeria.com

ANEXO F. FICHA TÉCNICA DE LA ARENA SÍLICE



FICHA TÉCNICA DE LA ARENA SÍLICE

ESPECIFICACIONES

PARAMETROS	VALOR
Humedad Total	0,05 %
Solubilidad en HCL (20% peso, 24h)	0,32 %
Solubilidad en NaOH (10% peso, 24h)	0,11 %
Dureza (7 escala Mohs)	7
Desgaste	0,06 %
Sílice	98,5 %
Perdida Por Ignición	0,48 %

El producto cumple con la norma AWWA B 100 – 01 y NTC 2572.

GRANULOMETRIA

TIPO	TAMAÑO EFECTIVO (mm)	COEFICIENTE DE UNIFORMIDAD
ARENA FINA	Min 0.35 - Max 0.45	1.45 – 1.80
ARENA ESTANDAR	Min 0.45 – Max 0.80	
ARENA GRUESA	Min 0.80 – Max 2.00	

CARACTERISTICAS

La Arena Sílice es un agregado de color claro con porcentaje de silicio del 98.5 % y cuenta con un detallado proceso de lavado, secado, tamizado (clasificación granulométrica), y empaque en sacos de polipropileno, con el objeto de ser entregada visiblemente libre de arcilla, polvo, materiales orgánicos y micáceos.

EMPAQUE

Sacos de polipropileno cocidos y pesados a 25 kg y 50 kg.

ALMACENAMIENTO

Debe almacenarse en un lugar seco.

PRECAUCIONES

La arena sílice no es un material peligroso sin embargo debe utilizarse protección respiratoria y para los ojos.

DOMICILIOS 8AM a 8PM:  300 5717965 - 7031077
Calle 138 N° 46A-16 Bogotá
www.laleñeria.com

ANEXO G. COTIZACIÓN DE MATERIAL FILTRANTE



Bogotá, mayo 21 de 2019

Señor
Johan Sebastian Rojas
sbsrojas@gmail.com

Asunto: Cotización Material Filtrante

Cordial saludo.
Estos son los precios solicitados:



PRODUCTO	CANTIDAD	\$ UNIDAD + IVA	UNIDAD CON IVA	\$ TOTAL
Grava bulto x 25 kg	1	11.785 + 2.235	14.000	14.000
Arena Silice bulto x 25 kg	1	11.785 + 2.235	14.000	14.000
Carbon Antracita bulto x 25 kg	1	22.000 + 0	22.000	22.000
			Total	\$50.000

- **Tiempo de entrega:** Inmediata
- **Transporte:** Gratis Bogota norte. Fuera de la ciudad se envia por transportadora y el cliente cancela el flete.
- **Forma de pago:** Consignación o transferencia: Bancolombia, Cuenta Corriente 035983932-63 Titular: Fom de Colombia SAS, Nit 901204730

Atentamente.

Juan Carlos Correa Ramirez
Gerente

ANEXO H. CARACTERIZACIÓN DE AGUA DESPUES DE APLICAR LA ALTERNATIVA SELECCIONADA

<p>L. Q.  LABORATORIO QUIMICONTROL LTDA. Ambiente e Industria</p> <p>INFORME 1 -AG 15 de mayo de 2019</p> <p>IDENTIFICACIÓN DEL CLIENTE</p> <p>Señora GABRIELA TORRES FUNDACIÓN UNIVERSITARIA AMÉRICA Teléfono: 3116449287 e-mail: gabriela.torres@estudiantes.uamerica.edu.co Bogotá, D.C.</p>	<p style="text-align: center;">INFORME DE RESULTADOS DE LABORATORIO</p> <p>IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA</p> <p>ORDEN DE SERVICIO: 7833 FECHA RECEPCIÓN MUESTRA: 7 de mayo de 2019 MATRIZ: OT FECHA DE MUESTREO: 28 de marzo de 2019 TIPO DE MUESTREO: Compuesto PUNTO DE MUESTREO: Acueducto La venta El cofre IDENTIFICACIÓN MUESTRA: 19-AG2031 OBSERVACIONES: Muestra tomada por el cliente y enviada al laboratorio.</p>	 <p>IDEAM INSTITUTO DE HIDROLOGÍA, METEOROLOGÍA Y ESTUDIOS AMBIENTALES Laboratorio acreditado NIT 60-101-1103-2010 Resolución 17-022 de 2018</p>																												
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; text-align: center;"> <thead> <tr style="background-color: #e0f2f1;"> <th>Variable</th> <th>Unidad</th> <th>Método</th> <th>Fecha Análisis</th> <th>Resultados</th> <th>Incertidumbre</th> <th>Res 2115:2007</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Hierro total, Fe</td> <td>mg/L</td> <td>SM 3030 H, 3111 B, A.A. Llama</td> <td>2019-05-10</td> <td>0,034</td> <td>±0.0007</td> <td>0,3 Cumple</td> </tr> <tr> <td>Color aparente a pH 6,40 unidades **</td> <td>Pt-Co</td> <td>SM 2120 B, Discos comparativos</td> <td>2019-05-09</td> <td>0</td> <td>±0.0000</td> <td>15 Cumple</td> </tr> <tr> <td>Turbidez a 25,00 °C</td> <td>NTU</td> <td>SM 2130 B, Nefelométrico</td> <td>2019-05-07</td> <td>0,285</td> <td>±0.0399</td> <td>2 Cumple</td> </tr> </tbody> </table>			Variable	Unidad	Método	Fecha Análisis	Resultados	Incertidumbre	Res 2115:2007	Hierro total, Fe	mg/L	SM 3030 H, 3111 B, A.A. Llama	2019-05-10	0,034	±0.0007	0,3 Cumple	Color aparente a pH 6,40 unidades **	Pt-Co	SM 2120 B, Discos comparativos	2019-05-09	0	±0.0000	15 Cumple	Turbidez a 25,00 °C	NTU	SM 2130 B, Nefelométrico	2019-05-07	0,285	±0.0399	2 Cumple
Variable	Unidad	Método	Fecha Análisis	Resultados	Incertidumbre	Res 2115:2007																								
Hierro total, Fe	mg/L	SM 3030 H, 3111 B, A.A. Llama	2019-05-10	0,034	±0.0007	0,3 Cumple																								
Color aparente a pH 6,40 unidades **	Pt-Co	SM 2120 B, Discos comparativos	2019-05-09	0	±0.0000	15 Cumple																								
Turbidez a 25,00 °C	NTU	SM 2130 B, Nefelométrico	2019-05-07	0,285	±0.0399	2 Cumple																								
<p>SM: "STANDARD METHODS For The Examination Of Water And Wastewater" 23RD EDITION, 2017. (A.A.): Absorción Atómica. **: variable no acreditada. Entidad emisora de la norma: Resolución 2115 de 2007 emitida por el Ministerio de la Protección Social, Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. OT: Agua Cruda.</p> <p>NOTA 1: Los resultados que se relacionan en este informe corresponden únicamente a la muestra analizada. NOTA 2: La reproducción total o parcial de este informe deberá ser autorizada por el Laboratorio Quimicontrol Ltda. NOTA 3: Las muestras serán eliminadas treinta (30) días después de haber sido recibidas. NOTA 4: Incertidumbre expandida para un nivel de confianza del 95,45 % con un factor K=2.</p> <p>Este informe NO es válido para impresión ni almacenamiento sin firma original de las personas autorizadas por el Laboratorio.</p>																														
<p>CYNTHIA PAOLA ÁVILA GARAVITO Química, Matrícula profesional PQ-5002 Coordinadora Técnica</p>	<p>FIN DEL INFORME</p>	<p style="font-size: x-small;">Elaboró: Carolina Liceth Navarro Lopez Revisó: Johan David Quiroga Alarcón</p>																												

ANEXO I. COTIZACIÓN DE LA GRAVA



FICHA TÉCNICA DE LA GRAVA Y GRAVILLA DE CANTO RODADO

ESPECIFICACIONES

PARAMETROS	VALOR
Densidad de Masa No Compactada	1503 kg/m ³
Solubilidad en HCL (20% peso, 24h)	0.90 %
Dureza (Escala Mohs)	7
Gravedad Especifica	2.62 %
Esféricidad	0.8 %
Perdida Por Ignición	0.31 %
Partículas Planas o Alargadas % Max	1.85 %

El producto cumple con la norma AWWA B 100 – 06 y NTC 2572.

GRANULOMETRÍA

DISTRIBUCION DE TAMAÑOS	
PULGADAS	MILIMETROS
2" – 1 ½"	50 - 38
1 ½" – 1"	38 - 25
1" – ½"	25 - 12
½" – ¼"	12 - 6
¼" – 1/8"	6 - 3
1/8" – 1/16" O M10	3 - 1.6

CARACTERÍSTICAS

Son agregados gruesos de soporte, la cual en una alta proporción de partículas tiene aristas redondeadas y tienden a tener una forma redonda. Por consiguiente, viene de depósitos aluviales. Se encuentra libre de arcilla, polvo, materiales orgánicos y micáceos. (NTC 2752)

EMPAQUE



Sacos de polipropileno cocidos y pesados a 25 kg y 50 kg.

PRECAUCIÓN


La Grava no es un producto peligroso, sin embargo se recomienda utilizar protección respiratoria y para los ojos.

DOMICILIOS 8AM a 8PM:  300 5717965 - 7031077
Calle 138 N° 46A-16 Bogotá
www.laleñeria.com



**ANEXO J.
COTIZACIÓN DE BOMBA DOSIFICADORA**

 SERVICLORO NIT 860.353.061-4		Profesionales en dosificación de químicos, equipos de medición en línea y de caudal, en procesos para tratamientos de agua potable, residual e industrial. Carrera 47A N° 103 - 40 - Bogotá D.C. Colombia PBX: 57(1) 6235670 Fax:57(1) 6213852 info@servicloro.com www.servicloro.com		
SEÑORES: UNIVERSIDAD DE AMERICA Ing. Gabriela Torres gabriela.torres@estudiantes.uamerica.edu.co Cel:311-8449267 Bogota D.C.		Fecha: mayo 24 de 2019	Oferta # MJ-0066/05/2019 PAG. 1/5	
Solicitado por: Ing. Gabriela Torres		Validez de la Oferta: Treinta (30) días	Entrega: Ver Cada Item	
		F. de pago: Ver Cada Item		
ITEM	DESCRIPCION	CANT.	VALOR UNIT.	VALOR TOTAL
1	Bomba dosificadora para manejo de policloruro de aluminio para Un caudal de 20L/h y P= 7Bar (101.5Psi)	1	€ 875	€ 875
<p>Bomba dosificadora tipo diafragma para productos químicos (sulfato de aluminio, hipoclorito de sodio, cloruro férrico, etc.), con regulación electrónica, marca EMEC, modelo AMS CO PLUS 0720, de fabricación europea, con rata de flujo ajustable.</p> <p>Esta serie está prevista para instalarla horizontalmente va montada en una caja plástica (polipropileno/fibra de vidrio) dividida en dos secciones distintas y opuestas (una para la parte electrónica y la otra para la parte mecánico-hidráulica) con el fin de prevenir el riesgo de corrosión ó agresión química de los componentes electrónicos y mecánicos.</p> <p>Se garantiza un sello hidráulico mediante un diafragma de Teflón® y las juntas de cierre en 5 elastómeros diferentes seleccionados de acuerdo al producto químico a dosificar.</p> <p>Características Técnicas:</p> <ul style="list-style-type: none"> * Alimentación eléctrica: 110 VAC. * Temperatura de trabajo: 5-45°C * Caja en polipropileno * Cabezal en PVDF * Diafragma en PTFE 		T.E Seis (6) a Ocho (8) semanas F.P Anticipado para proceder al despacho		
OBSERVACIONES: La tasa del Euro se liquida a la fecha de facturación y entrega del equipo ADICIONAL EL IVA				
Gerencia	Ing. Camila Rodriguez Gerente Comercial	Ing. Maria Jose Ceballos S. Asesor Tecnico Comercial		

Continuación Anexo J

 SERVICLORO NIT 860.353.061-4		químicos, equipos de medición en línea y de caudal, en procesos para tratamientos de agua potable, residual e industrial. Carrera 47A N° 103 - 40 - Bogotá D.C. Colombia PBX: 57(1) 6235670 Fax:57(1) 6213852 info@servicloro.com www.servicloro.com		
SEÑORES: UNIVERSIDAD DE AMERICA Ing. Gabriela Torres		Fecha: mayo 24 de 2019 Oferta # MJ-0066/05/2019 PAG. 2/3 Validez de la Oferta: Treinta (30) días Entrega: Solicitado por: Ing. Gabriela Torres F. de pago:		
ITEM	DESCRIPCION	CANT.	VALOR UNIT.	VALOR TOTAL
	* Protección: IP-65 * Ajuste de la frecuencia de dosificación * Regulación del recorrido para definir la capacidad de cada inyección simple. * Presión máxima: 7 bar (103 psi) * Caudal máximo: 20 l/h. @ 7 bar ó 42 l/h. @ 1 bar. * Máxima inyección simple: 2.8 ml * Válvula de succión y descarga: 6X8 mm * Inyecciones por minuto: 12 - 120 * Consumo eléctrico: 24W. Incluye los siguientes accesorios: * Válvula de pie * Válvula de inyección * Manguera de succión y descarga * Peso: 9kg Opcional:			
2	Bomba dosificadora digital para manejo de policloruro de aluminio Q= 20L/h y P= 7Bar (101,5 Psi)	1	€ 1.235	€ 1.235
	Bomba dosificadora tipo diafragma para productos químicos (sulfato de aluminio, hipoclorito de sodio, etc.), de regulación electrónica con microprocesador, pantalla, teclado y control de nivel marca EMEC modelo AMS MF 0720 de fabricación europea, con rata de flujo ajustable manual o automática. La serie AMS son bombas tipo diafragma.	T.E F.P	Seis (6) a Ocho (8) semanas Anticipado para proceder al despacho	
OBSERVACIONES: La tasa del Euro se liquida a la fecha de facturación y entrega del equipo ADICIONAL EL IVA				
Gerencia	Ing. Camila Rodríguez Gerente Comercial	Ing. Maria Jose Ceballos S. Asesor Técnico Comercial		

Continuación Anexo J

 SERVICLORO NIT 860.353.061-4		Profesionales en dosificación de químicos, equipos de medición en línea y de caudal, en procesos para tratamientos de agua potable, residual e industrial. Carrera 47A N° 103 - 40 - Bogotá D.C. Colombia PBX: 57(1) 6235670 Fax:57(1) 6213852 info@servicloro.com www.servicloro.com		
SEÑORES: UNIVERSIDAD DE AMERICA Ing. Gabriela Torres		Fecha: mayo 24 de 2019		
		Oferta # D-0066/05/201 PAG. 3/3		
		Validez de la Oferta: Treinta (30) días		
		Entrega: Ver cada item		
Solicitado por: Ing. Gabriela Torres		F. de pago: Ver cada item		
ITEM	DESCRIPCION	CANT.	VALOR UNIT.	VALOR TOTAL
	<p>controladas por un microprocesador para garantizar así una dosificación precisa y confiable. El teclado de control, ubicado en un panel central de policarbonato, es digital y muy fácil de usar.</p> <p>Esta serie, prevista para instalarla horizontalmente, va montada en una caja plástica (polipropileno/fibra de vidrio) dividida en dos secciones distintas y opuestas (una para la parte electrónica y la otra para la parte mecánico-hidráulica) con el fin de prevenir el riesgo de corrosión ó agresión química de los componentes electrónicos y mecánicos. Se garantiza un sello hidráulico mediante un diafragma de Teflón® y las juntas de cierre en cinco elastómeros diferentes seleccionados de acuerdo al producto químico a dosificar.</p> <p>Bomba con dosificación constante o proporcional. Posicionando el interruptor en constante se puede regular el caudal manualmente.</p> <p>Características Técnicas:</p> <ul style="list-style-type: none"> * Alimentación eléctrica: 110 VAC. * Temperatura de trabajo: 5-45°C * Cabezal en PVDF * Diafragma en PTFE (Teflon®) * Protección: IP-65 			
				
OBSERVACIONES: La tasa del Euro se liquida a la fecha de facturación y entrega del equipo ADICIONAL EL IVA				
Gerencia	Ing. Camila Rodriguez Gerente Comercial	Ing. Maria Jose Ceballos S. Asesor Tecnico Comercial		

ANEXO K. DISEÑO DE LA CAPTACIÓN

$$Q = 1,84LH^{1,5}$$

Q= Caudal de diseño (0,014 m³/s)

L= Longitud (3m)

H= Carga sobre la cresta del vertedero

$$H = \left(\frac{Q}{1,84L} \right)^{\frac{2}{3}}$$

$$H = \left(\frac{0,014 \frac{m^3}{s}}{1,84(3m)} \right)^{\frac{2}{3}} = 0,0185m$$

Corrección por contracciones laterales

$$L' = L - 0,1nH$$

n= Número de contracciones laterales

L'= Longitud del vertimiento corregida

L= Longitud del vertimiento (3m)

$$L' = 3m - 0,1(2)(0,0185)$$

L'=2,9963 ~ 3 metros

Velocidad de la quebrada

$$V = \frac{Q}{L'H}$$

V= Velocidad del río sobre la presa

Q= Caudal de diseño (0,014 m³/s)

L'= Longitud de vertimiento (3m)

H= Carga sobre la cresta del vertedero

$$V = \frac{0,014}{3(0,0185)} = 0,2522 \frac{m}{s}$$

Diseño de la rejilla y el canal de aducción

Ancho del canal

$$X_s = 0,36Vr^{\frac{2}{3}} + 0,60H^{\frac{4}{7}}$$

X_s = Alcance hilo superior

V_r = velocidad de río (0,2522 m/s)

H = Profundidad de la lámina sobre la presa (0,0185m)

$$X_s = 0,36(0,2522)^{\frac{2}{3}} + 0,60(0,0185)^{\frac{4}{7}}$$

$$X_s = 0,1548m$$

$$X_i = 0,18Vr^{\frac{4}{7}} + 0,74H^{\frac{3}{4}}$$

X_i = Alcance de hilo interior

V_r = Velocidad del río

H = Profundidad de la lámina sobre la presa (0,085m)

$$X_i = 0,18(0,2522)^{\frac{4}{7}} + 0,74(0,085)^{\frac{3}{4}}$$

$$X_i = 0,1984 m$$

$$B = X_s + 0,10$$

B = Ancho canal de aducción

X_s = Alcance hilo superior (0,30)

$$B = 0,30 + 0,10$$

$$B = 0,40$$

Longitud de la rejilla y número de orificios

Barras: $\frac{3}{4}$ "

Separación: 2,5cm = 0,025 m

Velocidad: 0,2 m/s

$$A_n = \frac{Q}{0,9 V_o}$$

A_n = Área neta de rejilla

V_o = Velocidad entre barrotes (0,2m/s)

Q = Caudal de diseño: 0,014 m³/s

$$An = \frac{0,014 \text{ m}^3/\text{s}}{0,9\left(\frac{0,2\text{m}}{\text{s}}\right)} = 0,0777$$

$$An = \frac{a}{a+b}BLr$$

a= Separación entre barrotes (0,025)

Lr= Longitud de rejilla

b= Diámetro de barrote (0,0191m)

An= Área neta de rejilla (0,0777m²)

B= Ancho de canal (0,40)

$$Lr = \frac{An(a+b)}{a*B}$$

$$Lr = \frac{0,0777(0,025 + 0,0191)}{0,025 * 0,40} = 0,3395\text{m} \sim 0,35\text{m}$$

$$An = \frac{0,025}{0,9(0,0191)} * 0,35 * 0,40$$

$$An = 0,2030$$

$$An = 0,56 \text{ m}^2$$

Número de orificios

$$N = \frac{An}{a*B}$$

$$N = \frac{0,56}{0,025 * 0,40} = 56$$

Se adoptan 56 orificios separados entre 2,5cm y se recalculan las dimensiones de la rejilla

$$An = (0,025)(0,40)(56) = 0,56\text{m}^2$$

Tomando una longitud de 0.35 m y con el área de las rejillas de 0.56 m²:

$$Vb = \frac{0.014}{0.9(0.56)} = 0.0277 \frac{m}{s}$$

$$Li = \frac{0.56(0.025 + 0.0191)}{(0.025)(0.40)} = 2.46m$$

Obtención de niveles de caudal: Aguas abajo

$$he = hc = \left(\frac{Q^2}{gB^2} \right)^{\frac{1}{3}}$$

he: Profundidad de aguas abajo

hc= profundidad critica

g= gravedad

Q= Cudal de diseño

B= ancho aducción

$$hc = \frac{0.014^2}{9.81(0.40)^2} = 0.049 m$$

Aguas arriba

$L_{calnal} = l \text{ Rejilla} + \text{Espesor del muro}$

$$L_{canal} = 2.46 + 0.30 = 2.76 m$$

Adoptando una pendiente de 3%

$$ho = \left[2he^2 + \left(he - \frac{iLc}{3} \right)^2 \right]^{\frac{1}{2}} - \frac{2}{3} iLc$$

Ho= Profundidad aguas arriba

i= pendiente del fondo 3%

Lc= Long canal

he= Profundidad aguas abajo

$$ho = \left[2(0.049)^2 + \left(0.049 - \frac{(0.03)(2.76)}{3} \right)^2 \right]^{\frac{1}{2}} - \frac{2}{3} (0.03)(2.76) = 0.16 m$$

Altura total de los muros de aducción

$$H_o = h_o + BL$$

h_o = Profundidad aguas arriba

BL = profundidad del canal de aucción

$$H_o = 0.16 + 0.20 = 0.36m$$

$$H_e = H_o + ilc$$

H_e = Profundidad aguas abajo del canal de aducción más lámina de agua

l = Pendiente del fondo del canal

L_c = longitud del canal

$$H_e = 0.36 + (0.03 * 2.76) = 0.44$$

Velocidad del agua al final del caudal

$$V_e = \frac{Q}{Bh_e}$$

V_e = velocidad del canal al final del canal

B = Ancho de la rejilla

h_e = Profundidad aguas abajo

$$V_e = \frac{0.014}{0.40 * 0.049} = 0.71$$

Diseño cámara de recolección

$$X_s = 0.36 V_e^{2/3} + 0.60 h_e^{4/7}$$

X_s = Alcance filo superior

V_e = velocidad del caudal al final del canal

h_e = Profundidad aguas abajo

$$X_s = 0.36 (0.71)^{2/3} + 0.60 (0.049)^{4/7} = 0.0395 m$$

$$X_i = 0.18 V e^{\frac{4}{7}} + 0.74 h e^{\frac{3}{4}}$$

X_i = Alcance filo interior

V_e = velocidad del caudal al final del canal

h_e = Profundidad aguas abajo

$$X_i = 0.18 (0.71)^{\frac{4}{7}} + 0.74 (0.049)^{\frac{3}{4}} = 0.0225$$

$$B_{camara} = X_s + 0.30$$

X_s = Alcance filo superior

B_{camara} = Ancho de la cámara

$$B_{camara} = 0.3935 m + 0.30$$

Altura muros contención

$$H = \left(\frac{Q}{1.84L} \right)^{\frac{2}{3}}$$

Q = Caudal

L =Longitud vertedero

H = Carga sobre la cresta

$$H = \left(\frac{1.40}{1.84(3)} \right)^{\frac{2}{3}} = 0.40 m$$

Calculo caudal de excesos

$$H = \left(\frac{0.3361.40}{1.84(3)} \right)^{\frac{2}{3}} = 0.154 m$$

La capacidad máxima de la captación de la rejilla se puede aproximar al caudal a través de un orificio usando:

$$Q_{captado} = c_d * A_{neta} \sqrt{2gH}$$

$Q_{captado}$ = Caudal a través de la rejilla

C_d = coeficiente de descarga

A_{neta} = Área neta de la rejilla

H = Altura de la lámina sobre la rejilla

$$Q_{captado} = (0.24)(0.56) \sqrt{2(9.81)(0.154)} = 0.59 \frac{m^3}{s}$$

Caudal de excesos

$$Q_{exceso} = Q_{captado} - Q_{diseñado}$$

$$Q_{exceso} = 0.59 - 0.014 = \frac{0.57m^3}{s}$$

Altura del vertedero en excesos

$$Hexc = \left(\frac{Q}{1.84 * Bcamara} \right)^{\frac{2}{3}}$$

$$Hexc = \left(\frac{0.57}{1.84 * 0.80} \right)^{\frac{2}{3}} = 0.5312 m$$

$$Vexc = \frac{Qexc}{Hexc * Bcamara}$$

Vexc = Vel de excesos

Hexc= Altura del vertedero en exceso

Q= Caudal en exceso

Bcamara=Ancho cámara

$$Vexc = \frac{0.57}{0.5312(0.80)} = 1.34 \frac{m}{s}$$

Recalculando nuevamente Xs

$$Xs = 0.36Ve^{2/3} + 0.60 he^{4/7}$$

$$Xs = 0.36(1.34)^{\frac{2}{3}} + 0.60 (0.5312)^{\frac{4}{7}} = 0.855 m$$

ANEXO L
DOSIS ÓPTIMA DE COAGULANTE

- 11 DE MARZO 2019
Dosis (ppm) = $2.3953 \ln(7.22) + 24.335 = 29.07$
- 28 DE MARZO 2019
Dosis (ppm) = $2.3953 \ln(6.8) + 24.335 = 28.92$
- 2 DE ABRIL 2019
Dosis (ppm) = $2.3953 \ln(4.2) + 24.335 = 27.77$
- 8 DE ABRIL 2019
Dosis (ppm) = $2.3953 \ln(5.98) + 24.335 = 28.61$