

**PROPUESTA DE MEJORA PARA EL SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUA  
POTABLE DEL ACUEDUCTO VEREDAL COOVESUR LTDA.E.S.P. DEL  
MUNICIPIO DE FUSAGASUGÁ-CUNDINAMARCA**

**HEIDI LORENA CAICEDO CÁRDENAS**

**ERICA MARCELA SUÁREZ CRUZ**

**FUNDACIÓN UNIVERSIDAD DE AMÉRICA**

**FACULTAD DE INGENIERÍAS**

**PROGRAMA DE INGENIERÍA QUÍMICA**

**BOGOTÁ D.C**

**2018**

**PROPUESTA DE MEJORA PARA EL SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUA  
POTABLE DEL ACUEDUCTO VEREDAL COOVESUR LTDA.E.S.P. DEL  
MUNICIPIO DE FUSAGASUGÁ-CUNDINAMARCA**

**HEIDI LORENA CAICEDO CÁRDENAS**

**ERICA MARCELA SUÁREZ CRUZ**

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

**Director**

**ALEXANDER LÓPEZ**

**Ingeniero Químico**

**FUNDACIÓN UNIVERSIDAD DE AMÉRICA**

**FACULTAD DE INGENIERÍAS**

**PROGRAMA DE INGENIERÍA QUÍMICA**

**BOGOTÁ D.C**

**2018**

**Nota de aceptación**

---

---

---

---

---

---

---

Ing. Oscar Lombana

---

Ing. Fernando Moreno

---

Ing. Diana Cuesta

Bogotá D.C Agosto del 2018

## DIRECTIVAS DE LA UNIVERSIDAD

Presidente de la Universidad y Rector del Claustro.

**Dr. Jaime Posada Díaz**

Vicerrector de Desarrollo y Recursos Humanos.

**Dr. Luis Jaime Posada García-Peña**

Vicerrectora Académica y de Posgrados.

**Ing. Ana Josefa Herrera Vargas**

Decano Facultad de Ingeniería

**Ing. Julio Cesar Fuentes Arismendi**

Director Programa 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

Los autores expresan sus agradecimientos a:

- Coovesur LTDA.E.S.P, Empresa soporte del proyecto. Por darnos la oportunidad de realizar nuestro trabajo de grado en el acueducto, brindando toda la colaboración para su buen desarrollo y culminación exitosa de nuestras carreras profesionales
- Alexander López, Director del proyecto de grado. Por dirigirnos en el desarrollo de este proyecto, brindando incondicionalmente su apoyo, tiempo y conocimientos los cuales fueron parte fundamental para el buen desarrollo del proyecto y además nos dejan enseñanzas valiosas para la vida profesional.
- Oscar Lombana, Asesor del proyecto. Por guiarnos para la realización de un trabajo de grado de excelente calidad, aportando toda su valiosa experiencia en la asesoría hacia nuestro proyecto.
- Universidad de América. Por permitirnos realizar todo el desarrollo experimental en los laboratorios de sus instalaciones, colaborando con el suministro de materiales y reactivos para los momentos en los que fueron requeridos.
- A todas las personas que de una u otra forma colaboraron con la realización de este proyecto ya sea académica o personalmente.

Agradezco a Dios la sabiduría que me da para llevar a cabo cada uno de los proyectos que emprendo, a mis padres por su amor y apoyo incondicional, a mis hermanas por su valiosa compañía y ánimo, a mis profesores por guiarme para llegar a ser una profesional integral y a mis compañeros y compañeras por hacer que este camino haya sido la muestra de un buen trabajo en equipo, amistoso y leal.

Heidi Lorena Caicedo Cárdenas

Agradezco a Dios por permitirme culminar de forma satisfactoria la etapa de la educación superior, a mis padres por siempre estar a mi lado brindándome todo su cariño y apoyo, a mi hermana por su paciencia y palabras de aliento, a mi novio por su estar de forma incondicional y brindarme toda su ayuda, a mis profesores que dejan valiosos conocimientos para la vida profesional y a todos mis amigos por ser parte de maravillosos recuerdos y enseñanzas de vida.

Erica Marcela Suárez Cruz

## CONTENIDO

	pág.
<b>RESUMEN</b>	<b>20</b>
<b>INTRODUCCIÓN</b>	<b>21</b>
<b>OBJETIVOS</b>	<b>22</b>
<b>1.GENERALIDADES</b>	<b>23</b>
<b>1.2 MUNICIPIO DE FUSAGASUGÁ:</b>	<b>23</b>
1.2.1 Historia	23
1.2.2 Climatología	24
1.2.3 Altitud, temperatura y precipitación anual	25
1.2.4 Hidrografía	25
1.2.5 Demografía	26
1.2.6 Sector de agua potable y saneamiento básico	27
<b>2.MARCO TEÓRICO</b>	<b>28</b>
<b>2.1 AGUA</b>	<b>28</b>
2.1.1 Agua potable	28
<b>2.2 CARACTERÍSTICAS DEL AGUA POTABLE</b>	<b>28</b>
2.2.1 Características físicas	29
2.2.1.1 Color	29
2.2.1.2 Olor y Sabor	29
2.2.1.3 Temperatura	29
2.2.1.4 Turbiedad (NTU)	29
2.2.1.5 Conductividad	30
2.2.1.6 Sólidos disueltos totales (SDT)	31
2.2.2 Características Químicas	31
2.2.2.1 Alcalinidad	31
2.2.2.2 Aluminio (Al)	31
2.2.2.3 Arsénico (As)	32
2.2.2.4 Bario (Ba)	32
2.2.2.5 Hierro total (Fe)	32
2.2.2.6 Manganeseo (Mn)	32
2.2.2.7 Sulfatos (SO <sub>4</sub> )	32
2.2.2.8 Nitratos (NO <sub>3</sub> ) y Nitritos (NO <sub>2</sub> )	32
2.2.2.9 Nitrógeno amoniacal	33
2.2.2.10 Acidez	33
2.2.2.11 Carbono orgánico total (COT)	33
2.2.2.12 Cloro residual libre	34
2.2.2.13 Cloruros	34
2.2.2.14 Dureza	34
2.2.2.15 Oxígeno disuelto (OD)	35
2.2.2.16 pH (potencial de hidrógeno)	35

2.2.3 Características microbiológicas	36
2.2.3.1 Coliformes totales	36
2.2.3.2 Coliformes fecales	36
<b>2.3 PROCESO DE POTABILIZACIÓN</b>	<b>36</b>
2.3.1 Tratamiento primario	36
2.3.1.1 Coagulación	36
2.3.1.2 Floculación	39
2.3.1.3 Sedimentación	39
2.3.2 Tratamiento secundario	39
2.3.2.1 Filtración	39
2.3.3 Tratamiento terciario	40
2.3.3.1 Desinfección	40
2.3.3.2 Neutralización	41
<b>2.4 MARCO LEGAL</b>	<b>41</b>
2.4.1 Resolución 2115 de 2007	42
2.4.2 Resolución 1096 de 2000 (RAS)	42
2.4.3 Resolución 0330 de 2017	42
2.4.4 Decreto 3930 de 2010	42
2.4.5 Norma Técnica Colombiana NTC-ISO 5667-2	43
2.4.6 Norma Técnica Colombiana NTC-ISO 5667-3	43
2.4.7 Norma Técnica Colombiana NTC-ISO 5667-5	43
2.4.8 Norma Técnica Colombiana NTC 3903	43
<b>3. DIAGNÓSTICO</b>	<b>44</b>
<b>3.1 ANÁLISIS DE LAS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS, QUÍMICAS Y MICROBIOLÓGICAS</b>	<b>44</b>
3.1.1 Agua proveniente del río Batán (afluente)	44
3.1.2 Análisis en la red de distribución a los usuarios (efluente)	49
3.1.2.1 Color verdadero	49
3.1.2.2 Turbiedad	50
3.1.2.3 pH	51
3.1.2.4 Cloro residual	52
3.1.2.5 Hierro total	53
3.1.2.6 Aluminio	54
<b>3.2 INFORMACIÓN DEL ACUEDUCTO MUNICIPAL</b>	<b>55</b>
<b>3.3 FUNCIONAMIENTO ACTUAL DE LAS OPERACIONES Y PROCESOS UNITARIOS DE LA PTAP</b>	<b>56</b>
3.3.1 Captación	57
3.3.2 Desarenado	57
3.3.3 Canalización	58
3.3.4 Análisis de laboratorio	59
3.3.5 Coagulación	61
3.3.6 Floculación	62
3.3.7 Sedimentación	63
3.3.8 Filtración	64

3.3.9 Desinfección	64
3.3.10 Alcalinización	65
3.3.11 Almacenamiento y distribución.	66
3.3.12 Diagrama de bloques del proceso	67
3.3.13 Resultados del diagnóstico actual de la PTAP	72
<b>4. ACCIONES DE MEJORA PARA EL FUNCIONAMIENTO DE LA PLANTA</b>	<b>74</b>
<b>4.1 ACCIONES DE MEJORA PROPUESTAS</b>	<b>74</b>
4.1.1 Planteamiento de las acciones de mejora por etapas	74
4.1.2 Procedimiento para selección de acciones de mejora	75
4.1.2.1 Criterios de priorización	75
4.1.2.2 Matriz de priorización	75
4.1.2.3 Priorización de las acciones de mejora	79
<b>4.2 ACCIONES DE MEJORA SELECCIONADAS</b>	<b>80</b>
<b>4.3 ESPECIFICACIONES DE LAS ACCIONES DE MEJORA</b>	<b>80</b>
4.3.1 Cambios operativos	80
4.3.1.1 Establecer dosificaciones de los reactivos	81
4.3.1.2 Incluir etapa para ajuste inicial de pH	99
4.3.1.3 Adicionar un floculante al proceso	99
4.3.1.4 Eliminar la práctica de pre - cloración	100
4.3.2 Cambios técnicos	100
4.3.2.1 Realizar calibración de vertederos	100
4.3.2.2 Realizar procedimiento para método de jarras	104
4.3.2.3 Adquirir equipos y material de laboratorio	106
4.3.2.4 Adquirir bombas dosificadoras	109
4.3.3 Diagrama de bloques de la propuesta de mejora	109
4.3.4 Diagrama de flujo de proceso (PFD)	111
<b>5. EVALUACIÓN FINANCIERA</b>	<b>115</b>
<b>5.1 SITUACIÓN FINANCIERA ACTUAL</b>	<b>115</b>
5.1.1 Cálculo del OPEX	115
5.1.2 Flujo de caja actual	116
<b>5.2 SITUACIÓN FINANCIERA CON LA PROPUESTA DE MEJORA</b>	<b>117</b>
5.2.1 Cálculo del CAPEX	117
5.2.2 Cálculo del OPEX	118
5.2.3 Flujo de caja con la propuesta de mejora	119
<b>5.3 COMPARACIÓN COSTOS TOTALES</b>	<b>120</b>
<b>6. CONCLUSIONES</b>	<b>121</b>
<b>7. RECOMENDACIONES</b>	<b>122</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA</b>	<b>123</b>
<b>ANEXOS</b>	<b>128</b>

## LISTA DE TABLAS

	pág.
Tabla 1. Caracterización del agua del afluente	46
Tabla 2. Parámetros de calidad del agua del afluente que incumplen.	48
Tabla 3. Parámetros de calidad del agua del efluente por mejorar	55
Tabla 4. Problemática por etapas de proceso	72
Tabla 5. Propuesta de acciones de mejora.	74
Tabla 6. Puntaje de los criterios de selección.	76
Tabla 7. Matriz de priorización para las acciones de mejora propuestas	77
Tabla 8. Orden de importancia para las acciones de mejora propuestas	79
Tabla 9. Acciones de mejora a desarrollar	80
Tabla 10. Resultados prueba de jarras #1	81
Tabla 11. Parámetros de calidad de la muestra tratada en laboratorio	84
Tabla 12. Resultados prueba de jarras #2	85
Tabla 13. Resultados prueba de jarras #3	87
Tabla 14. Parámetros de calidad de la muestra tratada en laboratorio	89
Tabla 15. Concentración de cloro residual	91
Tabla 16. Resultados curva de demanda de cloro	92
Tabla 17. Índice de Willcomb	93
Tabla 18. Valores para calibración de vertederos	101
Tabla 19. Material de laboratorio requerido	106
Tabla 20. Comparación equipos para medición de Alcalinidad total	107
Tabla 21. Comparación equipos para medición de aluminio	107
Tabla 22. Comparación equipos para medición de hierro	108
Tabla 23. Comparaciones bombas dosificadoras	109
Tabla 24. Equipos Diagrama PFD	111
Tabla 25. Condiciones de flujo	113
Tabla 26. Gastos actuales de operación y mantenimiento	115
Tabla 26. Gastos actuales de operación y mantenimiento (continuación)	116
Tabla 27. Costos de inversión para la propuesta de mejora	118
Tabla 28. Costos de mantenimiento y operación con la mejora	119
Tabla 29. Comparación costos actuales y costos con la implementación de la propuesta.	120

## LISTA DE FIGURAS

	pág.
Figura 1. Mapa físico del municipio de Fusagasugá	26
Figura 2. Curva del comportamiento del cloro en el agua	41
Figura 3. Climograma del municipio de Fusagasugá	45
Figura 4. Acueducto Coovesur	55
Figura 5. Planta compacta sistema Coovesur	56
Figura 6. Planta semicompacta Coovesur	56
Figura 7. Desarenador sistema Coovesur	58
Figura 8. Vertedero de medición rectangular (vista superior)	58
Figura 9. Vertedero de medición triangular	59
Figura 10. Laboratorio planta Coovesur	61
Figura 11. Sistema de dosificación de coagulante	62
Figura 12. Floculador tipo alabama	63
Figura 13. Modulo sedimentador	63
Figura 14. Filtro sistema Coovesur	64
Figura 15. Sistema de desinfección	65
Figura 16. Tanque de almacenamiento	66
Figura 17. Líneas de distribución.	67
Figura 18. Diagrama de bloques actual para el proceso de potabilización	68
Figura 19. Prueba de jarras realizada en el laboratorio	81
Figura 20. Muestra con 0,3 mL de sulfato de aluminio al 5% en peso.	82
Figura 21. Muestra con 0,3 mL de sulfato de aluminio al 1% en peso.	83
Figura 22. Sistema de filtración utilizado en las pruebas de jarras.	84
Figura 23. Muestra con 4 mL de sulfato de aluminio al 1% en peso	86
Figura 24. Muestra con 0,2 mL de Lipesa 1569 a 800 ppm.	86
Figura 25. Muestra con 4 mL de sulfato de aluminio al 1% en peso.	87
Figura 26. Muestra con 0,3 mL de Lipesa 1569 a 800 ppm.	87
Figura 27. Muestra con 4 ml de sulfato de aluminio (1% p/p) y 1,3 ml Lipesa 1569 (800 ppm)	88
Figura 28. Equipos utilizados en las pruebas de jarras	90
Figura 29. Dosificación de los diferentes floculantes	99
Figura 30. Ajuste lineal de los datos	102
Figura 31. Procedimiento desarrollo método de jarras.	105
Figura 32. Diagrama de bloques propuesto para el proceso de potabilización	110
Figura 33. Diagrama de flujo de proceso (PFD) de la PTAP	112
Figura 34. Flujo de caja actual	116
Figura 35. Flujo de caja con la propuesta de mejora	119

## LISTA DE GRÁFICAS

	pág.
Gráfica 1. Caracterización del color aparente en el efluente	49
Gráfica 2. Caracterización de la turbiedad en el efluente	50
Gráfica 3. Caracterización del pH en el efluente	51
Gráfica 4. Caracterización del cloro residual en el efluente	52
Gráfica 5. Caracterización del hierro total en el efluente	53
Gráfica 6. Caracterización del aluminio en el efluente	54
Gráfica 7. Curva de demanda de cloro obtenida	91

## LISTA DE ECUACIONES

	pág.
Ecuación 1. Balance de agua para las etapas de captación, desarenado y canalización	69
Ecuación 2. Balance de agua para la etapa de coagulación y floculación.	69
Ecuación 3. Balance de agua para la etapa de sedimentación	70
Ecuación 4. Balance de agua para la etapa de filtración	70
Ecuación 5. Balance de agua en la etapa de desinfección	71
Ecuación 6. Balance de agua en la etapa de alcalinización	71
Ecuación 7. Balance de agua en la etapa de almacenamiento y distribución	71
Ecuación 8. Relación carga y caudal descargado	101
Ecuación 9. Calibración del vertedero	102
Ecuación 10. Calibración del vertedero rectangular	103
Ecuación 11. Coeficiente de descarga para vertedero rectangular.	103
Ecuación 12. Calibración del vertedero triangular	103
Ecuación 13. Coeficiente de descarga para vertedero triangular	103
Ecuación 14. Coeficiente de descarga general	103
Ecuación 15. Coeficiente de descarga promedio	104
Ecuación 16. Tasa interna de oportunidad	116
Ecuación 17. Valor presente	117
Ecuación 18. Costo anual equivalente	117

## LISTA DE ANEXOS

	pág.
Anexo A Registros diarios PTAP	129
Anexo B Tabla de resultados, caracterizaciones del efluente.	130
Anexo C Parámetros no evaluados	132
Anexo D Resultados caracterización 1 <sup>era</sup> muestra de agua	138
Anexo E Resultados caracterización 2 <sup>da</sup> muestra de agua	140
Anexo F Ficha técnica Sulfato de aluminio	142
Anexo G Precios insumos químicos	143
Anexo H Ficha técnica Lipesa 1569	144
Anexo I Cotización Lipesa 1569	145
Anexo J Ficha técnica cloro gaseoso	146
Anexo K Ficha técnica hipoclorito de calcio	150
Anexo L Ficha técnica hidróxido de calcio	151
Anexo M Test kit alcalinidad HI 3811	152
Anexo N Test kit aluminio HI 96712	153
Anexo O Test kit hierro HI 96721	154
Anexo P Cotización Bomba dosificadora PLPH5SAPTC3	155
Anexo Q Ficha técnica Bomba dosificadora TM02064C	156
Anexo R Clasificación del nivel de riesgo en salud según el IRCA por muestra, el IRCA mensual y acciones que deben adelantarse.	157
Anexo S Cálculos realizados para el balance de agua y masa del PFD de la PTAP.	158

## LISTA DE ABREVIATURAS

CAR	Corporaciones Autónomas Regionales
CAUE	Costo Anual Equivalente
COT	Carbono Orgánico Total
DBO	Demanda Bioquímica de Oxígeno
DQO	Demanda Química de Oxígeno (mg O <sub>2</sub> /L)
DTF	Depósito a Término Fijo
IRCA	Índice de Riesgo de la Calidad del Agua para consumo humano
NTC	Norma Técnica Colombiana
NTU	Unidad Nefelométrica de Turbidez
OD	Oxígeno Disuelto
PFD	Diagrama de Flujo de Procesos
ppm	partes por millón
PTAP	Planta de Tratamiento de Agua Potable
RAS	Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento básico
rpm	revoluciones por minuto
SDT	Sólidos Disueltos Totales (mg/L)
TIO	Tasa Interna de Oportunidad
VP	Valor Presente

## GLOSARIO

**ACIDEZ:** capacidad de reaccionar con una base fuerte hasta un determinado pH.

**ADUCCIÓN:** transporte del caudal de agua desde la fuente de abastecimiento hasta la planta de tratamiento.

**AFLUENTE:** agua u otro líquido que ingrese a un reservorio o algún proceso de tratamiento.

**AGITACIÓN:** movimiento obtenido mediante dispositivos mecánicos o energía del agua para producir turbulencia.

**AIREACIÓN:** método para purificar el agua, mediante un proceso por el cual hay un contacto directo entre el agua y el aire

**ALCALINIDAD:** capacidad del agua para neutralizar los ácidos, se expresa en miligramos por litro de equivalente de carbonato de calcio ( $\text{CaCO}_3$ )

**CAUCE:** concavidad del terreno, natural o artificial por donde un río, canal o cualquier corriente de agua

**COAGULANTE:** sustancia química que añadida al agua produce la unión de partículas en suspensión y su agrupamiento en coágulos.

**COLOIDE:** mezclas de sustancias que se encuentran entre las soluciones y las suspensiones y cuyas partículas tienen un tamaño de partícula de 10 y 100 nanómetros.

**CUENCA:** territorio drenado por un único sistema de drenaje natural, es decir, un único río conduce el agua al mar.

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

**DIQUE:** construcción para evitar el paso del agua

**EFLUENTE:** agua u otro líquido que sale de un proceso de tratamiento

**FLOCULANTE:** sustancia química usualmente orgánica que aglutina sólidos en suspensión una vez efectuada la coagulación, provocando su precipitación.

**MÉTODO AMPEROMÉTRICO:** titulación en la cual el punto de valencia es determinado a través de la medición de una corriente eléctrica generada por una reacción redox.

**MÉTODO DE JARRAS:** ensayo de laboratorio mediante el cual se simulan las condiciones de coagulación, floculación y sedimentación en la planta.

**MÉTODO FOTOMÉTRICO:** determinación cualitativa de un analito mediante el estudio de la dispersión que forma el disolvente.

**MÉTODO NEFELOMÉTRICO:** método por el cual se mide turbiedad según el principio de la luz dispersada al pasar a través de una muestra en una dirección opuesta a la fuente emisora.

**MEZCLA LENTA:** agitación suave del agua con los coagulantes, con el fin de favorecer la aparición de los flóculos.

**MEZCLA RÁPIDA:** agitación violenta para producir dispersión inmediata de un producto químico en el agua.

**TURBIEDAD:** propiedad óptica del agua fundamentada en la dispersión de la luz reflejada por las partículas en suspensión presentes.

**VERTEDERO:** estructura hidráulica destinada a propiciar el pase libre o controlado del agua en los escurrimientos superficiales.

## RESUMEN

La planta de tratamiento de agua potable Coovesur del Municipio de Fusagasugá-Cundinamarca, potabiliza un promedio de 15 L/s de agua proveniente del río Batán. Posee una bocatoma, un desarenador, dos vertederos, dos tanques de mezcla rápida, en donde se aplica sulfato de aluminio Tipo A, dos sedimentadores, tres equipos de filtración, desinfección utilizando cloro gaseoso, tres tanques de almacenamiento, y un laboratorio con 3 equipos de medición. Para cada etapa se realizó un diagnóstico detallado de cada una de las operaciones unitarias para determinar la problemática en cada una de ellas.

Se tomaron los análisis físicos – químicos y microbiológicos de agua cruda y potable, determinando los parámetros que incumplían o se encontraban por fuera de la resolución 2115 de 2007 (como color, aluminio, microbiológicos, cloro residual, hierro total y pH), estableciendo las que presentan dificultades.

El problema crítico es la concentración promedio de aluminio 0,39 mg Al/L que históricamente sobrepasa el límite permitido para agua potable (0,2 mg Al/L), por esto se llevaron a cabo diferentes pruebas de jarras en donde se establecieron las dosificaciones del coagulante, el neutralizante, el desinfectante y la validación de un floculante.

Finalmente se realizó la evaluación financiera con el método del CAPEX y del OPEX, siendo estos comparados con el indicador CAUE evaluándolo sin y con proyecto, se obtiene un valor de \$127'299.115,33 sin proyecto y \$130'704.210,21 con proyecto, para este último se debe tener en cuenta que se incluye la adquisición de equipos y material necesario para la dotación del laboratorio. En un futuro es posible que se lleve a cabo su implementación.

**Palabras clave:** Agua potable, potabilización, tratamiento de agua, mejora.

## INTRODUCCIÓN

El agua es considerada como el solvente universal y debido a que forma iones, complejos solubles e insolubles al entrar en contacto con sustancias sólidas, líquidas y gaseosas producto del ambiente natural o actividades propias del ser humano, es necesario someterla a un tratamiento para garantizar su potabilización.

La Cooperativa de Usuarios del Acueducto Comunal de las veredas del sur “COOVESUR LTDA.E.S.P.” es una entidad sin ánimo de lucro de carácter privado que presta el servicio a 900 suscriptores y 4.500 usuarios. Según la información del proceso desarrollado para la potabilización de agua suministrada por el acueducto se puede evidenciar que la dosificación de los químicos en solución es inexacta, dado que se dosifica de acuerdo a la turbiedad del agua que llega de la bocatoma haciendo estimaciones por el operario para aguas de alta, mediana y baja turbiedad. Él se apoya en su experiencia y en las pruebas de jarras que realiza.

Este documento se divide en seis capítulos, el primero de ellos describe las generalidades del municipio de Fusagasugá-Cundinamarca, en el capítulo dos se hace una revisión de los fundamentos teóricos que se deben profundizar para reconocer las problemáticas y soluciones de la potabilización del agua, en el capítulo tres se lleva a cabo el diagnóstico de la PTAP, en el que se explica su funcionamiento, las diferentes etapas que conforman el proceso de potabilización del agua y sus características a partir de datos históricos del agua cruda y el agua potable las cuales se expresan como análisis de resultados.

En el capítulo cuatro se plantean las acciones de mejora requeridas para la mejora del proceso de potabilización, mediante una matriz estas son priorizadas según su importancia para la mejora del acueducto, luego se plantea la metodología experimental con la cual se determinan las dosificaciones de los reactivos y finalmente se presentan las condiciones técnicas de las acciones de mejora seleccionadas.

Finalmente en el capítulo cinco se evalúa los gastos de inversión (CAPEX), gastos operacionales (OPEX) y los diferentes indicadores económicos de tasa de interés de oportunidad (TIO), valor presente (Vp) y costo anual uniforme equivalente (CAUE) con y sin proyecto, realizando una comparación y dejando a disposición del acueducto Coovesur la implementación o no de este proyecto.

## **OBJETIVOS**

### **OBJETIVO GENERAL**

Desarrollar una propuesta de mejora en el proceso de potabilización del agua en el acueducto veredal COOVESUR LTDA.E.S.P del municipio de Fusagasugá.

### **OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Diagnosticar el proceso de potabilización del agua.
- Establecer acciones técnicas de mejora de acuerdo al diagnóstico realizado a la PTAP.
- Especificar los requerimientos técnicos de la acción de mejora.
- Realizar la evaluación financiera de la propuesta a presentar.

## 1. GENERALIDADES

A continuación se muestran las generalidades del proyecto, describiendo los aspectos importantes del municipio de Fusagasugá, lugar donde se encuentra ubicada la planta potabilizadora del acueducto “COOVESUR LTDA.E.S.P.”

### 1.2 MUNICIPIO DE FUSAGASUGÁ

Fusagasugá es un Municipio que cuenta con más de 426 años de historia, fue fundado el 5 de febrero de 1592. Está ubicado en la región Central de Colombia, conocido como Ciudad Jardín de Colombia, principal ciudad de la provincia del Sumapaz. La ciudad está ubicada en una meseta bañada por los ríos Cuja y Chocho rodeada por los cerros Quininí y Fusacatán que conforman el valle de los Sutagaos.

Dista 64 kilómetros (39,76 millas), hacia el sur oeste, de la capital del país, Bogotá. El territorio fusagasugueño se halla entre los 550 a los 3.050 metros sobre el nivel del mar, el perímetro urbano se encuentra en una altura promedio de 1.765 metros sobre el nivel del mar con una temperatura promedio de 20 °C.<sup>1</sup>

**1.2.1 Historia.** El municipio de Fusagasugá tiene de fundación cuatrocientos veinte y seis años, en los cuales ha recibido más de cuatro nombres diferentes, inicialmente fue conocido como Furagasungá en honor al cacique Fusungá que gobernó en estas tierras durante la época precolombina, después fue llamado Tuzugafugá en época de la conquista y años más tarde como Usagasugá, para finalmente llamarse Fusagasugá; este significa pueblo al pie de las montañas.

La comunidad indígena de los Sutagaos conocidos como los hijos del sol fueron los primeros habitantes del municipio, su actividad comercial era el intercambio con otros pobladores de la región cundinamarquesa, entre ellos los Muiscas del centro del departamento, con los que comercializaba mantas, algodón y sal que traían desde la población de Nemocón. Los Sutagaos tenían gran influencia de la comunidad Panche; con la conquista de los españoles fueron dominados por las tropas lideradas por Gonzalo Jiménez de Quesada quién delegó la dominación de esta comunidad al español Juan de Céspedes quién mandó una vez trasladados a lo que es hoy territorio de Pasca, quedó libre el área del pueblo para que fuera fundado en 1776.

De acuerdo con el historiador Roberto Velandia, Fusagasugá no tuvo un fundador único ya que fueron varias personas las que participaron en su creación. Por un lado Ignacio Pérez de la Cadena que se encargó de efectuar la medición de los primeros

---

<sup>1</sup> CIFUENTES, Luis (Alcalde municipal). Plan de desarrollo Municipal de Fusagasugá, 2016. Alcaldía de Fusagasugá: Cundinamarca. p. 3-15.

terrenos, y en segundo lugar, el fiscal Francisco Antonio Moreno y Escandón quién el ocho de enero de ese año autorizó legalmente su creación.

A través de la historia en Fusagasugá se han destacado hombres notables como Carlos Lozano Lozano quien nació en esta población el 31 de enero de 1904. Como abogado se desempeñó como diputado, representante, senador y ministro de Estado y como designado ejerció la Presidencia de la República del 8 al 19 de octubre de 1942. Fue miembro honorario de la Academia Colombiana de Historia.

Otro personaje importante fue Manuel Aya quien es considerado una de las figuras más representativas del municipio por su liderazgo en el trabajo con la comunidad, donó el reloj de la iglesia que aun funciona y en 1893 donó el lote para la construcción del hospital, introdujo el cultivo de café en la región del Sumapaz y fundó 24 haciendas ganaderas y agrícolas. También fue notario durante 40 años.

Carlos Uribe Abogado otro hombre honorable del municipio, nacido en 1854 fue ministro de Fomento, Gobernador de Cundinamarca desde 1892 hasta 1895, se desempeñó también como diputado de la Asamblea de Cundinamarca y ministro de Relaciones Exteriores, cargo que ejerció luego de ser embajador de Colombia en varios países de América Latina.

Por último, el señor Emilio Sierra quien nació en 1891, Fue músico y compositor. Actuó en varias bandas del pueblo y dirigió las de Zipaquirá y Girardot. Inventó el ritmo de la rumba criolla con canciones como La loca Margarita y Vivan los novios, canciones emblemáticas para el municipio.<sup>2</sup>

**1.2.2 Climatología.** El territorio fusagasugueño se encuentra entre los 550 a los 3.050 metros sobre el nivel del mar. El perímetro urbano se encuentra en una altura promedio de 1.726 m.s.n.m con una temperatura promedio de 20 °C. La humedad relativa media es de 85%, con máximos mensuales de 93% y mínimos mensuales de 74%, con una precipitación superior a los 1.250 mm.

Aproximadamente entre los 1.100 y 1.900 msnm, se encuentra un clima templado y relativamente húmedo, con algunas variaciones locales en cuanto al régimen de humedad, debido a que en esta zona los vientos que soplan son secos y ocasionan una alta evaporación. La temperatura promedio multianual del municipio es de 19.4 ° C; la máxima temperatura es 26.8 ° C en la vereda El Triunfo y la mínima es de 9.9 ° C en las veredas Los Robles y San Rafael.<sup>3</sup>

Su territorio, porcentualmente, posee los siguientes climas:

---

<sup>2</sup> REDACCION EL TIEMPO. La ciudad jardín tiene su historia. El Tiempo [en línea], 01 de mayo de 1999. [Citado 14 abril 2018]. Disponible en internet: <http://www.eltiempo.com/archivo/documento/MAM-915402>

<sup>3</sup> MAYORGA, Ingrid, Análisis de situación de salud con el modelo de determinantes sociales de salud [en línea], 2015 [citado 24 septiembre 2017] Disponible en Internet: [http://www.fusagasuga-cundinamarca.gov.co/NuestraAlcaldia/SaladePrensa/Documents/ASIS\\_2015.pdf](http://www.fusagasuga-cundinamarca.gov.co/NuestraAlcaldia/SaladePrensa/Documents/ASIS_2015.pdf)

- Cálido: 24 °C a 28 °C (09,21%)
- Templado: 18 °C a 23 °C (54,00%)
- Frío: 12 °C a 18 °C (32,20%)
- Sub-páramo: 6 °C a 12 °C (04,19%) altura más elevada

En Fusagasugá los veranos son mucho más lluviosos que los inviernos, la precipitación media aproximada es de 1137 mm.

El mes más seco del año es enero con 50 mm y el mes más lluvioso es noviembre con un promedio de precipitación de 171 mm. La diferencia en la precipitación entre el mes más seco y el mes más lluvioso es de 121 mm. La variación en las temperaturas durante todo el año es 1.5 ° C. El mes más caluroso del año con un promedio de 20.1 °C de marzo. Las temperaturas medias más bajas del año se producen en noviembre, cuando está alrededor de 18.6 ° C.

**1.2.3 Altitud, temperatura y precipitación anual.** Fusagasugá se encuentra ubicada entre los 4° 20' latitud norte y los 74° 21' 00" longitud oeste del Departamento de Cundinamarca. La humedad relativa media es de 85%, con máximos mensuales de 93% y mínimos mensuales de 74%, con una precipitación superior a los 1.250 mm. El territorio Municipal se encuentra entre los 550 mts a los 3.050 metros sobre el nivel del mar con una altura promedio de 1.728 mts y la temperatura promedio es de 19°C <sup>4</sup>

**1.2.4 Hidrografía.** En el territorio municipal de Fusagasugá la cuenca principal, a la cual drenan las demás cuencas, es la del río Sumapaz; encontrándose las siguientes subcuencas hidrográficas y sus principales afluentes: el río Panches (Alto Subia, Barroblanco y los Chochos) y el río Cuja (Guavio y Batán).

Se encuentran al occidente del municipio los ríos Cuja, Batán y Guavio con sus respectivos afluentes, conformando la parte central de la misma cuenca. En las zonas donde los ríos Sumapaz, Panches y Cuja se encajonan, sus afluentes bajan casi verticalmente, formando así un drenaje subparalelo, mucho más denso que principal.

El río Cuja nace el Alto El Puerco y drena los municipios de Pasca, Arbeláez y Fusagasugá. El río Juan Viejo drena en dirección sureste - noroeste hasta la confluencia con el río El Bosque y conformación del río Cuja, en donde el río cambia en dirección noreste – suroeste hasta su desembocadura en el río Sumapaz recibiendo los aportes de drenajes de mediana a larga longitud que caen sobre el cauce central, destacándose los ríos Batán y Guavio por la margen izquierda y las quebradas Sabaneta y San Joaquín por la margen derecha.

---

<sup>4</sup> GARCIA, Maylin, Patrimonio cultural de Fusagasugá [en línea], 2015, [citado 03 marzo 2018] Disponible en internet: <http://patrimonioculturaldefusagasusa.blogspot.com.co/2015/11/fusagasuga-f-usagasuga-uno-de-los-116.html>



**1.2.6 Sector de agua potable y saneamiento básico.** En la prestación de los servicios públicos domiciliarios de Acueducto, Alcantarillado y Aseo se destaca la empresa prestadora de Servicios Públicos EMSERFUSA ESP, quien viene funcionando ininterrumpidamente al servicio de la ciudadanía hace cincuenta (50) años. En el servicio de alcantarillado y agua potable esta empresa ha logrado 100% de cobertura en el sector urbano.<sup>7</sup>

En cuanto a las veredas pertenecientes al municipio no todas cuentan con servicio de agua potable pero algunas de estas obtienen el suministro de diferentes acueductos veredales como los son la PTAP Coovesur (acueducto de estudio del presente proyecto) que suministra agua potable a las veredas de sur-oriente, la PTAP Aguas del norte que suministra agua potable a las veredas del norte y la PTAP Leonardo Hoyos que suministra agua potable a algunas veredas del sur.

---

<sup>7</sup> EMSERFUSA E.S.P, Servicio de acueducto [en línea], 2014 [Citado 03 marzo 2018] Disponible en internet: [http://www.emserfusa.com.co/publicaciones/servicio\\_de\\_acueducto\\_pub](http://www.emserfusa.com.co/publicaciones/servicio_de_acueducto_pub)

## 2. MARCO TEÓRICO

En el presente capítulo se presenta toda la fundamentación teórica requerida para el desarrollo del proyecto y la reglamentación vigente para el sector de agua potable.

### 2.1 AGUA

Sustancia líquida sin olor, color ni sabor que está constituida por dos átomos de hidrógeno y uno de oxígeno (H<sub>2</sub>O) y se encuentra en la naturaleza en estado más o menos puro. El agua ocupa un 75% del total de la superficie terrestre, de dicha parte el 97,6% es salada y el 2,4% es agua dulce. Del total de agua dulce el 77,9% está congelado en los casquetes glaciares y polares, un 21,4% es agua subterránea y el porcentaje faltante es la fracción existente en lo que se refiere a lagos, ríos y mares al interior.

Considerada como el solvente universal, debido a que forma iones, complejos solubles e insolubles al entrar en contacto con sustancias sólidas, líquidas y gaseosas producto del ambiente natural o actividades propias del ser humano, por lo tanto es necesario someterla a un tratamiento para garantizar su potabilización.<sup>8</sup>

**2.1.1 Agua potable.** Es aquella que cumple con las características físicas, químicas, organolépticas y microbiológicas reglamentadas por la normatividad vigente que da la aceptabilidad de agua para consumo humano sin tener efectos adversos en la salud.

En la planta de purificación el agua sufre cambios significativos en su calidad física, química y bacteriológica. La aplicación de compuestos químicos para el tratamiento del agua debe asegurar un efluente que satisfaga los estándares de calidad para el agua potable y permita un tratamiento y disposición fácil de los lodos y de las aguas de lavado.<sup>9</sup>

### 2.2 CARACTERÍSTICAS DEL AGUA POTABLE

Existen características particulares que garantizan la seguridad del agua potable, dichas características son físicas, químicas y microbiológicas.

---

<sup>8</sup> ROMERO ROJAS, Jairo Alberto. Calidad del agua. Enero 2009, 3 ed. p 372.

<sup>9</sup> Ibid., p.341

**2.2.1 Características físicas.** Las propiedades físicas u organolépticas son todas aquellas descripciones de las características físicas que tiene la materia en general y pueden ser percibidas mediante los sentidos o algún instrumento específico de medida, dichas características para el agua potable se presentan a continuación.

**2.2.1.1 Color.** Las causas más comunes del color del agua son la presencia de hierro y manganeso coloidal o en solución; el contacto del agua con desechos orgánicos, hojas, maderas, raíces, entre otros. El color en el agua produce la materia suspendida y disuelta, a este se le denomina “color aparente”, una vez eliminado el material suspendido, el color remanente se le conoce como “color verdadero”. Antes de determinar el color verdadero es necesario remover la turbidez; para ello, el método recomendado es la centrifugación de la muestra.<sup>10</sup>

**2.2.1.2 Olor y Sabor.** La determinación del olor y el sabor en el agua es útil para evaluar la calidad de la misma y su aceptabilidad por parte del consumidor, para el control de los procesos de una planta y para determinar en muchos casos la fuente de una posible contaminación. Estos pueden describirse cualitativamente y cuantitativamente determinando la relación de dilución a la cual el olor o sabor es apenas detectable.<sup>11</sup>

**2.2.1.3 Temperatura.** La determinación exacta de la temperatura es importante para diferentes procesos de tratamiento y análisis de laboratorio, puesto que, por ejemplo, el grado de saturación de OD, la actividad biológica y el valor de saturación con carbonato de calcio se relacionan con la temperatura.<sup>12</sup>

**2.2.1.4 Turbiedad (NTU).** La turbiedad del agua puede ser ocasionada por diferentes materiales en suspensión que varían en tamaño, desde dispersiones coloidales hasta partículas gruesas, arcillas, materia orgánica e inorgánica finamente dividida, organismos planctónicos y microorganismos.<sup>13</sup>

Actualmente el método más usado para determinar la turbidez es el método nefelométrico, en el cual se mide la turbiedad mediante un nefelómetro y se expresan los resultados en unidades de turbidez nefelométrica (NTU).

Con este método se compara la intensidad de luz dispersada por la muestra con la intensidad de luz dispersada por una suspensión estándar de referencia en las mismas condiciones de medida. Cuanto mayor sea la intensidad de la luz dispersada, mayor será la turbiedad.<sup>14</sup>

---

<sup>10</sup> ROMERO ROJAS, Jairo Alberto. Calidad del agua. Enero 2009, 3 ed., p 109.

<sup>11</sup> Ibid., p 110.

<sup>12</sup> Ibid., p 111.

<sup>13</sup> Ibid., p 107.

<sup>14</sup> Ibid., p 108.

Los turbidímetros con detectores de luz dispersa localizada a 90° del haz incidente son llamados nefelómetros. Su precisión, sensibilidad y aplicabilidad sobre un rango de turbiedad amplio hace que el método nefelométrico sea preferible a los métodos visuales.

El rango de lectura del turbidímetro utilizado en el Laboratorio se encuentra entre 0 NTU y 10.000 NTU, pero el intervalo de trabajo va desde 2,0 hasta 1750 NTU. Este método se aplica en este laboratorio para el análisis de todo tipo de aguas y está estandarizado con un intervalo de aplicación entre 2.0 y 8750 NTU.<sup>15</sup>

Los parámetros de turbidez sirven para establecer el grado de tratamiento requerido por una fuente de agua cruda, su filtrabilidad y, consecuentemente, la tasa de filtración más adecuada, la efectividad de los procesos de coagulación, sedimentación y filtración, así como para determinar la potabilidad del agua.<sup>16</sup>

**2.2.1.5 Conductividad.** Es una medida de la propiedad que poseen las soluciones acuosas para conducir la corriente eléctrica. Esta propiedad depende de la presencia de iones, su concentración, movilidad, valencia y de la temperatura de la medición. Las soluciones de la mayor parte de los compuestos inorgánicos son buenas conductoras. Las moléculas orgánicas al no disociarse en el agua, conducen la corriente en muy baja escala.

Para la determinación de la conductividad la medida física hecha en el laboratorio es la resistencia, en ohmios o mega ohmios. La conductividad es el inverso de la resistencia específica, y se expresa en microohmio por centímetro ( $\mu\text{mho/cm}$ ), equivalentes a microsiemens por centímetro ( $\mu\text{S/cm}$ ) o mili siemens por centímetro ( $\text{mS/cm}$ ) en el Sistema Internacional de Unidades.<sup>17</sup>

---

<sup>15</sup> CARPIO, Tania. Turbiedad por nefelometría (Método B). Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. IDEAM. [en línea], 2007. [citado 19 marzo 2018] Disponible en internet: <http://www.ideam.gov.co/documents/14691/38155/Turbiedad+por+Nefelometr%C3%ADa.pdf/fc92342e-8bba-4098-9310-56461c6a6dbc>

<sup>16</sup> ROMERO ROJAS, Jairo Alberto. Calidad del agua. Enero 2009, 3 ed, p 109.

<sup>17</sup> SANABRIA, Dora. Conductividad eléctrica por el método electrométrico en agua. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. IDEAM. [en línea], 2006. [citado 06 abril 2018] Disponible en internet: <http://www.ideam.gov.co/documents/14691/38155/Conductividad+Eléctrica.pdf/f25e2275-39b2-4381-8a35-97c23d7e8af4>

**2.2.1.6 Sólidos disueltos totales (SDT).** En aguas potables, la determinación de sólidos totales es la de mayor interés, por ser muy pequeña la cantidad existente de sólidos suspendidos. En general, en aguas para suministro público se recomienda un contenido de sólidos totales menor de 1.000 mg/L.<sup>18</sup>

**2.2.2 Características Químicas.** Son las características inherentes a compuestos químicos, las cuales se ha comprobado científicamente que pueden causar efectos nocivos para la salud, dichas características se detallan a continuación.

**2.2.2.1 Alcalinidad.** Es la capacidad del agua de neutralizar ácidos. Está influenciada por el pH, la composición general del agua, la temperatura y la fuerza iónica. Por lo general, está presente en las aguas naturales como un equilibrio de carbonatos y bicarbonatos con el ácido carbónico, con tendencia a que prevalezcan los iones de bicarbonato. De ahí que un agua pueda tener baja alcalinidad y un pH relativamente alto o viceversa.

La alcalinidad es importante en el tratamiento del agua porque reacciona con coagulantes hidrolizables (como sales de hierro y aluminio) durante el proceso de coagulación. Además, este parámetro tiene incidencia sobre el carácter corrosivo o incrustante que pueda tener el agua y, cuando alcanza niveles altos, puede tener efectos sobre el sabor.<sup>19</sup>

**2.2.2.2 Aluminio (Al).** Es un componente natural del agua, debido principalmente a que forma parte de la estructura de las arcillas. Puede estar presente en sus formas solubles o en sistemas coloidales, responsables de la turbiedad del agua. Las concentraciones más frecuentes en las aguas superficiales oscilan entre 0,1 y 10 ppm.

Durante el tratamiento es posible remover las sales de aluminio solubles, mediante la formación de hidróxido de aluminio. no obstante, es necesario tener mucho control del pH, pues si este sube excesivamente, podría producirse la formación de aluminatos, nuevamente solubles. La coagulación, en este caso, se realiza mediante polímeros orgánicos, por lo general aniónicos. Cuando el aluminio se encuentra en el agua cruda, se recomienda usar como coagulantes sales de hierro o polímeros sintéticos. Los coagulantes aluminicos dejan un remanente de metal que, en algunos casos, puede llegar

---

<sup>18</sup> Ibid., p 113.

<sup>19</sup> BARRENECHEA, Ada, Tratamientos de agua para consumo humano. Aspectos fisicoquímicos para la calidad del agua. Capítulo 1. [en línea], 2004. [citado 06 abril 2018]. Disponible en Internet: <http://bibliotecavirtual.minam.gob.pe/biam/bitstream/id/5657/BIV00012.pdf>

**2.2.2.3 Arsénico (As).** Se encuentra en forma trivalente o pentavalente, tanto en compuestos orgánicos como inorgánicos. Se determina con métodos como absorción atómica y puede ser eliminado del agua con procesos como coagulación, adsorción por alúmina activa, intercambio iónico y filtración por membrana.<sup>20</sup>

**2.2.2.4 Bario (Ba).** El Bario es un metal que se encuentra en la naturaleza en dos formas, sulfato de bario y carbonato de calcio generalmente en depósitos minerales subterráneos, residuos de perforaciones o efluentes de refinerías metálicas. Debido a que algunos compuestos de bario no se mezclan completamente con el agua la cantidad en el agua potable es baja, sin embargo, puede contaminarse desde sitios de desechos. Se determinan por absorción atómica y puede ser eliminado del agua con procesos como coagulación, floculación, sedimentación y filtración.<sup>21</sup>

**2.2.2.5 Hierro total (Fe).** El hierro es un elemento químico metálico y el cuarto más abundante en la corteza terrestre. Se puede encontrar en el agua debido a la gran cantidad que se encuentra en la tierra y la corrosión de las tuberías por donde fluye el agua. Tiene un aspecto claro puesto que contiene una pequeña cantidad de hierro, que al ser expuesto con el aire toma rápidamente un color rojizo, esto corresponde al proceso de oxidación que consiste en la conversión de hierro disuelto (ferroso) en hierro precipitado (férrico). El hierro puede ser eliminado del agua con procesos como intercambio iónico, adsorción sobre masa catalítica, oxidación, filtración y aeración.<sup>22</sup>

**2.2.2.6 Manganeso (Mn).** El manganeso es un elemento químico que usualmente se encuentra en el agua en su estado reducido Mn (II) y al ser expuesto al aire y oxígeno es transformado en óxidos hidratados más solubles. Puede ser removido del agua con procesos como aireación, súper cloración, catalizadores de dióxido de manganeso, ajuste de pH y precipitación química.<sup>23</sup>

**2.2.2.7 Sulfatos (SO<sub>4</sub>).** La presencia de sulfato en el agua generalmente proviene de la oxidación de sulfuros y el contenido de calcio, los cuales le pueden dar un sabor ácido, contribuyen a la dureza del agua. La presencia de sulfatos se puede determinar mediante el método turbimétrico y puede ser removido del agua con procesos como coagulación, floculación, sedimentación y filtración.<sup>24</sup>

**2.2.2.8 Nitratos (NO<sub>3</sub>) y Nitritos (NO<sub>2</sub>).** Los nitratos y nitritos son iones que existen naturalmente y forman parte del ciclo del nitrógeno, la presencia de estos en aguas subterráneas se debe a prácticas agrícolas y ganaderas. La presencia se determina mediante espectrofotometría y puede ser removido del agua mediante procesos como coagulación, floculación, sedimentación y filtración.<sup>26</sup>

**2.2.2.9 Nitrógeno amoniacal.** La fuente de nitrógeno amoniacal en agua proviene de la degradación natural de la materia orgánica presente en la naturaleza, es un componente transitorio en el agua puesto que es parte del ciclo del nitrógeno y se ve influido por la actividad biológica. La presencia de esta sustancia se determina mediante espectrofotometría<sup>25</sup>

**2.2.2.10 Acidez.** La acidez de un agua es una medida de su capacidad para reaccionar con bases fuertes a determinado pH. Los valores de la medición pueden variar significativamente con el punto final, la acidez es una medición de las propiedades agregadas del agua y puede ser interpretada en términos de las sustancias específicas, solo cuando se conoce la composición química de la muestra. Los ácidos minerales fuertes; los ácidos débiles tales como carbónico, acético y las sales hidrolizadas como las ferrosas o sulfatos de aluminio; pueden contribuir a la acidez del agua.<sup>26</sup>

**2.2.2.11 Carbono orgánico total (COT).** El carbono orgánico en las aguas (incluyendo las residuales) está conformado por una variedad de compuestos orgánicos en diferentes estados de oxidación. Los ensayos de COT son más útiles, convenientes y dan una expresión más directa del contenido orgánico total en una muestra que los ensayos de DQO o DBO; sin embargo, no suministran el mismo tipo de información.

Los métodos para analizar el COT utilizan calor, oxígeno, radiación ultravioleta, oxidantes químicos o combinaciones de estos oxidantes para convertir el carbono orgánico en dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>).<sup>27</sup>

---

<sup>20</sup> Gonzalez, Laura y OLAYA, Lady. Propuesta de mejoramiento el sistema de tratamiento de agua potable del acueducto Acuaból en el municipio de Bolívar – Santander. Trabajo de grado Ingeniero Químico. Bogotá D.C.: Universidad de América. 2011. 126.p

<sup>21</sup> AGENCIA PARA SUSTANCIAS TÓXICAS Y EL REGISTRO DE ENFERMEDADES, Bario [en línea], 6 de mayo de 2016 [Citado 30 abril 2018]. Disponible en internet: [https://www.atsdr.cdc.gov/es/phs/es\\_phs24.html](https://www.atsdr.cdc.gov/es/phs/es_phs24.html)

<sup>22</sup> GONZALEZ Y OLAYA. Op. cit., p. 34

<sup>23</sup> CARBOTECNIA. Manganeseo [en línea], 12 de mayo de 2016 [Citado 30 abril 2018]. Disponible en internet: <https://www.carbotecnia.info/encyclopedia/manganeseo/>

<sup>24</sup> GONZALEZ Y OLAYA. Op. cit., p. 35

<sup>25</sup> GONZÁLEZ, Lourdes. Nitrógeno amoniacal, importancia de su determinación. [en línea], diciembre de 2013 [Citado 01 mayo 2018]. Disponible en internet: <file:///C:/Users/User/Downloads/334-482-1-PB.pdf>

<sup>26</sup> GIRALDO, Gloria, Manual de análisis de aguas [en línea], 1995 [Citado 05 octubre 2017] Disponible en Internet: <http://www.bdigital.unal.edu.co/50540/1/manualdeanalisdeaguas.pdf>

<sup>27</sup> CHICA Olga, GALVIS Natalia, MADRID Juliana. Validación métodos analíticos (µDQO, Hierro, H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, COT) en aguas. Universidad de Medellín. Programa de Ingeniería Ambiental. [en línea], 2007. [citado 06 abril 2018]. Disponible en Internet: <http://documentacion.ideam.gov.co/openbiblio/bvirtual/021320/02Preliminares.pdf>

**2.2.2.12 Cloro residual libre.** El cloro es la sustancia más utilizada en el mundo como desinfectante en el tratamiento de agua para consumo humano debido a su carácter oxidante capaz de destruir los agentes patógenos (bacterias) y compuestos responsables de malos olores.

En el agua de consumo humano el cloro residual libre se encuentra como una combinación de hipoclorito y ácido hipocloroso, en una proporción que varía en función del pH. Es necesario mantener en las redes de distribución concentraciones de cloro residual con el fin de asegurar la completa desinfección del agua que llega a los consumidores. La presencia se determina por el método amperométrico.<sup>28</sup>

**2.2.2.13 Cloruros.** Las aguas superficiales normalmente no contienen cloruros en concentraciones tan altas como para afectar el sabor, excepto en aquellas fuentes provenientes de terrenos salinos o de acuíferos con influencia de corrientes marinas. Por sus características químicas y la gran solubilidad de la mayoría de los cloruros, su remoción requiere métodos sofisticados y costosos, muchos de ellos impracticables, especialmente cuando se trata de volúmenes relativamente altos.

Tomando en cuenta el límite de percepción del sabor de los cloruros en el agua, se ha establecido un límite de 250 mg/L en aguas de consumo, concentración que puede ser razonablemente excedida según las condiciones locales y la costumbre de los consumidores. La OMS considera que por encima de esta concentración, los cloruros pueden influir en la corrosividad del agua.<sup>29</sup>

**2.2.2.14 Dureza.** La dureza total del agua se define como la suma de las concentraciones de los iones calcio y magnesio.

Las aguas se clasifican por su dureza según el siguiente esquema:

<b>Dureza (mg/L CaCO<sub>3</sub>)</b>	<b>Tipo de agua</b>
• 0 – 75	Suave
• 75 – 150	Agua poco dura
• 75 – 150	Agua dura
• Más de 300	Agua muy dura

Los principales iones causantes de la dureza son el calcio y el magnesio. Los iones hierro y aluminio se consideran también causantes de dureza, pero su solubilidad al

---

<sup>28</sup> SOCIEDAD GENERAL DE AGUAS DE BARCELONA. Ficha sobre calidad del agua [en línea], 2003 [Citado 01 de mayo 2018]. Disponible en internet: <http://www.aquagest-regiondemurcia.es/img/contenidos/1/ficha-sobre-calidad-del-agua.pdf>

<sup>29</sup> BARRENECHEA, Ada, Tratamientos de agua para consumo humano. Aspectos fisicoquímicos para la calidad del agua. Capítulo 1. [en línea], 2004. [citado 06 abril 2018]. Disponible en Internet: <http://bibliotecavirtual.minam.gob.pe/biam/bitstream/id/5657/BIV00012.pdf>

pH del agua natural es tan limitada, que sus concentraciones se consideran despreciables.

La dureza varía de un lugar a otro. Se origina por contacto de agua con el suelo de formación rocosa y en áreas donde la capa del suelo es gruesa y hay calizas presentes, por lo que Refleja la naturaleza de las formaciones geológicas con las que ha tenido contacto.<sup>30</sup>

**2.2.2.15 Oxígeno disuelto (OD).** Su presencia es esencial en el agua; proviene principalmente del aire. Niveles bajos o ausencia de oxígeno en el agua. Puede indicar contaminación elevada, condiciones sépticas de materia orgánica o una actividad bacteriana intensa; por ello se le puede considerar como un indicador de contaminación.

La presencia de oxígeno disuelto en el agua cruda depende de la temperatura, la presión y la mineralización del agua. La ley de Henry y Dalton dice: “La solubilidad de un gas en un líquido es directamente proporcional a la presión parcial e inversamente proporcional a la temperatura”.

El agua potable debe contener cierta cantidad de oxígeno disuelto. Debe estar bien aireada y es muy importante tener en cuenta las variaciones relativas de oxígeno disuelto, ya que si estas son grandes, es síntoma de un probable aumento de vegetales, materia orgánica, gérmenes aerobios, reductores inorgánicos, etcétera.<sup>31</sup>

**2.2.2.16 pH (potencial de hidrógeno).** Es un parámetro básico que indica el grado de acidez o basicidad del agua. El pH tiene gran importancia en el tratamiento del agua, especialmente en la coagulación, desinfección y estabilización.

Durante la coagulación, la remoción de la turbiedad es eficiente por lo general en un rango de pH de 6,0 a 7,8, mientras que la remoción del color se consigue con un pH de entre 4 y 6. No obstante, es necesario puntualizar que el pH óptimo para ambos casos debe determinarse por medio de la prueba de jarras.

La desinfección con cloro es más efectiva a un nivel bajo de pH. Esto se debe a la mayor efectividad del ácido hipocloroso comparado con el ion hipoclorito y al hecho de que el ácido hipocloroso predomina con valores de pH bajos.<sup>32</sup>

---

<sup>30</sup> GIRALDO, Gloria, Manual de análisis de aguas [en línea], 1995 [citado 05 octubre 2017] Disponible en Internet: <http://www.bdigital.unal.edu.co/50540/1/manualdeanalisisdeaguas.pdf>

<sup>31</sup> BARRENECHEA, Ada, Tratamientos de agua para consumo humano. Aspectos fisicoquímicos para la calidad del agua. Capítulo 1. [en línea], 2004. [citado 06 abril 2018]. Disponible en Internet: <http://bibliotecavirtual.minam.gob.pe/biam/bitstream/id/5657/BIV00012.pdf>

<sup>32</sup> BARRENECHEA, Ada, Tratamientos de agua para consumo humano. Aspectos fisicoquímicos para la calidad del agua. Capítulo 1. [en línea], 2004. [citado 06 abril 2018]. Disponible en Internet: <http://bibliotecavirtual.minam.gob.pe/biam/bitstream/id/5657/BIV00012.pdf>

**2.2.3 Características microbiológicas.** Parámetros relacionados con la presencia, tipo y cantidad de microorganismos que afectan la calidad del agua, estos microorganismos son Coliformes totales y fecales.

**2.2.3.1 Coliformes totales.** Bacterias Gram negativas, no esporoformadoras, oxidasa negativa, con capacidad de crecimiento aeróbico y facultativamente anaerobio en presencia de sales que a temperatura especificada entre 35 a 37 °C causan fermentación de lactosa con producción de gas. Se encuentran *Escherichia coli*, *Crobacter*, *Enterobacter* y *Klebsiella*.<sup>33</sup>

**2.2.3.2 Coliformes fecales.** Son microorganismos que fermentan la lactosa a temperaturas entre 44 y 45 °C, para determinar la presencia de estos microorganismos en el agua se realiza con métodos como filtración por membrana (FM), fermentación en tubos múltiples (FTM) o del número más probable (NMP) y presencia–ausencia (PA)<sup>34</sup>

## 2.3 PROCESO DE POTABILIZACIÓN

Es el conjunto de varias etapas que tienen como objetivo transformar el agua subterránea o que proviene de manantiales naturales a un estado totalmente apto para el consumo humano. Este proceso satisface una necesidad importante para el desarrollo de las diferentes actividades cotidianas ayudando en gran parte a la subsistencia del ser humano.

**2.3.1 Tratamiento primario.** Los procesos comprendidos en el tratamiento primario son aquellos que eliminan los sólidos suspendidos o grasas presentes en el agua residual. Entre estos se encuentran: La coagulación, la floculación y la sedimentación.

**2.3.1.1 Coagulación.** Prepara el agua para la sedimentación, incrementa grandemente la eficiencia de los sedimentadores y tiene como función principal desestabilizar, agregar y unir las sustancias coloidales presentes. Los coloides son sólidos finamente divididos que no sedimentan por la simple acción de gravedad, pero que pueden removerse del agua mediante esta operación unitaria.<sup>35</sup>

Según el Reglamento técnico del sector de agua potable y saneamiento básico RAS-2000 los tipos de coagulantes que pueden emplearse son los coagulantes metálicos y los polímeros orgánicos e inorgánicos.

---

<sup>33</sup> INSTITUTO DE HIDROLOGÍA, METEOROLOGÍA Y ESTUDIOS AMBIENTALES. Determinación de *Escherichia coli* y Coliformes totales en agua por el método de filtración por membrana en agar Chromocult. [en línea], 30 de agosto de 2007 [Citado 01 de mayo de 2018]. Disponible en internet: <http://www.ideam.gov.co/documents/14691/38155/Coliformes+totales+y+E.+coli+en+Agua+Filtraci%C3%B3n+por+Membrana.pdf/5414795c-370e-48ef-9818-ec54a0f01174>

<sup>34</sup> GONZALEZ Y OLAYA. Op. cit., p. 36

<sup>35</sup> ROMERO ROJAS, Jairo Alberto. Calidad del agua. Enero 2009, 3 ed , p 372.

- **Coagulantes metálicos:** Pueden ser de tres tipos: sales de aluminio, sales de hierro y compuestos varios, como el carbonato de magnesio. Los coagulantes con sales de aluminio son el sulfato de aluminio, sulfato de aluminio amoniacal y aluminato de sodio. Los coagulantes con sales de hierro son el cloruro férrico, el sulfato férrico y el sulfato ferroso. Para la dosificación en la coagulación por adsorción-neutralización debe tenerse en cuenta la relación estequiométrica entre la dosis del coagulante y la concentración de los coloides, ya que una sobredosis conduce a una re estabilización de las partículas. Para aguas con bajo nivel de alcalinidad, se recomienda aumentar el pH añadiendo hidróxido de calcio (Ca(OH)<sub>2</sub>).
- **Polímeros inorgánicos:** Se pueden emplear los polímeros de hierro (III) y aluminio como coagulantes. Se recomienda el uso de poli cloruro de aluminio para el tratamiento de aguas blandas y turbias. Entre los polímeros orgánicos o poli electrolitos que se pueden emplear están los derivados del almidón y la celulosa, materiales proteicos. Para la aplicación de los coagulantes sintéticos debe solicitarse la aprobación del Ministerio de Salud o constatarse que haya sido aprobado su uso en el tratamiento del agua potable por la Comunidad Europea, por Estados Unidos o por Canadá. En la operación, la velocidad de agitación debe ser menor, ya que altas velocidades pueden llegar a romper las largas cadenas poliméricas; por tanto, debe mantenerse una mezcla uniforme y se debe evitar la ruptura de los puentes formados entre polímeros y coloides. Para su empleo se recomienda la realización de ensayos de jarras en rangos amplios de dosificaciones, para determinar la dosificación óptima.<sup>36</sup>

Otro parámetro importante en el proceso de coagulación son las partículas coloidales presentes en el agua, por lo general presentan un diámetro entre 1 y 1.000 mili micrómetros y su comportamiento depende de su naturaleza y origen. Estas partículas presentes en el agua son las principales responsables de la turbiedad.

En términos generales, los denominados coloides presentan un tamaño intermedio entre las partículas en solución verdadera y las partículas en suspensión. Es necesario hacer notar, que en el caso de los coloides, sus dimensiones las define la naturaleza de los mismos.<sup>37</sup>

---

<sup>36</sup> MINISTERIO DE DESARROLLO ECONÓMICO, DIRECCIÓN DE AGUA POTABLE Y SANEAMIENTO BASICO. Reglamento técnico del sector de agua potable y saneamiento básico RAS – 2000. Sección II. Título C. Sistemas de potabilización. [http://procurement-notices.undp.org/view\\_file.cfm?doc\\_id=16483](http://procurement-notices.undp.org/view_file.cfm?doc_id=16483) >. [Citado el 02 de marzo de 2018].

<sup>37</sup> BARRENECHEA, Ada, Tratamientos de agua para consumo humano. Coagulación. Capítulo 4. [en línea], 2004. [citado 06 abril 2018]. Disponible en Internet: <http://bibliotecavirtual.minam.gob.pe/biam/bitstream/id/5657/BIV00012.pdf>

Los productos químicos más usados como coagulantes en el tratamiento de las aguas son el sulfato de aluminio, el cloruro férrico, el sulfato ferroso y férrico y el cloro-sulfato férrico.<sup>38</sup>

- **Sulfato de Aluminio ( $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ ):** Es una sal derivada de una base débil (hidróxido de aluminio) y de un ácido fuerte (ácido sulfúrico), por lo que sus soluciones acuosas son muy ácidas; su pH varía entre 2 y 3,8, según la relación molar sulfato/alúmina. Por esta razón, su almacenamiento debe hacerse en un lugar seco, libre de humedad. Es necesario tener en cuenta esta tendencia ácida para la preparación de las soluciones y los empaques para su distribución, y emplear, por lo general, materiales de plástico.
- **Cloruro Férrico ( $\text{FeCl}_3$ ):** La forma líquida comercial tiene un promedio de 40% de  $\text{FeCl}_3$ . Para evitar toda confusión entre los contenidos de producto puro o de producto comercial, es recomendable expresar la dosis de coagulantes en Fe equivalente; es decir, 20,5% para la fórmula sólida y 14% aproximadamente para la solución acuosa comercial. En presencia de hierro, las soluciones acuosas de cloruro férrico se reducen rápidamente a cloruro ferroso  $\text{FeCl}_2$ .
- **Sulfato Ferroso ( $\text{FeSO}_4$ ):** El sulfato ferroso usado en el tratamiento de agua es un polvo de color verde muy soluble y tiene una masa volumétrica aparente próxima a  $900 \text{ kg/m}^3$ . Su contenido en hierro es de aproximadamente 19%. Por su naturaleza ácida, el pH de una solución al 10% es de 2,8 aproximadamente. Por esta razón, para su almacenamiento y preparación se usa material plástico.
- **Sulfato Férrico ( $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$ ):** El sulfato férrico es un polvo blanco verdoso, muy soluble en el agua, su masa volumétrica aparente es  $1.000 \text{ kg/m}^3$ . Debido a que en solución acuosa se hidroliza y forma ácido sulfúrico, es necesario prevenir los efectos de su acidez.

---

<sup>38</sup> BARRENECHEA, Ada, Tratamientos de agua para consumo humano. Coagulación. Capítulo 4. [en línea], 2004. [citado 06 abril 2018]. Disponible en Internet: <http://bibliotecavirtual.minam.gob.pe/biam/bitstream/id/5657/BIV00012.pdf>

**2.3.1.2 Floculación.** Proceso físico de mezcla rápida y lenta por medio del cual se incrementa la posibilidad de choque entre partículas y, por consiguiente la formación de floc.<sup>39</sup>

El objetivo principal de la floculación es reunir las partículas desestabilizadas para formar aglomeraciones de mayor peso y tamaño que sedimenten con mayor eficiencia.<sup>40</sup>

**2.3.1.3 Sedimentación.** Proceso mediante el cual se asientan los sólidos suspendidos de del agua, esta se logra en un tanque llamado sedimentador que se coloca a continuación del floculador y que permite la separación de los flóculos que se forman en los procesos de coagulación y floculación<sup>41</sup>

**2.3.2 Tratamiento secundario.** El tratamiento secundario en la potabilización de agua está conformado por el proceso de filtración, el cual se detalla a continuación.

**2.3.2.1 Filtración.** Consiste en hacer pasar el agua a través de un medio poroso, normalmente de arena, en el cual actúan una serie de mecanismos de remoción cuya eficiencia depende de las características de la suspensión (agua más partículas) y del medio poroso.

Este proceso se utiliza como único tratamiento cuando las aguas son muy claras o como proceso final de pulimento en el caso de aguas turbias.

Los medios porosos utilizados además de la arena —que es el más común— son la antracita, el granate, la magnetita, el carbón activado, la cáscara de arroz, la cáscara de coco quemada y molida y también el pelo de coco en el caso de los filtros rápidos. En los filtros lentos lo más efectivo es usar exclusivamente arena.<sup>42</sup>

---

<sup>39</sup> ROMERO ROJAS, Jairo Alberto. Calidad del agua. Enero 2009, 3 ed, p 239.

<sup>40</sup> VARGAS, Lidia, Tratamientos de agua para consumo humano. Floculación. Capítulo 6. [en línea], 2004. [citado 06 abril 2018]. Disponible en Internet: <http://bibliotecavirtual.minam.gob.pe/biam/bitstream/id/5657/BIV00012.pdf>

<sup>41</sup> PÉREZ, Jorge, Manual de tratamiento de aguas, [en línea], [citado 05 octubre 2017] Disponible en Internet: [http://www.bdigital.unal.edu.co/70/2/45\\_-\\_1\\_Prel\\_1.pdf](http://www.bdigital.unal.edu.co/70/2/45_-_1_Prel_1.pdf)

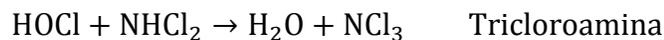
<sup>42</sup> MALDONADO, Victor, Tratamientos de agua para consumo humano. Filtración. Capítulo 9. [en línea], 2004. [citado 06 abril 2018]. Disponible en Internet: <http://bibliotecavirtual.minam.gob.pe/biam/bitstream/id/5657/BIV00012.pdf>

**2.3.3 Tratamiento terciario.** Los procesos que conforman el tratamiento terciario en la potabilización de agua son la desinfección y neutralización, la explicación de cada uno se presenta en seguida.

**2.3.3.1 Desinfección.** Es el término aplicado a aquellos procesos en los cuales se destruyen microorganismos patógenos, pero no sus esporas. Para esto se realiza la cloración, la popularidad del cloro es porque existe como líquido, gas o en forma granular, es relativamente barato, es un agente oxidante poderoso, es relativamente de alta solubilidad.<sup>43</sup>

A continuación se describirá el proceso que ocurre en el agua produciendo sucesivamente diversas reacciones químicas por la adición de cloro<sup>44</sup> (Figura 2).

- **Fase AB:** El cloro que se introduce en el agua se combina de manera inmediata con la materia orgánica que está presente en el agua. Por ende el cloro residual se mantiene en un valor de cero debido a que si no se destruyen estos compuestos, no ocurre el paso que permita iniciar con la desinfección.
- **Fase BB:** Al iniciar el punto B, el cloro se combina con compuestos nitrogenados principalmente iones de amonio liberando una cantidad de cloro residual. Esta concentración corresponde a las cloraminas que son productos orgánicos complejos de fuerte olor y muy poco desinfectantes.



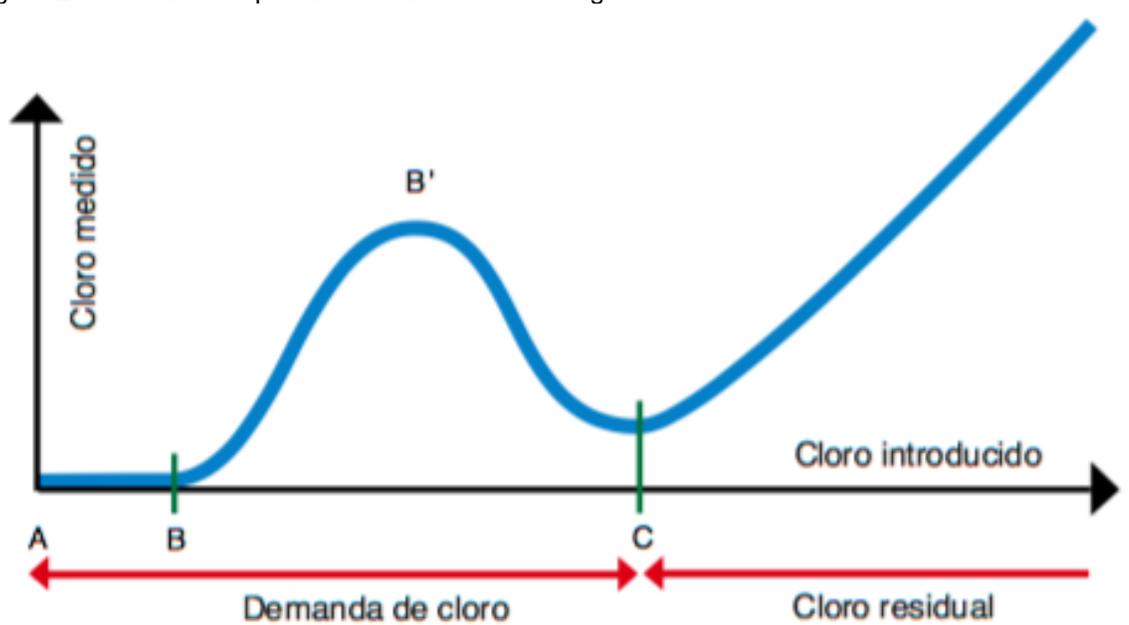
- **Fase B'C:** Al añadir mayor cantidad de cloro, la cantidad de cloro residual va en descenso debido a que este solo ha servido para destruir los compuestos formados en la fase anterior y aunque el agua ya no tiene mal olor sigue sin estar desinfectada.
- **Desde el punto C (Punto de quiebre):** En este punto el cloro introducido ya puede empezar a cumplir su función de desinfectante. Es decir, la fase de demanda de cloro ya fue suplida y empieza a suceder la obtención del cloro residual.

---

<sup>43</sup> ROMERO ROJAS, Jairo Alberto. Calidad del agua. Enero 2009, 3 ed, p 273.

<sup>44</sup> MONTIEL, Antoine. Organización Panamericana de la salud. La desinfección del agua. p 8 [en línea], [Citado 6 mayo 2018] Disponible en internet: <http://www.elaguapotable.com/aguadesi.pdf>

Figura 2. Curva del comportamiento del cloro en el agua



Fuente: MONTIEL, Antoine. Organización Panamericana de la salud. La desinfección del agua. p 8 [en línea], [Citado 6 mayo 2018] Disponible en internet:<<http://www.elaguapotable.com/aguadesi.pdf>>

**2.3.3.2 Neutralización.** La neutralización es el tratamiento ácido base que se le realiza al agua ya sea potable o residual y puede utilizarse para los siguientes fines

- Ajuste final del pH del efluente último antes de la descarga al medio receptor
- Antes del tratamiento biológico: Con un pH entre 6,5-8,5 para una actividad biológica óptima
- Precipitación de metales pesados: Es la aplicación más importante donde intervienen diversos factores como el producto de solubilidad del metal, pH óptimo de precipitación, concentración del metal y del agente precipitante. Los metales pesados se precipitan normalmente en forma de hidróxidos, utilizando cal hasta alcanzar el pH óptimo de precipitación.<sup>45</sup>

## 2.4 MARCO LEGAL

La reglamentación vigente para el tratamiento de agua potable y todas las normas afines tratados en el presente proyecto se presentan a continuación.

<sup>45</sup> ANALIZA CALIDAD, Consultores, Tratamiento de aguas, [en línea], [citado 05 octubre 2017] Disponible en Internet: <http://www.analizacalidad.com/docftp/fi1110aguas.pdf>

**2.4.1 Resolución 2115 de 2007.** Resolución del Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial “por medio del cual se señalan características, instrumentos básicos y frecuencias del sistema de control y vigilancia para la calidad del agua para consumo humano” <sup>46</sup>

**2.4.2 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” <sup>47</sup>

**2.4.3 Resolución 0330 de 2017.** “Resolución del Ministerio de Vivienda Ciudad y Territorio por medio de la cual se adopta el Reglamento Técnico para el Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico – RAS y se derogan las resoluciones 1096 de 2000, 0424 de 2001, 0668 de 2003, 1459 de 2005 y 2320 de 2009, en la cual se reglamentan los requisitos técnicos que se deben cumplir en las etapas de diseño, construcción, puesta en marcha, operación, mantenimiento y rehabilitación de la infraestructura relacionada con los servicios públicos de acueducto, alcantarillado y aseo.

**2.4.4 Decreto 3930 de 2010.** Decreto del presidente de la república de Colombia “por el cual se reglamenta parcialmente el el Título I de la Ley 9ª de 1979, así como el Capítulo II del Título VI -Parte III- Libro II del Decreto-ley 2811 de 1974 en cuanto a usos del agua y residuos líquidos y se dictan otras disposiciones”<sup>48</sup>

---

<sup>46</sup> 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

<sup>47</sup> 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

<sup>48</sup> COLOMBIA. PRESIDENTE DE LA REPÚBLICA. Decreto 3930 de 2010. (25 octubre, 2010) por el cual se reglamenta parcialmente el Título VI -Parte III- Libro II del Decreto-ley 2811 de 1974 en cuanto a usos del agua y residuos líquidos y se dictan otras disposiciones. Diario Oficial. Bogotá, D.C., 2010. no.47837 p. 2-52

**2.4.5 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”<sup>49</sup>

**2.4.6 Norma Técnica Colombiana NTC-ISO 5667-3.** Norma Técnica Colombiana: Calidad del agua. Muestreo. Parte 3: Directrices para la preservación y manejo de las muestras. “Esta norma suministra directrices generales sobre las precauciones que se deben tomar para preservar y transportar muestras de agua, con excepción de las muestras microbiológicas”<sup>50</sup>

**2.4.7 Norma Técnica Colombiana NTC-ISO 5667-5.** Norma Técnica Colombiana: Calidad del agua. Muestreo. Parte 5: Directrices para el muestreo de agua potable de instalaciones de tratamiento y sistemas de distribución por tubería. “Esta norma establece los principios para aplicar en las técnicas de muestreo de agua destinada al consumo humano”<sup>51</sup>

**2.4.8 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”<sup>52</sup>

---

<sup>49</sup> INSTITUTO 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.

<sup>50</sup> INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMALIZACIÓN Y CERTIFICACIÓN. Calidad del agua. Muestreo. Parte 3: Directrices para la preservación y manejo de las muestras. NTC ISO 5667-3. Bogotá D.C.: El instituto, 2004. 1-51 p.

<sup>51</sup> INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMALIZACIÓN Y CERTIFICACIÓN. Calidad del agua. Muestreo. Parte 3: Directrices para el muestreo de agua potable de instalaciones de tratamiento y sistemas de distribución por tubería. NTC ISO 5667-5. Bogotá D.C.: El instituto, 2008. 1-26 p.

<sup>52</sup> 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

Para el desarrollo de la propuesta de mejora del acueducto Coovesur es necesario primeramente realizar un diagnóstico total del proceso de potabilización, analizando la calidad del agua tanto del afluente como del efluente y detallando cada una de las etapas de proceso para posteriormente identificar las fallas que puedan existir.

#### 3.1 ANÁLISIS DE LAS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS, QUÍMICAS Y MICROBIOLÓGICAS

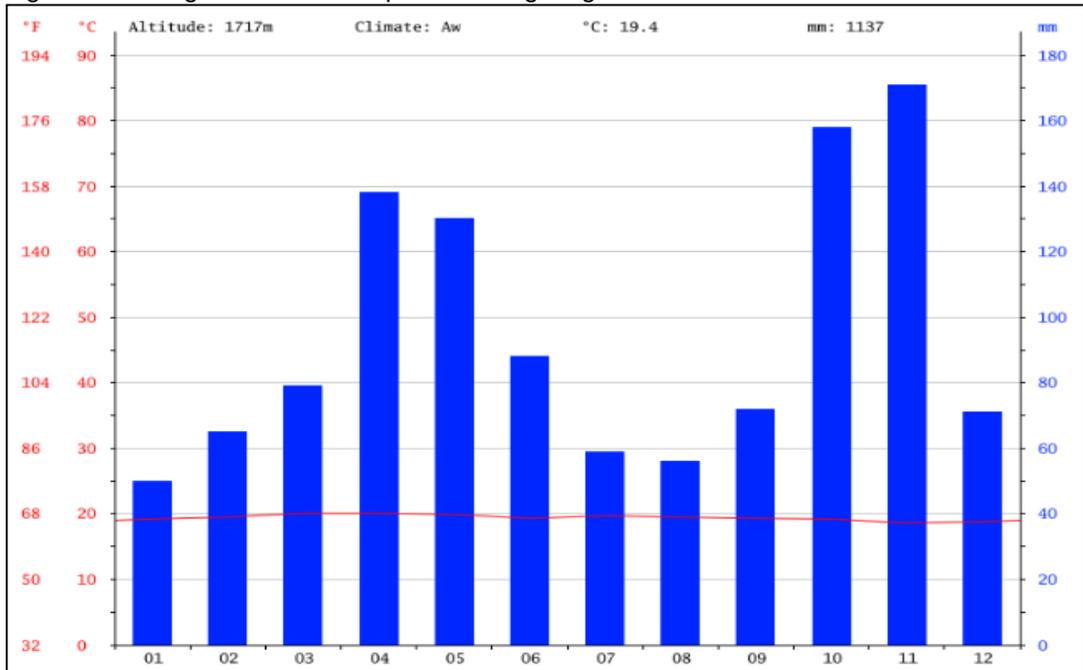
Se realiza un análisis detallado de las características del agua del afluente y efluente, identificando las condiciones con que llega el agua a la planta potabilizadora para el tratamiento y el comportamiento histórico de las características del agua potable que es suministrada a los usuarios.

**3.1.1 Agua proveniente del río Batán (afluente).** El agua cruda es captada del río Batán ubicado a 3 kilómetros aproximadamente de la planta de tratamientos, las propiedades de esta son de alta variabilidad y esto se debe a las condiciones climáticas que se dan en el sector como las fuertes épocas de lluvias o sequías que afectan la zona, este comportamiento se puede evidenciar en los registros diarios de la planta potabilizadora (véase anexo A) donde se observa claramente la variabilidad de las propiedades del agua del efluente para épocas secas y lluviosas.

El comportamiento climático en el municipio de Fusagasugá a lo largo del año se muestra en la figura 1, según esta, se evidencia que el mes de enero es el más seco con precipitación de 50 mm y el más lluvioso es noviembre con un promedio de 171 mm de precipitación. Los cambios climáticos afectan directamente el proceso de tratamiento, pues para épocas lluviosas las precipitaciones son mayores lo que genera un notable aumento en el caudal, las abundantes aguas de escorrentía arrastran lodos y materiales sólidos, los cuales se acumulan en la entrada de la tubería de la bocatoma y en ocasiones llegan a obstruirla por lo cual se crean problemas de desabastecimiento a la planta potabilizadora; pero cuando las aguas de invierno logran atravesar las líneas de aducción, llegan con condiciones poco favorables como alta carga de turbiedad y materiales sólidos por lo que es necesario modificar la dosificación de químicos del proceso de tratamiento para garantizar una buena potabilización.

Para épocas secas las propiedades del agua son más favorables para el tratamiento, debido a que el agua llega más clarificada a la planta, con niveles menores de turbiedad y materiales sólidos, pero cuando son épocas muy secas o hay fenómenos naturales de sequía se presentan problemas graves de desabastecimiento por cuanto el caudal disminuye y no es posible alcanzar el nivel para canalizar el agua hasta la planta para desarrollar el proceso de potabilización.

Figura 3. Climograma del municipio de Fusagasugá



Fuente: CLIMA DATA ORG, Clima Fusagasugá [en línea], [Citado 16 marzo 2018] Disponible en internet: <<https://es.climate-data.org/location/49842/>>

Por efectos de altos costos la caracterización del agua del afluente no se hace regularmente, por lo cual no es posible tener un registro histórico de su comportamiento.

Los últimos análisis de caracterización del agua del afluente suministrados por el acueducto Coovesur corresponden a diciembre del año 2017, la toma de muestra se realiza el día 05 de diciembre mediante el método de muestreo integrado y los análisis son realizados el día 07 de diciembre por el laboratorio ASEBIOL S.A.S. Los resultados se muestran en la siguiente tabla.

Tabla 1. Caracterización del agua del afluente

Análisis	Unidades	Resultado	Límite permitido Agua cruda	Límite permitido Agua potable
pH	UNIDADES	6.34	5.0 - 9.0 *Fuente regular*	6.5 - 9.0
Alcalinidad	mg CaCO <sub>3</sub> /L	12.5	No especificado*	200
Cloruros	mg Cl/L	5.1	250	250
Dureza total	mg CaCO <sub>3</sub> /L	28.7	No especificado*	300
Color	UPC	107.1	75	15
Turbiedad	NTU	37.9	No especificado*	2.0
Conductividad	µs/cm	51.2	No especificado*	1000
Hierro	mg Fe/L	1.2	No especificado*	0.3
Calcio	mg Ca/L	5.3	No especificado*	60
Magnesio	mg Mg/L	3.8	No especificado*	36
Aluminio	mg Al/L	0.38	No especificado*	0.2
Carbono Orgánico Total	mg COT/L	12.5	No especificado*	5.0
Sulfatos	mg SO <sub>4</sub> /L	16	400	400
Fosfatos	mg PO <sub>4</sub> /L	0.76	No especificado*	0.5
Manganeso	mg Mn/L	0.22	No especificado*	0.1
Nitritos	mg NO <sub>2</sub> /L	0.16	10	0.1
Nitratos	mg NO <sub>3</sub> /L	4.2	10	10
Fluoruros	mg F/L	< 0.05	No especificado*	1.0
Zinc	mg Z/L	1.9	15	3
Cobalto	mg Cd/L	< 0.05	0.01	No especificado*
Niquel	mg Ni/L	< 0.05	No especificado*	0.02
Cadmio	mg Cd/L	< 0.02	0.01	0.003
Tensoactivos aniónicos	mg SAAM/L	0.07	0.5	No especificado*
Grasas	mg/L	15	Ausencia	Ausencia
Sólidos suspendidos totales	mg Cr/L	23	No especificado*	No especificado*
Giardia sp.	No. QuisteS/ 10L	14	0	0
Cryptosporidium sp.	No. QuisteS/ 10L	2	0	0
Coliformes totales	UFC/100ml	263	20000	0
E.Coli	UFC/100ml	30	No especificado*	0

Fuente: Resultados caracterización por lab. ASEBIOL S.A.S / modificado

Los resultados obtenidos son comparados con los valores máximos permitidos tanto para agua cruda como para agua potable, puesto que con estos se desarrolla un análisis de tratabilidad del agua.

De acuerdo con el decreto 3930 de 2010, en cual establece los valores máximos permitidos en el agua cruda para la destinación de esta al consumo humano y doméstico<sup>53</sup>, a partir de estos se comparan los resultados obtenidos con los parámetros evaluados del agua cruda captada a la altura de la entrada de la planta,

<sup>53</sup> PRESIDENTE DE LA REPÚBLICA DE COLOMBIA. Decreto 3930 de 2010. Op.cit., p.10

donde se presenta un incumplimiento en los parámetros de color, *Giardia sp* y *Cryptosporidium sp*

El color suele ser producido por la materia suspendida y disuelta presente en la bocatoma, además por presencia de iones metálicos naturales como hierro y manganeso. La presencia de microorganismos *Giardia sp* y *Cryptosporidium sp* representan peligro para los consumidores de continuar presentes luego de la potabilización del agua, esto se puede evidenciar en el artículo realizado por Ríos, Agudelo y Gutierrez (2017) donde se expresa que estos microorganismos en su mayoría son retenidos en el proceso de filtración de los sistemas de tratamiento y algunos son resistentes a la cloración como los ooquistes en donde se encuentran los protozoos antes mencionados, pero si logran sobrevivir son causantes de enfermedades diarreicas en las especies que parasitan y, en algunas ocasiones, son organismos oportunistas causantes de graves enfermedades e incluso la muerte en niños, ancianos y pacientes inmunocomprometidos.<sup>54</sup>

A partir de estos análisis el laboratorio ASEBIO S.A.S emite un concepto general de “La muestra de agua cruda analizada cumple satisfactoriamente con los límites establecidos por la norma”, sin embargo, hace observaciones acerca de la presencia de microorganismos encontrados en la muestra debido a que estos causan contaminación, por lo cual se recomienda revisión de la actividad agropecuaria de la zona, en caso de existencia de poblaciones de ganado, población equina y de más, debe realizarse un cerramiento de la fuente para evitar el paso de dichas poblaciones que causan contaminación.

La afirmación anterior se respalda en un estudio realizado por Palacios en el año 2017 donde evaluó la prevalencia de *Cryptosporidium spp.* y *Giardia spp* en terneros, y su presencia en agua y en niños con problemas digestivos en el cantón San Fernando, Ecuador. Este autor determinó la presencia de *Cryptosporidium spp.* y *Giardia spp* en las heces de los terneros como factor contaminante de los recursos hídricos de uso de la población humana concluyendo que existe una alta prevalencia de *Cryptosporidium spp.* y *Giardia spp* en los terneros, quienes serían en buena medida los responsables de la alta concentración en agua. Apoyándose en los resultados, determinó que en terneros existe una prevalencia del 93.3% de *Cryptosporidium spp.*, (112 casos positivos) y de 76.7% de *Giardia spp.* (92 casos

---

<sup>54</sup> RIOS, Sandra, AGUDELO Ruth, GUTIERREZ Lina. Patógenos e indicadores microbiológicos de calidad del agua para consumo humano. Rev. Fac. Nac. Salud Pública, 2017. [en línea], [citado 06 abril 2018] Disponible en Internet: <http://www.scielo.org.co/pdf/rfnsp/v35n2/0120-386X-rfnsp-35-02-00236.pdf>

positivos). En agua, se determinó la presencia de 5 ooquistes de *Cryptosporidium spp.*/100 ml y 10 quistes de *Giardia spp.*/100 ml.<sup>55</sup>

Por su parte la Resolución 2115 de 2007 establece los valores máximos permitidos de los parámetros evaluados del agua potable para que esta sea apta para el consumo humano, se comparan los resultados obtenidos del agua cruda para establecer el nivel de tratamiento que esta debería tener, identificando cuales son los parámetros con niveles superiores que se deben ajustar y las condiciones generales del agua a tratar. De todos los parámetros evaluados, los que están fuera de los rangos permitidos para agua potable son pH, color, turbiedad, hierro, aluminio, carbono orgánico total, fosfatos, manganeso, *Giardia sp.*, *Cryptosporidium sp.*, Coliformes totales y *E.Coli*; es decir, de 31 parámetros evaluados para agua cruda 12 no cumplen con los requerimientos de agua potable, es decir, estos son los parámetros que se deben ajustar mediante los procesos de potabilización en la planta.

A manera de resumen se presenta la tabla 2 donde se muestra los parámetros que incumplen con los valores máximos permitidos por la norma tanto para agua cruda como para agua potable con el fin de observar cuales son los parámetros que se deben ajustar en el proceso, para cumplir con los requerimientos normativos.

Tabla 2. Parámetros de calidad del agua del afluente que incumplen.

Características	Unidades	Resultado	Límite permitido agua cruda	Límite permitido agua potable
pH	UNIDADES	6.34	5.0 - 9.0 *fuente regular*	6.5 - 9.0
Color	UPC	107.1	75	15
Turbiedad	NTU	37.9	No especificado*	2.0
Hierro	mg Fe/L	1.2	No especificado*	0.3
Aluminio	mg Al/L	0.38	No especificado*	0.2
Carbono Orgánico Total	mg COT/L	12.5	No especificado*	5.0
Fosfatos	mg PO <sub>4</sub> /L	0.76	No especificado*	0.5
Manganeso	mg Mn/L	0.22	No especificado*	0.1
<i>Giardia sp.</i>	No. QuisteS/ 10L	14	0	0
<i>Cryptosporidium sp.</i>	No. QuisteS/ 10L	2	0	0
Coliformes totales	UFC/100ml	263	20000	0
<i>E.Coli</i>	UFC/100ml	30	No especificado*	0

Fuente: Elaboración propia

<sup>55</sup> PALACIOS, Teófilo. Prevalencia de *Cryptosporidium spp.* y *Giardia spp.* en terneros, y su presencia en agua y en niños con problemas digestivos en el cantón San Fernando, Ecuador. MASKANA, Vol. 8, No. 1, 2017. [en línea], [citado 06 abril 2018] Disponible en Internet: <http://dspace.ucuenca.edu.ec/bitstream/123456789/27689/1/MASKANA%208110.pdf>

**3.1.2 Análisis en la red de distribución a los usuarios (efluente).** Con los datos suministrados por parte del acueducto Coovesur de las caracterizaciones realizadas para el agua tratada durante los últimos 6 años (2012-2017), y cada una de ellas evaluadas mes a mes, se realizan las gráficas que se muestran a continuación. La tabla de datos correspondiente se presenta en el anexo B.

Es de aclarar que se muestran gráficas correspondientes a los parámetros a evaluar en el presente proyecto, puesto que son los regulados mensualmente por la Secretaria de salud del municipio de Fusagasugá; los parámetros mencionados son los análisis fisicoquímicos de color aparente, turbiedad, pH, cloro residual, hierro total y aluminio; y los análisis microbiológicos de coliformes totales y E.coli, estos dos últimos no son graficados debido a que en los resultados de las caracterizaciones realizadas no se encontraron presentes para ningún periodo (“No presentes”).

Las gráficas correspondientes al comportamiento histórico de los datos de caracterización del agua tratada para los parámetros no evaluados, lo cuales son: alcalinidad total, fosfatos, manganeso, dureza total, sulfatos, cloruros, nitratos y nitritos; se muestran en el anexo C.

### 3.1.2.1 Color verdadero

Gráfica 1. Caracterización del color aparente en el efluente

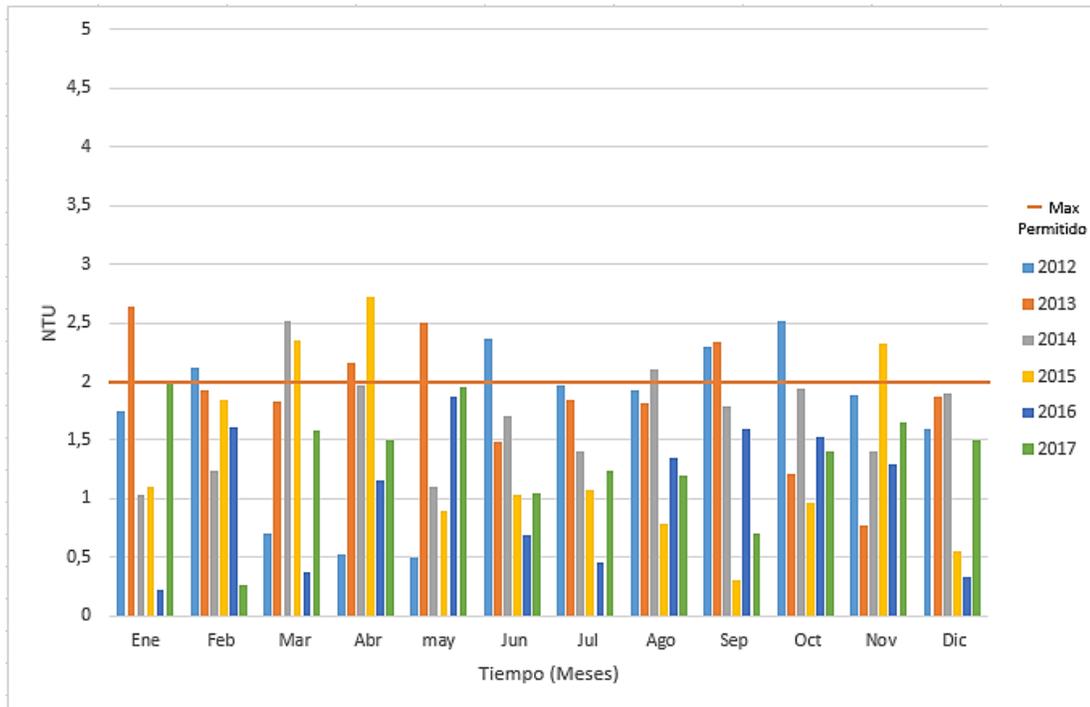


Fuente: Elaboración propia

En la gráfica se puede observar que los resultados del color aparente a lo largo de los 6 últimos años evaluados mes a mes no evidencian que el parámetro sobrepase el límite permitido dando total cumplimiento a la Resolución 2115 de 2007 donde el valor máximo aceptable para el color aparente es de 15 UPC.

### 3.1.2.2 Turbiedad

Gráfica 2. Caracterización de la turbiedad en el efluente

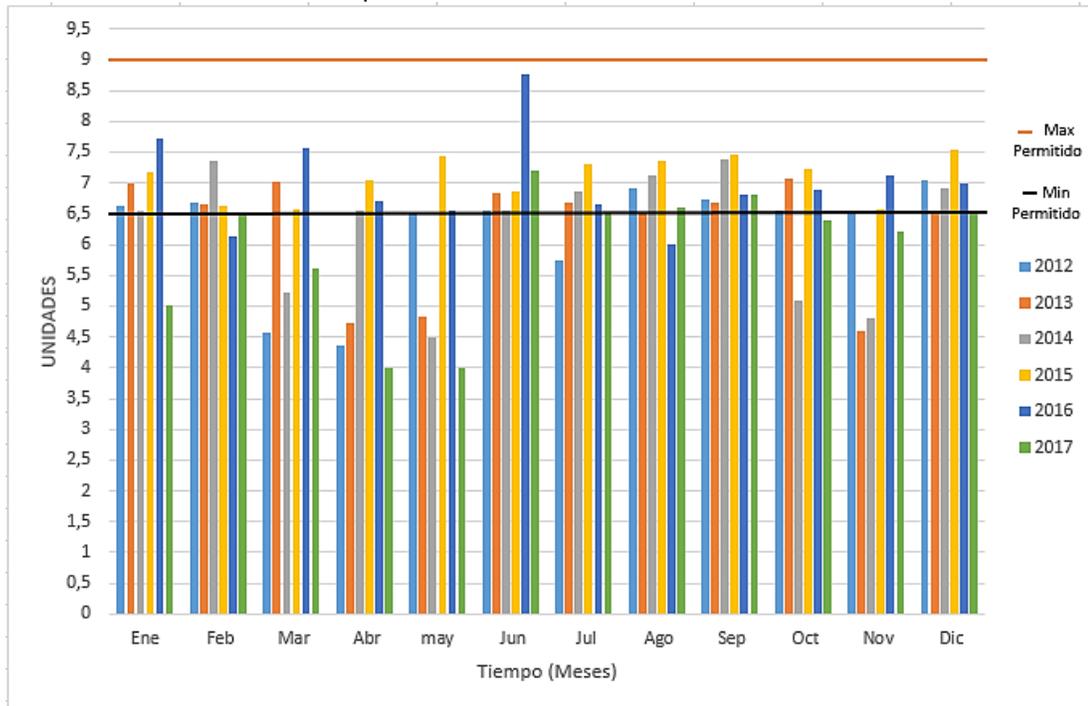


Fuente: Elaboración propia

Según la Resolución 2115 de 2007 el valor máximo aceptable para la turbiedad es de 2 NTU, a partir de los resultados de la gráfica se puede analizar que para los años 2012 a 2015 este parámetro tiene un comportamiento variable (desviación estándar de 0.646), pero en los dos últimos años 2016 y 2017, este parámetro se cumple a cabalidad con el máximo permitido sin sobrepasar el límite para ninguno de los meses por lo cual se puede decir que actualmente la turbiedad no representa ningún problema del agua suministrada a los

### 3.1.2.3 pH

Gráfica 3. Caracterización del pH en el efluente

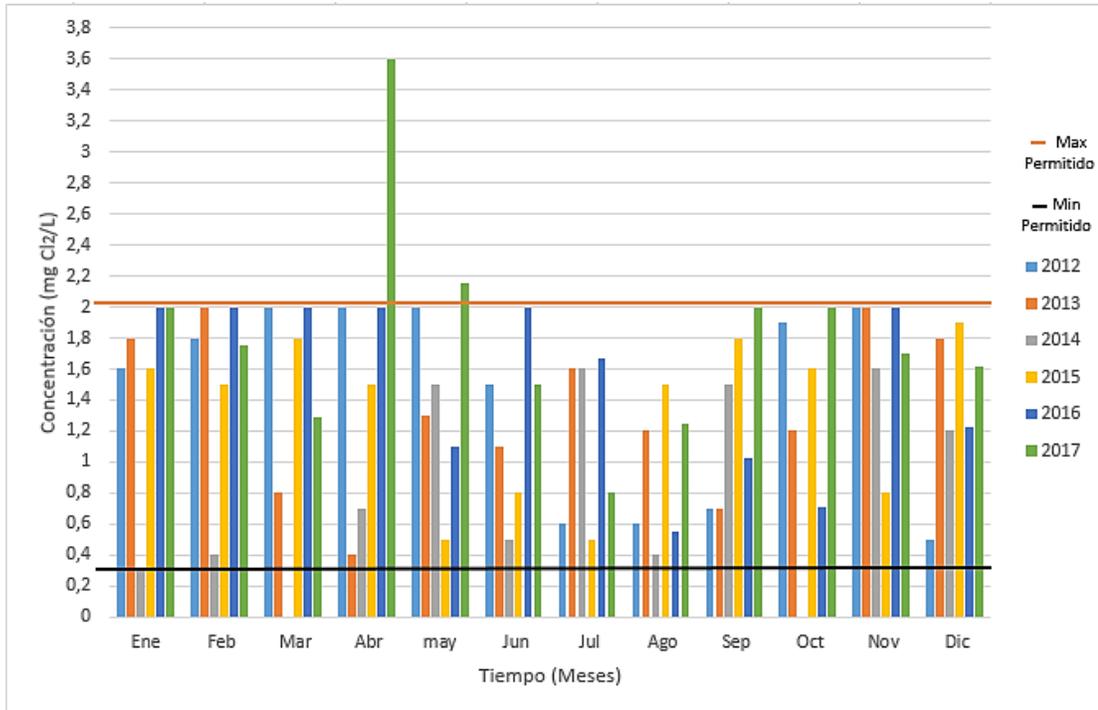


Fuente: Elaboración propia

Con respecto a los datos graficados para el parámetro del pH se puede evidenciar que estos presentan una alta variabilidad para los periodos evaluados (desviación estándar de 0.947) sin tener un comportamiento uniforme, infringiendo la norma por debajo del rango permitido debido a que en la Resolución 2115 de 2007 estos valores para el pH están comprendidos entre 6.5 y 9. Esto sucede debido a que no se tiene un control de pH a la entrada del efluente y sobredosifican sulfato de aluminio. De igual manera se puede observar que para valores superiores al rango, no se presenta ninguna alteración.

### 3.1.2.4 Cloro residual

Gráfica 4. Caracterización del cloro residual en el efluente

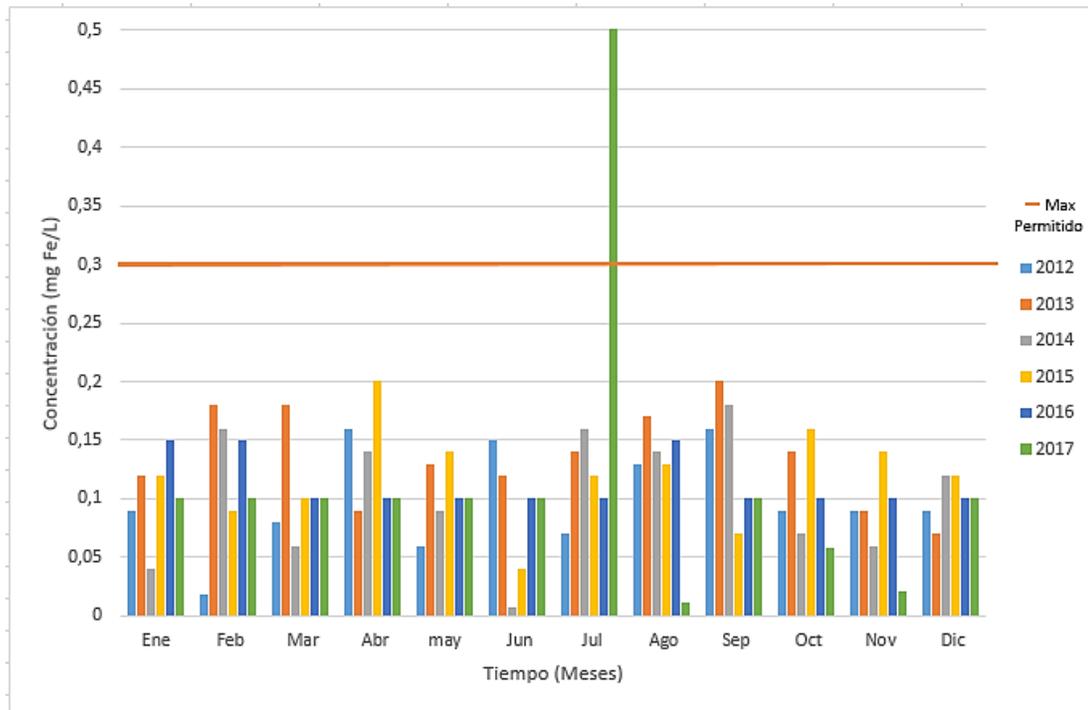


Fuente: Elaboración propia

El rango permitido para el cloro residual está comprendido entre 0.3 y 2 mg Cl<sub>2</sub>/L según la Resolución 2115 de 2007, a partir de esto en la gráfica se comprueba que el comportamiento de los datos a través del tiempo cumple con lo establecido por la norma, sin embargo se observa que para abril de 2017 hubo un cambio abrupto sobrepasando en 1,6 mg Cl<sub>2</sub>/L el límite superior permitido, de lo que se puede inferir que para este suceso hubo una alteración significativa en la dosificación del cloro.

### 3.1.2.5 Hierro total

Gráfica 5. Caracterización del hierro total en el efluente

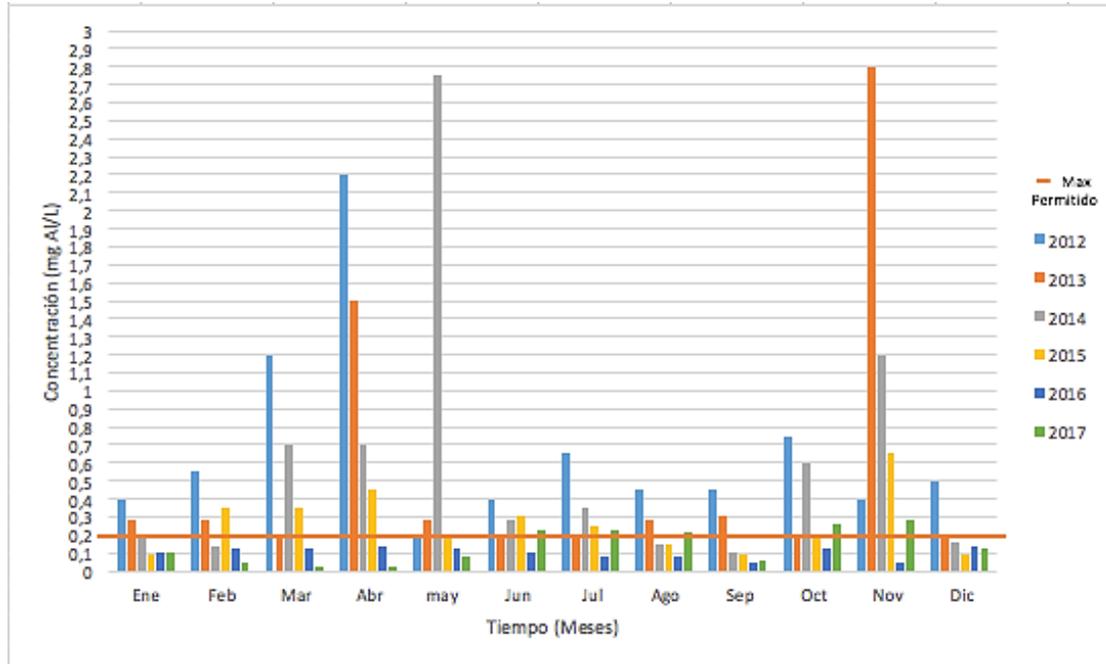


Fuente: Elaboración propia

A partir de los datos graficados, el parámetro de hierro total cumple con lo establecido por la Resolución 2115 de 2007 donde el máximo valor permitido para este parámetro es de 0.3 mg Fe/L, no obstante, se observa que para julio de 2017 hubo un cambio notable sobrepasando en gran valor el límite superior permitido, de lo que se puede inferir que para este suceso hubo una alteración en las propiedades del agua del afluente, debido a las condiciones climáticas del sector.

### 3.1.2.6 Aluminio

Gráfica 6. Caracterización del aluminio en el efluente



Fuente: Elaboración propia

Para el parámetro del aluminio el máximo valor permitido según la Resolución 2115 de 2007 es de 0.2 mg Al/L, a partir de esto, por medio de la gráfica se puede deducir que para los periodos evaluados entre los años 2012 a 2015 este parámetro no cumple con lo establecido por la norma presentando un aumento con respecto al límite del máximo valor permitido en la mayoría de los meses valorados. Aunque en los años 2016 y 2017 no se presentan estos picos sigue estando el comportamiento por encima del valor máximo incumpliendo repetitivamente con lo establecido por la norma, de estos resultados se puede deducir que la adición del coagulante, sulfato de aluminio, tiene influencia en el incumplimiento del límite máximo de concentración final de aluminio.

Al analizar los valores históricos de las características físicas, químicas y microbiológicas del agua potabilizada se evidencian los parámetros que incumplen repetitivamente los valores máximos permitidos por la Resolución 2115 de 2007. En la tabla 3 se observa el resumen de la problemática general del agua potable suministrada a los usuarios, la cual corresponde a los parámetros de turbiedad, pH y aluminio. Es de aclarar que no se considera que haya un incumplimiento en los parámetros de cloro residual y hierro total puesto que el desajuste en el valor máximo permitido se evidenció tan solo en un mes para seis años evaluados por lo cual no se considera un problema actual.

Tabla 3. Parámetros de calidad del agua del efluente por mejorar

Parámetro	Descripción
Turbiedad	<ul style="list-style-type: none"> <li>Aunque históricamente se presenta incumplimiento, en los últimos dos años la turbiedad se encuentra dentro del parámetro legal, es decir, actualmente la turbiedad del agua potable no es un problema</li> <li>Tiene relación directa con las temporadas climáticas, por lo cual debe realizarse un tratamiento en función de la calidad del agua cruda</li> </ul>
pH	<ul style="list-style-type: none"> <li>Tiene valores variables, entre 4 a 8.5 unidades de pH</li> <li>El valor promedio (6.46 Unidades de pH) se encuentra fuera del rango permitido (6.5 – 9 unidades de pH).</li> <li>Presenta altos índices de acidez (valor promedio 6.46 unidades de pH).</li> </ul>
Aluminio	<ul style="list-style-type: none"> <li>El valor promedio (0.39) sobrepasa el valor máximo permitido (0.2 mg Al/L)</li> <li>No se encuentra estandarizada la técnica para dosificación de coagulante en función del agua cruda</li> </ul>

Fuente: Elaboración propia

### 3.2 INFORMACIÓN DEL ACUEDUCTO MUNICIPAL

La Cooperativa de Usuarios del Acueducto Comunal de la Veredas del sur “COOVESUR LTDA.E.S.P.” es una entidad sin ánimo de lucro de carácter privado, el acueducto (ver figura 4) se encuentra ubicado entre las veredas Sardinias y Bochica, con una tubería de 3.600 metros de longitud y un diámetro de 8 y 6 pulgadas en PVC. Actualmente suministra agua potable a nueve veredas del sur-orientado de Fusagasugá como Mesitas, La Isla, Sardinias, Bochica, La Trinidad, Palacios, Guayabal, Espinalito y La Unión, es decir, que se presta el servicio a 900 suscriptores y 4.500 usuarios, con un consumo per cápita de 92 m<sup>3</sup> al año.

Figura 4. Acueducto Coovesur



Fuente: Gerencia acueducto Coovesur

El acueducto Coovesur cuenta con dos plantas de tratamiento, una compacta (Ver figura 5) con capacidad de 14 L/s construida en concreto hace aproximadamente 22 años y otra semicompacta (Ver figura 6) con capacidad de 10 L/s construida en fibra de vidrio adquirida hace 5 años. Estas se encuentran en funcionamiento y constante mantenimiento; no trabajan a plena capacidad, la planta compacta trabaja con 10 L/s y la planta semicompacta trabaja con 5 L/s debido a la concesión otorgada por la Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca “CAR” siendo esta de 16,4 L/s. (Resolución 1696 del 01 de junio de 2010)

Figura 5. Planta compacta sistema Coovesur



Fuente: Elaboración propia

Figura 6. Planta semicompacta Coovesur



Fuente: Elaboración propia

Para realizar el diagnóstico actual del acueducto municipal Coovesur es necesario conocer el funcionamiento completo de la planta potabilizadora evaluando cada una de las operaciones y procesos unitarios desarrollados en el proceso de tratamiento de agua los cuales se presentan a continuación.

### **3.3 FUNCIONAMIENTO ACTUAL DE LAS OPERACIONES Y PROCESOS UNITARIOS DE LA PTAP**

En el actual diagnóstico se pretende evaluar el funcionamiento de cada una de las etapas del proceso de potabilización, describiendo los equipos y materiales utilizados para el desarrollo de cada una y evaluando las buenas prácticas desarrolladas, para posteriormente identificar problemas de operación y diseño.

El proceso de potabilización de agua desarrollado en el acueducto el cual tiene por objetivo suministrar agua potable a los usuarios, se realiza de forma continua y realiza cada una de las etapas y actividades requeridas para la potabilización de agua de forma secuencial siendo estas: captación, desarenado, canalización, análisis de laboratorio, coagulación, floculación, sedimentación, filtración,

desinfección, alcalinización, almacenamiento y distribución; los cuales se describirán con mayor profundidad a continuación.

**3.3.1 Captación.** La bocatoma se encuentra en el río Batán ubicada a 3 kilómetros aproximadamente de la planta de tratamiento donde el agua cruda es captada, las propiedades de esta son de alta variabilidad y esto se debe a las condiciones climáticas que se dan en el sector como las fuertes épocas de lluvia y sequías que afectan la zona conforme se mostró anteriormente en la figura 3.

La toma de agua existente para el sistema Coovesur consiste en una bocatoma sumergida, tipo fondo compuesta básicamente por una estructura longitudinal construida sobre el fondo del cauce, provista de una rejilla y una cámara rectangular de desviación ubicada en la ribera del río al extremo del dique. El agua es transportada de la rejilla a la caja de derivación por medio de tubería de 10 pulgadas.

El agua es captada mediante una reja construida en barrotes de acero con un diámetro de 1/2 pulgada, las cuales están soportadas en ángulos de hierro en forma de L de 3/4 x 1/4 pulgadas. El espaciamiento entre barrotes es de 0.02 m y el área de la rejilla es de 0.5 x 1.0 m. Tiene una capacidad de caudal de 59 L/s, según el RAS 2000 la velocidad máxima para este tipo de estructuras es de 0.15 m/s con el fin de evitar el arrastre de materiales flotantes,<sup>56</sup> pero para épocas lluviosas hay una mayor cantidad de lodos, los cuales se acumulan a la entrada de la tubería de la bocatoma y en ocasiones llegan a obstruirla, lo que ocasiona problemas de desabastecimiento a la planta potabilizadora.

**3.3.2 Desarenado.** Este proceso se realiza desde la bocatoma, al inicio de la línea de aducción se encuentra ubicado un desarenador (Ver figura 7) con las siguientes medidas: largo de 9.1 m, ancho de 2.9 m y profundidad promedio total de 1.90 m, volumen de 26.39 m<sup>3</sup>, y tiempo de retención de 1800 s. Esta estructura cumple la función de retener la arena y partículas gruesas en suspensión, evitando que produzcan depósitos en las líneas de conducción y sobrecarga en los procesos posteriores de tratamiento. La estructura del desarenador no presenta ningún tipo de averías o fugas y cumple con la eficiencia recomendada por la norma RAS 2000 del 75%<sup>57</sup>, de acuerdo con la hoja de cálculo para el diseño del sistema de tratamiento suministrado por el acueducto.

---

<sup>56</sup> MINISTERIO DE DESARROLLO ECONÓMICO, DIRECCIÓN DE AGUA POTABLE Y SANEAMIENTO BASICO. Titulo B. Op.cit., p. 71

<sup>57</sup> MINISTERIO DE DESARROLLO ECONÓMICO, DIRECCIÓN DE AGUA POTABLE Y SANEAMIENTO BASICO. Op.cit., p. 60

El mantenimiento se programa dependiendo las condiciones climáticas de la zona, para épocas muy lluviosas la limpieza se realiza cada cuatro meses y para épocas más secas cada ocho meses.

Figura 7. Desarenador sistema Coovesur



Fuente: Elaboración propia

**3.3.3 Canalización.** Una vez el agua ha sido captada se transporta hacia la planta potabilizadora mediante el proceso de aducción donde el traslado se realiza por gravedad, esto es debido a que la fuente abastecedora se encuentra en un nivel más elevado que el de la planta potabilizadora y no es necesario el uso de bombas de impulsión.

Existen dos vertederos de medición de caudal, uno para cada planta potabilizadora, la planta compacta tiene un vertedero rectangular con largo de 0.5 m y altura de 0.05 m (Ver figura 8) y la planta nueva tiene un vertedero triangular con largo de 0.4 m y altura 0.04 m (Ver figura 9) ambos vertederos no trabajan a plena capacidad; según la información del acueducto la calibración de los vertederos se realizó hace aproximadamente un año. El operario mide manualmente el caudal del agua del afluente al llegar a la planta para cada vertedero mediante una reglilla, siendo este un estimado de  $10 \frac{L}{S}$  y con sobrecarga hasta  $14 \frac{L}{S}$  para la planta compacta y de  $5 \frac{L}{S}$  y con sobrecarga hasta  $10 \frac{L}{S}$  para la planta semicompacta según la demanda diaria.

Figura 8. Vertedero de medición rectangular (vista superior)



Fuente: Elaboración prop

Figura 9. Vertedero de medición triangular



Fuente: Elaboración propia

**3.3.4 Análisis de laboratorio.** Para el desarrollo de los análisis de laboratorio tanto los que se realizan en la planta como en laboratorios externos para caracterización de agua cruda o tratada es necesario seguir los respectivos protocolos de muestreo designados por la Resolución RAS 2000<sup>58</sup> donde menciona referirse a las Normas Técnicas Colombianas NTC-ISO 5667-2 la cual “constituye una guía sobre técnicas de muestreo utilizadas con el fin de obtener los datos necesarios para hacer análisis con propósitos de control de calidad”<sup>59</sup>, NTC-ISO 5667-3 la cual “suministra las directrices generales sobre las precauciones que se deben tomar para preservar y transportar muestras de agua”<sup>60</sup> y NTC-ISO 5667-5 la cual “establece principios para aplicar en las técnicas de muestreo de agua destinada al consumo humano”<sup>61</sup>; normas que establecen los protocolos necesario para el correcto paso a paso de toma, transporte y conservación de muestra de agua, entre otras especificaciones de muestreo.

---

<sup>58</sup> MINISTERIO DE DESARROLLO ECONÓMICO, DIRECCIÓN DE AGUA POTABLE Y SANEAMIENTO BASICO. Título B. Op.cit., p. 164

<sup>59</sup> INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMALIZACIÓN Y CERTIFICACIÓN. NTC ISO 5667-2. Op.cit., p. 2

<sup>60</sup> INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMALIZACIÓN Y CERTIFICACIÓN. NTC ISO 5667-3. Op.cit., p. 1

<sup>61</sup> INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMALIZACIÓN Y CERTIFICACIÓN. NTC ISO 5667-5. Op.cit., p. 1

El laboratorio de la planta (Ver figura 10) cuenta con dos instrumentos para análisis fisicoquímicos (pH-metro y tri-meter) para definir las propiedades iniciales de tratamiento como pH, turbiedad, color y cloro libre. Además, cuenta con un floculador/homogeneizador para desarrollos de pruebas de jarras, en el laboratorio de la empresa no existe un manual para el desarrollo de este procedimiento por lo que el operario, quien lo desarrolla, no tiene el suficiente conocimiento técnico de pruebas de jarras y se basa solamente en su experiencia.

El desarrollo de método de jarras está regido por la Norma Técnica Colombiana NTC 3903 en la cual se “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 por gravedad, además un procedimiento para evaluar la eficiencia en la remoción de color, turbiedad y reducción de dureza”<sup>62</sup>.

Según el RAS 2000<sup>63</sup> los análisis y ensayos mínimos de agua que deben ser efectuados *in situ* para controlar la calidad de los procesos durante la operación son turbiedad, color, pH, alcalinidad y concentración de aluminio o hierro residual; es decir, no se está cumpliendo con todos los análisis de laboratorio requeridos porque hacen falta los equipos para la determinación, alcalinidad y concentración de aluminio y hierro residual.

Mensualmente se llevan a cabo dos caracterizaciones para el agua cruda, una efectuada por la Secretaria de Salud del municipio donde se evalúan parámetros fisicoquímicos como: color aparente, turbiedad, pH, cloro residual, hierro total y aluminio; y parámetros microbiológicos de coliformes totales y E.coli. La otra caracterización es pagada por el acueducto al laboratorio Unid salud S A S donde también se evalúan los parámetros anteriormente descritos y adicionalmente la alcalinidad total, fosfatos, manganeso, dureza total, sulfatos, cloruros, nitratos y nitritos. Estos análisis se realizan con forme a la Resolución 2115 de 2007 y adicionalmente para tener registro de la calidad de agua potable suministrada a los usuarios.

Para el agua cruda no se realizan caracterizaciones regulares puesto que no son estrictamente necesarias según la normatividad por cuanto la importancia se centra en el agua tratada.

---

<sup>62</sup> INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMALIZACIÓN Y CERTIFICACIÓN. NTC 3903. Op.cit., p. 2

<sup>63</sup> MINISTERIO DE DESARROLLO ECONÓMICO, DIRECCIÓN DE AGUA POTABLE Y SANEAMIENTO BASICO. Título B. Op.cit., p. 164

Figura 10. Laboratorio planta Coovesur



Fuente: Elaboración propia

**3.3.5 Coagulación.** El coagulante utilizado es sulfato de aluminio tipo A este es preparado en un tanque (Ver figura 11) elaborado de polietileno con capacidad de 500 litros, ubicado junto al vertedero en la parte superior de la planta. En un recipiente se agregan 5 kg de sulfato de aluminio y es disuelto en 500 litros de agua cruda, es decir, solución de sulfato de aluminio ( $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ ) preparada al 1% (p/p), la agitación se realiza manualmente con ayuda de una pala hasta homogenizar la mezcla. Esta disolución se suministra por gravedad a través de una tubería de  $\frac{1}{2}$  pulgada con un sistema de cierre en su extremo, la tubería está ubicada de tal manera que permita descargas según la calidad del agua que ingresa.

El sulfato de aluminio es suministrado para aglomerar las sustancias coloidales presentes en el agua en partículas de mayor tamaño y mejorar la eficiencia de remoción que se realiza posteriormente. Este coagulante se aplica en los vertederos de medición en caída libre, según los datos suministrados por el acueducto en esta zona el gradiente real es de  $177 \text{ s}^{-1}$  con una carga del vertedero medida a una altura de 0.25 m, este valor de gradiente se considera muy bajo para una buena mezcla rápida puesto que “para vertederos de medición, la mezcla es producida por la generación de un resalto hidráulico que causa un gradiente de velocidad de alrededor de  $1000 \text{ s}^{-1}$ ”, por lo cual el sistema de aplicación no está cumpliendo con los valores de mezcla rápida mencionados en la literatura<sup>64</sup>.

Actualmente la dosificación del coagulante se realiza dependiendo del caudal tratado y con respecto a la observación y criterio del operario en el *test* de jarras que desarrolla al inicio del proceso, puesto que no existe un manual de procedimiento que permita tener fundamentación para la dosificación del coagulante con respecto a la turbiedad y pH del agua cruda, el parámetro de pH inicial del agua

---

<sup>64</sup> CENTRO PANAMERICANO DE INGENIERÍA SANITARIA Y CIENCIAS DEL AMBIENTE. Mezcladores. En: Manual II. Diseño de plantas de tecnología apropiada. Lima, 2004. P.48

es importante teniendo en cuenta que el coagulante sulfato de aluminio tiene un rango específico de solubilidad de pH entre 6.5 a 9.0 unidades de pH, donde ocurre la máxima precipitación de los coágulos.<sup>65</sup>

Figura 11. Sistema de dosificación de coagulante



Fuente: Elaboración propia

**3.3.6 Floculación.** Existe un floculador tipo Alabama (Ver figura 12) de 6 cámaras funcionando hidráulicamente, con pantallas en concreto y de flujo horizontal. La función de este es que el agua realice un movimiento ascendente – descendente con el fin de proporcionar una agitación lenta para promover el crecimiento de los flóculos y su conservación.<sup>66</sup>

La estructura es en concreto con las siguientes dimensiones: ancho de 1.3 m, largo de 1.3 m y una profundidad media de agua de 1.1 m, lo cual da un tiempo teórico de retención en la unidad de 13 minutos, este tiempo fue evaluado hidráulicamente mediante uso de trazador por un ingeniero asesor según información del acueducto, teniendo en cuenta que el tiempo promedio de retención en este tipo de floculadores debe oscilar entre 20 y 40 minutos según el RAS 2000<sup>67</sup> por cuanto el tiempo de retención no cumple con lo establecido por la norma, este tiempo insuficiente de retención puede ser causado por el número de cámaras existentes puesto que para los floculadores tipo Alabama se recomienda un número mínimo de 8 cámaras<sup>68</sup> y

<sup>65</sup> GOGOLLO, Juan. Clarificación de aguas usando coagulantes polimerizados. Bdigital portal de revistas Universidad Nacional [en línea], 5 de octubre de 2010 [Citado 27 de abril 2018]. Disponible en internet: <https://revistas.unal.edu.co/index.php/dyna/article/view/25636/39133>

<sup>66</sup> BVSA. Tratamiento de agua para consumo. Plantas de filtración rápida. Manual II: Diseño de plantas de tecnología apropiada, Capítulo 3. [en línea]. 2004. [Citado 27 abril 2018] Disponible en internet: [http://www.bvsde.paho.org/bvsatr/fulltext/tratamiento/manuall/ma2\\_cap3.pdf](http://www.bvsde.paho.org/bvsatr/fulltext/tratamiento/manuall/ma2_cap3.pdf)

<sup>67</sup> MINISTERIO DE DESARROLLO ECONÓMICO, DIRECCIÓN DE AGUA POTABLE Y SANEAMIENTO BASICO. Reglamento técnico del sector de agua potable y saneamiento básico RAS – 2000. Sección II. Título C. Sistemas de potabilización. P 47 [http://cra.gov.co/apcafiles/37383832666265633962316339623934/4.\\_Sistemas\\_de\\_acueducto.pdf](http://cra.gov.co/apcafiles/37383832666265633962316339623934/4._Sistemas_de_acueducto.pdf) >. [Citado el 07 de marzo de 2018].

<sup>68</sup> AREVALO, Andrea. Tipos de floculadores. [en línea]. 2015. [Citado 27 abril 2018]. Disponible en internet: [https://www.academia.edu/24910629/TIPOS\\_DE\\_FLOCULADORES](https://www.academia.edu/24910629/TIPOS_DE_FLOCULADORES)

el dispuesto en la planta solo cuenta con 6 cámaras de lo que puede inferir que no tiene la distancia suficiente para que en la trayectoria del fluido se complete el tiempo de retención requerido.

Figura 12. Floculador tipo alabama



Fuente: Elaboración propia

**3.3.7 Sedimentación.** Existe un módulo sedimentador convencional (Ver figura 13) funcionando con láminas de fibra de vidrio en paneles inclinados plásticos y de flujo horizontal para atrapar los flocúlos que precipitan y realizar de esta forma la clarificación del agua. La estructura es en concreto con las siguientes dimensiones: ancho de 2.63 m, largo de 2.85 m y una profundidad media de agua de 1.8 m, lo cual da un tiempo teórico de retención en la unidad de 16 minutos dato evaluado hidráulicamente mediante uso de un trazador (colorante orgánico).

Figura 13. Módulo sedimentador



Fuente: Elaboración propia

**3.3.8 Filtración.** El acueducto cuenta con dos filtros rápidos a presión (Ver figura 14), retro-lavado a flujo descendente, lecho filtrante de arena y antracita, soportados en lecho de grava y falso fondo. Ambas estructuras son en concreto con las siguientes dimensiones: ancho de 1.21 m, largo de 2.26 m y una profundidad media del lecho filtrante de 0.65 m, cuentan con un sifón para producir el retro-lavado. La planta cuenta con un tercer filtro incluido en la planta semicompacta que funciona de manera continua y tiene los mismos componentes de filtración de los anteriores filtros ya mencionados.

Según informes históricos en épocas secas con aguas claras, los filtros se retro-lavan en promedio una vez al día, o sea cada 24 horas. En época de lluvia se reporta que, dependiendo de la turbiedad del agua, se retro-lavan 2 y 3 veces al día, es decir, cada 12 u 8 horas, este se realiza manualmente por el operario puesto que no existe ningún parámetros que controle la frecuencia de retro-lavado. Este proceso consume según reporte históricos de la empresa  $24 \text{ m}^3$ , equivalente al 2.8% del producido diario.

Para procesar 10 L/s con una tasa promedio de filtración de  $220 \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{día}$ , que es la usual en plantas de filtración rápida, se requieren  $3.92 \text{ m}^2$  de área filtrante y actualmente se cuenta con  $4 \text{ m}^2$  por cada filtro por lo cual se tiene actualmente una capacidad para filtrar los 10 L/s usuales para cada filtro.

Figura 14. Filtro sistema Coovesur



Fuente: Elaboración propia

**3.3.9 Desinfección.** Este proceso es realizado con cloro gaseoso dosificando 8 lb/día mediante una electrobomba de 15 hp, se vierte directamente en el primer tanque de almacenamiento, usando la presión de una tubería abastecida por el tanque de agua filtrada existente en el nivel superior. En los momentos en los cuales la planta no cuenta con energía eléctrica se utiliza cloro granulado, se prepara una solución de 2 kg en un tanque de 500 L, siendo dosificado 1500 ml/min, dosificación estándar para este reactivo.

En ocasiones, se realiza pre-cloración después del proceso de coagulación para ayudar al mantenimiento de la planta evitando aparición de algas; cuando se quiere

ahorrar energía se apaga la electrobomba y se trabaja con la presión del agua del tanque de lavado adicionándose cloro a la entrada del primer tanque de almacenamiento, el cual está conectado con el otro, antes de salir para la red de distribución.

El cloro gaseoso utilizado es marca BRINSA SA y el cloro granulado tiene una pureza del 90%, estos son almacenados junto con otros reactivos, materiales y elementos de la planta en el cuarto de almacenamiento mencionado en el proceso de coagulación.

Figura 15. Sistema de desinfección



Fuente: Elaboración propia

**3.3.10 Alcalinización.** Este proceso se realiza cuando el pH del agua se vuelve ácido por efecto de la adición del coagulante, por esto en las ocasiones que lo requieren es necesario adicionar cal hidratada ( $\text{Ca}(\text{OH})_2$  – Hidróxido de calcio) para ajustar el pH y garantizar que el agua sea apta para el consumo humano (6,5 – 9 unidades de pH<sup>69</sup>). No obstante, la cal contiene muchas impurezas por lo cual es necesario que la dosificación de esta sea la más exacta posible, de lo contrario puede llegar a aumentar la turbiedad en el agua tratada.<sup>70</sup> Por esto se deben realizar controles de alcalinización vs pH para saber si se encuentra en el rango de acción.

---

<sup>69</sup> MINISTERIO DE DESARROLLO ECONÓMICO, DIRECCIÓN DE AGUA POTABLE Y SANEAMIENTO BASICO. Reglamento técnico del sector de agua potable y saneamiento básico RAS – 2000. Sección II. Título C. Sistemas de potabilización. [http://cra.gov.co/apcafiles/37383832666265633962316339623934/4.\\_Sistemas\\_de\\_acueducto.pdf](http://cra.gov.co/apcafiles/37383832666265633962316339623934/4._Sistemas_de_acueducto.pdf) f >. [Citado el 16 de marzo de 2018].

<sup>70</sup> BUENO, Karen. Evaluación del proceso de estabilización del pH del agua tratada del río Cauca. Trabajo de investigación ingeniería sanitaria. Santiago de Cali.: Universidad de Valle, 2014. 86 p.

**3.3.11 Almacenamiento y distribución.** El proceso de distribución inicia a las 5:00 am y su terminación depende de las condiciones climáticas diarias, para épocas muy lluviosas es necesario cerrar las válvulas de distribución (entre 4 y 5 pm); debido a que puede haber un crecimiento en el afluente y por ende mayor turbiedad y presencia de materiales sólidos que pueden obstruir la tubería de canalización. Para épocas secas se puede llegar a distribuir hasta las 8 y 9 pm, es decir no hay suministro de agua a los usuarios en horas de la noche, además para evitar que se realicen conexiones fraudulentas que permitan el robo de agua potable puesto que son más factibles en estas horas.

A pesar de que el suministro es suspendido, la potabilización del agua es ininterrumpida, por esto se tienen dos tanques (Ver figura 16) cada uno con capacidad aproximada de 210 m<sup>3</sup> que almacenan el agua del proceso de potabilización desarrollado en la noche para la posterior distribución del día siguiente. El proceso de almacenamiento solo se aplica para el agua tratada en la noche, y no se cuenta con un almacenamiento para emergencias de abastecimiento o fallas de proceso, lo que implica que sin almacenamiento ante cualquier eventualidad que llegue a existir, el proceso de potabilización debe ser suspendido en su totalidad, dejando sin agua potable a los usuarios.

Figura 16. Tanque de almacenamiento



Fuente: Elaboración propia

La demanda diaria de agua potable oscila entre 1000 y 1300 m<sup>3</sup> aproximadamente, para suplir esta demanda existen tres líneas de distribución (Ver figura 17); la línea 1 o también llamada línea principal tiene la máxima capacidad de abastecimiento y distribuye 1000 m<sup>3</sup>/día aproximadamente, esta suministra agua a 6 veredas las cuales son: Mesitas, La Isla, Palacios, Trinidad, Guayabal y algunos usuarios del Espinalito; la línea 2 tiene una capacidad menor distribuyendo entre 20 y 25 m<sup>3</sup>/día aproximadamente para la vereda Sardinias, y la línea 3 tiene una capacidad mucho menor distribuyendo agua potable cada tercer día entre 30 y 50 m<sup>3</sup> aproximadamente para la vereda Sardinias, esta distribución no se realiza a diario puesto que son usuarios nuevos y la demanda es mínima.

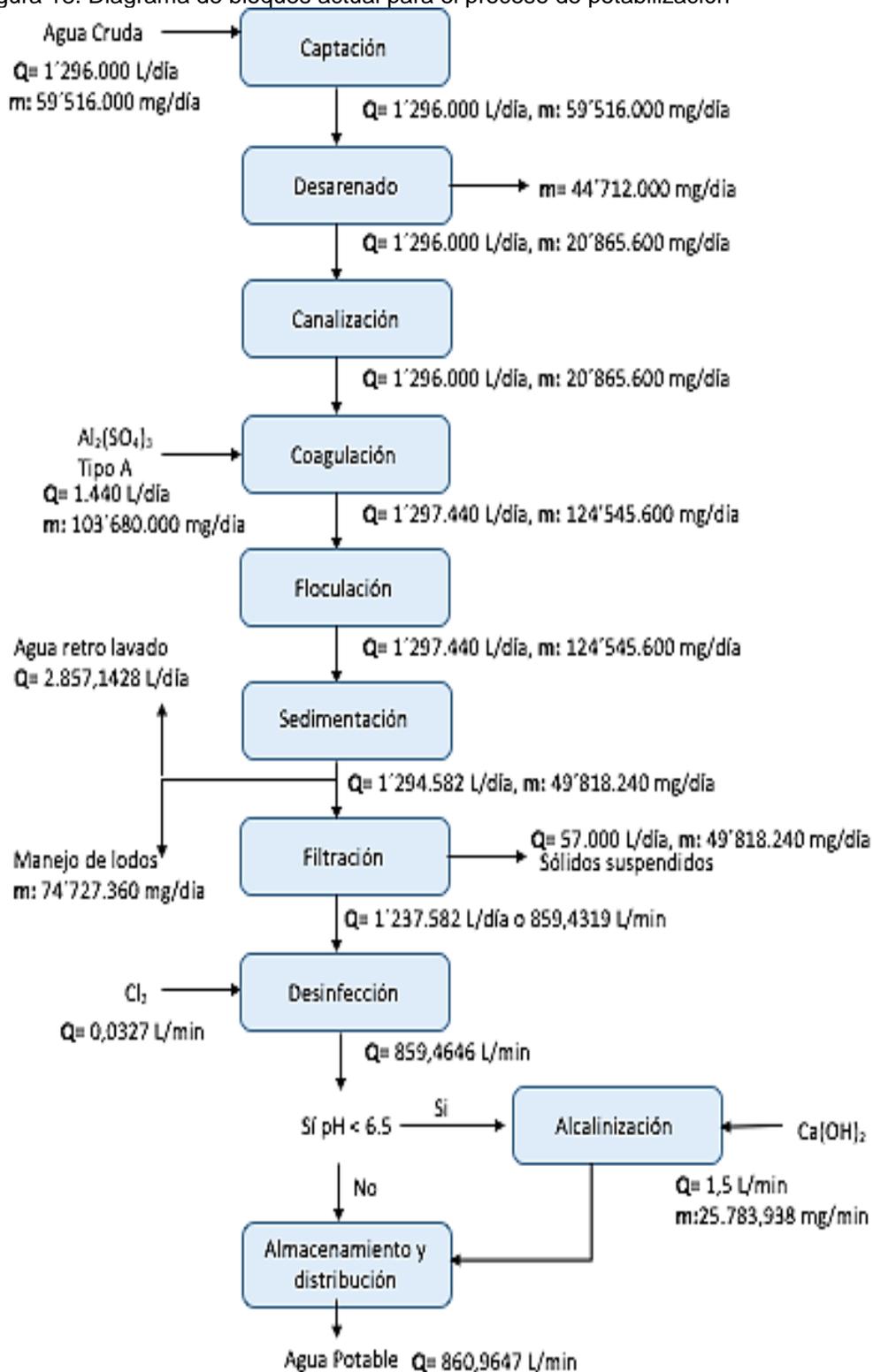
Figura 17. Líneas de distribución.



Fuente: Elaboración propia

**3.3.12 Diagrama de bloques del proceso.** El siguiente diagrama de bloques ilustra las distintas etapas del tratamiento de potabilización de agua llevado a cabo en el acueducto Coovesur.

Figura 18. Diagrama de bloques actual para el proceso de potabilización



Fuente: Elaboración propia

- **Balance de agua y masa sin la implementación de la propuesta de mejora.**

El siguiente cálculo corresponde al caudal de agua que ingresa a la planta a través de la bocatoma.

$$15 \frac{L}{s} * \frac{60 s}{1 min} * \frac{60 min}{1 h} * \frac{24 h}{1 d} = 1'296.000 \frac{L}{día}$$

Ecuación 1. Balance de agua para las etapas de captación, desarenado y canalización

$$1'296.000 \frac{L}{día}$$

En cuanto al balance de masa del desarenador la empresa pone a disposición los siguientes resultados de sólidos suspendidos totales (SST) registrados en la caracterización del afluente, por el cual se calculan los SST que entran al desarenador teniendo en cuenta el caudal de entrada a la planta.

$$\frac{23 \frac{mg SST}{L} * 1'296.000 \frac{L}{día}}{0,5} = 59'516.000 \frac{mg SST}{día}$$

Posteriormente se calcula la cantidad de sólidos suspendidos que serán sedimentados por acción del desarenador puesto que la eficiencia de este es del 75%.

$$59'516.000 \frac{mg SST}{día} * 0,75 = 44'712.000 \frac{mg SST}{día}$$

Es decir, el 35% continúa de los sólidos continúan en el proceso de potabilización.

$$59'516.000 \frac{mg SST}{día} * 0,35 = 20'865.600 \frac{mg SST}{día}$$

Para llevar a cabo el balance en la etapa de coagulación se calcula la cantidad de sulfato de aluminio ( $Al_2(SO_4)_3$ ) que dosifica la planta. Este se encuentra al 1% p/p.

$$\frac{1000 ml}{min} * \frac{60 min}{1 h} * \frac{24 h}{1 día} * \frac{1 L}{1000 ml} = 1.440 \frac{L}{día}$$

Ecuación 2. Balance de agua para la etapa de coagulación y floculación.

$$\frac{1'296.000 L}{día} + \frac{1.440 L}{día} = 1'297.440 \frac{L}{día}$$

En cuanto al balance de masa por cada litro de agua se emplean 80 mg de sulfato de aluminio, a partir de esto se calcula el consumo diario de este para la planta.

$$\frac{1'296.000 L}{día} * \frac{80 mg}{L} = 103'680.000 \frac{mg}{día}$$

Para realizar el balance de la siguiente etapa primero se calcula la pérdida de agua en la recuperación de los lodos. La empresa reportó que se usan 20.000 litros en la remoción de lodos siendo este un proceso que se lleva a cabo una vez en la semana. Este volumen es proporcionado por el proceso llevado a cabo en la planta para el cual se calcula la cantidad en días para el balance propuesto.

$$\frac{20.000 \text{ l}}{\text{semana}} * \frac{1 \text{ semana}}{7 \text{ días}} = 2.857,1428 \frac{\text{L}}{\text{día}}$$

Ecuación 3. Balance de agua para la etapa de sedimentación

$$\frac{1'297.440 \text{ L}}{\text{día}} - \frac{2.857,1428 \text{ L}}{\text{día}} = 1'294.582,86 \frac{\text{L}}{\text{día}}$$

Para el balance de masa en la etapa de sedimentación se tiene que un 60% de los sólidos presentes sedimentan en esta etapa.

$$103'680.000 \frac{\text{mg}}{\text{día}} + 20'865.600 \frac{\text{mg SST}}{\text{día}} = 124'545.600 \frac{\text{mg}}{\text{día}}$$

$$124'545.600 \frac{\text{mg}}{\text{día}} * 0,6 = 74'727.360 \frac{\text{mg}}{\text{día}}$$

De igual manera para la etapa de la filtración primero se llevan a cabo los cálculos de las pérdidas de agua al realizar los retro-lavados de los tres filtros. A partir de la información suministrada por el acueducto se usan 10.000 litros para cada uno de los tres filtros más la cantidad de agua que está entrando a la planta por espacio de 15 minutos siendo este un caudal de 4.500 L/día, este se realiza dos veces al día por estar en época lluviosa.

$$\frac{4.500 \text{ L}}{\text{día}} * 2 \text{ veces al día} = 9.000 \frac{\text{L}}{\text{día}}$$

$$\frac{10.000 \text{ L}}{\text{día}} + \frac{9.000 \text{ L}}{\text{día}} + \frac{10.000 \text{ L}}{\text{día}} + \frac{9.000 \text{ L}}{\text{día}} + \frac{10.000 \text{ L}}{\text{día}} + \frac{9.000 \text{ L}}{\text{día}} = 57.000 \frac{\text{L}}{\text{día}}$$

Ecuación 4. Balance de agua para la etapa de filtración

$$\frac{1'294.582,86 \text{ L}}{\text{día}} - \frac{57.000 \text{ L}}{\text{día}} = 1'237.582,86 \frac{\text{L}}{\text{día}}$$

En cuanto al balance de masa en la etapa de filtración se tiene que el 40% de los sólidos después de la etapa de sedimentación son filtrados completamente.

$$124'545.600 \frac{\text{mg}}{\text{día}} * 0,4 = 49'818.240 \frac{\text{mg}}{\text{día}}$$

Para llevar a cabo el balance en la etapa de desinfección se calcula la cantidad de cloro gaseoso (Cl<sub>2</sub>) que dosifica la planta. Este recibe las unidades de l/min debido a que se aplica al caudal que se encuentra en el tanque de almacenamiento para ser posteriormente distribuido.

$$\frac{47,0429 \text{ L}}{\text{día}} * \frac{1 \text{ día}}{24 \text{ h}} * \frac{1 \text{ h}}{60 \text{ min}} = 0,0327 \frac{\text{L}}{\text{min}}$$

Ecuación 5. Balance de agua en la etapa de desinfección

$$\frac{859,432 \text{ L}}{\text{min}} + \frac{0,0327 \text{ L}}{\text{min}} = 859,4646 \frac{\text{L}}{\text{min}}$$

Para la etapa de alcalinización se tiene en cuenta que esta dosificación se lleva a cabo solo si el pH es menor a 6,5 debido a que la Resolución 2115 de 2007 establece que el agua apta para consumo humano debe tener el pH entre 6,5 – 9<sup>48</sup>. Para esto se calcula la cantidad de hidróxido de calcio (Ca(OH)<sub>2</sub>) al 1% p/p que dosifica la planta para la última condición del agua que fue recibida en la planta. Cabe resaltar que si el pH varía, esta dosificación también y por ende se debe realizar el procedimiento del método de jarras para establecer la dosificación para tal condición.

$$\frac{1500 \text{ ml}}{\text{min}} * \frac{1 \text{ L}}{1000 \text{ ml}} = 1,5 \frac{\text{L}}{\text{min}}$$

Ecuación 6. Balance de agua en la etapa de alcalinización

$$\frac{859,4646 \text{ L}}{\text{min}} + \frac{1,5 \text{ L}}{\text{min}} = 860,9647 \frac{\text{L}}{\text{min}}$$

En cuanto al balance de masa por cada litro de agua se emplean 30 mg de cal, a partir de esto se calcula el consumo diario de este para la planta.

$$\frac{859,4646 \text{ L}}{\text{día}} * \frac{30 \text{ mg}}{\text{L}} = 25.783,938 \frac{\text{mg}}{\text{min}}$$

Ecuación 7. Balance de agua en la etapa de almacenamiento y distribución

$$\frac{859,4646 \text{ L}}{\text{min}} + \frac{1,5 \text{ L}}{\text{min}} = 860,9647 \frac{\text{L}}{\text{min}}$$

**3.3.13 Resultados del diagnóstico actual de la PTAP.** Actualmente la planta de potabilización del acueducto Coovesur desarrolla todas las etapas de proceso requeridas para la potabilización de agua, sin embargo, de acuerdo con la evaluación realizada al funcionamiento y operación de cada una de las etapas de proceso se identifican falencias las cuáles se describen la tabla 4.

Tabla 4. Problemática por etapas de proceso

Operación	Descripción de la problemática
Captación	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Para épocas lluviosas se pueden generar obstrucciones en la tubería de la bocatoma, lo que en ocasiones genera desabastecimiento a la planta potabilizadora</li> </ul>
Canalización	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Los vertederos de medición existentes, tanto el triangular como el rectangular se encuentran sin calibración reciente (más de un año)</li> <li>• El método de jarras es desarrollado empíricamente por el operario, quien no sigue ningún manual de procedimiento de este.</li> </ul>
Análisis de laboratorio	<ul style="list-style-type: none"> <li>• No se realizan todos análisis de calidad <i>in situ</i> requeridos por la norma, faltando la determinación de alcalinidad, concentración de aluminio y hierro residual.</li> <li>• No se realizan caracterizaciones regulares al agua del afluente</li> </ul>
Ajuste de pH	<ul style="list-style-type: none"> <li>• No se realiza un proceso de ajuste de pH inicialmente</li> </ul>
Coagulación	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Dosificación inexacta del coagulante</li> <li>• El gradiente de velocidad para la mezcla rápida se considera muy bajo (177 s-1)</li> </ul>
Floculación	<ul style="list-style-type: none"> <li>• El tiempo de retención es inferior al requerido por la norma (13 min)</li> <li>• El floculador tipo Alabama no tiene el número mínimo de cámaras requerido para este proceso (cuenta con 6)</li> <li>• Dosificación estándar de cloro, no se realiza con respecto a las condiciones del agua</li> </ul>
Desinfección	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Se realiza práctica de pre – cloración, el cuál puede alterar las propiedades del agua.</li> </ul>
Alcalinización	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Dosificación inexacta del hidróxido de calcio (cal hidratada)</li> </ul>
Almacenamiento y distribución	<ul style="list-style-type: none"> <li>• No existe almacenamiento de agua ni cruda ni tratada, para suplir cualquier eventualidad que pueda generar un desabastecimiento total</li> </ul>

Fuente: Elaboración propia

A partir de la problemática encontrada en cada una de las etapas de proceso del tratamiento de agua, se puede identificar que la problemática de la planta se centra en la dosificación inexacta de los reactivos involucrados puesto que esta se realiza de forma empírica por parte del operario, lo que genera impacto negativo en los parámetros finales del agua potable para el caso del aluminio y pH. Sin embargo, es necesario analizar los demás aspectos problemáticos que se presentan en el funcionamiento de la PTAP para buscar dar una posible solución y así poder garantizar agua potable de la mejor calidad, este análisis se muestra en el siguiente capítulo.

## 4. ACCIONES DE MEJORA PARA EL FUNCIONAMIENTO DE LA PLANTA

Con base en el diagnóstico desarrollado en donde se identificaron los problemas de la PTAP, en el presente capítulo se plantean una serie de acciones de mejora para luego seleccionar las que tienen impacto y son indispensables para el buen funcionamiento de la planta potabilizadora.

### 4.1 ACCIONES DE MEJORA PROPUESTAS

Se proponen de forma general las diferentes acciones que pueden mejorar el funcionamiento de la PTAP y de esta forma garantizar que el agua potable suministrada a los usuarios cumpla con todos los estándares de calidad según la Resolución 2115 de 2007. Posteriormente se presenta una matriz de priorización en la cual se jerarquizan por orden de importancia las acciones de mejora según criterios del acueducto.

**4.1.1 Planteamiento de las acciones de mejora por etapas.** Las diferentes acciones propuestas para la mejora en el funcionamiento de la PTAP se presentan en la tabla 5.

Tabla 5. Propuesta de acciones de mejora.

Operación/Actividad	Acción de mejora
Captación	<ul style="list-style-type: none"><li>• Cambiar el sistema de captación (Bocatoma) actual, por uno nuevo que garantice el suministro de agua para todas las épocas del año</li></ul>
Canalización	<ul style="list-style-type: none"><li>• Realizar calibración tanto del vertedero triangular como rectangular.</li><li>• Desarrollar un procedimiento para el método de jarras</li><li>• Adquirir equipos para determinación de alcalinidad, aluminio, hierro residual y material de laboratorio (agua cruda y potable)</li></ul>
Análisis de laboratorio	<ul style="list-style-type: none"><li>• Realizar por lo menos una caracterización anual para el agua del afluente.</li></ul>
Ajuste de pH	<ul style="list-style-type: none"><li>• Incluir una etapa en donde se ajuste el pH inicial.</li><li>• Establecer la dosificación de coagulante</li></ul>
Coagulación	<ul style="list-style-type: none"><li>• Colocar una bomba dosificadora para el coagulante, que garantice la adición de este.</li><li>• Adicionar un sistema de agitación que garantice una mejor mezcla rápida</li></ul>

Fuente: Elaboración propia

Tabla 5. Continuación

Operación/Actividad	Acción de mejora
Floculación	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Cambiar el floculador tipo Alabama existente por otro que tenga el número mínimo de cámaras requerido.</li> <li>• Adicionar al proceso un floculante que promueva una rápida precipitación de los coágulos.</li> </ul>
Desinfección	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Establecer la dosificación de desinfectante.</li> <li>• Eliminar la práctica de pre-cloración</li> </ul>
Alcalinización	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Establecer la dosificación para el hidróxido de calcio (cal hidratada)</li> </ul>
Almacenamiento y distribución	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Adquirir un tanque de almacenamiento para agua cruda.</li> </ul>

Fuente: Propia

**4.1.2 Procedimiento para selección de acciones de mejora.** Con el fin de seleccionar las acciones de mejora a implementar en el proyecto, las cuales tienen efecto en la mejora inmediata del funcionamiento de la PTAP y además son viables financieramente, se analizan los criterios que se tienen en cuenta para el desarrollo de la matriz de priorización de Holmes.<sup>71</sup>

**4.1.2.1 Criterios de priorización.** La matriz de priorización tiene tres criterios ya establecidos para tener en cuenta en su desarrollo los cuales son “más importante”, “igual de importante” y “menos importante”. Para la selección presentada en este proyecto los criterios determinados por la matriz se refieren a la jerarquía que tiene una acción con respecto a la otra en cuanto a su nivel de importancia con respecto a la influencia que tienen en la mejora del funcionamiento de la PTAP, la influencia de mejora en el funcionamiento está dada bajo criterios del acueducto.

**4.1.2.2 Matriz de priorización.** Se procede a construir una matriz de priorización de Holmes, con la cual se establece la posición de cada una de las acciones propuestas según la importancia que tienen para la mejora del funcionamiento de la PTAP bajo los criterios mencionados anteriormente, en la tabla 6 se observan los valores en porcentaje para cada uno de los criterios los cuales ya están definidos por la estructura de la matriz.

<sup>71</sup> VEINTIMILLA, Ronald y VEINTIMILLA, Santiago. Plan estratégico de mejoramiento del programa de medicina prepagada Ecuasanitas S.A, Basado en la satisfacción del cliente, en el distrito metropolitano de Quito. Trabajo de grado ingenieros comerciales. Quito.: Universidad Politécnica Salesiana sede Quito. 2014. 214.p

Tabla 6. Puntaje de los criterios de selección.

<b>Criterios de selección</b>	<b>Puntaje</b>
Más importante	1
Igual de importante	0,5
Menos importante	0

Fuente: Elaboración propia

La calificación para cada acción de mejora se realiza de acuerdo a las necesidades actuales del acueducto y el impacto que tienen estas en la solución de problemas para el funcionamiento de la PTAP, siendo las más importantes aquellas que necesiten ser implementadas de forma inmediata y menos importante las que puedan ser efectuadas a largo plazo porque aunque solucionan problemas del acueducto estos no son considerados actualmente como críticos para el buen funcionamiento de la planta, además se tiene en cuenta la viabilidad financiera que tiene el acueducto para la implementación de dichas acciones.

La lectura de la matriz (ver tabla 7) se realiza de izquierda a derecha, donde las acciones de mejora se encuentran ubicadas tanto en la parte superior como en la parte lateral izquierda confrontándose una con otra para asignar el puntaje mencionado anteriormente debido a su nivel de importancia, para finalmente obtener un orden de priorización y de esta forma establecer cuáles

Tabla 7. Matriz de priorización para las acciones de mejora propuestas

Acciones de mejora	Adquirir nuevo sistema de captación	Realizar calibración de vertederos	Desarrollar procedimiento para método de jarras	Adquirir equipos y material de lab.	Realizar caracterizaciones agua del afluente	Realizar ajuste inicial de pH	Establecer dosificación coagulante	Colocar bomba dosificadora coagulante	Adicionar sistema de agitación	Cambiar floculador tipo Alabama existente	Adicionar al proceso floculante	Establecer dosificación desinfectante	Eliminar la práctica de pre-cloración	Establecer dosificación neutralizante	Adquirir tanque de almacenamiento para agua cruda.	Total	Posición
Adquirir nuevo sistema de captación	0.5	0	0	0	0.5	0	0	0	0.5	0.5	0	0	0	0	0.5	2.5	4
Realizar calibración de vertederos	1	0.5	0.5	0.5	1	0	0	0.5	1	1	0	0	0.5	0	1	7.5	3
Desarrollar un procedimiento para método de jarras	1	1	0.5	1	1	1	0.5	1	1	1	1	0.5	1	0.5	1	13	1
Adquirir equipos y material de laboratorio	1	0.5	0.5	0.5	1	0	0	0.5	1	1	0	0	0.5	0	1	7.5	3
Realizar caracterizaciones al agua del afluente	0.5	0	0	0	0.5	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0.5	2.5	4
Realizar ajuste inicial de pH	1	1	1	1	1	0.5	0	1	1	1	0.5	0	1	0	1	11	2
Establecer dosificación coagulante	1	1	1	1	1	0.5	0.5	1	1	1	1	0.5	1	0.5	1	13	1

Fuente: Elaboración propia

Tabla 7. Continuación

Acciones de mejora	Adquirir nuevo sistema de captación	Realizar calibración de vertederos	Desarrollar procedimiento para método de jarras	Adquirir equipos y material de lab.	Realizar caracterizaciones agua del afluente	Realizar ajuste inicial de pH	Establecer dosificación coagulante	Colocar bomba dosificadora coagulante	Adicionar sistema de agitación	Cambiar floculador tipo Alabama existente	Adicionar al proceso floculante	Establecer dosificación desinfectante	Eliminar el proceso de pre-cloración	Establecer dosificación neutralizante	Adquirir tanque de almacenamiento para agua cruda.	Total	Posición
Colocar bomba dosificadora coagulante	1	0.5	0.5	0.5	1	0	0	0.5	1	1	0	0	0.5	0	1	7.5	3
Adicionar sistema de agitación	0.5	0	0	0	1	0	0	0	0.5	0	0	0	0	0	0.5	2.5	4
Cambiar floculador tipo Alabama existente	0.5	0	0	0	0.5	0	0	0	0	0.5	0.5	0	0	0	0.5	2.5	4
Adicionar al proceso un floculante	1	1	1	1	1	0.5	0	1	1	1	0.5	0	1	0	1	11	2
Establecer la dosificación desinfectante	1	1	1	1	1	0.5	0.5	1	1	1	1	0.5	1	0.5	1	13	1
Eliminar la práctica de pre-cloración	1	0.5	0.5	0.5	1	0	0	0.5	1	1	0	0	0.5	0	1	7.5	3
Establecer la dosificación de neutralizante	1	1	1	1	1	0.5	0.5	1	1	1	1	0.5	1	0.5	1	13	1
Adquirir un tanque de almacenamiento para agua cruda.	0.5	0	0	0	1	0	0	0	0	0.5	0	0	0	0	0.5	2.5	4

Fuente: Elaboración propia

**4.1.2.3 Priorización de las acciones de mejora.** De acuerdo con los resultados obtenidos con el desarrollo de la matriz de priorización de Holmes, donde se evaluó la importancia para cada una de las acciones de mejora propuestas, se obtiene el siguiente orden de importancia resumido en la tabla 8.

Tabla 8. Orden de importancia para las acciones de mejora propuestas

Posición	Acciones de mejora
1	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Establecer dosificación del coagulante por medio del test de jarras</li> <li>• Establecer dosificación del desinfectante por medio del test de jarras</li> <li>• Establecer la dosificación del neutralizante por medio del test de jarras</li> </ul>
2	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Realizar ajuste inicial de pH</li> </ul>
3	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Adicionar al proceso un floculante</li> <li>• Realizar calibración de vertederos</li> <li>• Adquirir equipos y material de laboratorio</li> <li>• Colocar bomba dosificadora de coagulante</li> </ul>
4	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Eliminar la práctica de pre-cloración</li> <li>• Cambiar el sistema de captación</li> <li>• Realizar caracterizaciones al agua del afluente</li> <li>• Adicionar sistema de agitación</li> <li>• Cambiar el floculador tipo Alabama existente</li> <li>• Adquirir un tanque de almacenamiento para agua cruda</li> </ul>

Fuente: Elaboración propia

Según las posiciones obtenidas es posible observar que las acciones de mayor importancia para la mejora en el funcionamiento de PTAP corresponden a establecer las dosificaciones de los reactivos por medio del procedimiento para el método de jarras y lo cual ya se había observado en el capítulo de diagnóstico, seguido estos se tiene en segundo orden de importancia las acciones que tienen que ver con la inclusión de nuevos procesos como ajuste inicial de pH y utilización de floculante, en la tercera posición se tienen las acciones relacionadas con adquisición de equipos y materiales faltantes, además cambios puntuales en el desarrollo de operaciones del proceso; finalmente para la última posición están las acciones de cambio o adición de equipos y realización de caracterización del agua del afluente.

## 4.2 ACCIONES DE MEJORA SELECCIONADAS

De acuerdo con el orden de importancia obtenido mediante la matriz de priorización a las acciones de mejora, se desarrollan las acciones que tienen influencia directa en el funcionamiento de la PTAP, dando solución a los problemas críticos actualmente existentes en cada una de las etapas de proceso. Por esto para efectos del desarrollo de este proyecto se seleccionan aquellas acciones que se encuentran en las tres primeras posiciones de importancia, dejando las acciones consideradas de menor importancia (posición 4) como recomendaciones finales del proyecto, esto porque no son consideradas indispensables teniendo en cuenta costos y la viabilidad en cuanto a la infraestructura actual del acueducto. A manera de resumen se presenta la tabla 9 en la cual se muestran las acciones de mejora a desarrollar.

Tabla 9. Acciones de mejora a desarrollar

Posición	Acción de mejora
1	<ul style="list-style-type: none"><li>• Establecer dosificación del coagulante por medio del test de jarras</li><li>• Establecer dosificación del desinfectante por medio del test de jarras</li><li>• Establecer la dosificación del neutralizante por medio del test de jarras</li></ul>
2	<ul style="list-style-type: none"><li>• Incluir etapa para ajuste inicial de pH</li><li>• Adicionar un floculante al proceso</li></ul>
3	<ul style="list-style-type: none"><li>• Realizar calibración de vertederos</li><li>• Realizar procedimiento para método de jarras</li><li>• Adquirir equipos y material de laboratorio</li><li>• Adquirir bombas dosificadoras</li><li>• Eliminar la práctica de pre-cloración</li></ul>

Fuente: Elaboración Propia

## 4.3 ESPECIFICACIONES DE LAS ACCIONES DE MEJORA

Con base en la selección de las acciones de mejora a implementar se observa que éstas consisten en realizar cambios operativos y técnicos los cuales se presentan en seguida.

**4.3.1 Cambios operativos.** Los cambios operativos hacen referencia a las modificaciones de la operatividad actual de la PTAP, como los productos químicos utilizados y las etapas desarrolladas para el proceso de potabilización, por esto se incluyen las dosificaciones de los reactivos encontradas en el desarrollo experimental.

**4.3.1.1 Establecer dosificaciones de los reactivos.** A partir de la matriz realizada (Ver tabla 7) en donde se identificaron como acciones de mayor importancia las dosificaciones del coagulante ( $Al_2(SO_4)_3$ ), del desinfectante ( $Ca(ClO)_2$ ) y del neutralizante ( $Ca(OH)_2$ ) debido a que afectan directamente el funcionamiento de la PTAP se propone una metodología experimental en la que se lleva a cabo el procedimiento de prueba de jarras (Figura 19) que según la norma NTC 3903 se efectúa para determinar los productos químicos, las dosificaciones y las condiciones requeridas para lograr resultados óptimos por medio de los procesos de coagulación-floculación y sedimentación que se llevan a cabo en la potabilización del agua, además se realiza la experimentación incluyendo Lipesa 1569 como floculante debido a que cumplió de una mejor manera la función de promover una rápida precipitación de los coágulos.

Figura 19. Prueba de jarras realizada en el laboratorio



Fuente: Elaboración propia

### Prueba de jarras #1

La tabla 10 resume la combinación y los resultados para la primera prueba ejecutada para un volumen de 500 ml de agua cruda.

Tabla 10. Resultados prueba de jarras #1

Propiedades	Jarra 1	Jarra 2	Jarra 3	Jarra 4
pH inicial	4,5	4,5	4,5	4,5
Turbiedad inicial (NTU)	6	6	6	6
Conductividad inicial ( $\mu S/cm$ )	67,9	67,9	67,9	67,9
Cal al 10% (mg/L)	200	20	20	40
pH <sub>(1)</sub>	11	8	8	9
Sulfato de Aluminio al 5% (mg/L)	—	15	—	—

Fuente: Elaboración propia

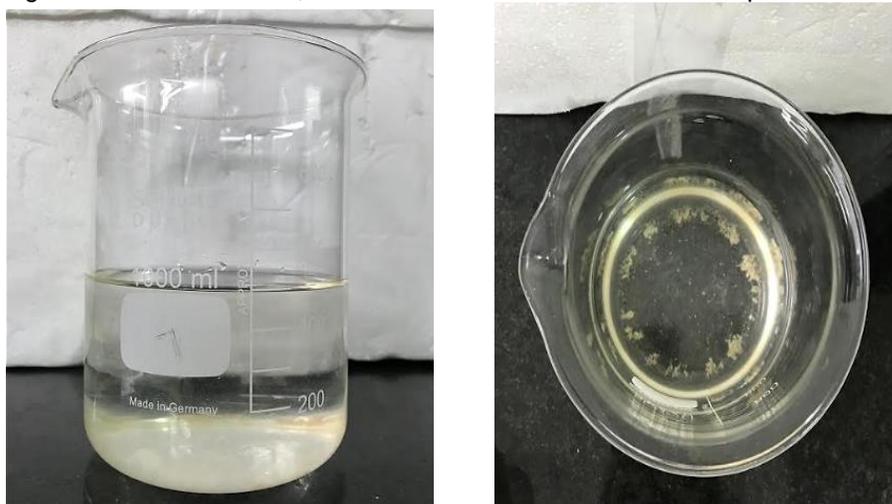
Tabla 10. Continuación

Propiedades	Jarra 1	Jarra 2	Jarra 3	Jarra 4
pH <sub>(2)</sub>	—	7	—	—
Sulfato de Aluminio al 1% (mg/L)	—	—	3	—
pH <sub>(2)</sub>	—	—	7	—
Hipoclorito de calcio al 1% (mg/L)	—	2	2	—
pH <sub>(3)</sub>	—	7	7	—
Turbiedad (NTU)	—	3,67	4	—
Conductividad (μS/cm)	—	163	162	—

Fuente: Elaboración propia

En la figura 20 se muestra la formación de los flocs después de la dosificación del sulfato de aluminio al 5% en peso correspondiente a la jarra 2.

Figura 20. Muestra con 0,3 mL de sulfato de aluminio al 5% en peso.



Fuente: Elaboración propia

En la figura 21 se muestra la formación de los flocs después de la dosificación del sulfato de aluminio al 1% en peso que corresponde a la jarra 3.

Figura 21. Muestra con 0,3 mL de sulfato de aluminio al 1% en peso.



Fuente: Elaboración propia

Para la primera prueba de jarras se tomaron 4 muestras de 500 mL de agua cruda a las cuales se les agregaron diferentes dosis de cal ( $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ) de 200, 20, 20 y 40 mg/L respectivamente. Esto se llevó a cabo con el fin de aumentar el pH hasta el rango de solubilidad del coagulante utilizado sulfato de aluminio ( $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ ) entre 6.5 a 9.0 unidades de pH para agua cruda donde ocurre la máxima precipitación de los coágulos.<sup>60</sup> Partiendo de este principio se toman las jarras 2 y 3 debido a que cumplen esta condición llegando a un  $\text{pH}_{(1)}$  de 8<sup>60</sup> para continuar con la dosificación del coagulante que al ser de tipo metálico baja el índice de pH y es efectivo para llegar al valor adecuado del parámetro de turbiedad. En la jarra 2 el sulfato de aluminio fue dosificado con una concentración al 5% p/p en una dosis de 15 mg/L y en la jarra 3 el sulfato de aluminio fue dosificado con una concentración al 1% p/p en una dosis de 3 mg/L.

Como resultado se puede observar en las figuras 20 y 21 que el sulfato de aluminio al 5% p/p logró formar mayor cantidad de coágulos, que al sedimentar disminuyeron la turbiedad del agua de un valor de 6 NTU a 4,5 NTU con respecto a la dosificación al 1% p/p que disminuyó la turbiedad de un valor de 6 NTU a 5 NTU, es importante resaltar que ambas jarras fueron llevadas a un  $\text{pH}_{(2)}$  de 7 unidades de pH teniendo que la desinfección con cloro es más efectiva a este valor de  $\text{pH}^{27}$ .

Posteriormente se filtraron las dos muestras por medio de un embudo con papel de filtro (Figura 22) esto es posible puesto que el diámetro de partícula de los coágulos formados es muy pequeño. Por último se dosifico hipoclorito de calcio ( $\text{Ca}(\text{ClO})_2$ ) al 1% p/p en una dosis de 2 mg/L arrojando como valores finales un  $\text{pH}_{(3)}$  de 7 unidades de pH, turbiedad de 3,67 NTU y conductividad de 163  $\mu\text{S}/\text{cm}$  para la jarra 2; por su parte para la jarra 3, se tienen valores cercanos de pH y conductividad, pero la turbiedad es de 4 NTU. Estos valores en las propiedades finales del agua

después del tratamiento de potabilización indican que cumple con los valores requeridos de pH para consumo humano, respecto a la disminución de turbiedad indica que hubo un porcentaje de remoción del 40% de partículas sólidas presentes en el agua y cuenta con una conductividad baja lo que representa que hay poca concentración de iones en solución.

$$\% \text{Remoción turbiedad jarra 2: } \frac{6 - 3,67}{6} * 100 = 40\%$$

Figura 22. Sistema de filtración utilizado en las pruebas de jarras.



Fuente: Elaboración propia

La muestra de mejor desempeño en cuanto a la turbiedad (jarra 2) fue enviada al laboratorio Unid salud S.A.S en el mes de marzo para la realización de los análisis microbiológicos y fisicoquímicos con el fin de obtener una caracterización con los resultados para los parámetros requeridos por la norma. Estos se pueden observar en la tabla 11 presentada a continuación.

Tabla 11. Parámetros de calidad de la muestra tratada en laboratorio

Características	Unidades	Resultado	Límite permitido Agua potable
pH	UNIDADES	8.25	6.5 - 9.0
Color	UPC	9	15
Turbiedad	NTU	2.01	2.0
Hierro Total	mg Fe/L	0.04	0.3
Aluminio	mg Al/L	0.05	0.2
Cloro residual libre	mg Cl/L	0.09	0.3 - 2
Sulfatos	mg SO <sub>4</sub> /L	15	250
Cloruros	mg/L de Cl	10	250
Nitratos	mg NO <sub>3</sub> /L	1	10
Nitritos	mg NO <sub>2</sub> /L	0.1	0,1
Dureza Total	mg CaCO <sub>3</sub> /L	60	300
Alcalinidad Total	mg CaCO <sub>3</sub> /L	20	200
Coliformes totales	UFC/100ml	4	0
E.Coli	UFC/100ml	0	0

Fuente: Resultados caracterización por lab. Unid salud S.A.S

En el informe recibido por parte del laboratorio (Anexo D) se muestra que acorde con la Resolución 2115 de 2007 el agua por concepto Físico Químico no cumple, siendo la causa de no Aceptabilidad la turbiedad y el cloro residual y por concepto microbiológico no cumple por presencia de coliformes totales, entrando a la clasificación IRCA (Anexo R) en un 50% lo que indica un nivel de riesgo ALTO para el consumo humano. Con base en estos resultados finales de caracterización que incumplen la norma se puede inferir que la causa principalmente es debido a que en la práctica de laboratorio se dosifico hipoclorito de calcio en baja cantidad lo cual no fue suficiente para combatir las bacterias patógenas presentes en el agua e impidiendo obtener la presencia mínima requerida de cloro residual, es decir, la cantidad de cloro adicionada al agua no fue suficiente para suplir la demanda de cloro que el agua requería con respecto a sus características químicas y físicas específicas.

## Prueba de jarras #2

La tabla 12 resume la combinación y los resultados para la segunda prueba ejecutada para un volumen de 500 ml de agua cruda.

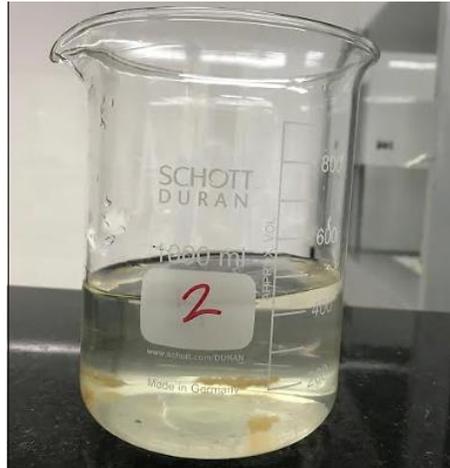
Tabla 12. Resultados prueba de jarras #2

Propiedades	Jarra 5	Jarra 6	Jarra 7	Jarra 8
pH inicial	5,5	5,5	5,5	5,5
Turbiedad inicial (NTU)	13,39	13,39	13,39	13,39
Conductividad inicial ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ )	69,4	69,4	69,4	69,4
Cal al 1% (mg/L)	55	52	52	52
pH <sub>1</sub>	9	8,5	8,5	8,5
Conductividad ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ )	186,8	150,8	—	—
Sulfato de Aluminio al 1% (mg/L)	40	40	40	40
pH <sub>(2)</sub>	5	5	5	5
Turbiedad (NTU)	31,44	19,53	—	—
Conductividad ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ )	152,2	125,1	—	—
Lipasa 1569 0,8 g/L (mg/L)	0,16	0,16	0,24	0,24
Hipoclorito de calcio al 1% (mg/L)	60	60	60	60
pH <sub>(3)</sub>	7	7	7	7
Turbiedad (NTU)	4,3	4,2	3,97	3,97

Fuente: Elaboración propia

En la figura 23 se muestra la formación de los flocs después de la dosificación del sulfato de aluminio al 1% en peso y en la figura 24 se muestra la formación de los flocs después de la dosificación del Lipasa 1569 a 800 ppm correspondiente a la jarra 5.

Figura 23. Muestra con 4 mL de sulfato de aluminio al 1% en peso



Fuente: Elaboración propia

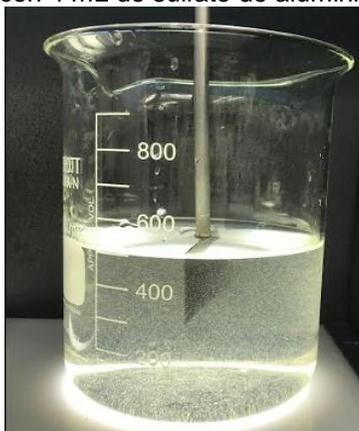
Figura 24. Muestra con 0,2 mL de Lipesa 1569 a 800 ppm.



Fuente: Elaboración propia

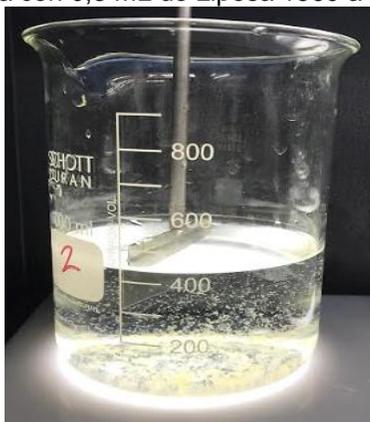
En la figura 25 se muestra la formación de los coágulos después de la dosificación del sulfato de aluminio al 1% en peso y en la figura 26 se muestra la formación de los flocs después de la dosificación del Lipesa 1569 a 800 ppm que corresponde a la jarra 7.

Figura 25. Muestra con 4 mL de sulfato de aluminio al 1% en peso.



Fuente: Elaboración propia

Figura 26. Muestra con 0,3 mL de Lipesa 1569 a 800 ppm.



Fuente: Elaboración propia

### Prueba de jarras #3

La tabla 13 resume la combinación y los resultados para la tercera prueba ejecutada para un volumen de 500 ml de agua cruda.

Tabla 13. Resultados prueba de jarras #3

Propiedades	Jarra 9	Jarra 10	Jarra 11	Jarra 12
pH inicial	5,5	5,5	5,5	5,5
Turbiedad inicial (NTU)	40,25	40,25	40,25	40,25
Conductividad inicial ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ )	39	39	39	39
Cal al 1% (mg/L)	30	30	30	30
pH <sub>(1)</sub>	9	9	9	9
Sulfato de Aluminio al 1% (mg/L)	40	40	40	40
pH <sub>(2)</sub>	5	5	5	5
Lipesa 1569 0,8 g/L (mg/L)	1,04	1,04	1,04	1,04

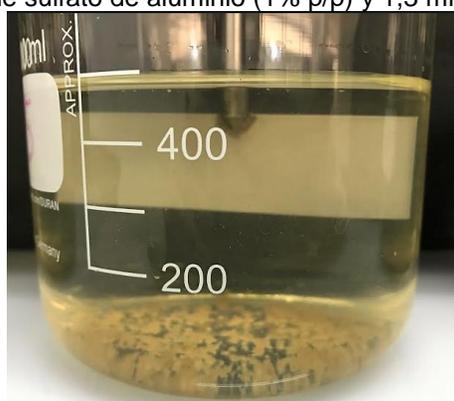
Fuente: Elaboración propia

Tabla 13. Continuación

Propiedades	Jarra 9	Jarra 10	Jarra 11	Jarra 12
Turbiedad (NTU)	28,61	28,61	28,61	28,61
Hipoclorito de calcio al 1% (mg/L)	30	15	11	20
Cal al 1% (mg/L)	8	8	9	9
pH <sub>(3)</sub>	7,5	7,5	7,5	7,5
Turbiedad (NTU)	1,4	0,12	0,39	0,32
Conductividad (μS/cm)	150	120	124	120

Fuente: Elaboración propia

Figura 27. Muestra con 4 ml de sulfato de aluminio (1% p/p) y 1,3 ml Lipesa 1569 (800 ppm)



Fuente: Elaboración propia

Con base en los resultados obtenidos a partir de la primera prueba de jarras se opta por llevar a cabo una segunda y tercera prueba de jarras en donde el procedimiento inicia dosificando cal ( $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ) al 1% p/p en dosis de 55, 52 y 30 mg/L logrando aumentar el valor del pH inicial a un pH<sub>(1)</sub> en las muestras hasta 9 y 8.5 unidades<sup>60</sup>, posteriormente se dosifica el sulfato de aluminio ( $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ ) al 1% p/p con una dosis de 40 mg/L disminuyendo el valor del pH<sub>(1)</sub> de las jarras 5 a la 12 hasta un pH<sub>(2)</sub> de 5 unidades.

En estas prácticas a diferencia de la anterior se hace el uso de un floculante catiónico conocido con el nombre de lipesa 1569 que permite desestabilizar y unir las sustancias coloidales presentes. Los coloides son sólidos finamente divididos que no sedimentan por la simple acción de gravedad, pero que pueden removerse del agua mediante el uso de un coagulante metálico<sup>28</sup>. Gracias a este principio se puede observar en las figuras 23, 24, 25, 26 y 27 que hubo una mejor formación de coágulos y por ende una reducción de la turbiedad en el agua como se puede observar en la tabla 13 que disminuyó de un valor de 40,25 NTU a un valor de 28,61 NTU, posteriormente fueron filtradas estas jarras (figura 22) y para las jarras 5 a la 8 se dosificaron hasta 60 mg/L de hipoclorito de calcio ( $\text{Ca}(\text{ClO})_2$ ) al 1% p/p llevando el valor del pH<sub>(2)</sub> de 5 hasta un pH<sub>(3)</sub> de 7 unidades. Esta muestra fue descartada

debido a que el agua arrojó un valor de cloro residual de 5 mg/L sobrepasando en dos unidades la norma establecida para este valor en la Resolución 2115 de 2007<sup>48</sup>.

Por otro lado para las jarras 9 a la 12 al momento de realizar la dosificación del hipoclorito de calcio se opta en hacerlo con intervalos de dosificación de 30, 15, 11 y 20 mg/L asegurando que el valor del cloro residual cumpla con la norma. Para esta tercera prueba de jarras se agrega un último paso dosificando de nuevo cal (Ca(OH)<sub>2</sub>) al 1% p/p, a una dosis de 8 mg/L lo que permite aumentar el valor de pH<sub>(2)</sub> a un valor de pH<sub>(3)</sub> de 7,5 unidades en vez de usar nuevamente el hipoclorito de calcio como neutralizante.

$$\%Remoción\ turbiedad\ jarra\ 11: \frac{40,25 - 0,39}{40,25} * 100 = 99\%$$

Posteriormente la muestra de la jarra 11 que presentó un porcentaje de remoción del 99% fue enviada al laboratorio Unid salud S.A.S en el mes de mayo para la realización de una segunda caracterización de aspectos fisicoquímicos y microbiológicos, cabe resaltar que para esta última caracterización por disminución de costos solo fueron solicitados los análisis correspondientes a los parámetros de interés del proyecto mencionados en el primer capítulo los cuales corresponden a los inspeccionados mensualmente por la secretaria del municipio, además los parámetros adicionalmente analizados en la primera caracterización cumplen a cabalidad con los rangos establecidos por la norma. Los resultados de la caracterización se pueden observar en la tabla 14 presentada a continuación.

Tabla 14. Parámetros de calidad de la muestra tratada en laboratorio

Características	Unidades	Resultado	Límite permitido Agua potable
pH	UNIDADES	7	6.5 - 9.0
Color	UPC	7	15
Turbiedad	NTU	0,39	2.0
Hierro Total	mg Fe/L	0	0.3
Aluminio	mg Al/L	0	0.2
Cloro residual libre	mg Cl/L	1,1	0.3 - 2
Coliformes totales	UFC/100ml	0	0
E.Coli	UFC/100ml	0	0

Fuente: Resultados caracterización por lab. Unid salud S.A.S

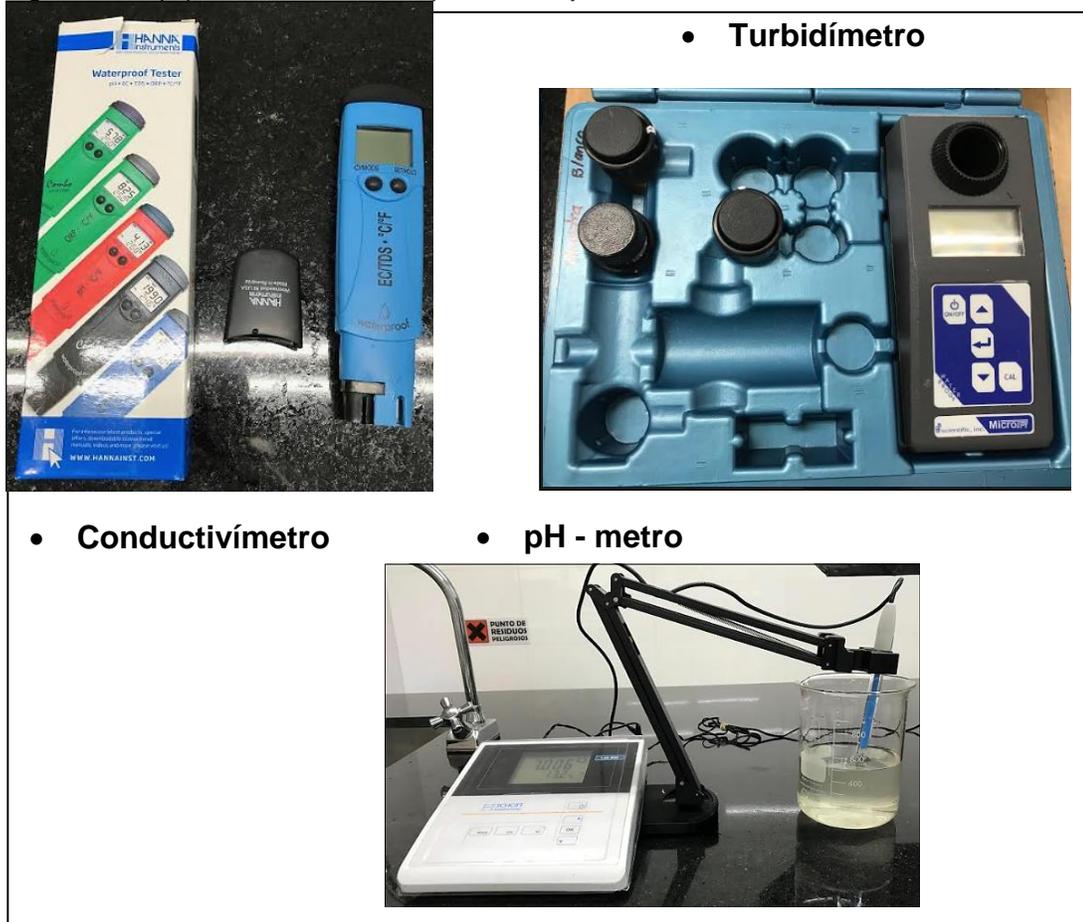
En el informe recibido por parte del laboratorio (Anexo E) se muestra que acorde con la Resolución 2115 de 2007 el agua por conceptos Físico Químico y microbiológico CUMPLE entrando a la clasificación de riesgo IRCA (Anexo R) en un 0% lo que indica un nivel de SIN RIESGO para el consumo humano.

A partir de esta última prueba de jarras se concluye que las dosificaciones de los reactivos establecidas cumplieron satisfactoriamente con el proceso de

potabilización, puesto que con estas se logró la precipitación total del aluminio entrando en la concentración final requerida por la norma, de esta forma dando solución al problema existente y repetitivo de concentración final de aluminio superior a la establecida y a su vez cumpliendo a cabalidad con los demás requerimientos de la Resolución 2115 de 2007 que garantiza agua potable de la mejor calidad para el suministro de los usuarios.

La figura 28 nos muestra los equipos utilizados en el laboratorio que permitieron llevar a cabo cada una de las pruebas de jarras.

Figura 28. Equipos utilizados en las pruebas de jarras



Fuente: Elaboración propia

• **Demanda de cloro.** En el proceso de potabilización de la PTAP usualmente para la etapa de desinfección se utiliza cloro gaseoso, no obstante, en los momentos en los cuales no se cuenta con energía eléctrica es utilizado hipoclorito de calcio (cloro granulado). Para efectos prácticos de laboratorio como se explicó anteriormente se usa en las pruebas experimentales el Hipoclorito de calcio al 1% p/p como compuesto desinfectante. De acuerdo a los resultados obtenidos se

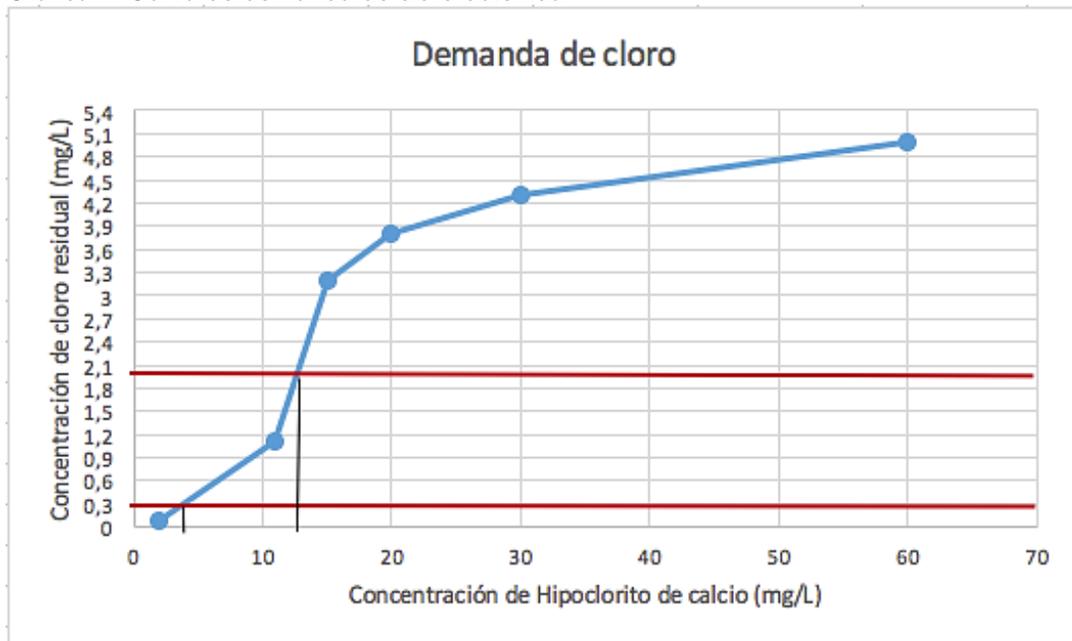
construye la curva de demanda de cloro (Ver gráfica 7) donde fueron analizadas las concentraciones de cloro residual en función de las dosificaciones realizadas las jarras 2, 7, 9, 10, 11 y 12 que son expresadas en mg/L. En la tabla 15 se pueden observar los resultados obtenidos.

Tabla 15. Concentración de cloro residual

Concentración de Hipoclorito de calcio (mg/L)	Concentración de Cloro residual (mg/L)
2	0.09
11	1.1
15	3.2
20	3.8
30	4.3
60	5

Fuente: Elaboración propia

Gráfica 7. Curva de demanda de cloro obtenida



Fuente: Elaboración propia

- Límites permitidos por la Resolución 2115 de 2007<sup>48</sup>
- Dosis mínima y máxima de Hipoclorito de calcio al 1% p/p en ppm

Con base en los resultados se muestra en la tabla 16 la dosis óptima de cloro encontrada en las pruebas experimentales desarrolladas respecto a las condiciones de la muestra de agua analizada. Esta dosificación debe estar entre 4 ppm y 13 ppm para prevenir la contaminación microbiana teniendo como referencia los límites establecidos por la Resolución 2115 de 2007.

Tabla 16. Resultados curva de demanda de cloro

Dosis mínima de Hipoclorito de calcio al 1% p/p en mg/L.	4
Dosis óptima de Hipoclorito de calcio al 1% p/p en mg/L.	11
Dosis máxima de Hipoclorito de calcio al 1% p/p en mg/L.	13

Fuente: Elaboración propia

A partir de los resultados obtenidos mediante las pruebas experimentales se presentan las dosificaciones para cada uno de los reactivos involucrados en el proceso, las cuales garantizan una completa potabilización del agua y además el cumplimiento de los requerimientos de la calidad final exigidos por la Resolución 2115 de 2007.

- **Coagulante.** A partir del ensayo de jarras se encontró que la mayor formación de las partículas coloidales en el agua a tratar fue a una dosificación de 40 ppm de sulfato de aluminio tipo A por ende se sugiere aplicar esta cantidad de coagulante al tratamiento de agua desarrollado en la PTAP. Sin embargo, es necesario validar esta dosis para el agua cruda por lo menos una vez al día por medio de la prueba de jarras.

Partiendo del caudal de operación de las dos plantas el cual es de 54.000 L/h se determinó la cantidad de sulfato de aluminio tipo A (ver ficha técnica en anexo F) necesaria en kg para un mes de operación.

$$\text{Coagulante} \frac{\text{kg}}{\text{mes}} = \frac{54.000 \text{ L}}{\text{h}} * \frac{40 \text{ g}}{\text{m}^3} * \frac{1 \text{ m}^3}{1000 \text{ L}} * \frac{1 \text{ kg}}{1000 \text{ g}} * \frac{24 \text{ h}}{1 \text{ día}} * \frac{30 \text{ días}}{1 \text{ mes}} : 1.555,2 \frac{\text{kg}}{\text{mes}}$$

$$\text{Coagulante} \frac{\text{kg}}{\text{día}} = \frac{1.555,2 \text{ kg}}{\text{mes}} * \frac{1 \text{ mes}}{30 \text{ días}} : 51,84 \frac{\text{kg}}{\text{día}}$$

El caudal de aplicación del sulfato de aluminio se determinó utilizando la densidad de este producto la cual es 2,67 kg/L

$$\text{Coagulante} \frac{\text{L}}{\text{h}} = \frac{1.555,2 \text{ kg}}{\text{mes}} * \frac{1 \text{ L}}{2,67 \text{ kg}} * \frac{1 \text{ mes}}{30 \text{ días}} * \frac{1 \text{ día}}{24 \text{ h}} : 0,809 \frac{\text{L}}{\text{h}}$$

$$\text{Coagulante} \frac{\text{L}}{\text{día}} = \frac{0,809 \text{ L}}{\text{h}} * \frac{24 \text{ h}}{1 \text{ día}} : 19,416 \frac{\text{L}}{\text{día}}$$

A continuación se muestran las cantidades de sulfato de aluminio a dosificar para la planta compacta y para la planta semicompacta.

- Planta compacta

$$\text{Coagulante} \frac{L}{\text{día}} = \frac{\frac{864.000 L}{\text{día}} * \frac{19,416 L}{\text{día}}}{\frac{1'296.000 L}{\text{día}}} : 12,944 \frac{L}{\text{día}}$$

- Planta semicompacta

$$\text{Coagulante} \frac{L}{\text{día}} = \frac{\frac{432.000 L}{\text{día}} * \frac{19,416 L}{\text{día}}}{\frac{1'296.000 L}{\text{día}}} : 6,472 \frac{L}{\text{día}}$$

Según información suministrada por la empresa (ver anexo G) el sulfato de aluminio tipo A tiene un costo por kg de \$1.500

$$\text{Costo coagulante} \frac{\$}{\text{mes}} = \frac{1.555,2 \text{ kg}}{\text{mes}} * \frac{\$1.500}{\text{kg}} : \frac{\$2'332.800}{\text{mes}}$$

- **Floculante.** A partir del ensayo de jarras se encontró que a partir de una dosificación de 1,04 ppm de lipesa 1569 (ver ficha técnica en anexo H) se presentó una excelente formación de flocs. Esta afirmación es válida debido a que se observó el tamaño del flóculo producido y se evaluó cualitativamente según sus características. Su tamaño puede expresarse según el índice de Willcomb, que se incluye en la tabla 17 para el cual la determinación puede ser subjetiva y depende del criterio del observador<sup>72</sup>. Lo anterior también contribuyó a que se presentara un alto porcentaje de remoción de turbiedad, por ende se sugiere aplicar esta cantidad de floculante al tratamiento de agua. Sin embargo es necesario validar esta dosis para el agua cruda por lo menos una vez al día por medio de la prueba de jarras.

Tabla 17. Índice de Willcomb

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

Fuente: VARGAS, Lidia, Tratamientos de agua para consumo humano. Capítulo 11. [en línea], 2004. [citado 05 junio 2018]. Disponible en Internet: <http://<bibliotecavirtual.minam.gob.pe/biam/bitstream/id/5657/BIV00012.pdf>>

<sup>72</sup> VARGAS, Lidia, Tratamientos de agua para consumo humano. Criterios para la selección de los procesos y de los parámetros óptimos de las unidades. Capítulo 11. [en línea], 2004. [citado 05 junio 2018]. Disponible en Internet: <http://bibliotecavirtual.minam.gob.pe/biam/bitstream/id/5657/BIV00012.pdf>

Partiendo del caudal de operación de las dos plantas el cual es de 54.000 L/h se determinó la cantidad de lipesa 1569 necesaria en kg para un consumo mensual.

$$\text{Floculante} \frac{\text{kg}}{\text{mes}} = \frac{54.000 \text{ L}}{\text{h}} * \frac{1,04 \text{ g}}{\text{m}^3} * \frac{1 \text{ m}^3}{1000 \text{ L}} * \frac{1 \text{ kg}}{1000 \text{ g}} * \frac{24 \text{ h}}{1 \text{ día}} * \frac{30 \text{ días}}{1 \text{ mes}} : \mathbf{40,435} \frac{\text{kg}}{\text{mes}}$$

$$\text{Floculante} \frac{\text{kg}}{\text{día}} = \frac{40,435 \text{ kg}}{\text{mes}} * \frac{1 \text{ mes}}{30 \text{ días}} : \mathbf{1,348} \frac{\text{kg}}{\text{día}}$$

El caudal de aplicación del lipesa 1569 se determinó utilizando la densidad de este producto la cual es 0,8 kg/L

$$\text{Floculante} \frac{\text{L}}{\text{h}} = \frac{40,435 \text{ kg}}{\text{mes}} * \frac{1 \text{ L}}{0,8 \text{ kg}} * \frac{1 \text{ mes}}{30 \text{ días}} * \frac{1 \text{ día}}{24 \text{ h}} : \mathbf{0,0702} \frac{\text{L}}{\text{h}}$$

$$\text{Floculante} \frac{\text{L}}{\text{día}} = \frac{0,0702 \text{ L}}{\text{h}} * \frac{24 \text{ h}}{1 \text{ día}} : \mathbf{1,684} \frac{\text{L}}{\text{día}}$$

A continuación se muestran las cantidades de lipesa 1569 a dosificar para la planta compacta y para la planta semicompacta.

- Planta compacta

$$\text{Floculante} \frac{\text{L}}{\text{día}} = \frac{\frac{864.000 \text{ L}}{\text{día}} * \frac{1,684 \text{ L}}{\text{día}}}{\frac{1'296.000 \text{ L}}{\text{día}}} : \mathbf{1,123} \frac{\text{L}}{\text{día}}$$

- Planta semicompacta

$$\text{Floculante} \frac{\text{L}}{\text{día}} = \frac{\frac{432.000 \text{ L}}{\text{día}} * \frac{1,684 \text{ L}}{\text{día}}}{\frac{1'296.000 \text{ L}}{\text{día}}} : \mathbf{0,561} \frac{\text{L}}{\text{día}}$$

Se realizó la cotización con la Empresa Lipesa del reactivo poliácridamida de alto peso molecular lipesa 1569 (ver anexo I) el cual viene en una presentación de 25 kg con un costo de \$607.500, cada kg tiene un costo unitario de \$24.300

$$\text{Costo floculante} \frac{\$}{\text{mes}} = \frac{40,435 \text{ kg}}{\text{mes}} * \frac{\$24.300}{\text{kg}} : \mathbf{\$982.570,5} \frac{\$}{\text{mes}}$$

- **Desinfectante.** La dosificación del desinfectante se lleva a cabo con el fin de eliminar todos los microorganismos patógenos presentes en el agua, para el cual, la PTAP normalmente utiliza cloro gaseoso (Ver ficha técnica anexo J) con una dosificación establecida. Para efectos prácticos de laboratorio se utilizó cloro granulado (hipoclorito de calcio, ver ficha técnica anexo K) como desinfectante debido a la disponibilidad del reactivo, además teniendo en cuenta que este es utilizado cuando el acueducto no cuenta con energía eléctrica. A continuación se muestran las dosificaciones del cloro gaseoso y del hipoclorito de calcio que cumplen satisfactoriamente con su función desinfectante:

- Para cloro granulado

$$\text{Desinfectante} \frac{\text{kg}}{\text{mes}} = \frac{210.000 \text{ L}}{\text{h}} * \frac{11 \text{ g}}{\text{m}^3} * \frac{1 \text{ m}^3}{1000 \text{ L}} * \frac{1 \text{ kg}}{1000 \text{ g}} * \frac{24 \text{ h}}{1 \text{ día}} * \frac{30 \text{ días}}{1 \text{ mes}} : 1.663,2 \frac{\text{kg}}{\text{mes}}$$

$$\text{Desinfectante} \frac{\text{kg}}{\text{día}} = \frac{1.663,2 \text{ kg}}{\text{mes}} * \frac{1 \text{ mes}}{30 \text{ días}} : 55,44 \frac{\text{kg}}{\text{día}}$$

El caudal de aplicación del hipoclorito de calcio se determinó utilizando la densidad de este producto la cual es 2,35 kg/L

$$\text{Desinfectante} \frac{\text{L}}{\text{h}} = \frac{1.663,2 \text{ kg}}{\text{mes}} * \frac{1 \text{ L}}{2,35 \text{ kg}} * \frac{1 \text{ mes}}{30 \text{ días}} * \frac{1 \text{ día}}{24 \text{ h}} : 0,983 \frac{\text{L}}{\text{h}}$$

$$\text{Desinfectante} \frac{\text{L}}{\text{día}} = \frac{0,983 \text{ L}}{\text{h}} * \frac{24 \text{ h}}{1 \text{ día}} : 23,592 \frac{\text{L}}{\text{día}}$$

Según información suministrada por la empresa (ver anexo G) el cloro granulado tiene un costo por kg de \$12.000

$$\text{Costo desinfectante (granulado)} \frac{\$}{\text{mes}} = \frac{1.663,2 \text{ kg}}{\text{mes}} * \frac{\$12.000}{\text{kg}} : \frac{\$19'958.400}{\text{mes}}$$

- Para cloro gaseoso

$$\text{Cloro gaseoso} \frac{\text{kg}}{\text{día}} = \frac{8 \text{ lb}}{\text{día}} * \frac{0,453592 \text{ kg}}{1 \text{ lb}} : 3,6287 \frac{\text{kg}}{\text{día}}$$

El caudal de aplicación del hipoclorito de calcio se determinó utilizando la densidad de este producto la cual es 0,003214 kg/L

$$\text{Cloro gaseoso} \frac{\text{L}}{\text{h}} = \frac{3,6287 \text{ kg}}{\text{día}} * \frac{1 \text{ L}}{0,003214 \text{ kg}} * \frac{1 \text{ día}}{24 \text{ h}} : 47,0429 \frac{\text{L}}{\text{h}}$$

$$\text{Cloro gaseoso} \frac{L}{\text{min}} = \frac{47,0429 \text{ l}}{\text{día}} * \frac{1 \text{ día}}{24 \text{ h}} * \frac{1 \text{ h}}{60 \text{ minutos}} : 0,0327 \frac{L}{\text{min}}$$

Según información suministrada por la empresa (ver anexo G) el cloro gaseoso en presentación por 68 kg es de \$2'427.600, cada kg tiene un costo unitario de \$7.140

$$\text{Costo desinfectante} \frac{\$}{\text{mes}} = \frac{3,6287 \text{ kg}}{\text{día}} * \frac{30 \text{ días}}{\text{mes}} * \frac{\$7.140}{\text{kg}} : \frac{\$777.267}{\text{mes}}$$

- **Neutralizante.** La dosificación inicial del neutralizante, para el caso es el hidróxido de calcio (cal hidratada, ver ficha técnica en anexo L) se realiza con el fin de llevar el pH del agua a un valor de 9 permitiendo posteriormente que el sulfato de aluminio que se va a dosificar pueda llevar a cabo la disminución del pH puesto que se encuentra en el rango de mayor solubilidad<sup>60</sup> para llevar el pH hasta donde se requiere; esto se pudo verificar mediante las pruebas realizadas en laboratorio para las cuales finalmente se obtuvo un resultado óptimo que cumple con todos los requerimientos de la Resolución 2115 de 2007<sup>48</sup>. Por otro lado se identificó en la prueba de jarras que es necesario de nuevo realizar una dosificación final de cal hidratada para neutralizar el pH del agua ya tratada llevándolo hasta un valor de 7,5. Al realizar las pruebas de laboratorio se observó que al aplicar 39 ppm de hidróxido de calcio para llevar a cabo estos dos procesos en el agua se logra el mejor resultado requerido.

Partiendo del caudal de operación de las dos plantas el cual es de 54.000 L/h más el caudal de salida de esta el cual es 51.509,5 L/h se determinó la cantidad de cal necesaria en kg para un día de operación. Para esto se tuvo en cuenta las cantidades en kg/día utilizados en el ajuste inicial de pH para la planta compacta y la semicompacta y en el ajuste final de pH para el tanque de almacenamiento.

$$\text{Cal} \frac{\text{kg}}{\text{día}} = \frac{25,92 \text{ kg}}{\text{día}} + \frac{12,96 \text{ kg}}{\text{día}} + \frac{11,126 \text{ kg}}{\text{día}} : 50,006 \frac{\text{kg}}{\text{día}}$$

El caudal de aplicación de la cal se determinó utilizando la densidad de este producto la cual es 2,21 kg/L

$$\text{Cal} \frac{L}{h} = \frac{200,03 \text{ kg}}{\text{día}} * \frac{1 \text{ L}}{2,21 \text{ kg}} * \frac{1 \text{ día}}{24 \text{ h}} : 3,771 \frac{L}{h}$$

$$\text{Cal} \frac{L}{\text{día}} = \frac{3,771 \text{ L}}{h} * \frac{24 \text{ h}}{1 \text{ día}} : 90,508 \frac{L}{\text{día}}$$

**Ajuste inicial de pH.** Para el ajuste de pH al inicio del proceso de potabilización de agua se muestra a continuación el caudal de cal requerido para cada una de las plantas compacta y semicompacta.

- Planta compacta

$$Cal \frac{kg}{mes} = \frac{36.000 L}{h} * \frac{30 g}{m^3} * \frac{1 m^3}{1000 L} * \frac{1 kg}{1000 g} * \frac{24 h}{1 día} * \frac{30 días}{1 mes} : 777,6 \frac{kg}{mes}$$

$$Cal \frac{kg}{día} = \frac{777,6 kg}{mes} * \frac{1 mes}{30 días} : 25,92 \frac{kg}{día}$$

El caudal de aplicación de la cal se determinó utilizando la densidad de este producto la cual es 2,21 kg/L

$$Cal \frac{L}{h} = \frac{777,6 kg}{mes} * \frac{1 L}{2,21 kg} * \frac{1 mes}{30 días} * \frac{1 día}{24 h} : 0,489 \frac{L}{h}$$

La siguiente ecuación nos muestra la dosificación que se debe adicionar al caudal de entrada de esta planta.

$$Cal \frac{L}{día} = \frac{0,489 L}{h} * \frac{24 h}{1 día} : 11,736 \frac{L}{día}$$

- Planta semicompacta

$$Cal \frac{kg}{mes} = \frac{18.000 L}{h} * \frac{30 g}{m^3} * \frac{1 m^3}{1000 L} * \frac{1 kg}{1000 g} * \frac{24 h}{1 día} * \frac{30 días}{1 mes} : 388,8 \frac{kg}{mes}$$

$$Cal \frac{kg}{día} = \frac{388,8 kg}{mes} * \frac{1 mes}{30 días} : 12,96 \frac{kg}{día}$$

El caudal de aplicación de la cal se determinó utilizando la densidad de este producto la cual es 2,21 kg/L

$$Cal \frac{L}{h} = \frac{388,8 kg}{mes} * \frac{1 L}{2,21 kg} * \frac{1 mes}{30 días} * \frac{1 día}{24 h} : 0,244 \frac{L}{h}$$

La siguiente ecuación nos muestra la dosificación que se debe adicionar al caudal de entrada de esta planta.

$$Cal \frac{L}{día} = \frac{0,244 L}{h} * \frac{24 h}{1 día} : 5,856 \frac{L}{día}$$

**Ajuste final de pH** Para llevar a cabo la alcalinización que normalmente lleva a cabo la PTAP al final del proceso de potabilización de agua se recomiendan las siguientes cantidades de hidróxido de cal en litros/minuto debido a que esta es dosificada respecto al caudal que va llegando al tanque de almacenamiento y que posteriormente será distribuido.

$$Cal \frac{kg}{mes} = \frac{51509,5 L}{h} * \frac{9 g}{m^3} * \frac{1 m^3}{1000 L} * \frac{1 kg}{1000 g} * \frac{24 h}{1 día} * \frac{30 días}{1 mes} : 333,78 \frac{kg}{mes}$$

$$Cal \frac{kg}{día} = \frac{333,78 kg}{mes} * \frac{1 mes}{30 días} : 11,126 \frac{kg}{día}$$

El caudal de aplicación de la cal se determinó utilizando la densidad de este producto la cual es 2,21 kg/L

$$Cal \frac{L}{h} = \frac{333,78 kg}{mes} * \frac{1 L}{2,21 kg} * \frac{1 mes}{30 días} * \frac{1 día}{24 h} : 0,2098 \frac{L}{h}$$

$$Cal \frac{L}{día} = \frac{0,2098 L}{h} * \frac{24 h}{1 día} : 5,0352 \frac{L}{día}$$

La siguiente ecuación nos muestra la dosificación que se debe adicionar al caudal de entrada al primer tanque de almacenamiento y distribución.

$$Cal \frac{L}{min} = \frac{5,0352 L}{día} * \frac{1 día}{24 h} * \frac{1 h}{60 min} : 0,0035 \frac{L}{min}$$

Según información suministrada por la empresa (ver anexo G) la cal hidratada en presentación por 25 kg es de \$26.250, cada kg tiene un costo unitario de \$1.050

$$Costo \text{ neutralizante} \frac{\$}{mes} = \frac{50,006 kg}{día} * \frac{30 días}{mes} * \frac{\$1.050}{kg} : \frac{\$84.006,3}{mes}$$

**4.3.1.2 Incluir etapa para ajuste inicial de pH.** Para el ajuste inicial de pH es necesario incluir una etapa de alcalinización inicial en la cual se aumenta el pH para el agua del afluente al rango de solubilidad del sulfato de aluminio tipo A (6.5 a 9.0 unidades de pH) donde ocurre la máxima precipitación de los coágulos. Con base en las pruebas de laboratorio realizadas se encontró que el procedimiento en esta etapa es llevar el pH del agua cruda hasta un valor de 9 unidades para las posteriormente etapas de tratamiento, esto porque se observó que a este valor de pH que se encuentra dentro del rango de solubilidad del coagulante, la formación de los coágulos es mejor que para otros valores que se encuentran también dentro de este rango.

La dosificación para esta etapa fue presentada en el punto anterior donde se establecen los valores exactos que deben ser dosificados para el hidróxido de cal (cal hidratada) en el ajuste inicial de pH.

Para el buen desarrollo de esta etapa de proceso es necesario adquirir una bomba dosificadora para la adición de la cal hidratada, las especificaciones de esta se presentan más adelante puesto que es considerado un cambio técnico.

**4.3.1.3 Adicionar un floculante al proceso.** Teniendo en cuenta que actualmente existe un floculador tipo Alabama de 6 cámaras y no es viable un cambio de equipo, por lo cual el tiempo de retención no es suficiente para garantizar la completa precipitación de los coágulos, se propone la adición de un floculante catiónico, poliacrilamida de alto peso molecular (lipesa 1569) al proceso que promueva una rápida precipitación de los coágulos.

En la prueba de jarras se llevaron a cabo dos pruebas (Figura 29) con dosificaciones de L-1569A (Floculante catiónico) y L-1538 (Floculante aniónico). Las muestras a analizar tenían un volumen de 500 ml de agua a las cuales se les había adicionado anteriormente 3 ml de cal al 1% p/p y 4 ml de sulfato de aluminio al 1% p/p quedando en un pH de 5 unidades debido a que se observó la mayor formación de partículas coloidales

Figura 29. Dosificación de los diferentes floculantes



Fuente: Elaboración propia

Después de realizar una mezcla lenta durante 15 minutos el floculante que se sugiere incluir al proceso de potabilización es uno de tipo catiónico, poliácridamida de alto peso molecular (lipesa 1569A) que cumplió de una mejor manera la función de promover una rápida precipitación de los coágulos, esto ocurrió debido a que el floculo formado por la aglomeración de varios coloides es lo suficientemente grande como para asentarse con la rapidez deseada teniendo en cuenta que el tiempo de retención en el floculador no es el suficiente, por ello es conveniente utilizar este producto como coadyuvante de la floculación, este reúne partículas en una red, formando puentes de una superficie a otra y enlazando las partículas individuales en aglomerados.<sup>73</sup>

**4.3.1.4 Eliminar la práctica de pre – cloración.** La pre-cloración es desarrollada para el mantenimiento de la planta potabilizadora puesto que elimina algas y otros organismos acuáticos, sin embargo, esta práctica aunque tiene beneficios en la disminución de la frecuencia de mantenimiento, genera alteraciones en las propiedades del agua lo que se ve reflejado en la calidad final del agua potable suministrada a los usuarios, estas alteraciones tienen que ver con las reacciones que desencadenan la adición temprana de compuestos clorados con algunas sustancias orgánicas que generan elementos tóxicos en el agua.<sup>74</sup> Teniendo en cuenta que se elimina la práctica de pre - cloración es necesario aumentar las labores de mantenimiento en la planta, realizando con mayor frecuencia estas operaciones de limpieza.

**4.3.2 Cambios técnicos.** Los cambios operativos hacen referencia a las modificaciones o adquisiciones requeridas para las etapas de proceso como equipos o materiales, dentro de los cuales se encuentran equipos de laboratorio, bombas dosificadoras; además también incluyen las modificaciones puntuales que deben realizarse en el proceso como calibración de vertederos y procedimiento para desarrollo del método de jarras.

**4.3.2.1 Realizar calibración de vertederos.** A los vertederos de medición existentes tanto el rectangular de la planta compacta, como el triangular de la planta semicompacta les debe ser realizado el procedimiento de calibración, esto con el fin de que las lecturas tomadas de estos sean confiables sin dar lugar a incertidumbre en la medida del caudal del agua para cada una de las plantas. Este procedimiento se explica a continuación, el cual fue tomado del manual de prácticas de laboratorio de hidráulica de la Universidad Nacional<sup>75</sup>

---

<sup>73</sup> URREA, Mario. Coagulación-Floculación. Abastecimiento de aguas [en línea], 2 de julio de 2011 [Citado 03 junio 2018]. Disponible en internet: [http://ocw.bib.upct.es/pluginfile.php/6019/mod\\_resource/content/1/Tema\\_06\\_COAGULACION\\_Y\\_FLOCULACION.pdf](http://ocw.bib.upct.es/pluginfile.php/6019/mod_resource/content/1/Tema_06_COAGULACION_Y_FLOCULACION.pdf)

<sup>74</sup> OJEDA, Mariano. Tratamiento de agua potable, editorial Elearning S.L. 5 ed. España, 2015. 545.p

<sup>75</sup> MARBELLO, Ramiro. Manual de prácticas de laboratorio de hidráulica. Bogotá D.C.: Universidad nacional de Colombia, 2005. 315.p

El procedimiento para la calibración de los vertederos es necesario adicional los equipos y materiales existentes en planta contar con medidores de niveles y un vertedero patrón (vertedero de Bazin) previamente calibrado cuya relación entre la carga y el caudal descargado es:

Ecuación 8. Relación carga y caudal descargado

$$Q = 0.0214 h_B^{1.58}$$

Donde:  $Q \left( \frac{l}{s} \right)$ : Caudal descargado

$h_B (mm)$ : Carga del vertedero patrón

En seguida se muestra el paso a paso para la calibración de los vertederos

1. Abrir las válvulas de entrada primero para el vertedero a calibrar y luego por el vertedero patrón. Al establecerse continuidad en el sistema, los caudales descargados para los dos vertederos serán iguales. Los caudales medidos con el vertedero patrón pueden ser reemplazados por caudales registrados con medidores electromagnéticos, los cuales brindan una mayor precisión
2. Desde la abertura de la válvula medir simultáneamente las cargas (h) para ambos vertederos, esta medición se realiza como la diferencia entre el nivel de la superficie libre del agua y el nivel de la cresta una vez se haya estabilizado el flujo. Este procedimiento de medida debe repetirse mínimo 10 veces, iniciando con el máximo caudal soportado por el vertedero a calibrar y disminuyendo sucesivamente los caudales, de forma que los decrementos en las cargas de los dos vertederos sean aproximadamente iguales.
3. Los valores observados anteriormente se deben tabular como se muestra en la tabla 18.

Tabla 18. Valores para calibración de vertederos

Lectura No.	Carga del vertedero patrón $h_B$ (mm)	Carga del vertedero patrón $h_B$ (m)	Carga del vertedero problema $h_v$ (mm)	Carga del vertedero problema $h_v$ (mm)	$Q_B$ (l/s)	$Q_B$ (m <sup>3</sup> /s)	Log $Q_B$	Log $h_v$	$Q_{vp}$ (l/s)	$Q_{vp}$ (m <sup>3</sup> /s)	Cd (adim)
1											
2											
3											
.											
.											
n											
											$Cd_{(prom)} =$

Fuente: Manual de prácticas de laboratorio de hidráulica.

4. Determinar la ecuación de calibración del vertedero, se puede decir que calibrar un vertedero consiste en determinar experimentalmente los valores de las constantes  $\alpha$  y  $\beta$  de la ecuación general

Ecuación 9. Calibración del vertedero

$$Q = \alpha h_v^\beta$$

Donde  $Q$ : Caudal del vertedero problema  
 $\alpha$  y  $\beta$ : Constantes  
 $h_v$ : carga del vertedero problema

La cual se puede transformar a una ecuación lineal, aplicando la función logaritmo para ambos lados de la ecuación, así:

$$\log Q = \log \alpha + \beta \log h_v$$

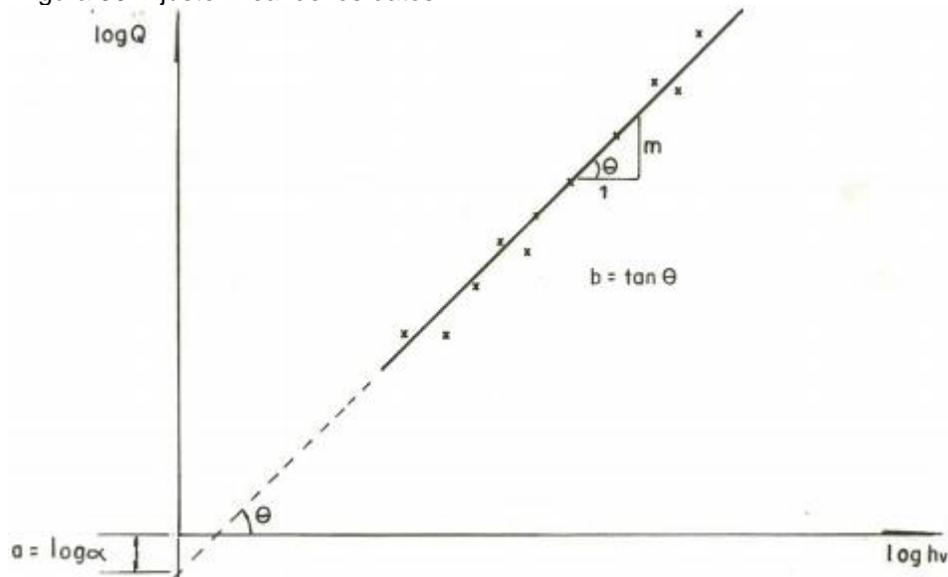
Expresión que tiene la forma

$$y = a + bx$$

Donde:  $a = \log \alpha$ , es el intercepto de la recta con el eje  $y$   
 $b = \beta$ , es la pendiente de la línea que representa

Por esto, si se grafica  $\log h_v$  en función de  $\log Q$  obtenidos mediante la toma de datos experimentales, se tendría una nube de punto, los cuales pueden ser ajustados a una línea recta por regresión lineal como se observa en la figura 30.

Figura 30. Ajuste lineal de los datos



Fuente: Manual de prácticas de laboratorio de hidráulica.

5. Finalmente determinar el coeficiente de descarga  $C_d$ , el cual se obtiene mediante la igualación de la ecuación de la calibración del vertedero, obtenida experimentalmente, con la correspondiente ecuación teórica, de la siguiente forma.

Para un vertedero rectangular

Ecuación 10. Calibración del vertedero rectangular

$$Q = \alpha h_v^\beta = \frac{2}{3} C_d \sqrt{2gb} h_v^{1.5}$$

Donde  $C_d$ : Coeficiente de descarga

Ecuación 11. Coeficiente de descarga para vertedero rectangular.

$$C_d = \frac{3 \alpha h_v^\beta}{2 \sqrt{2gb} h_v^{1.5}}$$

$$C_d = \left( \frac{3 \alpha}{2 \sqrt{2gb}} \right) h_v^{\beta-1.5}$$

Para un vertedero triangular

Ecuación 12. Calibración del vertedero triangular

$$Q = \alpha h_v^\beta = \frac{8}{15} C_d \sqrt{2g} \tan(\theta/2) h_v^{2.5}$$

Ecuación 13. Coeficiente de descarga para vertedero triangular

$$C_d = \frac{15 \alpha h_v^\beta}{8 \sqrt{2g} \tan(\theta/2) h_v^{2.5}}$$

$$C_d = \left( \frac{15 \alpha}{8 \sqrt{2g} \tan(\theta/2)} \right) h_v^{\beta-2.5}$$

En general

Ecuación 14. Coeficiente de descarga general

$$C_d = c h_v^r$$

Donde:  $c$  y  $r$  dependen de la forma geométrica del vertedero

Para vertederos rectangulares:  $r = \beta - 1.5$

Para vertederos triangulares:  $r = \beta - 2.5$

Según la ecuación general para calcular  $C_d$ , esta es función de  $h_v^r$ , por esto para cada valor de  $h_v$  corresponderá uno de  $C_d$ . Para  $n$  mediciones, es posible calcular un valor promedio de  $C_d$  con la siguiente ecuación.

Ecuación 15. Coeficiente de descarga promedio

$$C_{d(prom)} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n C_{d_i}$$

**4.3.2.2 Realizar procedimiento para método de jarras.** El método de jarras está regido por la Norma Técnica Colombiana NTC 3903<sup>76</sup> en la cual se establece el procedimiento para el ensayo de coagulación – floculación, y las condiciones requeridas para lograr resultados óptimos, brindando las pautas necesarias para este desarrollo como las siguientes.

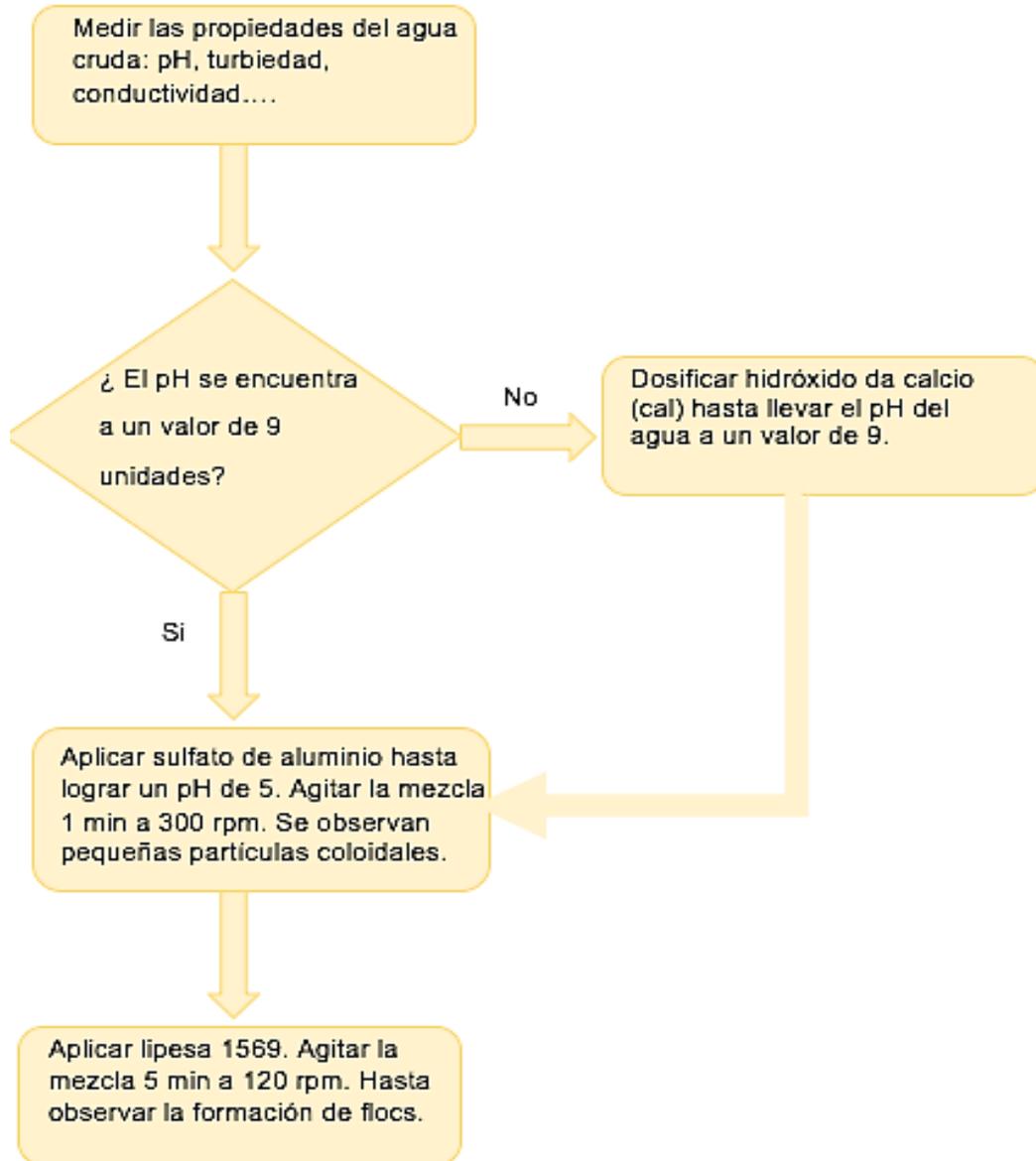
- Todas las jarras (o vasos de precipitado) deben ser del mismo tamaño y forma, tamaño mínimo de 1000 ml y material de vidrio.
- Deben existir soportes de reactivos, los cuales constituyen un medio de introducir cada solución de ensayo simultáneamente para todas las jarras, para cada solución o suspensión de ensayo debe haber al menos un soporte.
- Para todos los ensayos se deben usar productos químicos de grado reactivo, se espera que todos estén acorde a las especificaciones del Comité sobre Reactivos Analíticos de la Sociedad Estadounidense, en los casos que existan dichas especificaciones, de otra forma se pueden usar otros grados siempre y cuando se garantice que la pureza es la suficiente sin disminuir la precisión de la determinación.
- Se debe garantizar que para cada vaso utilizado en el ensayo de jarras, la muestra se obtenga de la misma profundidad lo que permite todas las jarras bajo las mismas condiciones de prueba.

Con el fin de mostrar de una forma más sencilla el procedimiento a seguir del desarrollo del método de jarras para el acueducto Coovesur se presenta la figura 31, con esta, se facilita el procedimiento para el operario o cualquier otra persona que realice este método en planta.

---

<sup>76</sup> INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMALIZACIÓN Y CERTIFICACIÓN. NTC 3903. Op.cit., p. 2

Figura 31. Procedimiento desarrollo método de jarras.



Fuente: Elaboración propia

**4.3.2.3 Adquirir equipos y material de laboratorio.** Actualmente el laboratorio de la planta no cuenta con el material necesario para el buen desarrollo de estas prácticas por lo cual es necesario la adquisición de los materiales listados en la tabla 19, estos son seleccionados con base en el material utilizado en las pruebas experimentales del presente proyecto desarrollado en las instalaciones de los laboratorios de la Universidad de América, los precios fueron cotizados con la empresa Elementos Químicos LTDA.<sup>77</sup>

Tabla 19. Material de laboratorio requerido

Material	Cantidad	Precio unitario	Precio total
beakers (1L)	6	\$ 20,000.00	\$ 120,000.00
beakers (100 ml)	6	\$ 8,500.00	\$ 51,000.00
probeta (100 ml)	1	\$ 20,200.00	\$ 20,200.00
Erlenmeyer (250 ml)	2	\$ 36,000.00	\$ 72,000.00
Pipeta (10 ml)	3	\$ 10,700.00	\$ 32,100.00
Balanza analítica	1	\$ 324,000.00	\$ 324,000.00
Vidrio de reloj	2	\$ 2,200.00	\$ 4,400.00
Espátula	2	\$ 2,600.00	\$ 5,200.00

Fuente: Elaboración propia

- **Equipo para determinación de alcalinidad.** Para la determinación de alcalinidad son cotizados dos equipos, el test kit de alcalinidad HI 3811 HANNA Instruments<sup>78</sup> y el test kit de alcalinidad 101758 Merck<sup>79</sup>, los cuales son comparados en la tabla 20.

<sup>77</sup> ELEMENTOS QUÍMICOS LTDA. Cotizaciones [en línea], [Citado 29 mayo 2018]. Disponible en internet: <http://www.elementosquimicos.com.co/vidrieria-e-implementos.html>

<sup>78</sup> HANNA INSTRUMENTS, Test kit de alcalinidad HI 3811 [en línea], [Citado 29 mayo 2018]. Disponible en internet: <http://www.hannainst.es/catalogo-productos/test-kits/alcalinidad/test-kit-de-alcalinidad--fenolftaleina-y-total--110-test-hi-3811>

<sup>79</sup> MERCK, Test en cubetas capacidad de ácido hasta pH hasta 4,3 (alcalinidad total) 101758 [en línea], [Citado 29 mayo 2018]. Disponible en internet:

Tabla 20. Comparación equipos para medición de Alcalinidad total

Características	HANNA HI 3811	MERCK 111109
Método de medición	Titulación	Volumétrico
Rango de medida	0-300 mg CaCO <sub>3</sub> /L	20 – 400 mg CaCO <sub>3</sub> /L
Número de Test	110	200
Costo	\$189.283	\$897.000

Fuente: Elaboración propia

Con respecto a las cotizaciones realizadas a dos empresas diferentes se puede observar que ambos equipos hacen medición con fenolftaleína, debido a esto se elige el equipo de la empresa HANNA (ver ficha comercial en anexo M), esto teniendo en cuenta que su precio es menor y se consiguen los mismos resultado

- **Equipo para determinación de aluminio.** Para la determinación de aluminio son cotizados dos equipos, el fotómetro de aluminio HI 96712 HANNA Instruments<sup>80</sup> y el test de aluminio 114825 Merck<sup>81</sup>, los cuales son comparados en la tabla 21.

Tabla 21. Comparación equipos para medición de aluminio

Características	HANNA HI 96712	MERCK 114825
Método de medición	Fotométrico	Fotométrico
Rango de medida	0-1 mg Al/L	0,02 – 1,2 mg Al/L
Número de Test	300	350
Costo	\$1'036.154	\$1'183.000

Fuente: Elaboración propia

Con respecto a las cotizaciones realizadas a dos empresas diferentes se puede observar que ambos equipos utilizan como método de medición el fotométrico, debido a esto se elige el equipo de la empresa HANNA (ver ficha comercial en anexo N), esto teniendo en cuenta que permite realizar una buena cantidad de test con

[https://www.merckmillipore.com/CO/es/product/Acid-Capacity-Cell-Test-to-pH-4.3-total-alkalinity,MDA\\_CHEM-101758](https://www.merckmillipore.com/CO/es/product/Acid-Capacity-Cell-Test-to-pH-4.3-total-alkalinity,MDA_CHEM-101758)

<sup>80</sup> HANNA INSTRUMENTS, Fotómetro de aluminio HI 96712 [en línea], [Citado 29 mayo 2018]. Disponible en internet: <http://www.hannainst.es/catalogo-por-aplicaciones/fotometro-de-aluminio-hi-96712>

<sup>81</sup> MERCK, Test aluminio 114825 [en línea], [Citado 29 mayo 2018]. Disponible en internet: [http://www.merckmillipore.com/CO/es/product/Aluminium-Test,MDA\\_CHEM-114825](http://www.merckmillipore.com/CO/es/product/Aluminium-Test,MDA_CHEM-114825)

una disminución del precio significativo en comparación del otro y se consiguen los mismos resultado.

- **Equipo para determinación de hierro.** Para la determinación de hierro son cotizados dos equipos, el fotómetro de hierro rango alto HI 96721 HANNA Instruments<sup>82</sup> y el test de hierro 116983 Merck<sup>83</sup>, los cuales son comparados en la tabla 22.

Tabla 22. Comparación equipos para medición de hierro

Características	HANNA HI 96721	MERCK 116983
Método de medición	Fotométrico	Reflecto métrico
Rango de medida	0-5 mg Fe/L	20 – 200 mg Fe/L
Número de Test	200	50
Costo	\$1.037.832,26	\$253.000

Fuente: Elaboración propia

Con respecto a las cotizaciones realizadas a dos empresas diferentes se puede observar que el equipo que utilizan como método de medición el fotométrico es el de marca HANNA (ver ficha comercial en anexo O), este es el equipo elegido puesto que tiene un avanzado sistema óptico basado en una lámpara de tungsteno especial y un filtro de interferencias de banda estrecha que permite lecturas de la máxima exactitud y repetibilidad. A pesar de su precio es una buena inversión para la medición de este parámetro, teniendo en cuenta que el máximo valor permitido por la Resolución 2115 es de 0,3 mg Fe/L, es decir, es el que otorga el rango adecuado para realizar la medición requerida.

<sup>82</sup> HANNA INSTRUMENTS, Fotómetro de hierro rango alto HI 96721 [en línea], [Citado 29 mayo 2018]. Disponible en internet: <http://www.hannainst.es/catalogo-productos/legionella/analizador-fisico-quimicos-legionella/fotometro-de-hierro-rango-alto-hi-96721>

<sup>83</sup> MERCK, Test hierro 116983 [en línea], [Citado 29 mayo 2018]. Disponible en internet: [http://www.merckmillipore.com/CO/es/product/Iron-Test,MDA\\_CHEM-116983#anchor\\_orderingcomp](http://www.merckmillipore.com/CO/es/product/Iron-Test,MDA_CHEM-116983#anchor_orderingcomp)

**4.3.2.4 Adquirir bombas dosificadoras.** Para realizar la dosificación de los reactivos como el coagulante (sulfato de aluminio), floculante (Lipesa 1569) y neutralizante (hidróxido de calcio), es necesario adquirir una bomba dosificadora para cada uno. Por esto se realiza la cotización de las bombas dosificadoras con dos empresas diferentes, Plasto química la cual ofrece la referencia TM02064C<sup>84</sup> y la empresa Durespo que cotizó la referencia PLPH5SAPTC3 (ver anexo P), las características de cada una se pueden observar en la tabla 23.

Tabla 23. Comparaciones bombas dosificadoras

Características	TM02064C	PLPH5SAPTC3
Tipo	Diafragma PTFE	Diafragma PTFE
Caudal máximo	11 L/h	11.8 L/h
Presión máxima	10 bar	10 bar
Potencia motor	0,18	0,25
Precio	\$2'038.885	\$4'365.000

Fuente: Elaboración propia

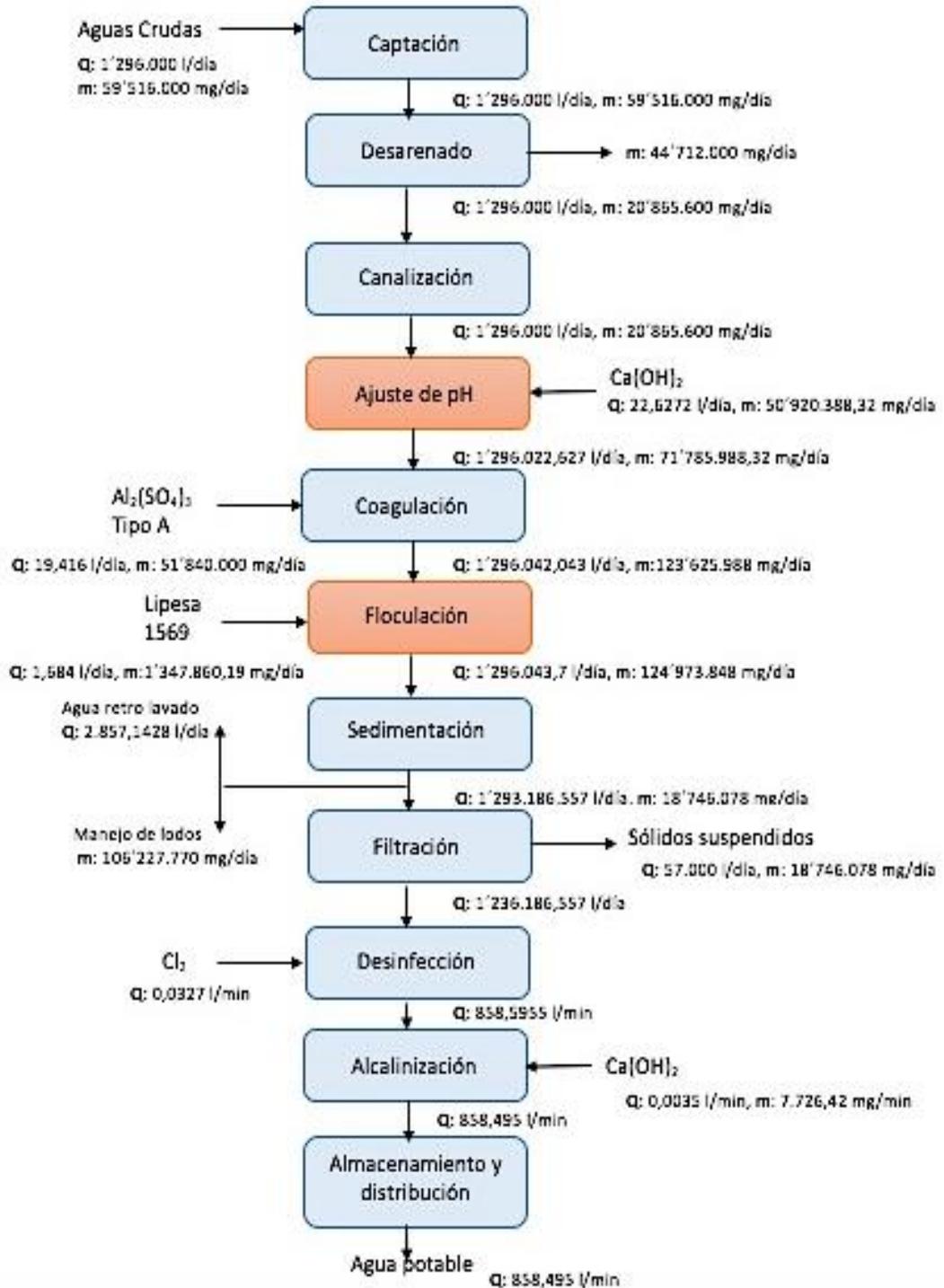
Con respecto a las cotizaciones realizadas se puede observar que las dos bombas dosificadoras tienen características muy similares, sin embargo, la diferencia de precios es significativa por ende se elige la referencia TM02064C (ver ficha comercial en anexo Q) puesto que cumple con las características requeridas y el costo es mucho más bajo.

Los diagramas correspondientes a la propuesta de mejora para el acueducto Coovesur se presentan a continuación, se incluyen el diagrama de bloques (figura 32) y el diagrama de flujo PFD (figura 33).

**4.3.3 Diagrama de bloques de la propuesta de mejora .** El siguiente diagrama de bloques ilustra las distintas etapas del tratamiento de potabilización propuesto para el acueducto Coovesur.

<sup>84</sup> PLASTOQUÍMICOS. Bomba dosificadora TM02064C [en línea], [Citado 02 junio 2018]. Disponible en internet: <https://www.plastoquimica.com/productos/ficha/bomba-dosificadora-tm02064c/29>

Figura 32. Diagrama de bloques propuesto para el proceso de potabilización



Fuente: Elaboración propia

**4.3.4 Diagrama de flujo de proceso (PFD).** A partir del proceso experimental que llevado a cabo en el laboratorio se logran encontrar las dosificaciones aptas para el tipo de agua tratada, estos resultados se pueden corroborar en el anexo E que evidencia los resultados obtenidos en la caracterización final.

Estas dosificaciones son las recomendadas e incluidas en el PFD como cambios operativos en las acciones de mejora identificadas en la planta. Los datos calculados para el balance de agua (ver anexo S) del PFD de la PTAP se encuentran consolidados en la tabla 25.

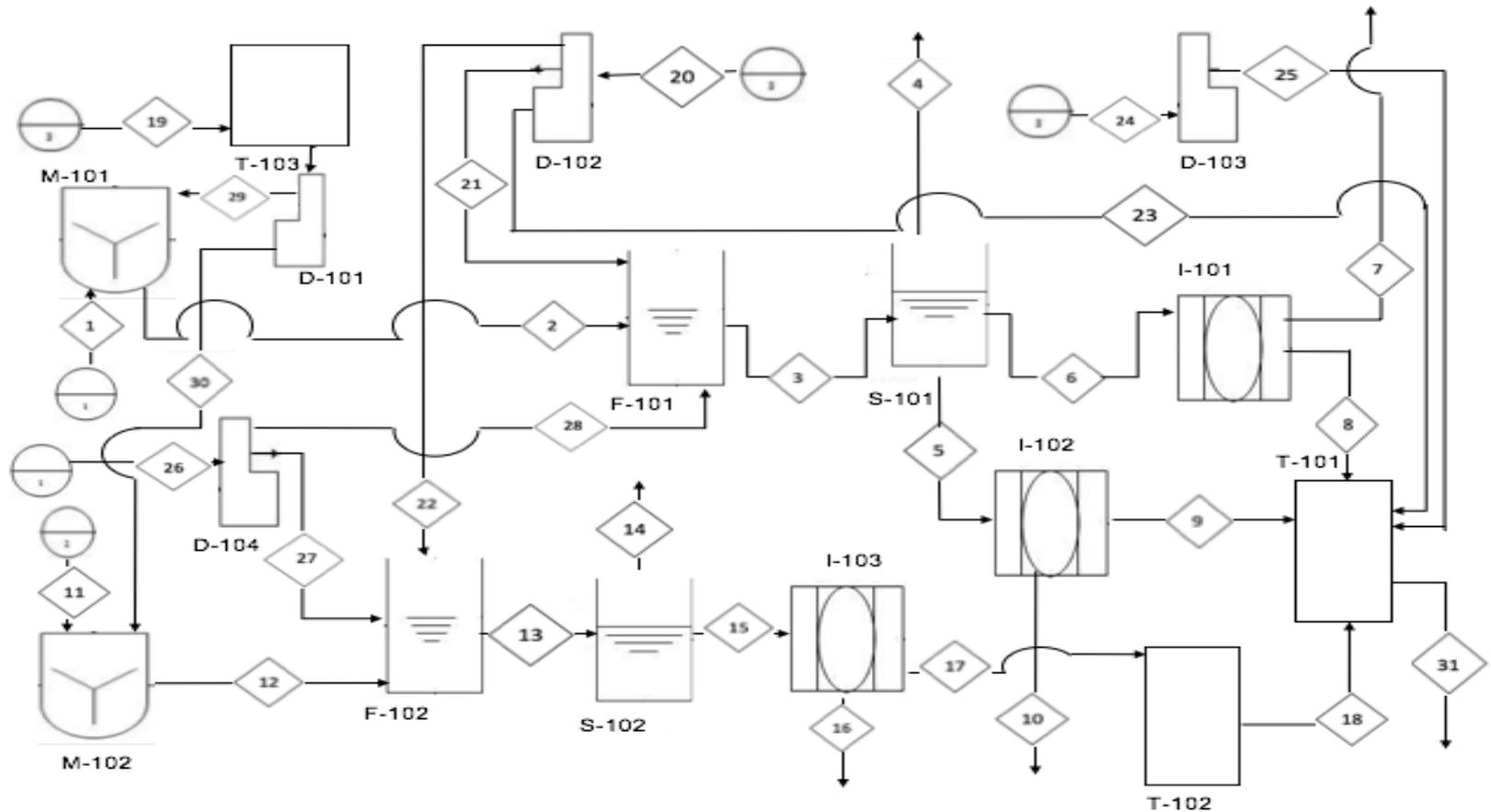
Tabla 24. Equipos Diagrama PFD

Equipos	
D-101, D-102, D-103, D-104	Bombas Dosificadoras
M-101, M-102	Mezcladores rápidos
F-101, F-102	Floculadores
S-101, S-102	Sedimentadores
I-101, I-102, I-103	Filtros
T-101, T-102, T-103	Tanques de Almacenamiento

Fuente: Elaboración propia

Figura 33. Diagrama de flujo de proceso (PFD) de la PTAP

M-101	M-102	T-103	D-101	D-102	D-104	F-101	F-102	S-101	S-102	I-101	I-102	I-103	D-103	T-101	T-102
Mezcla Rápida	Mezcla Rápida	Tanque Agua	Bomba $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$	Bomba $\text{Ca}(\text{OH})_2$	Bomba L-1569	Mezcla Lenta	Mezcla Lenta	Sedimen SDT	Sedimen SDT	filtro SDT	filtro SDT	filtro SDT	bomba $\text{Cl}_2$	tanque Agua	tanque Agua



Fuente: Elaboración propia

Tabla 25. Condiciones de flujo

Flujos	
Flujo 1	Agua Cruda. <b>Q:</b> 864.000 L/día
Flujo 2	<b>Q:</b> 864.012,944 L/día
Flujo 3	<b>Q:</b> 864.025,803 L/día
Flujo 4	<b>Q:</b> 1.428,5714L/día, <b>m:</b> 156´541.459 mg/día
Flujo 5	<b>Q:</b> 431.298,6158 L/día
Flujo 6	<b>Q:</b> 431.298,6158 L/día
Flujo 7	<b>Q:</b> 19.000 L/día, <b>m:</b> 18´416.642 mg/día
Flujo 8	<b>Q:</b> 286,3184 L/min
Flujo 9	<b>Q:</b> 286,3184 L/min
Flujo 10	<b>Q:</b> 19.000 L/día, <b>m:</b> 18´416.642 mg/día
Flujo 11	Agua Cruda. <b>Q:</b> 432.000 L/día
Flujo 12	<b>Q:</b> 432.006,472 L/día
Flujo 13	<b>Q:</b> 432.012,889 L/día
Flujo 14	<b>Q:</b> 1.428,5714 L/día, <b>m:</b> 156´541.459 mg/día
Flujo 15	<b>Q:</b> 430.584,3176 L/día
Flujo 16	<b>Q:</b> 19.000 L/día, <b>m:</b> 18´416.642 mg/día
Flujo 17	<b>Q:</b> 411.584,3176 L/día
Flujo 18	<b>Q:</b> 285,8224 L/min
Flujo 19	Solución de Sulfato de aluminio al 1% p/p <b>Q:</b> 19,416 L/día. <b>m:</b> 51´840.000 mg/día
Flujo 20	Solución de Hidróxido de calcio al 1% p/p <b>Q:</b> 22,6272 L/día. <b>m:</b> 50´006.629,3 mg/día
Flujo 21	Solución de Hidróxido de calcio a 120 mg/L. <b>Q:</b> 11,736 L/día. <b>m:</b> 25´920.388,32 mg/día

Fuente: Elaboración propia

Tabla 25. Continuación

Flujos	
Flujo 22	Solución de Hidróxido de calcio a 120 mg/L. <b>Q:</b> 5,856 L/día. <b>m:</b> 12'960.196,16 mg/día
Flujo 23	Solución de Hidróxido de calcio a 36 mg/L. <b>Q:</b> 0,0035 L/min. <b>m:</b> 7.726,42 mg/min
Flujo 24	Cloro gaseoso. <b>Q:</b> 0,0327 L/min
Flujo 25	Cloro gaseoso. <b>Q:</b> 0,0327 L/min
Flujo 26	Solución de lipesa 1569 a 800 mg/L. <b>Q:</b> 1,684 L/día. <b>m:</b> 1'347.860,19 mg/día
Flujo 27	Solución de lipesa 1569 a 4,2 mg/L. <b>Q:</b> 0,561 L/día. <b>m:</b> 449.286,73 mg/día
Flujo 28	Solución de lipesa 1569 a 4,2 mg/L. <b>Q:</b> 1,123 L/día. <b>m:</b> 898.573,46 mg/día
Flujo 29	Solución de Sulfato de aluminio a 160 mg/L. <b>Q:</b> 12,944 L/día. <b>m:</b> 34'560.000 mg/día
Flujo 30	Solución de Sulfato de aluminio a 160 mg/L. <b>Q:</b> 6,472 L/día. <b>m:</b> 17'280.000 mg/día
Flujo 31	Agua potable. <b>Q:</b> 858,495 l/min o 1'236.232,8 L/día

Fuente: Elaboración propia

## 5. EVALUACIÓN FINANCIERA

En este capítulo se evalúa el impacto financiero de la implementación de la propuesta de mejora para el acueducto generado por el costo de inversión, el cual se ve reflejado en la compra de equipos, materiales y reactivos adicionales requeridos para el desarrollo de esta a partir del cálculo del CAPEX, que se refiere a los gastos de inversión y OPEX, que se refiere a los gastos operacionales. En esta evaluación financiera se realiza una comparación entre la situación actual y la posible situación futura con los indicadores valor presente (Vp) y costo anual uniforme equivalente (CAUE).

### 5.1 SITUACIÓN FINANCIERA ACTUAL

Con respecto a la situación financiera actual del acueducto solo se tienen en cuenta los gastos operacionales (OPEX), teniendo en cuenta que actualmente ya existe una inversión.

**5.1.1 Cálculo del OPEX.** En la tabla 25 se muestran los gastos operacionales actuales del acueducto, estos datos fueron suministrados por la empresa.

Tabla 26. Gastos actuales de operación y mantenimiento

Ítem		Unid	Consumo mensual	Consumo anual	Costo Unitario	Costo mensual	Costo anual
Insumos químicos	Sulfato de aluminio	Kg	3000	36000	\$ 1.500,00	\$ 4.500.000,00	\$ 54.000.000,00
	Cloro Gaseoso	Kg	102	1224	\$ 8.479,00	\$ 864.858,00	\$ 10.378.296,00
	Cal hidratada	Kg	80	960	\$ 1.050,00	\$ 84.000,00	\$ 1.008.000,00
Servicios	Transporte Insumos	\$	1	1	\$ 300.000,00	\$ 300.000,00	\$ 3.600.000,00
	Energía eléctrica	kWh	486	5832	\$ 498,38	\$ 242.210,69	\$ 2.906.528,25

Fuente: Gerencia Coovesur

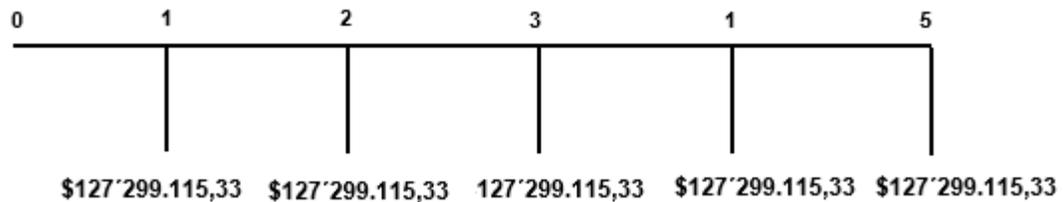
Tabla 26. Continuación

Ítem		Unid.	Consumo mensual	Consumo anual	Costo Unitario	Costo mensual	Costo anual
Mano de obra	Sueldo básico	\$	2	2	\$ 1.378.569,00	\$ 2.757.138,00	\$ 33.085.656,00
	Auxilio transporte	\$	2	2	\$ 88.211,00	\$ 176.422,00	\$ 2.117.064,00
	Salud	\$	2	2	\$ 117.178,37	\$ 234.356,73	\$ 2.812.280,76
	Pensión	\$	2	2	\$ 165.428,28	\$ 330.856,56	\$ 3.970.278,72
	Prima de servicio	\$	2	2	\$ 122.182,77	\$ 244.365,55	\$ 2.932.386,58
	Cesantías	\$	2	2	\$ 122.182,77	\$ 244.365,55	\$ 2.932.386,58
	Intereses cesantías	\$	2	2	\$ 14.661,93	\$ 29.323,87	\$ 351.886,39
	Vacaciones	\$	2	2	\$ 57.440,38	\$ 114.880,75	\$ 1.378.569,00
	Riesgos laborales	\$	2	2	\$ 35.730,76	\$ 71.461,52	\$ 857.538,26
	Parafiscales	\$	2	2	\$ 132.010,20	\$ 264.020,40	\$ 3.168.244,80
Elementos de aseo		\$	1	1	\$ 150.000,00	\$ 150.000,00	\$ 1.800.000,00
<b>Total anual</b>						<b>\$10.615.610,53</b>	<b>\$127.299.115,33</b>

Fuente: Gerencia Coovesur

**5.1.2 Flujo de caja actual.** Con base en los gastos operacionales mostrados en la tabla anterior se procede a elaborar el flujo de caja actual para el acueducto proyectado a 5 años.

Figura 34. Flujo de caja actual



Fuente: Elaboración propia

Se procede a calcular la tasa de interés de oportunidad (TIO), esta es la tasa mínima que se utiliza para determinar el valor actual neto de los flujos futuros de caja del proyecto.<sup>85</sup>

Ecuación 16. Tasa interna de oportunidad

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

Donde:            *DTF* = Deposito a término fijo en Colombia = 4,65%  
*Tasa de riesgo* = determinada para el proyecto = 5%

<sup>85</sup> BACA, Guillermo. Ingeniería económica. 8 ed. Bogotá D.C.: Fondo educativo panamericano, 2005. 366 p.

$$TIO = (1 + 0,0465) * (1 + 0,05) - 1 = 0,0965 = 9,65\%$$

Seguido a esto se calcula el valor presente (VP), el cuál es el valor que tiene a día de hoy un dinero que será recibido en el futuro.<sup>86</sup>

Ecuación 17. Valor presente

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

Donde: *FN: Flujo neto anual*  
*n: Número de periodos (años)*

$$V_p = \frac{127'299.115,33}{1 + 0,0965} + \frac{127'299.115,33}{(1 + 0,0965)^2} + \frac{127'299.115,33}{(1 + 0,0965)^3} + \frac{127'299.115,33}{(1 + 0,0965)^4} + \frac{127'299.115,33}{(1 + 0,0965)^5}$$

$$V_p = \$486'909.731,39$$

Finalmente se calcula el costo anual equivalente (CAUE), indicador utilizado para la evaluación de proyectos, para el caso corresponde a todos los desembolsos convertidos en una cantidad anual uniforme equivalente igual en cada periodo.<sup>87</sup>

Ecuación 18. Costo anual equivalente

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

$$CAUE = \frac{\$486'909.731,39}{\frac{(1 + 0,0965)^5 - 1}{0,0965(1 + 0,0965)^5}} = \$127'299.115,33$$

## 5.2 SITUACIÓN FINANCIERA CON LA PROPUESTA DE MEJORA

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

**5.2.1 Cálculo del CAPEX.** Los gastos de inversión corresponden a la compra de equipos y materiales propuestos en el capítulo anterior.

---

<sup>86</sup> Ibid., p. 72

<sup>87</sup> Ibid., p. 75

Tabla 27. Costos de inversión para la propuesta de mejora

Ítem	#	Costo unitario	Costo total
<b>Equipos especializados</b>			
Test kit alcalinidad	1	\$ 187.176	\$ 187.176
Test kit aluminio	1	\$ 1'036.154	\$ 1'036.154
Test kit alcalinidad	1	\$ 1'036.154	\$ 1'036.154
Bomba dosificadora	3	\$ 2'038.885	\$ 6'116.655
<b>Material de laboratorio</b>			
Beakers (1 L)	6	\$ 20.000	\$ 120.000
Beakers (100 ml)	6	\$ 8.500	\$ 51.000
Probeta (100 ml)	1	\$ 20.200	\$ 20.200
Erlenmeyer (250 ml)	2	\$ 36.000	\$ 72.000
Pipeta (10 ml)	3	\$ 10.700	\$ 32.100
Balanza analítica	1	\$ 324.000	\$ 324.000
Vidrio de reloj	2	\$ 2.200	\$ 4.400
Espátula	2	\$ 2.600	\$ 5.200
<b>Total</b>			<b>\$9'005.03 9</b>

Fuente: Elaboración propia

**5.2.2 Cálculo del OPEX.** Para el cálculo de los gastos operacionales con la mejora en cuanto a los insumos químicos se toma como referencia los costos calculados con las cantidades a dosificar expuestas en el capítulo anterior.

El aumento en la factura de energía eléctrica se calcula con la potencia de motor para las 3 bombas dosificadoras propuestas, diciendo que estas estarán en uso 24 horas diarias en los 30 días del mes como se muestra en seguida.

$$\text{Consumo adicional} = \left( 0,18kW * 3 * 30 \text{ días} * 24 \frac{\text{horas}}{\text{día}} \right) = 389 \text{ kW}$$

$$\text{Aumento de energía eléctrica} = 389 \text{ kWh} + 486 \text{ kWh} = \mathbf{875kWh}$$

Para los gastos de transporte, mano de obra de personal y elementos de aseo los valores se mantienen iguales con la implementación de la propuesta. Todos Los costos operacionales anteriormente mencionados se muestran detalladamente en la tabla 28.

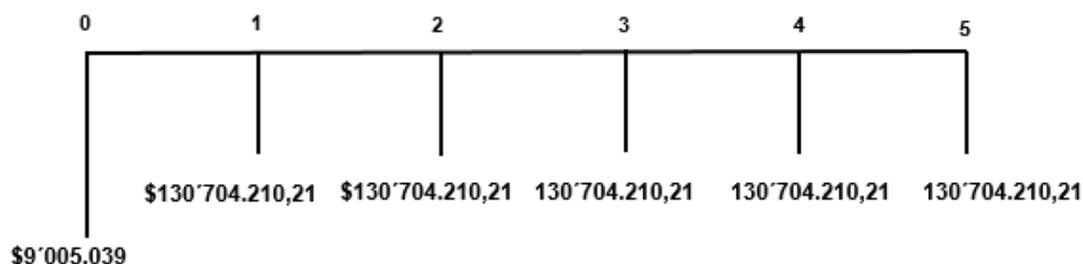
Tabla 28. Costos de mantenimiento y operación con la mejora

Ítem	Unidad	Consumo mensual	Consumo anual	Costo Unitario	Costo mensual	Costo anual	
Insumos químicos	Sulfato de aluminio Cloro	Kg	1555,2	18662,4	\$ 1.500,00	\$ 2.332.800,00	\$ 27.993.600,00
	Gaseoso Cal hidratada	Kg	108,861	1306,332	\$ 7.140,00	\$ 777.267,54	\$ 9.327.210,48
	Lipesa 1569	Kg	1500,18	18002,16	\$ 1.050,00	\$ 1.575.189,00	\$ 18.902.268,00
Servicios	Transporte	\$	1	12	\$ 300.000,00	\$ 300.000,00	\$ 3.600.000,00
	Energía eléctrica	kWh	616	7392	\$ 498,38	\$ 306.999,55	\$ 3.683.994,65
	Sueldo básico	\$	2	2	\$ 1.378.569,00	\$ 2.757.138,00	\$ 33.085.656,00
	Auxilio transporte	\$	2	2	\$ 88.211,00	\$ 176.422,00	\$ 2.117.064,00
	Salud	\$	2	2	\$ 117.178,37	\$ 234.356,73	\$ 2.812.280,76
	Pensión	\$	2	2	\$ 165.428,28	\$ 330.856,56	\$ 3.970.278,72
	Prima de servicio	\$	2	2	\$ 122.182,77	\$ 244.365,55	\$ 2.932.386,58
Mano de obra	Cesantías	\$	2	2	\$ 122.182,77	\$ 244.365,55	\$ 2.932.386,58
	Intereses cesantías	\$	2	2	\$ 14.661,93	\$ 29.323,87	\$ 351.886,39
	Vacaciones	\$	2	2	\$ 57.440,38	\$ 114.880,75	\$ 1.378.569,00
	Riesgos laborales	\$	2	2	\$ 35.730,76	\$ 71.461,52	\$ 857.538,26
	Parafiscales	\$	2	2	\$ 132.010,20	\$ 264.020,40	\$ 3.168.244,80
	Elementos de aseo	\$	1	1	\$ 150.000,00	\$ 150.000,00	\$ 1.800.000,00
<b>Total</b>						<b>\$ 10.892.017,52</b>	<b>\$ 130.704.210,21</b>

Fuente: Elaboración propia

**5.2.3 Flujo de caja con la propuesta de mejora.** A partir de los gastos de inversión y operacionales mostrados anteriormente se procede a elaborar el flujo de caja con la implementación de la mejora para el acueducto proyectado a 5 años.

Figura 35. Flujo de caja con la propuesta de mejora



Fuente: Elaboración propia

La tasa interna de oportunidad (TIO) se mantiene igual con la implementación de la propuesta. Se procede a calcular el valor presente (VP) al cual se le debe de sumar el valor de la inversión

$$V_p = 9'005.039 + \frac{130'704.210,21}{1 + 0,0965} + \frac{130'704.210,21}{(1 + 0,0965)^2} + \frac{130'704.210,21}{(1 + 0,0965)^3} + \frac{130'704.210,21}{(1 + 0,0965)^4} + \frac{130'704.210,21}{(1 + 0,0965)^5}$$

$$V_p = \$508.939.007,29$$

Finalmente se calcula el costo anual equivalente (CAUE)

$$CAUE = \frac{\$508'939.007,29}{\frac{(1 + 0,0965)^5 - 1}{0,0965(1 + 0,0965)^5}} = \$133'058.514,15$$

### 5.3 COMPARACIÓN COSTOS TOTALES

Respecto a los cálculos anteriores se realiza una comparación entre la situación actual y la posible futura como se muestra en la tabla 29

Tabla 29. Comparación costos actuales y costos con la implementación de la propuesta.

	Costos Actuales	Costos futuros
<b>CAPEX</b>	-	\$ 9.005.039,00
<b>OPEX</b>	\$ 127.299.115,33	\$ 133.058.514,15
<b>TIO</b>	0,0965	0,0965
<b>Vp</b>	\$ 486.909.731,39	\$ 508.939.007,29
<b>CAUE</b>	\$ 127.299.115,33	\$ 133.058.514,15

Fuente: Elaboración propia

Es necesario evaluar la diferencia de costos anuales para ambas situaciones

Ecuación 18. Diferencia costos anuales

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

$$Diferencia\ costos\ anuales = |\$127'299.115,33 - \$133'058.514,15| = -\$5'759.398,82$$

Se puede observar que el costo anual con la implementación de la propuesta de mejora es mayor comparado con el costo actual para el acueducto, esto es debido a la inversión, aumento de reactivos y energía eléctrica lo que quiere decir que financieramente el proyecto no es viable. Sin embargo, es de tener en cuenta que el aumento del costo anual con la propuesta es de tan solo \$5'759.398,82 lo cual no representa un costo muy elevado para el acueducto y se garantiza que el agua tratada cumpla totalmente con los requerimientos de la Resolución 2115 de 2007 lo que conlleva a una mejor calidad de vida para los consumidores.

## 6. CONCLUSIONES

- En el proceso de potabilización del agua se identificaron las siguientes fallas: no se ha realizado una calibración reciente en los vertederos, las dosificaciones de los reactivos son inexactas, no se lleva a cabo una etapa inicial de ajuste de pH para tener un mejor control al efectuar los diferentes procesos, el tiempo de retención en el floculador tipo Alabama no es el indicado debido a que el requerido por la norma es de 20 min y este se encuentra en 13 min, se realiza la pre-cloración que puede llegar a generar elementos tóxicos en el agua y no hay un tanque de almacenamiento para suplir necesidades de abastecimiento.
- Por medio de la matriz de priorización de Holmes se seleccionaron las acciones técnicas de mejora teniendo en cuenta todas las operaciones de la PTAP y los problemas de funcionamiento, de acuerdo con la influencia en el proceso de potabilización de agua se identificaron las principales: establecer las dosificaciones para el coagulante, desinfectante y neutralizante, realizar un ajuste de pH inicial, adicionar al proceso un floculante, proponer un método para llevar a cabo la calibración de los vertederos, adquirir equipos y material de laboratorio y eliminar la práctica de pre-cloración.
- Para determinar la dosificación del coagulante y la selección del floculante, se utilizó el método de test de jarras, el resultado de las pruebas experimentales fue que a las condiciones iniciales de turbidez 40,25 NTU, pH 5,5 y conductividad de 39  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , la dosis de sulfato de aluminio recomendada fue de 40 mg/L y el floculante 1,04 mg/L; terminando con efluente con 0,39 NTU, el pH fue neutralizado con 0,9 ml al 1%.
- De acuerdo con el diagnóstico realizado se propuso la implementación de equipos para la dosificación de los insumos para el tratamiento como bombas de dosificación de caudal aproximado de 11 L/h, sistemas de control de parámetros in situ para determinación de alcalinidad, hierro total y aluminio.
- El costo anual incremento de \$127'299.115,33 a un valor de \$130'704.210,21 con la implementación de la propuesta de mejora debido al aumento en las cantidades de reactivos utilizados para el proceso, el consumo de energía eléctrica y la adquisición de nuevos equipos y materiales.

## 7. RECOMENDACIONES

- Debido a las actividades agropecuarias y poblaciones de ganado y equinas existentes en cercanías a la bocatoma se recomienda hacer un seguimiento a la calidad del agua del afluente por medio de caracterizaciones periódicas con el fin de evitar la contaminación de la fuente abastecedora.
- Es recomendable realizar un rediseño al sistema de captación actual, para garantizar la conducción del agua hasta la planta potabilizadora para cualquier temporada del año.
- Se propone analizar la inclusión de un sistema de agitación mecánica para la etapa de coagulación mediante el cual se mejore el gradiente de mezcla rápida.
- Se recomienda realizar una consulta de tratamientos para el aprovechamiento de los lodos residuales.
- Con el fin de tener un sistema de reserva de agua se recomienda la compra e instalación de un tanque de almacenamiento, con lo cual se suplirían eventuales emergencias por desabastecimiento y garantizar el suministro de agua potable.
- Es importante implementar capacitaciones al personal de planta periódicamente en temas relacionados con el proceso de potabilización como ensayo de jarras, buenas prácticas de tratamiento y normatividad vigente de agua potable, esto con el fin de realizar un mejor procedimiento operacional para producir agua de mejor calidad

## BIBLIOGRAFÍA

AGENCIA PARA SUSTANCIAS TÓXICAS Y EL REGISTRO DE ENFERMEDADES, Bario [en línea], 6 de mayo de 2016 [citado 30 abril 2018]. Disponible en internet: [https://www.atsdr.cdc.gov/es/phs/es\\_phs24.html](https://www.atsdr.cdc.gov/es/phs/es_phs24.html)

ANALIZA CALIDAD, Consultores, Tratamiento de aguas, [en línea], [citado 05 octubre 2017] Disponible en Internet: <http://www.analizacalidad.com/docftp/fi1110aguas.pdf>

AREVALO, Andrea. Tipos de floculadores. [en línea]. 2015. [citado 27 abril 2018]. Disponible en internet: [https://www.academia.edu/24910629/TIPOS\\_DE\\_FLOCULADORES](https://www.academia.edu/24910629/TIPOS_DE_FLOCULADORES)

BARRENECHEA, Ada, Tratamientos de agua para consumo humano. Aspectos fisicoquímicos para la calidad del agua. Capítulo 1. [en línea], 2004. [citado 06 abril 2018]. Disponible en Internet: <http://bibliotecavirtual.minam.gob.pe/biam/bitstream/id/5657/BIV00012.pdf>

BENAVIDEZ, David y CASTRO, Mildred y VIZACÍNO, Hernán. Optimización del acueducto por gravedad del municipio de Timaná (Huila). Trabajo de grado ingeniero civil. Bogotá D.C.: Universidad de la Salle, 2006. 266 p.

BUENO, Karen. Evaluación del proceso de estabilización del pH del agua tratada del río Cauca. Trabajo de investigación ingeniería sanitaria. Santiago de Cali.: Universidad de Valle, 2014. 86 p.

BVSA. Tratamiento de agua para consumo. Plantas de filtración rápida. Manual II: Diseño de plantas de tecnología apropiada, Capítulo 3. [en línea]. 2004. [citado 27 abril 2018] Disponible en internet: [http://www.bvsde.paho.org/bvsatr/fulltext/tratamiento/manualII/ma2\\_cap3.pdf](http://www.bvsde.paho.org/bvsatr/fulltext/tratamiento/manualII/ma2_cap3.pdf)

CARBOTECNIA. Manganeso [en línea], 12 de mayo de 2016 [citado 30 abril 2018]. Disponible en internet: <https://www.carbotecnia.info/encyclopedia/manganeso/>

CARPIO, Tania. Turbiedad por nefelometría (Método B). Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. IDEAM. [en línea], 2007. [citado 19 marzo 2018] Disponible en internet: <http://www.ideam.gov.co/documents/14691/38155/Turbiedad+por+Nefelometr%C3%A9A.pdf/fc92342e-8bba-4098-9310-56461c6a6dbc>

CENTRO PANAMERICANO DE INGENIERÍA SANITARIA Y CIENCIAS DEL AMBIENTE. Mezcladores. En: Manual II. Diseño de plantas de tecnología apropiada. Lima, 2004. P.48

CIFUENTES, Luis (Alcalde municipal). Plan de desarrollo Municipal de Fusagasugá, 2016. Alcaldía de Fusagasugá: Cundinamarca. p. 3-15.

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 2115 de 2007, (04, julio, 2007). Diario Oficial. Bogotá, D.C., 2007. no.46679 p. 1-23

COLOMBIA. MINISTERIO DE VIVIENDA, CIUDAD Y TERRITORIO. Resolución 330 de 2017. (17, junio, 2017) por la cual se adopta el Reglamento Técnico para el Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico (RAS) y se dictan otras disposiciones. Diario Oficial. Bogotá, D.C., 2017. no.50267 p. 1-182

COLOMBIA. PRESIDENTE DE LA REPÚBLICA. Decreto 1594 de 1984. (26, junio, 1984) por el cual se reglamenta parcialmente el Título I de la Ley 09 de 1979, así como el Capítulo II del Título VI - Parte III - Libro II y el Título III de la Parte III Libro I del Decreto 2811 de 1974 en cuanto a usos del agua y residuos líquidos. Diario Oficial. Bogotá, D.C., 1984. no.36700 p. 2-52

CHICA Olga, GALVIS Natalia, MADRID Juliana. Validación métodos analíticos ( $\mu$ DQO, Hierro,  $H_2O_2$ , COT) en aguas. Universidad de Medellín. Programa de Ingeniería Ambiental. [en línea], 2007. [citado 06 abril 2018]. Disponible en Internet: <http://documentacion.ideam.gov.co/openbiblio/bvirtual/021320/02Preliminares.pdf>

DANE. Resultados y proyecciones censo 2005 [en línea], 2005 [citado 19 abril 2018]. Disponible en internet: <http://patrimonioculturaldefusagasusa.blogspot.com.co/2015/11/fusagasuga-f-usagasuga-uno-de-los-116.html>

ELEMENTOS QUÍMICOS LTDA. Cotizaciones [en línea], [citado 29 mayo 2018]. Disponible en internet: <http://www.elementosquimicos.com.co/vidrieria-e-implementos.html>

EMSERFUSA E.S.P, Servicio de acueducto [en línea], 2014 [citado 03 marzo 2018] Disponible en internet: [http://www.emserfusa.com.co/publicaciones/servicio\\_de\\_acueducto\\_pub](http://www.emserfusa.com.co/publicaciones/servicio_de_acueducto_pub)

GARCIA, Maylin, Patrimonio cultural de Fusagasugá [en línea], 2015, [citado 03 marzo 2018] Disponible en internet: <http://patrimonioculturaldefusagasusa.blogspot.com.co/2015/11/fusagasuga-f-usagasuga-uno-de-los-116.html>

GIRALDO, Gloria, Manual de análisis de aguas [en línea], 1995 [citado 05 octubre 2017] Disponible en Internet: <http://www.bdigital.unal.edu.co/50540/1/manualdeanalisdeaguas.pdf>

GOGOLLO, Juan. Clarificación de aguas usando coagulantes polimerizados. Bdigital portal de revistas Universidad Nacional [en línea], 5 de octubre de 2010 [citado 27 de abril 2018]. Disponible en internet: <https://revistas.unal.edu.co/index.php/dyna/article/view/25636/39133>

GONZALEZ, Laura y OLAYA, Lady. Propuesta de mejoramiento el sistema de tratamiento de agua potable del acueducto Acuabol en el municipio de Bolívar – Santander. Trabajo de grado Ingeniero Químico. Bogotá D.C.: Universidad de América. 2011. 126.p

GONZÁLEZ, Lourdes. Nitrógeno amoniacal, importancia de su determinación. [en línea], diciembre de 2013 [citado 01 mayo 2018]. Disponible en internet: <file:///C:/Users/User/Downloads/334-482-1-PB.pdf>

HANNA INSTRUMENTS, Test kit de alcalinidad HI 3811 [en línea], [citado 29 mayo 2018]. Disponible en internet: <http://www.hannainst.es/catalogo-productos/test-kits/alcalinidad/test-kit-de-alcalinidad--fenolftaleina-y-total--110-test-hi-3811>

INSTITUTO COLOMBIANA DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACIÓN. Documentación. Presentación de tesis trabajos de grado y otros trabajos de investigación. NTC 1486. Sexta actualización, Bogotá: en instituto, 2008, p.1.

\_\_\_\_\_ - Referencias bibliográficas, contenido, forma y estructura. NTC 5313. Bogotá; el instituto, 2008, p.12.

\_\_\_\_\_ - Referencias documentales para fuentes de informaciones electrónicas. NTC 4490. Bogotá: el instituto, 1998, p.12.

INSTITUTO 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.

INSTITUTO DE HIDROLOGÍA, METEOROLOGÍA Y ESTUDIOS AMBIENTALES. Determinación de Escherichia coli y Coliformes totales en agua por el método de filtración por membrana en agar Chromocult. [en línea], 30 de agosto de 2007 [citado 01 de mayo de 2018]. Disponible en internet: <http://www.ideam.gov.co/documents/14691/38155/Coliformes+totales+y+E.+coli+en+Agua+Filtraci%C3%B3n+por+Membrana.pdf/5414795c-370e-48ef-9818-ec54a0f01174>

MALDONADO, Victor, Tratamientos de agua para consumo humano. Filtración. Capítulo 9. [en línea], 2004. [citado 06 abril 2018]. Disponible en Internet: <http://bibliotecavirtual.minam.gob.pe/biam/bitstream/id/5657/BIV00012.pdf>

MARBELLO, Ramiro. Manual de prácticas de laboratorio de hidráulica. Bogotá D.C.: Universidad nacional de Colombia, 2005. 315.p

MAYORGA, Ingrid, Análisis de situación de salud con el modelo de determinantes sociales de salud [en línea], 2015 [citado 24 septiembre 2017] Disponible en Internet: [http://www.fusagasuga-cundinamarca.gov.co/NuestraAlcaldia/SaladePrensa/Documents/ASIS\\_2015.pdf](http://www.fusagasuga-cundinamarca.gov.co/NuestraAlcaldia/SaladePrensa/Documents/ASIS_2015.pdf)

MERCK, Test en cubetas capacidad de ácido hasta pH hasta 4,3 (alcalinidad total) 101758 [en línea], [citado 29 mayo 2018]. Disponible en internet: [https://www.merckmillipore.com/CO/es/product/Acid-Capacity-Cell-Test-to-pH-4.3-total-alkalinity,MDA\\_CHEM-101758](https://www.merckmillipore.com/CO/es/product/Acid-Capacity-Cell-Test-to-pH-4.3-total-alkalinity,MDA_CHEM-101758)

MINISTERIO DE DESARROLLO ECONÓMICO, DIRECCIÓN DE AGUA POTABLE Y SANEAMIENTO BASICO. Reglamento técnico del sector de agua potable y saneamiento básico RAS – 2000. Sección II. Título C. Sistemas de potabilización. [http://procurement-notices.undp.org/view\\_file.cfm?doc\\_id=16483](http://procurement-notices.undp.org/view_file.cfm?doc_id=16483) >. [Citado 02 de marzo de 2018].

MONTIEL, Antoine. Organización Panamericana de la salud. La desinfección del agua. p 8 [en línea], [Citado 6 mayo 2018] Disponible en internet: <http://www.elaguapotable.com/aguadesi.pdf>

OJEDA, Mariano. Tratamiento de agua potable, editorial Elearning S.L. 5 ed. España, 2015. 545.p

PALACIOS, Teófilo. Prevalencia de *Cryptosporidium spp.* y *Giardia spp.* en terneros, y su presencia en agua y en niños con problemas digestivos en el cantón San Fernando, Ecuador. MASKANA, Vol. 8, No. 1, 2017. [en línea], [citado 06 abril 2018] Disponible en Internet: <http://dspace.ucuenca.edu.ec/bitstream/123456789/27689/1/MASKANA%208110.pdf>

PÉREZ, Jorge, Manual de tratamiento de aguas, [en línea], [citado 05 octubre 2017] Disponible en Internet: [http://www.bdigital.unal.edu.co/70/2/45\\_-\\_1\\_Prel\\_1.pdf](http://www.bdigital.unal.edu.co/70/2/45_-_1_Prel_1.pdf)

PLASTOQUÍMICOS. Bomba dosificadora TM02064C [en línea], [citado 02 junio 2018]. Disponible en internet: <https://www.plastoquimica.com/productos/ficha/bomba-dosificadora-tm02064c/29>

REDACCION EL TIEMPO. La ciudad jardín tiene su historia. El Tiempo [en línea], 01 de mayo de 1999. [citado 14 abril 2018]. Disponible en internet: <http://www.eltiempo.com/archivo/documento/MAM-915402>

RIOS, Sandra, AGUDELO Ruth, GUTIERREZ Lina. Patógenos e indicadores microbiológicos de calidad del agua para consumo humano. Rev. Fac. Nac. Salud Pública, 2017. [en línea], [citado 06 abril 2018] Disponible en Internet: <http://www.scielo.org.co/pdf/rfnsp/v35n2/0120-386X-rfnsp-35-02-00236.pdf>

ROMERO ROJAS, Jairo Alberto. Calidad del agua. Enero 2009, 3 ed. p 372.

SANABRIA, Dora. Conductividad eléctrica por el método electrométrico en agua. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. IDEAM. [en línea], 2006. [citado 06 abril 2018] Disponible en internet: <http://www.ideam.gov.co/documents/14691/38155/Conductividad+Eléctrica.pdf/f25e2275-39b2-4381-8a35-97c23d7e8af4>

SOCIEDAD GENERAL DE AGUAS DE BARCELONA. Ficha sobre calidad del agua [en línea], 2003 [citado 01 de mayo 2018]. Disponible en internet: <http://www.aquagest-regiondemurcia.es/img/contenidos/1/ficha-sobre-calidad-del-agua.pdf>

URREA, Mario. Coagulación-Floculación. Abastecimiento de aguas [en línea], 2 de julio de 2011 [citado 03 junio 2018]. Disponible en internet: [http://ocw.bib.upct.es/pluginfile.php/6019/mod\\_resource/content/1/Tema\\_06\\_COAGULACION\\_Y\\_FLOCULACION.pdf](http://ocw.bib.upct.es/pluginfile.php/6019/mod_resource/content/1/Tema_06_COAGULACION_Y_FLOCULACION.pdf)

VARGAS, Lidia, Tratamientos de agua para consumo humano. Floculación. Capítulo 6. [en línea], 2004. [citado 06 abril 2018]. Disponible en Internet: <http://bibliotecavirtual.minam.gob.pe/biam/bitstream/id/5657/BIV00012.pdf>

VEINTIMILLA, Ronald y VEINTIMILLA, Santiago. Plan estratégico de mejoramiento del programa de medicina prepagada Ecuasanitas S.A, Basado en la satisfacción del cliente, en el distrito metropolitano de Quito. Trabajo de grado ingenieros comerciales. Quito.: Universidad Politécnica Salesiana sede Quito. 2014. 214.p

# **ANEXOS**

## ANEXO A. REGISTROS DIARIOS PTAP

**REGISTRO DIARIO PLANTAS DE TRATAMIENTO COOVESUR**

1. OPERACIÓN PLANTAS

AÑO	2017	VERANO	<input checked="" type="checkbox"/>		
MES	Enero	INVIERNO			
DIA	5				

TURNO	HORARIO	NOMBRE OPERADOR
1	6am - 6pm	Alicia B.
2	6pm - 6am	Roberto C.

2. CONTROL DE CALIDAD FISICO QUIMICA DEL TRATAMIENTO

HORA	CAUDAL DE ENTRADA		TURBIEDAD		COLOR		PH		CLORO AGUA TRATADA	OBSERVACIONES
	PLANTA 1	PLANTA 2	CRUDA	TRATADA	CRUDA	TRATADA	CRUDA	TRATADA		
8:30	11LS	4LS	80UT	1.06	16CU	6CU	5.9	5.4	2.3 mg/L	Limpieza Bocatoma. 4pm.
3:30	10LS	4LS	90UT	1.10	19CU	8CU	5.7	5.5	1.8 mg/L	

3. BALANCE DE AGUA Y SERVICIO

LECTURA DE MACROMEDIDORES	ENTRADA		SALIDA		HORA DE LAVADO FILTROS			CONTROL DEL SERVICIO	
	1. 6"	2. 4"	3. 6"	4. 4"	FILTRO 1	FILTRO 2	FILTRO 3	HORA APERTURA VALVULA PRINCIPAL	HORA CIERRE E INICIO ALMACENAMIENTO
					9am - 9pm	8am - 9pm	8am - 9pm	5:30	

**REGISTRO DIARIO PLANTAS DE TRATAMIENTO COOVESUR**

1. OPERACIÓN PLANTAS

AÑO	2017	VERANO	<input type="checkbox"/>		
MES	Noviembre	INVIERNO			
DIA	5				

TURNO	HORARIO	NOMBRE OPERADOR
1	6am - 6pm	Alicia B.
2	6pm - 6am	

2. CONTROL DE CALIDAD FISICO QUIMICA DEL TRATAMIENTO

HORA	CAUDAL DE ENTRADA		TURBIEDAD		COLOR		PH		CLORO AGUA TRATADA	OBSERVACIONES
	PLANTA 1	PLANTA 2	CRUDA	TRATADA	CRUDA	TRATADA	CRUDA	TRATADA		
10:00	12LS	3LS	1750	1.8	112	21	5.5	5.0	2.4 mg/L	Alto grado de Turbidez Bocatoma: 4pm
5pm	10LS	—	948	1.6	68	19	5.0	5.0	1.5 mg/L	

3. BALANCE DE AGUA Y SERVICIO

LECTURA DE MACROMEDIDORES	ENTRADA		SALIDA		HORA DE LAVADO FILTROS			CONTROL DEL SERVICIO	
	1. 6"	2. 4"	3. 6"	4. 4"	FILTRO 1	FILTRO 2	FILTRO 3	HORA APERTURA VALVULA PRINCIPAL	HORA CIERRE E INICIO ALMACENAMIENTO
					9am - 6pm	9am - 6pm	9am - 6pm	6pm	6am

**ANEXO B**

**TABLA DE RESULTADOS, CARACTERIZACIONES DEL EFLUENTE.**

Parámetros evaluados

Fecha	Color Verdadero	Turbiedad	pH	Cloro residual	Hierro total	Aluminio	Coliformes totales	E.coli
ene-12	8	1.74	6.62	1.6	0.09	0.4	0	0
feb-12	10	2.12	6.67	1.8	0.018	0.55	0	0
mar-12	5	0.7	4.56	2	0.08	1.2	0	0
abr-12	6	0.53	4.35	2	0.16	2.2	0	0
may-12	4	0.5	6.52	2	0.06	0.2	0	0
jun-12	12	2.36	6.54	1.5	0.15	0.4	0	0
jul-12	10	1.97	5.75	0.6	0.07	0.65	0	0
ago-12	10	1.93	6.9	0.6	0.13	0.45	0	0
sep-12	12	2.3	6.72	0.7	0.16	0.45	0	0
oct-12	10	2.51	6.54	1.9	0.09	0.75	0	0
nov-12	8	1.89	6.54	2	0.09	0.4	0	0
dic-12	10	1.6	7.05	0.5	0.09	0.5	0	0
ene-13	12	2.64	7	1.8	0.12	0.28	0	0
feb-13	12	1.92	6.64	2	0.18	0.28	0	0
mar-13	10	1.83	7.02	0.8	0.18	0.18	0	0
abr-13	10	2.16	4.72	0.4	0.09	1.5	0	0
may-13	12	2.5	4.82	1.3	0.13	0.28	0	0
jun-13	8	1.48	6.84	1.1	0.12	0.18	0	0
jul-13	10	1.84	6.68	1.6	0.14	0.18	0	0
ago-13	10	1.82	6.53	1.2	0.17	0.28	0	0
sep-13	12	2.34	6.68	0.7	0.2	0.3	0	0
oct-13	10	1.21	7.07	1.2	0.14	0.2	0	0
nov-13	5	0.77	4.6	2	0.09	2.8	0	0
dic-13	10	1.87	6.54	1.8	0.07	0.18	0	0
ene-14	5	1.04	6.54	0.3	0.04	0.18	0	0
feb-14	10	1.24	7.35	0.4	0.16	0.14	0	0
mar-14	13	2.51	5.22	0	0.06	0.7	Presentes	Presentes
abr-14	10	1.97	6.55	0.7	0.14	0.7	0	0
may-14	8	1.1	4.5	1.5	0.09	2.75	0	0
jun-14	8	1.7	6.55	0.5	0.008	0.28	0	0
jul-14	10	1.4	6.85	1.6	0.16	0.35	0	0
ago-14	10	2.1	7.12	0.4	0.14	0.15	0	0

sep-14	6	1.79	7.38	1.5	0.18	0.1	0	0
oct-14	10	1.94	5.1	0	0.07	0.6	Presentes	0
nov-14	5	1.41	4.8	1.6	0.06	1.2	0	00
dic-14	10	1.9	6.92	1.2	0.12	0.16	0	0
ene-15	6	1.1	7.16	1.6	0.12	0.09	0	0
feb-15	10	1.84	6.63	1.5	0.09	0.35	0	0
mar-15	10	2.35	6.57	1.8	0.1	0.35	0	0
abr-15	13	2.72	7.05	1.5	0.2	0.45	0	0
may-15	12	0.89	7.43	0.5	0.14	0.18	0	0
jun-15	6	1.04	6.85	0.8	0.04	0.3	0	0
jul-15	10	1.08	7.31	0.5	0.12	0.25	0	0
ago-15	7	0.79	7.36	1.5	0.13	0.15	0	0
sep-15	4	0.3	7.46	1.8	0.07	0.09	0	0
oct-15	8	0.97	7.23	1.6	0.16	0.2	0	0
nov-15	13	2.32	6.57	0.8	0.14	0.65	0	0
dic-15	8	0.56	7.55	1.9	0.12	0.09	0	0
ene-16	5	0.22	7.71	2	0.15	0.1	0	0
feb-16	8	1.61	6.14	2	0.15	0.12	0	0
mar-16	5	0.38	7.57	2	0.1	0.12	0	0
abr-16	5	1.15	6.7	2	0.1	0.14	0	0
may-16	5	1.87	6.56	1.1	0.1	0.12	0	0
jun-16	5	0.69	8.76	2	0.1	0.1	0	0
jul-16	6	0.46	6.64	1.67	0.1	0.08	0	0
ago-16	5	1.35	6	0.55	0.15	0.08	0	0
sep-16	4	1.6	6.8	1.03	0.1	0.04	0	0
oct-16	5	1.52	6.89	0.71	0.1	0.12	0	0
nov-16	5	1.3	7.13	2	0.1	0.04	0	0
dic-16	5	0.33	6.98	1.23	0.1	0.14	0	0
ene-17	5	2	5	1.99	0.1	0.1	0	0
feb-17	5	0.26	6.51	1.75	0.1	0.04	0	0
mar-17	5	1.58	5.6	1.29	0.1	0.02	0	0
abr-17	10	1.5	4	3.6	0.1	0.02	0	0
may-17	5	1.95	4	2.15	0.1	0.08	0	0
jun-17	4	1.05	7.2	1.5	0.1	0.23	0	0
jul-17	6.4	1.24	6.5	0.8	1.018	0.23	0	0
ago-17	6	1.2	6.6	1.25	0.011	0.22	0	0
sep-17	5	0.7	6.8	2	0.1	0.06	0	0

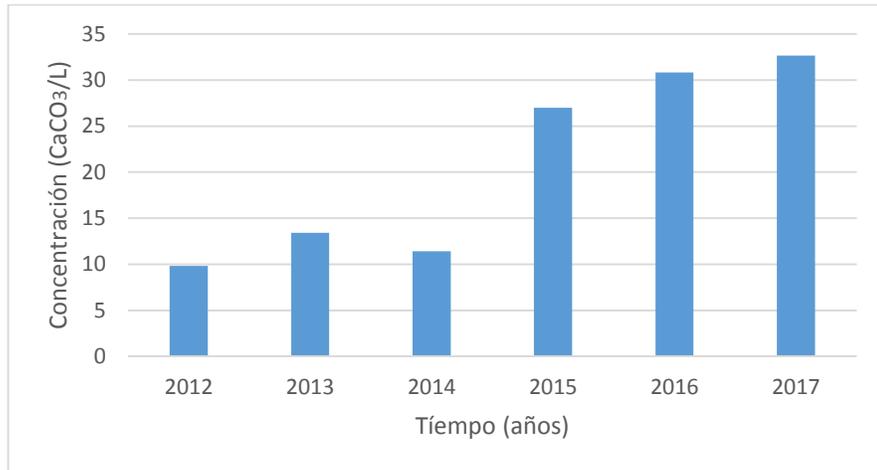
**ANEXO C.  
PARÁMETROS NO EVALUADOS**

Tabla de resultados

Fecha	Alcalinidad total	Fosfatos	Manganeso	Dureza total	Sulfatos	Cloruros	Nitratos	Nitritos
ene-12	8	0.015	0	27	25	8	1	0
feb-12	11	0.05	0	23	28	8	2	0
mar-12	3	0.01	0	20	28	10	1	0.001
abr-12	1	0.005	0.01	18	35	11	1	0.001
may-12	12	0.03	0	26	28	10	2	0.002
jun-12	13	0.02	0	25	28	8	1	0.001
jul-12	6	0.06	0	25	33	9	1	0.001
ago-12	14	0.023	0	28	30	8	1	0.001
sep-12	13	0.03	0	32	28	8	1	0.001
oct-12	12	0.015	0	28	28	10	1	0
nov-12	12	0.015	0	30	35	12	2	0.001
dic-12	13	0.015	0	28	30	7	1	0.001
ene-13	21	0.04	0	40	32	15	2	0.002
feb-13	14	0.06	0	26	32	9	2	0.001
mar-13	17	0.055	0	32	30	10	1	0.001
abr-13	3	0.015	0	16	35	10	1	0.002
may-13	3	0.046	0	20	32	11	1	0.002
jun-13	15	0.04	0	33	30	12	1	0.001
jul-13	15	0.023	0	32	30	12	1	0.001
ago-13	13	0.046	0	36	30	9	1	0.001
sep-13	16	0.046	0	37	35	9	0	0.002
oct-13	30	0.01	0	42	30	9	1	0.001
nov-13	4	0.01	0	24	60	14	0	0
dic-13	10	0.04	0	33	32	12	0	0.001
ene-14	9	0.005	0	26	32	14	0	0.001
feb-14	20	0.046	0	32	30	11	0	0.001
mar-14	4	0.01	0	26	33	10	0	0.002
abr-14	10	0.046	0	30	32	10	1	0.001
may-14	3	0.04	0	20	60	11	0	0.001
jun-14	10	0.03	0	30	32	12	0	0.001
jul-14	17	0.07	0	32	28	11	0	0.001
ago-14	17	0.06	0	36	30	9	1	0.002
sep-14	25	0.028	0	40	27	12	0	0.002
oct-14	4	0.046	0	26	33	8	1	0
nov-14	3	0.03	0	20	33	12	0	0
dic-14	15	0.046	0	30	28	10	0	0

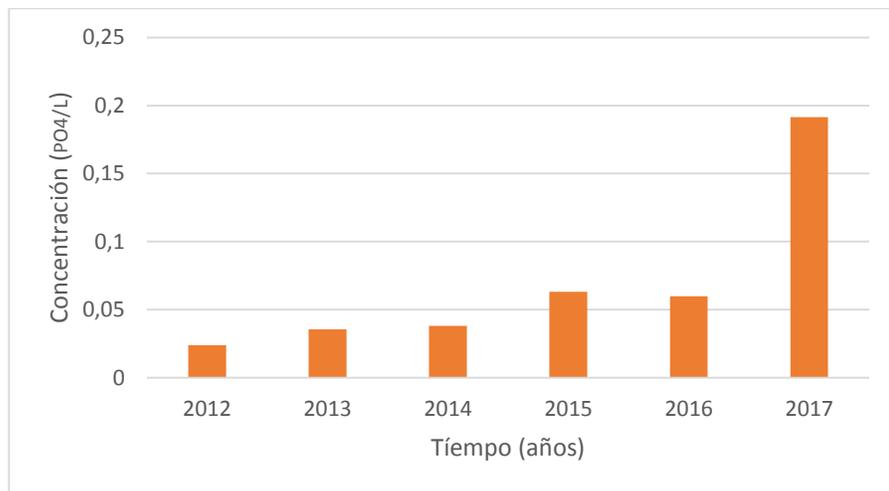
ene-15	27	0.046	0	38	30	10	1	0
feb-15	13	0.04	0	36	32	10	1	0
mar-15	12	0.06	0	33	30	11	1	0
abr-15	22	0.08	0	40	30	11	1	0
may-15	27	0.04	0	38	30	10	0	0
jun-15	19	0.04	0	38	30	9	0	0
jul-15	42	0.09	0	45	30	8	0	0
ago-15	37	0.046	0	50	30	9	1	0
sep-15	39	0.075	0	56	28	10	1	0
oct-15	34	0.09	0	54	28	10	1	0
nov-15	14	0.08	0	38	32	9	1	0
dic-15	38	0.07	0	40	35	9	1	0
ene-16	30	0.05	0	50	29	20	1	0.1
feb-16	30	0.046	0	40	26	20	1	0.1
mar-16	30	0.08	0	50	26	20	1	0.1
abr-16	30	0.09	0	50	26	20	1	0.1
may-16	30	0.05	0	40	24	10	1	0.1
jun-16	30	0.056	0	50	24	20	1	0.1
jul-16	30	0.087	0	50	28	20	2	0.1
ago-16	30	0.07	0	40	24	20	1	0.1
sep-16	30	0.062	0	50	26	20	1	0.1
oct-16	20	0.03	0	40	26	20	1	0.1
nov-16	50	0.05	0	60	25	15	1	0.1
dic-16	30	0.047	0	40	25	15	1	0.1
ene-17	30	0.037	0	50	25	15	1	0.1
feb-17	40	0.03	0	30	20	10	1	0.1
mar-17	30	0.04	0	50	26	20	1	0.1
abr-17	40	0.03	0	30	10	15	1	0.1
may-17	30	0.036	0	60	26	10	1	0.1
jun-17	30	0.051	0	40	24	15	1.54	0.01
jul-17	18	1.82	0.019	50	29	20	0.62	0.007
ago-17	40	0.06	0.015	40	20	10	1	0.1
sep-17	20	0.08	0.018	30	24	15	1	0.1
oct-17	54	0.039	0.022	112	14	20	0.87	0.005
nov-17	30	0.03	0.017	118	26	20	0.92	0.006
dic-17	30	0.045	0	60	26	15	1	0.1

- Alcalinidad



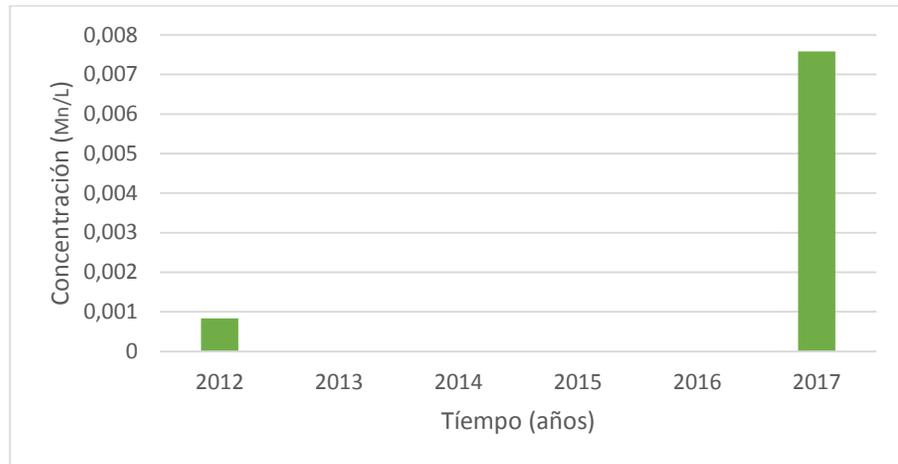
El Máximo valor permitido para el parámetro de alcalinidad es una concentración de 200 CaCO<sub>3</sub>/L, evidenciándose que para ninguno de los años evaluados este valor es sobrepasado.

- Fosfato



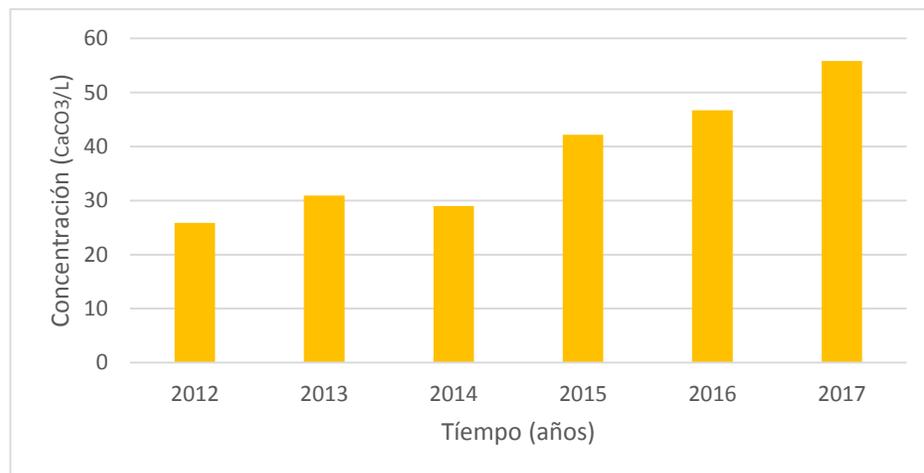
El Máximo valor permitido para el parámetro de fosfato es una concentración de 0,5 PO<sub>4</sub>/L, evidenciándose que para ninguno de los años evaluados este valor es sobrepasado.

- Manganeseo



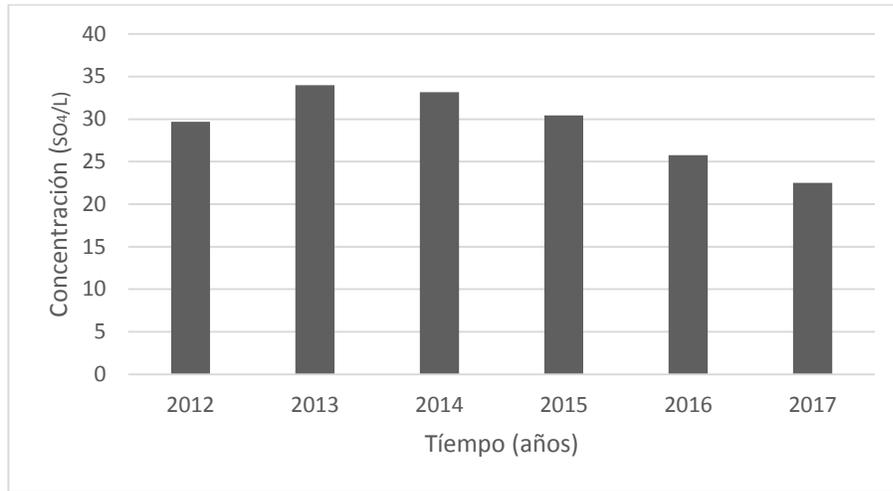
El Máximo valor permitido para el parámetro de manganeso es una concentración de 0,1 Mn/L, evidenciándose que para ninguno de los años evaluados este valor es sobrepasado.

- Dureza Total



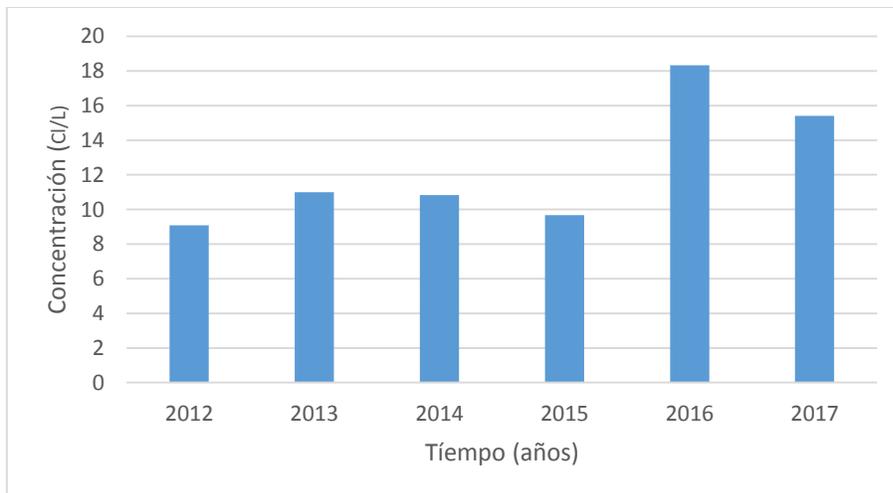
El Máximo valor permitido para el parámetro de dureza total es una concentración de 300 CaCO<sub>3</sub>/L, evidenciándose que para ninguno de los años evaluados este valor es sobrepasado.

- Sulfatos



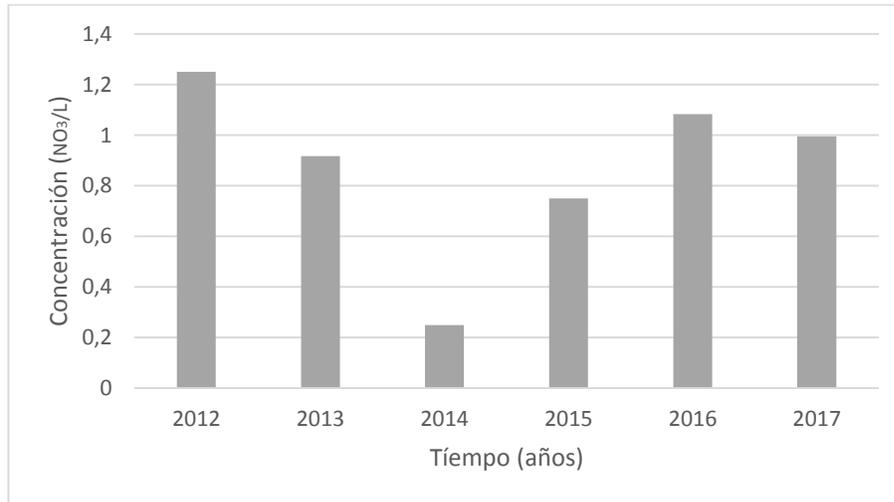
El Máximo valor permitido para el parámetro de sulfato es una concentración de 250 SO<sub>4</sub>/L, evidenciándose que para ninguno de los años evaluados este valor es sobrepasado.

- Cloruros



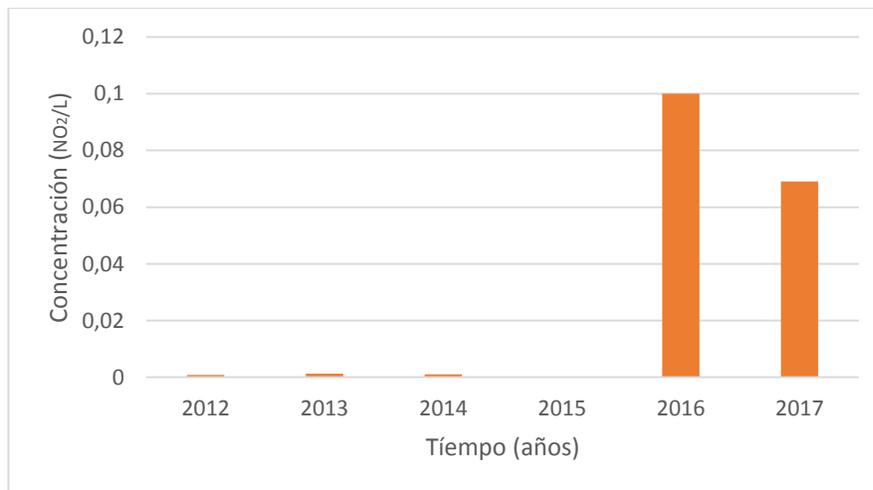
El Máximo valor permitido para el parámetro de sulfato es una concentración de 250 Cl<sub>4</sub>/L, evidenciándose que para ninguno de los años evaluados este valor es sobrepasado.

- Nitratos



El Máximo valor permitido para el parámetro de sulfato es una concentración de 0,1 NO<sub>3</sub>/L, evidenciándose que para ninguno de los años evaluados este valor es sobrepasado

- Nitritos



El Máximo valor permitido para el parámetro de sulfato es una concentración de 0,1 NO<sub>2</sub>/L, evidenciándose que para ninguno de los años evaluados este valor es sobrepasado.

**ANEXO D**  
**RESULTADOS CARACTERIZACIÓN 1<sup>ERA</sup> MUESTRA DE AGUA**

**Laboratorio Unid Salud SAS**   
Control de Calidad de Aguas y Alimentos  
**Dra. SANDRA LILIANA GONZALEZ**  
NIT: 900515644-9

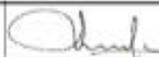
**RESULTADO ANALITICO PARA AGUAS**

No de muestra	B18-856		No de informe		B18-856		
<b>IDENTIFICACION</b>							
Establecimiento	COOVERSUR LTDA E.S.P			NIT:	890680138-3		
Tipo de agua	Tratada						
Dirección	CRA. 5 A N° 11-04			Fecha análisis:	22/03/2018		
Fecha y hora toma muestra	22/03/2018	N/R	Fecha resultado:	28/03/2018			
Fecha y hora recepción muestra	22/03/2018	N/R	Hora entrega reporte	4:00:00 p.m.			
Lugar de toma del ítem	Después del proceso de tratamiento			Punto toma de muestra	Después del proceso de tratamiento		
Municipio	Bogotá			Fuente abastecimiento	Rio Batán		
Departamento	Cundinamarca						
<b>ANALISIS FISICOQUIMICO</b>							
PARAMETRO	RESULTADO	V. REFERENCIA	METODO	PARAMETRO	RESULTADO	V. REFERENCIA	METODO
Color (upc)	9	Max 15	Fotométrico	Cloruro (mg/L de Cl)	10	Max 250	Volumétrico
Turbiedad(unt)	2,01	Max 2	Fotométrico	Nitratos (mg/L)	1	Max 10	Fotométrica
pH(un) *	8,25	6,5-9	Electrométrico	Nitritos (mg/L)	0,1	Max 0,1	Fotométrica
Cloro residual libre (mg/L)	0,09	0,3-2,0	Fotométrico	Aluminio (mg/L)	0,05	Max 0,2	Fotométrica
Alcalinidad Total mg CaCO <sub>3</sub> /L	20	Max 200	Volumétrico	Fluoruros (mg/L)		Max 1,0	Fotométrica
Calcio (mg/L)		Max 60	*EAA	COT (mg/L)		Max 5,0	Combustión y Fotométrica
Fosfatos (mg/L)		Max 0,5	Colorimétrico	Sustancias Flotantes		Ausencia	Gravimétrico
Manganeso (mg/L)		Max 0,1	*EAA	Conductividad (uS/cm)	673		S.M 2510 B
Molibdeno (mg/L)		Max 0,07	*EAA	Olor	Inobjetable	Inobjetable	
Magnesio (mg/L)		Max 36	*EAA	Sabor	Inobjetable	Inobjetable	
zinc (mg/L)		Max 3	*EAA	Temperatura °C	15,2		Termométrico
Dureza Total mg CaCO <sub>3</sub> /L	60	Max 300	Volumétrico				
Sulfatos (mg/L)	15	Max 250	Fotométrico				
Hierro total (mg/L)	0,04	Max 0,3	Volumétrico				

PARAMETRO	RESULTADO	V REFERENCIA	METODO
Coliformes Totales U.F. C/100 cm <sup>3</sup>	4	0	Filtración de Membrana
Recuento de <i>Escherichia coli</i> U.F. C/100 cm <sup>3</sup>	0	0	Filtración de Membrana

\* Análisis in Situ      \*\* Res. 2115/2007

<b>Concepto Físico Químico:</b> <b>NO CUMPLE</b> La Causa de no Aceptabilidad es: turbiedad, cloro residual.	<b>Concepto Microbiológico:</b> <b>NO CUMPLE</b> Coliformes Totales.
---	--



**Dra. Sandra González Lozano**  
Jefe de Laboratorio

El Laboratorio se responsabiliza exclusivamente de los análisis practicados a la muestra recepcionada.  
La información consignada en el resultado del ensayo, corresponde a la registrada en el acta de toma de muestra.  
El informe no se debe reproducir sin aprobación previa del Laboratorio.

Cra 72B N° 9-87 Castilla-Bogotá Tel 4111561 Cel 310 7893372  
Email: info@laboratoriounidosalud.com \* www.laboratoriounidosalud.com



## ANEXO E RESULTADOS CARACTERIZACIÓN 2<sup>DA</sup> MUESTRA DE AGUA



### RESULTADO ANALITICO PARA AGUAS

No de muestra	B19-144					No de informe	B19-144	
<b>IDENTIFICACION</b>								
Establecimiento	ACUEDUCTO COOVESUR				NIT:	890680138-3		
Tipo de agua	Tratada							
Dirección	Calle 5 N° 11-04				Fecha análisis:	11/05/2018		
Fecha y hora toma muestra	11/05/2018	08:00:00 a. m.		Fecha resultado:	19/05/2018			
Fecha y hora recepción muestra	11/05/2018	02:00:00 p. m.		Hora entrega reporte	1:10:00 p.m.			
Lugar de toma del ítem	Después del proceso de tratamiento				Punto toma de muestra	Después del proceso de tratamiento		
Municipio	Fusagasuga				Fuente abastecimiento	Rio Batán		
Departamento	CUNDINAMARCA							
<b>ANALISIS FISICOQUIMICO</b>								
PARAMETRO	RESULTADO	V. REFERENCIA	METODO	PARAMETRO	RESULTADO	V. REFERENCIA	METODO	
Color (upc)	7	Max 15	Fotométrico	Cloruro (mg/L de Cl)		Max 250	Volumétrico	
Turbiedad (unt)	0,39	Max 2	Fotométrico	Nitratos (mg/L)		Max 10	Fotométrica	
pH(unt) *	7	6.5-9	Electrométrico	Nitritos (mg/L)		Max 0.1	Fotométrica	
Cloro residual libre (mg/L)	1,1	0,3-2,0	Fotométrico	Aluminio (mg/L)	0	Max 0.2	Fotométrica	
Alcalinidad Total mg CaCO <sub>3</sub> /L		Max 200	Volumétrico	Fluoruro (mg/L)		Max 1,0	Fotométrica	
Calcio (mg/L)		Max 60	*EAA	COT (mg/L)		Max 5,0	Combustión y Fotometría	
Fosfatos (mg/L)		Max 0,5	Colorimétrico	Sustancias Flotantes		Ausencia	Gravimétrico	
Manganeso (mg/L)		Max 0,1	*EAA	Conductividad (uS/cm)			S.M 2510 B	
Molibdeno (mg/L)		Max 0,07	*EAA	Olor	Inobjetable	Inobjetable		
Magnesio (mg/L)		Max 36	*EAA	Sabor	Inobjetable	Inobjetable		
zinc (mg/L)		Max 3	*EAA	Temperatura °C	19,8		Termométrico	
Dureza Total mg CaCO <sub>3</sub> /L		Max 300	Volumétrico					
Sulfatos (mg/L)		Max 250	Fotométrico					
Hierro total (mg/L)	0	Max 0,3	Volumétrico					
<b>ANALISIS MICROBIOLÓGICO</b>								
PARAMETRO	RESULTADO	V REFERENCIA	METODO					
Coliformes Totales U.F.C/100 cm <sup>3</sup>	0	0	Filtración de Membrana					
Recuento de Escherichia coli U.F.C/100 cm <sup>3</sup>	0	0	Filtración de Membrana					
* Análisis In Situ ** Res. 2115/2007								
<b>Concepto Físico Químico:</b>				<b>Concepto Microbiológico:</b>				
<b>CUMPLE</b>				<b>CUMPLE</b>				

Dra. Sandra González Lozano  
Jefe de Laboratorio

El Laboratorio se responsabiliza exclusivamente de los análisis practicados a la muestra recepcionada. La información consignada en el resultado del ensayo, corresponde a la registrada en el acta de toma de muestra. El informe no se debe reproducir sin aprobación previa del Laboratorio.

Cra 728 N° 9-97 Castilla-Bogotá Tel 4111561 Cel 310 7893372  
Email: info@laboratoriounidosalud.com \* www.laboratoriounidosalud.com

# Laboratorio Unid Salud SAS

Control de Calidad de Aguas y Alimentos

Dra. SANDRA LILIANA GONZALEZ

NIT: 900515644-9



## INDICE DE RIESGO DE LA CALIDAD DEL AGUA PARA CONSUMO HUMANO - IRCA

Establecimiento: ACUEDUCTO COOVESUR No de informe **B19-144**  
No de muestra **B19-144**

CARACTERISTICAS	PUNTAJE DE RIESGO	ACEPTABLE	NO ACEPTABLE
Color aparente	6	6	
Turbiedad	15	15	
pH	1,5	1,5	
Cloro Residual Libre	15	15	
Alcalinidad Total			
Calcio			
Fosfatos			
Manganeso			
Molibdeno			
Magnesio			
Zinc			
Dureza Total			
Sulfatos			
Hierro Total	1,5	1,5	
Cloruros			
Nitratos			
Nitritos			
Aluminio	3	3	
Fluoruros			
COT			
Coliformes Totales	15	15	
Escherichia Coli	25	25	
<b>TOTALES</b>	<b>82</b>	<b>82</b>	<b>0</b>

$$IRCA(\%) = \frac{\sum \text{Puntaje de Riesgo asignado a las características no Aceptables}}{\sum \text{Puntaje de Riesgo asignado a todas las características Analizadas}}$$

$$IRCA(\%) = 0,00 \%$$

Clasificación del Nivel de Riesgo en Salud según el IRCA por Muestra:

Clasificación IRCA(%)	Nivel de riesgo	IRCA por muestra (Notificación que adelantara la autoridad sanitaria de manera inmediata).	IRCA mensual (Acciones)
0-5	SIN RIESGO	Continuar el control y la vigilancia	Agua apta para consumo humano continuar la vigilancia.

**ANEXO F**  
**FICHA TÉCNICA SULFATO DE ALUMINIO**

**SULFATO DE ALUMINIO GRANULADO TIPO A**

**1.- DESCRIPCIÓN DEL PRODUCTO**

El Sulfato de Aluminio Tipo A es una sal inorgánica, que contiene 14 moles de agua, es manufacturada a partir de una fuente de aluminio libre de hierro y ácido Sulfúrico.

**2.- CARACTERÍSTICAS DEL PRODUCTO**

<b>NOMBRE COMERCIAL</b>	SULFATO DE ALUMINIO GRANULADO
<b>TIPO A</b>	
<b>PESO MOLECULAR</b>	594.14 g/mol.
<b>FORMULA QUÍMICA</b>	$Al_2(SO_4)_3 \cdot 14H_2O$
<b>APARIENCIA</b>	CRISTALES DE COLOR BLANCO/SOLUBLE
<b>EN AGUA</b>	

**3.- REQUERIMIENTOS**

PARÁMETROS	ESPECIFICACIONES	CONFORMIDAD
Aluminio, $Al_2O_3$ %	17.0 min.	Cumple con las normas internacionales para productos químicos usados en el tratamiento del agua ANSI/AWWA B403-93 (Aluminum Sulphate-Líquido, Ground or lump).
Basicidad, $Al_2O_3$ %	0.60 máx.	
Hierro, $Fe_2O_3$ %	0.05 máx.	
Insolubles, %	0.20 máx.	
Malla 6, % Pasante	100 min	
Malla 10, % Pasante	60 Mín.	

**4.- APLICACIONES**

Es ampliamente usada en el tratamiento de aguas como coagulante en la mayoría de los procesos hidrodinámicos de separación de sólidos, en especial de las partículas coloidales. Debido a ello cumple con las normas internacionales para productos químicos para el tratamiento del Agua ANSI/AWWA B403-93.

## ANEXO G PRECIOS INSUMOS QUÍMICOS

IVA REGIMEN COMUN      PRODUCTORA QUIMICA COLOMBIANA PROCOL LTD

Resolución DIAN N°320001426622 Fecha 2016-07-16  
Autorizado de S.I a S.I0000 Facturación por sistema  
Codigo CIU 2029 a S.I 1000. FAVOR NO RETENER ICA  
SOMOS CONTRIBUYENTES EN EL MUNICIPIO DE FUSAGA

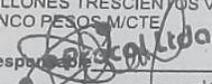
**NIT 830.020.483-0**  
CARRERA 13 No 5A-20/ TEL 8931186 CEL  
3102967290 / 3269020853

<b>CLIENTE</b>	COOPERATIVA DE USUARIOS DEL ACUEDUCTO COMUNAL DE LAS VEREDAS DEL SUR LTDA ESP	<b>FACTURA DE VENTA S</b>	1583
<b>NIT</b>	890680138 3	<b>FECHA FACTURA</b>	10-abr-17
<b>CONTACTO</b>	Dña: MONICA GORDILLO	<b>FECHA VEN</b>	10-abr-17
<b>DIRECCION</b>	CR 5 A 11 04	<b>FORMA DE PAGO</b>	Credito
<b>CIUDAD</b>	Fusagasuga	<b>ORDEN No.</b>	REM 206
<b>TELEFONO</b>	8866155		

Descripción	Cantidad	U Medida	Valor Unitario	IVA	Total
CLORO GASEOSO CILINDRO X 68 KLS	272	kg	7.140		1.942.080
CAL HIDRADATA BULTO X 25 KLS	25	kg	1.050		26.250
SULFATO DE ALUMINIO TIPO A GRÁNULADO	3.000	kg	1.500		4.500.000
ACIDO TRICLORO ISOCIANURICO	45	kg	11.750		528.750

<b>SUBTOTAL</b>	6.997.080
<b>IVA 19%</b>	1.329.445
<b>TOTAL FACTURA</b>	8.326.525

OCHO MILLONES TRESCIENTOS VEINTISEIS MIL QUINIENTOS VEINTICINCO PESOS M/CTE

Firma Responsable:  Recibido Por: \_\_\_\_\_

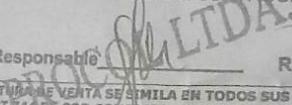
ESTA FACTURA DE VENTA SE SIMILA EN TODOS SUS EFECTOS LEGALES A UNA LETRA DE CAMBIO SEGUN ART 744 DE COD COMERCIO. SUSCRIBO DE CONFORMIDAD EL IMPORTE DE ESTA FACTURA Y PAGARE INCONDICIONALMENTE A PROCOL LTDA

NIT 830.020

Descripción	Cantidad	U Medida	Valor Unitario	IVA	Total
CLORO GRANULADO AL 91%	45	kg	12.000	0	540.000

<b>SUBTOTAL</b>	540.000
<b>IVA</b>	86.400
<b>TOTAL FACTURA</b>	626.400

Valor en Letras: OCHO CIENTOS VEINTISEIS MIL CUATROCIENTOS PESOS M/CTE

Firma Responsable:  Recibido Por: \_\_\_\_\_

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

1 2015

## ANEXO H FICHA TÉCNICA LIPESA 1569



### LIPESA 1569 A

#### POLIMERO CATIONICO

- Ideal para la deshidratación mecánica de lodos orgánicos
- Aplicable a una gran variedad de aguas y efluentes industriales
- Trabaja en un rango amplio de pH: 1,0 - 13,0
- Fácilmente soluble en agua
- Excelente relación costo-rendimiento: Trabaja a dosis muy bajas

#### Usos principales

LIPESA 1569 A ha sido especialmente formulado para ser utilizado en la deshidratación mecánica de lodos provenientes de procesos de clarificación y espesamiento de efluentes industriales, especialmente los orgánicos. LIPESA 1569 A tiene también aplicación en la clarificación y espesamiento de aguas industriales y procesos varios. LIPESA 1569 A cumple con los requisitos para su uso en agua potable según la normativa NSF/ANSI Standard 60.

#### Descripción General

LIPESA 1569 A es un polímero sólido de "alto peso molecular", ligeramente catiónico, con las siguientes características:

Color:	Blanco
Olor:	Inodoro
pH al 0,5%:	2,50 – 4,50
Densidad:	~ 0,800 g/m <sup>3</sup>
Solubilidad:	0,5 % en agua
Viscosidad (cP):	~ 560 al 0,5 % ~ 260 al 0,25 % ~ 120 al 0,1 %

#### Dosis

La dosis de LIPESA 1569 A varía de acuerdo al tipo de proceso y efluente tratado. La dosis típica es:

- Espesamiento y clarificación: 0,1 a 300 g/m<sup>3</sup>

En todo caso, el representante Técnico LIPESA le asesorará en el establecimiento de la dosis adecuada a su situación particular.

#### Modo de Empleo y Alimentación

LIPESA 1569 A se debe alimentar de manera continua al proceso, en un punto de buena agitación y mezcla, a través de bombas dosificadoras de acero dulce o cualquier otro material. Para obtener el mejor rendimiento del producto, se debe preparar en soluciones hasta un 0,5% de concentración y alimentar luego al 0,1% de concentración como máximo.

El tiempo de preparación de las soluciones de LIPESA 1569 A es de 40 minutos. Se recomienda realizarlo de la siguiente manera:

- Agregarlo lentamente al agua mientras se agita. Esto evita la formación de grumos o apelmazamiento.
- Agitar suavemente durante 10 – 20 minutos.
- Dejar en reposo durante 5 – 10 minutos.
- Y finalmente, agitar por 10 – 25 minutos.

La inyección del producto deberá hacerse en un punto de buena mezcla y en todo caso dependerá de sistema de tratamiento usado. El Representante Técnico LIPESA le asesorará en el establecimiento del sitio adecuado para la inyección del producto, bien sea en estaciones de tratamiento o en aplicaciones especiales.

## ANEXO I COTIZACIÓN LIPESA 1569



Bogotá., junio 1 de 2018

Ingeniera  
**ERIKA SUAREZ**  
Universidad de América  
Ciudad

**ASUNTO:** Cotización Polímero Lipesa

De acuerdo con su solicitud, me permito presentar cotización del siguiente producto químico:

REFERENCIA	PRODUCTO	PRESENTACION	PRECIO (COP/ Kg)	PRECIO TOTAL (\$COP)
L-1569A	Polímero Catiónico	Saco x 25 kg	\$24.300	\$607.500

### CONDICIONES COMERCIALES

- A los anteriores valores se debe adicionar el IVA vigente
- Crédito : Contado
- Tiempo de entrega : Ocho días hábiles después de recibida la OC y realizado el pago
- Disponibilidad : De acuerdo con disponibilidad al momento de recibir el pedido
- Sitio de Entrega : Bogotá
- Vigencia Cotización : 30 Días

CARRETERA CENTRAL Km 30 BOGOTA-TUNJA FRENTE A BAVARIA, TOCANCIPÁ - COLOMBIA  
TEL: 8786600

## ANEXO J FICHA TÉCNICA CLORO GASEOSO

Nombre del Producto: **CLORO**  
Fecha de Revisión: Agosto 2014, Revisión N°3



### SECCION 1 : IDENTIFICACION DEL PRODUCTO Y DE LA COMPAÑIA

**PRODUCTO**

**Nombre Químico:** CLORO - O<sub>2</sub>  
**Número CAS:** 7782-50-5  
**Sinónimos:** Dicloro, Bertolito, Cloro molecular.

### SECCION 2 : COMPOSICION / INFORMACION SOBRE LOS INGREDIENTES

CLORO	CAS : 7782-50-5	100%
-------	-----------------	------

### SECCION 3 : IDENTIFICACION DE PELIGROS

**Clasificación ONU:** Clase 2.3 Gas venenoso  
Clase 8 Corrosivo  
Clase 5.1 Oxidante

**Clasificación NFPA:** Salud: 4      Inflamabilidad: 0      Reactividad: 0

**VISION GENERAL SOBRE LAS EMERGENCIAS.** Apariencia: Gas de color amarillo cenizo. ¡PELIGRO!. Gas venenoso y material comburente. La sustancia puede absorberse a través del cuerpo por inhalación. Causa lagrimeo. La sustancia es corrosiva a ojos, piel y tracto respiratorio. La inhalación del gas causa edema pulmonar. La evaporación rápida del líquido puede provocar quemaduras en el área de contacto. La exposición por encima de los niveles de exposición ocupacional puede provocar la muerte. Los efectos pueden ser retardados. Puede causar erosión en los dientes.

**EFFECTOS ADVERSOS POTENCIALES PARA LA SALUD:**

<b>Inhalación:</b>	Forma ácidos en el organismo. Sensación de quemadura, produce espasmos en los músculos de la laringe, lagrimeo excesivo, tos, náuseas, dificultad respiratoria, dolor de cabeza y del tracto respiratorio y edema pulmonar. Los síntomas pueden ser retardados. La inhalación de concentraciones mayores de 1000 ppm causa la muerte.
<b>Ingestión:</b>	No aplicable para el gas. Un chorro de líquido ocasiona sensación de quemadura. Puede ocasionar vómito posteriormente a la exposición.
<b>Contacto con los ojos:</b>	Un chorro de líquido produce quemadura por congelamiento. El gas produce lagrimeo, enrojecimiento, dolor, visión borrosa y quemaduras. Es corrosivo para los tejidos.
<b>Contacto con la piel:</b>	Sensación de quemadura. Mezclado con agua produce quemadura ya que forma ácido clorhídrico el cual es corrosivo. Produce irritación, dolor y enrojecimiento.
<b>Efectos Crónicos:</b>	Puede causar erosión de los dientes. Tiene efectos sobre los tejidos y pulmones. Posible bronovitis crónica.

sumergir el cilindro en la solución. Se requieren 1.25 lb. de lechada de cal o de soda por cada libra de cloro. Colocar los cilindros con la fuga hacia arriba para que escape el gas en lugar del líquido.

## SECCION 7: MANEJO Y ALMACENAMIENTO

**Manejo:** Usar siempre protección personal así sea corta la exposición o la actividad que realice con el producto. Mantener estrictas normas de higiene, no fumar, ni comer en el sitio de trabajo. Usar las menores cantidades posibles. Conocer donde esta el equipo para la atención de emergencias. Leer las instrucciones de la etiqueta antes de utilizar el producto. Rotular los recipientes adecuadamente. Manipular los cilindros con mucho cuidado. No intentar alterar o reparar los cilindros o sus válvulas sin la debida protección respiratoria. No usar cerca de operaciones de soldadura, llamas o superficies calientes.

**Almacenamiento:** Almacenar en cilindros de acero a presión en lugares ventilados a nivel del piso, frescos y secos, lejos de fuentes de calor e ignición y separado de materiales incompatibles. La temperatura de almacenamiento no debe exceder los 51°C. Rotular los recipientes adecuadamente. Proveer de amplias vías de acceso. Los cilindros deben estar separados de sustancias combustibles y agentes reductores. Separar los cilindros vacíos de los llenos. Mantener los cilindros retirados de la acción de la luz solar.

## SECCION 8: CONTROLES DE EXPOSICION Y PROTECCION PERSONAL

**Controles de Ingeniería:** Mantener ventilación local y general para asegurar que la concentración no exceda los límites de exposición ocupacional. Control exhaustivo de las condiciones del proceso. Debe disponerse de duchas y estaciones lavaojos.

### EQUIPOS DE PROTECCION PERSONAL

**Protección de los ojos:** Usar gafas protectoras contra productos químicos

**Protección de la piel:** Guantes resistentes, overol y botas.

**Protección respiratoria:** Si la concentración en el ambiente es inferior a 25 ppm, usar respirador con filtro químico.

**Protección en caso de emergencia:** Equipo de respiración autónomo (SCBA) con máscara completa, traje cápsula y botas resistentes a este tipo de material.

## SECCION 9: PROPIEDADES FISICAS Y QUIMICAS

<b>Apariencia, olor y estado físico :</b>	Gas amarillo cenizo de olor picante e irritante.
<b>Gravedad Específica (Agua = 1):</b>	1.4/20 °C - 1.57/-40 °C
<b>Punto de Ebullición °C :</b>	-34.6
<b>Punto de Fusión °C :</b>	-105.5
<b>Densidad relativa del vapor (Aire=1) :</b>	2.50
<b>Presión de vapor (mm Hg) :</b>	4785/ 20°C - 5830/ 25°C
<b>Viscosidad (cp):</b>	0.385 a 0 °C, líquido.
<b>pH:</b>	N.A.
<b>Solubilidad :</b>	Ligeramente soluble en agua fría (reacciona). Soluble en cloruros, alcoholes y álcalis.

## SECCION 10 : ESTABILIDAD Y REACTIVIDAD

**Estabilidad química:** Estable bajo condiciones normales de uso y almacenamiento. Altamente corrosivo en presencia de humedad.

**Condiciones a evitar:** Materiales incompatibles, humedad, fuentes de ignición y exceso de calor.

**Incompatibilidad con otros materiales:** Reacciona con alquil fosgenos, benceno, silicona, en general con compuestos orgánicos compuestos de mercurio. No ponga en contacto con combustibles, alcoholes, acetileno, hidrógeno, amoníaco, hidrocarburos, éter, turpentina y metales finamente divididos (peligro de fuego y explosión). Ataca metales en presencia de agua, así como también plásticos, caucho y tejidos.

**Productos de descomposición peligrosos:** Información no disponible.

**Polimerización Peligrosa:** Información no disponible.

## SECCION 11 : INFORMACION TOXICOLOGICA

Altamente tóxico por inhalación . El líquido puede causar quemaduras severas.

LC50 (inhalación, ratas) = 293 ppm/1h

LC50 (inhalación, ratones) = 137 ppm/1h

**Ensayos de inhalación:** La exposición de gatos a 300 ppm por 1 hora causa severa irritación de los ojos, dificultad para respirar y hasta la muerte. La muerte ocurre raramente en perros expuestos a concentraciones de cloro entre 280-650 ppm por 30 minutos. Ratas y ratones expuestos a 9-11 ppm de cloro por 6 horas/día por 1, 3 ó 5 días sufrieron severos daños del tracto respiratorio. Conejos expuestos repetidamente a concentraciones entre 0.7-1.7 ppm por cerca de 9 meses experimentaron pérdida de peso y aumento de paros respiratorios.

**Ensayos de contacto con los ojos:** Disuelto en agua e inyectado en los ojos de los conejos causan severa inflamación y daño a los ojos.

Es considerado por ACGIH en el grupo A4 (no clasificable como carcinógeno humano).

#### SECCION 12 : INFORMACION ECOLOGICA

Puede ser peligroso para el medio ambiente. Se debe tener especial cuidado con aves, mamíferos y organismos acuáticos. No es un potencial para bioacumulación o bioconcentración. Peligroso para plantas y peces en muy bajas concentraciones. Altera el pH del medio.

LC50 (peces) = 0.07 – 0.44 mg/l (96 h)

LC (Daphnia Magna) = 0.017 mg/l (48 h)

TLM = 0.08 ppm/168h/trucha/agua fresca

Velocidad de toxicidad acuática = Menor de 1ppm/96h/agua fresca. DBO=Ninguna

#### SECCION 13 :CONSIDERACIONES SOBRE DISPOSICION

**Tratamientos de residuos:**

Tratar según legislación vigente

**Eliminación de envases:**

Lavar y descartar según legislación vigente

#### SECCION 14 :INFORMACION SOBRE TRANSPORTE

**Clase:** 2.3 Gas venenoso  
8 Corrosivo  
5.1 Oxidante

**No. UN:** 1017

#### SECCION 15 :INFORMACION REGLAMENTARIA

Esta hoja de seguridad cumple con la normativa legal de:

México: NOM-018-ST5-2000

Guatemala: Código de Trabajo, decreto 1441

Honduras: Acuerdo Ejecutivo No. STSS-053-04

Costa Rica: Decreto Nº 28113-S

Panamá: Resolución #124, 20 de marzo de 2001

Colombia: NTC 445 22 de Julio de 1998

Ecuador: NTE INEN 2 266:200

#### SECCION 16 :INFORMACION ADICIONAL

La información indicada en ésta Hoja de Seguridad fue recopilada y respaldada con la información suministrada en las Hojas de Seguridad de los proveedores. La información relacionada con este producto puede ser no válida si éste es usado en combinación con otros materiales o en otros procesos. Es responsabilidad del usuario la interpretación y aplicación de esta información para su uso particular. La información contenida aquí se ofrece solamente como guía para la manipulación de este material específico y ha sido elaborada de buena fe por personal técnico. Esta no es intencionada como completa, incluso la manera y condiciones de uso y de manipulación pueden implicar otras consideraciones adicionales.

## ANEXO K FICHA TÉCNICA HIPOCLORITO DE CALCIO

### HIPOCLORITO DE CALCIO 70% (45Kg)

#### 1. DESCRIPCIÓN DEL PRODUCTO

Es un producto químico granulado, oxidante fuerte; se caracteriza por su alto contenido de cloro disponible (70% mín.). Fórmula:  $\text{Ca}(\text{ClO})_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ . se recomienda el uso de preparaciones frescas para asegurar su máximo rendimiento, como desinfectante clorado. Producto obtenido por el proceso sódico.

#### 2.- CARACTERÍSTICAS DEL PRODUCTO

<b>NOMBRE COMERCIAL</b>	hipoclorito de Calcio
<b>PESO MOLECULAR</b>	144.29g/mol
<b>FORMULA QUÍMICA</b>	$\text{Ca}(\text{ClO})_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$
<b>ESTRUCTURA</b>	FINOS GRANOS DE COLOR BLANCO

#### 3.- PARÁMETROS DE CONCENTRACIÓN

PARÁMETROS	ESPECIFICACIONES	CONFORMIDAD
Cloro activo, %	70.0 mín.	Cumple con las normas internacionales para productos químicos usados en el tratamiento del agua ANSI/AWWA B 300-87.
Insolubles, %	5.0 máx.	
Humedad, %	7 máx.	
Estabilidad	No higroscópico	
Olor	Característico de color o hipoclorito	

#### 4.- APLICACIONES

Es un agente oxidante fuerte, germicida, bactericida, desinfectante efectivo en: Potabilización del Agua, Tratamiento de aguas residuales, para piscinas y otras. Desinfección de Equipos para el procesamiento de bebidas, Alimentos, etc. En las industrias cervecera, de bebidas gaseosas, vinos, jugos de frutas, etc. Control microbiológico en la agricultura (frutas, papas, vegetales, etc.) así mismo en el saneamiento de equipos y ambientes de las industrias lecheras, pesqueras, cárnicos, granjas avícolas, etc.

Para la preparación de soluciones sólo use recipientes limpios y secos para medir. Mezclar el hipoclorito solamente con agua fría. Agregar el producto al agua y no a la inversa porque se puede generar calor, produciéndose salpicaduras y hasta explosión, si se efectúa la mezcla en recipiente cerrado.

Cerrar inmediatamente el envase que contiene el hipoclorito, después de casa uso, para evitar pérdida de volatilización de cloro.

**ANEXO L  
FICHA TÉCNICA HIDRÓXIDO DE CALCIO**

# HIDRÓXIDO DE CALCIO

## Ficha Técnica de Producto



**IDENTIFICACIÓN**

Fecha de Emisión: **AGOSTO de 2013**

Nombre Químico: **HIDRÓXIDO DE CALCIO**      Peso Molecular: **74.09**  
 Fórmula Química: **Ca(OH)<sub>2</sub>**      Nombre Común: **Cal Hidratada**  
 Estado Físico: **Sólido**      Fabricado en: **Planta SOFÍA, Km. 7.3 Carretera Progreso Ixmiquilpan Xochitlán, Hidalgo**

**CONSTITUYENTES**

Substancia de un solo componente, HIDRÓXIDO DE CALCIO, con pequeños porcentajes de SiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, MgO y CO<sub>3</sub>Ca, procedentes de la materia prima de alta pureza de carácter natural. Producto natural obtenido por la calcinación a 1200°C, aproximadamente de CO<sub>3</sub>Ca.

**PROPIEDADES GENERALES**

Aspecto: Polvo granulado, de fuerte carácter higroscópico  
 pH: 12,4 solución saturada a 25°C  
 Peso específico: 0,470 Kg/l a 20 °C

**PRESENTACIÓN Y SUMINISTRO**

Granel  
 Sacos  
 Ton Sak

**NORMATIVA:**      **NMX-C-003-ONNCE-2010**

**CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS:**

Fórmula	Compuesto	Referencia	Valor Medio
Ca(OH) <sub>2</sub>	Hidróxido de Calcio	NMX-C-003-ONNCE-2010	<b>80.0%</b>
SiO <sub>2</sub>	Oxido de Sílice	NMX-C-003-ONNCE-2010	<b>0.50%</b>
MgO	Oxido de Magnesio	NMX-C-003-ONNCE-2010	<b>2.00%</b>
H <sub>2</sub> O	Humedad	NMX-C-003-ONNCE-2010	<b>&lt; 1%</b>

**CARACTERÍSTICAS FÍSICAS**

Granulometrias.	Valor Medio	Método
Malla 100 µm	<b>3%</b>	NMX-C-003-ONNCE-2010
Malla 200 µm	<b>10%</b>	NMX-C-003-ONNCE-2010
DENSIDAD APARENTE	0.68 grs/cm <sup>3</sup>	ASTM -110-09a

Los resultados pueden variar, dado que la materia prima es un producto natural.

El producto HIDRÓXIDO DE CALCIO es estable a todas las temperaturas. Se puede almacenar por un periodo no superior a un mes, si se mantiene protegido del contacto de la humedad y del anhídrido carbónico del aire.

ELABORA

APRUEBA

**GRISELDA ESPÍNDOLA TESMAYES**  
 Analista

**ING. DAVID ALFARO**  
 Gerente de Calidad

## ANEXO M TEST KIT ALCALINIDAD HI 3811



**HI 3811 - Alcalinidad**

Parámetro	Código	Método de análisis	Rango*	Incremento mínimo	Método químico	Número de tests	Peso
Acidez (como CaCO <sub>3</sub> )	HI 3820	Titulación	0-100 mg/L	1 mg/L	Metilo-naranja/ fenolftaleína	110 aprox.	910 g
			0-500 mg/L	5 mg/L			
Acidez total intercambiable	HI 38084	Titulación	0.0-2.5 meq/100 g	0.1 meq/100 g	Cloruro de potasio	100	1027 g
<b>Alcalinidad (como CaCO<sub>3</sub>)</b>							
Fenolftaleína y total	HI 3811	Titulación	0-100 mg/L	1 mg/L	Fenolftaleína/ Bromofenol azul	110 aprox.	460 g
Total	HI 38014	Titulación	0-500 gpg	5 gpg	Bromofenol azul	100	363 g
Fenolftaleína y total	HI 38013	Titulación	0.0-10.0 gpg	0.1 gpg	Fenolftaleína/ Bromofenol azul	200	865 g
Ácido ascórbico	HI 3850	Titulación	10-200 mg/L	10 mg/L	Yodométrica	100 aprox.	519 g

\* 1 mg/L = 1 ppm; 1 gpg = 17 ppm CaCO<sub>3</sub>

Para los reactivos y los accesorios de repuesto, consulte las secciones V y U.

El Ácido Ascórbico, también llamado vitamina C, se añade en las bebidas a base de fruta debido a sus cualidades conservantes.

El kit HANNA instruments®, específicamente estudiado para el análisis de las bebidas, es también idóneo para el uso en muestras muy coloreadas, tales como los jugos de frutas. Para el correcto funcionamiento del test, no deben estar presentes en la muestra, otros agentes reductores.

**kits para análisis químicos**

**HANNA®**  
instruments

## ANEXO N TEST KIT ALUMINIO HI 96712



SPECIFICATIONS	HI 96712 Aluminum
Range	0.00 to 1.00 mg/L (ppm)
Resolution	0.01 mg/L (ppm)
Accuracy @ 25°C (77°F)	±0.02 mg/L ±4% of reading
Light Source	tungsten lamp
Light Detector	silicon photocell with narrow band interference filter @ 525 nm
Power Supply	9V battery
Auto-off	after ten minutes of non-use in measurement mode; after one hour of non-use in calibration mode; with last reading reminder
Environment	0 to 50°C (32 to 122°F); RH max 95% non-condensing
Dimensions	192 x 104 x 69 mm (7.6 x 4.1 x 2.7")
Weight	350 g (12.7 oz.)
Method	adaptation of the aluminon method

The reagents are in powder form and are supplied in packets. The amount of reagent is precisely dosed to ensure maximum repeatability.

**For a complete list of Reagents, see Reagents Section 18**

[www.hannainst.com](http://www.hannainst.com)

## ANEXO O TEST KIT HIERRO HI 96721



SPECIFICATIONS	HI 96746	HI 96721
<b>Range</b>	0.00 to 1.50 mg/L	0.00 to 5.00 mg/L
<b>Resolution</b>	0.02 mg/L	0.01 mg/L
<b>Precision</b>	±0.01 mg/L ±8% of reading	±0.04 mg/L ±2% of reading
<b>Light Source</b>	Tungsten lamp	
<b>Light Detector</b>	Silicon photocell with narrow band interference filter @ 525 nm	Silicon photocell with narrow band interference filter @ 525 nm
<b>Method</b>	Adaptation of the TPTZ method;	Adaptation of the phenantroline EPA recommended method 315B for natural and treated waters.

### ORDERING INFORMATION

**HI 96746** and **HI 96721** are supplied with (2) sample cuvettes with caps, 9V battery and instructions.

**HI 96746C** and **HI 96721C** are supplied with a hard carrying case, (2) sample cuvettes with caps, 9V battery, cuvette cleaning cloth, scissors and instructions.

*CAL CHECK™ standards and reagents sold separately.*

### REAGENTS AND STANDARDS

#### For HI 96746

**HI 96746-11** CAL CHECK™ standard cuvettes

**HI 93746-01** Reagents for 100 tests (Fe LR)

**HI 93746-03** Reagents for 300 tests (Fe LR)

#### For HI 96721

**HI 95721-11** CAL CHECK™ standard cuvettes

**HI 93721-01** Reagents for 100 tests (Fe HR)

**HI 93721-03** Reagents for 300 tests (Fe HR)



## ANEXO Q FICHA TÉCNICA BOMBA DOSIFICADORA TM02064C

### Bomba dosificadora TM02064C

**Injecta®**

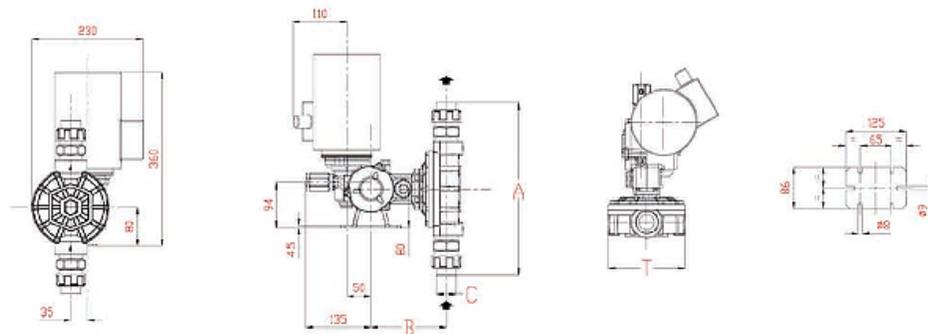
-Caudal: 11 L/h -Potencia motor: 0,18 kW  
 -Presión: 10 bar -Golpes/min: 116  
 -Diámetro membrana: 65 mm -Conexiones: 1/4" g.f.  
 -L.recorrido carrera: 2 mm

TM02064C

#### CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES

- Mecanismo de tipo excéntrico de platillo con retorno a muelle.
- El mecanismo está dentro de un cárter de aluminio bañado en aceite.
- De serie la regulación de la bomba es manual.
- Es posible controlarla con una señal remota mediante un servocontrol eléctrico con una señal de 4-20 mA.
- Motor trifásico.
- Cabezal de bombeo de serie fabricado en PP o PVDF.
- Membrana de PTFE.

#### DIMENSIONES DE LA BOMBA DOSIFICADORA



DIÁMETRO MEMBRANA	PP-PVDF				SS 316 L			
	A	B	C	T	A	B	C	T
65	208	149	1/4" g.f.	98	150	144	1/4" g.f.	98
94	236	144	3/8" g.f.	117	172	146	3/8" g.f.	120
108	248	144	3/8" g.f.	131	212	146	3/8" g.f.	140
138	347	158	3/8" g.f.	160	258	157	3/8" g.f.	170
	357 (PVDF)	168 (PVDF)	1" g.f.				1" g.f.	
165	377	160	1" g.f.	193	296	157	1" g.f.	190

**ANEXO R**  
**CLASIFICACIÓN DEL NIVEL DE RIESGO EN SALUD SEGÚN EL IRCA POR MUESTRA, EL IRCA MENSUAL Y ACCIONES QUE DEBEN ADELANTARSE.**

<b>Clasificación IRCA (%)</b>	<b>Nivel de Riesgo</b>	<b>IRCA por muestra (Notificaciones que adelantará la autoridad sanitaria de manera inmediata)</b>	<b>IRCA mensual (Acciones)</b>
80.1 -100	INVIABLE SANITARIA MENTE	Informar a la persona prestadora, al COVE, Alcalde, Gobernador, SSPD, MPS, INS, MAVDT, Contraloría General y Procuraduría General.	Agua no apta para consumo humano, gestión directa de acuerdo a su competencia de la persona prestadora, alcaldes, gobernadores y entidades del orden nacional.
35.1 - 80	ALTO	Informar a la persona prestadora, COVE, Alcalde, Gobernador y a la SSPD.	Agua no apta para consumo humano, gestión directa de acuerdo a su competencia de la persona prestadora y de los alcaldes y gobernadores respectivos.
14.1 – 35	MEDIO	Informar a la persona prestadora, COVE, Alcalde y Gobernador.	Agua no apta para consumo humano, gestión directa de la persona prestadora.
5.1 - 14	BAJO	Informar a la persona prestadora y al COVE.	Agua no apta para consumo humano, susceptible de mejoramiento.
0 - 5	SIN RIESGO	Continuar el control y la vigilancia.	Agua apta para consumo humano. Continuar la vigilancia.

**ANEXO S**  
**CÁLCULOS REALIZADOS PARA EL BALANCE DE AGUA Y MASA DEL PFD**  
**DE LA PTAP.**

Para los cálculos del balance en la etapa de filtración se expresan los resultados para la época lluviosa y para la época seca sin embargo el balance de agua se realiza para la época lluviosa que fue en el tiempo en el cual se llevó a cabo el presente estudio.

- **Flujo 1**

$$10 \frac{L}{s} * \frac{60 s}{1 min} * \frac{60 min}{1 h} * \frac{24 h}{1 día} = 864.000 \frac{L}{día}$$

- **Flujo 2**

$$\frac{864.000 L}{día} + \frac{12,944 L}{día} = 864.012,944 \frac{L}{día}$$

- **Flujo 3**

$$\frac{11,736 L}{día} + \frac{864.012,944 L}{día} + \frac{1,123 L}{día} = 864.025,803 \frac{L}{día}$$

- **Flujo 4**

$$\frac{10.000 L}{semana} * \frac{1 semana}{7 días} = 1.428,5714 \frac{L}{día}$$

Para el balance de masa en la etapa de sedimentación se tiene que un 85% de los sólidos presentes sedimentan en esta etapa. Al ser dos sedimentadores presentes en el proceso este valor se divide en dos.

$$124'973.848 \frac{mg}{día} * 0,85 = 106'227.770 \frac{mg}{día}$$

- **Flujo 5**

$$\frac{\frac{864.025,803 L}{día} - \frac{1.428,5714 L}{día}}{2} = 431.298,6158 \frac{L}{día}$$

- **Flujo 6**

$$\frac{\frac{864.025,803 L}{día} - \frac{1.428,5714 L}{día}}{2} = 431.298,6158 \frac{L}{día}$$

- **Flujo 7**

Para época lluviosa

$$\frac{10.000 L}{día} + \frac{9.000 L}{día} = 19.000 \frac{L}{día}$$

Para época seca

$$\frac{10.000 L}{día} + \frac{4.500 L}{día} = 14.500 \frac{L}{día}$$

Para el balance de masa en la etapa de filtración el 15% de los sólidos presentes restantes son filtrados en esta etapa.

$$124'973.848 \frac{mg}{día} * 015 = 18'746.078 \frac{mg}{día}$$

- **Flujo 8**

$$\frac{431.298,6158 L}{día} - \frac{19.000 L}{día} = 412.298,6158 \frac{L}{día}$$

Máxima capacidad

$$210 m^3 * \frac{1.000 L}{1 m^3} = 210.000 L$$

Al ser un tanque de almacenamiento y distribución se calcula el caudal que entra por minuto siendo este el mismo de salida.

$$\frac{412.298,6158 L}{día} * \frac{1 día}{24 h} * \frac{1 h}{60 min} = 286,3184 \frac{L}{min}$$

- **Flujo 9**

$$\frac{431.298,6158 L}{día} - \frac{19.000 L}{día} = 412.298,6158 \frac{L}{día}$$

Máxima capacidad

$$210 m^3 * \frac{1.000 L}{1 m^3} = 210.000 L$$

Al ser un tanque de almacenamiento y distribución se calcula el caudal que entra por minuto siendo este el mismo de salida.

$$\frac{412.298,6158 L}{día} * \frac{1 día}{24 h} * \frac{1 h}{60 min} = 286,3184 \frac{L}{min}$$

- **Flujo 10**

Para época lluviosa

$$\frac{10.000 L}{día} + \frac{9.000 L}{día} = 19.000 \frac{L}{día}$$

Para época seca

$$\frac{10.000 L}{día} + \frac{4.500 L}{día} = 14.500 \frac{L}{día}$$

- **Flujo 11**

$$5 \frac{L}{s} * \frac{60 s}{1 min} * \frac{60 min}{1 h} * \frac{24 h}{1 día} = 432.000 \frac{L}{día}$$

- **Flujo 12**

$$\frac{432.000 L}{día} + \frac{6,472 L}{día} = 432.006,472 \frac{L}{día}$$

- **Flujo 13**

$$\frac{5,856 L}{día} + \frac{432.006,472 L}{día} + \frac{0,561 L}{día} = 432.012,889 \frac{L}{día}$$

- **Flujo 14**

$$\frac{10.000 L}{semana} * \frac{1 semana}{7 días} = 1.428,5714 \frac{L}{día}$$

- **Flujo 15**

$$\frac{432.012,889 L}{día} - \frac{1428,5714 L}{día} = 430.584,3176 \frac{L}{día}$$

- **Flujo 16**

Para época lluviosa

$$\frac{10.000 L}{día} + \frac{9.000 L}{día} = 19.000 \frac{L}{día}$$

Para época seca

$$\frac{10.000 L}{día} + \frac{4.500 L}{día} = 14.500 \frac{L}{día}$$

- **Flujo 17**

$$\frac{430.584,3176 L}{día} - \frac{19.000 L}{día} = 411.584,3176 \frac{L}{día}$$

- **Flujo 18**

Máxima capacidad

$$210 m^3 * \frac{1.000 L}{1 m^3} = 210.000 L$$

Al ser un tanque de almacenamiento y distribución se calcula el caudal que entra por minuto siendo este el mismo de salida.

$$\frac{411.584,3176 L}{día} * \frac{1 día}{24 h} * \frac{1 h}{60 min} = 285,8224 \frac{L}{min}$$

- **Flujo 19**

$$\frac{0,809 L}{h} * \frac{24 h}{1 día} = 19,416 \frac{L}{día}$$

- **Flujo 20**

$$\frac{0,9428 L}{h} * \frac{24 h}{1 día} = 22,6272 \frac{L}{día}$$

- **Flujo 21**

$$\frac{0,489 L}{h} * \frac{24 h}{1 día} = 11,736 \frac{L}{día}$$

En cuanto al balance de masa por cada litro de agua se emplean 30 mg de cal, a partir de esto se calcula el consumo diario de este para la planta compacta.

$$\frac{864.012,944 L}{día} * \frac{30 mg}{L} = 25'920.388,32 \frac{mg}{día}$$

- **Flujo 22**

$$\frac{0,244 L}{h} * \frac{24 h}{1 día} = 5,856 \frac{L}{día}$$

En cuanto al balance de masa por cada litro de agua se emplean 30 mg de cal, a partir de esto se calcula el consumo diario de este para la planta semicompacta.

$$\frac{432.006,472 \text{ L}}{\text{día}} * \frac{30 \text{ mg}}{\text{L}} = 12'960.196,16 \frac{\text{mg}}{\text{día}}$$

- **Flujo 23**

La dosificación de cal en la etapa de alcalinización al final del proceso de potabilización se calcula en litro/minuto porque se aplica al tanque de almacenamiento y distribución.

$$\frac{5,0352 \text{ L}}{\text{día}} * \frac{1 \text{ día}}{24 \text{ h}} * \frac{1 \text{ h}}{60 \text{ min}} = 0,0035 \frac{\text{L}}{\text{min}}$$

En cuanto al balance de masa por cada litro de agua se emplean 9 mg de cal, a partir de esto se calcula el consumo diario de este para el ajuste final de pH.

$$\frac{858,4912 \text{ L}}{\text{min}} * \frac{9 \text{ mg}}{\text{L}} = 7.726,42 \frac{\text{mg}}{\text{min}}$$

- **Flujo 24**

$$\frac{47,0429 \text{ L}}{\text{día}} * \frac{1 \text{ día}}{24 \text{ h}} * \frac{1 \text{ h}}{60 \text{ min}} = 0,0327 \frac{\text{L}}{\text{min}}$$

- **Flujo 25**

$$\frac{47,0429 \text{ L}}{\text{día}} * \frac{1 \text{ día}}{24 \text{ h}} * \frac{1 \text{ h}}{60 \text{ min}} = 0,0327 \frac{\text{L}}{\text{min}}$$

- **Flujo 26**

$$\frac{0,0702 \text{ L}}{\text{h}} * \frac{24 \text{ h}}{1 \text{ día}} = 1,684 \frac{\text{L}}{\text{día}}$$

- **Flujo 27**

$$\frac{\frac{432.000 \text{ L}}{\text{día}} * \frac{1,684 \text{ L}}{\text{día}}}{\frac{1'296.000 \text{ L}}{\text{día}}} = 0,561 \frac{\text{L}}{\text{día}}$$

En cuanto al balance de masa por cada litro de agua se emplean 1,04 mg de Lipesa 1569A, a partir de esto se calcula el consumo diario de este para la planta semicompacta.

$$\frac{432.006,472 \text{ L}}{\text{día}} * \frac{1,04 \text{ mg}}{\text{L}} = 449.286,73 \frac{\text{mg}}{\text{día}}$$

- **Flujo 28**

$$\frac{\frac{864.000 \text{ L}}{\text{día}} * \frac{1,684 \text{ L}}{\text{día}}}{\frac{1'296.000 \text{ L}}{\text{día}}} = 1,123 \frac{\text{L}}{\text{día}}$$

En cuanto al balance de masa por cada litro de agua se emplean 1,04 mg de lipesa 1569A, a partir de esto se calcula el consumo diario de este para la planta compacta.

$$\frac{864.012,944 \text{ L}}{\text{día}} * \frac{1,04 \text{ mg}}{\text{L}} = 898.573,46 \frac{\text{mg}}{\text{día}}$$

- **Flujo 29**

$$\frac{\frac{864.000 L}{\text{día}} * \frac{19,416 L}{\text{día}}}{\frac{1'296.000 L}{\text{día}}} = 12,944 \frac{L}{\text{día}}$$

En cuanto al balance de masa por cada litro de agua se emplean 40 mg de sulfato de aluminio, a partir de esto se calcula el consumo diario de este para la planta compacta.

$$\frac{864.000 L}{\text{día}} * \frac{40 mg}{L} = 34'560.000 \frac{mg}{\text{día}}$$

- **Flujo 30**

$$\frac{\frac{432.000 L}{\text{día}} * \frac{19,416 L}{\text{día}}}{\frac{1'296.000 L}{\text{día}}} = 6,472 \frac{L}{\text{día}}$$

En cuanto al balance de masa por cada litro de agua se emplean 40 mg de sulfato de aluminio, a partir de esto se calcula el consumo diario de este para la planta semicompacta.

$$\frac{432.000 L}{\text{día}} * \frac{40 mg}{L} = 17'280.000 \frac{mg}{\text{día}}$$

- **Flujo 31**

$$\frac{286,3184 L}{min} + \frac{286,3184 L}{min} + \frac{0,0327 L}{min} + \frac{285,8224 L}{min} + \frac{0,0035 L}{min} = 858,495 \frac{L}{min}$$