

**PLAN DE MEJORAMIENTO DE LA PLANTA DE POTABILIZACIÓN LA MANGA EN
EL MUNICIPIO DE OROCUÉ, CASANARE**

ERICK CAMILO RAMÍREZ



UNIVERSIDAD DE PAMPLONA
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y ARQUITECTURA
INGENIERÍA QUÍMICA
PAMPLONA, COLOMBIA

2021

PLAN DE MEJORAMIENTO DE LA PLANTA DE POTABILIZACIÓN LA MANGA EN EL
MUNICIPIO DE OROCUÉ, CASANARE

ERICK CAMILO RAMÍREZ

TRABAJO DE GRADO PARA OPTAR EL TÍTULO DE
INGENIERO QUÍMICO

DIRECTOR

JUAN PABLO MARISCAL MORENO

MSC, INGENIERO QUÍMICO

UNIVERSIDAD DE PAMPLONA

FACULTAD DE INGENIERÍAS Y ARQUITECTURA

INGENIERÍA QUÍMICA

PAMPLONA, COLOMBIA

2021

Dedicatoria

Dedico este proyecto para optar el título de Ingeniero Químico, primero que todo a Dios por estar siempre a mi lado, a la memoria de mi madre Hildaris Ramírez por ser la luz en mi camino, a la Felicidad de mi hermana Erika Fernanda Ramírez y a la fe y el apoyo de Kirley Zuluaga Ramírez y Estella García Rodríguez por hacer esto posible.

Agradecimientos

A Dios y la Virgencita María por ser mi apoyo espiritual en los buenos y malos momentos

A mi Familia, principalmente a Kirley Zuluaga y Estella García por el apoyo y la confianza incondicional.

A la Administración Municipal en cabeza del señor alcalde Monchy Yobany Moreno Guadrón por brindarme la confianza y la oportunidad de llevar a cabo mis prácticas empresariales, por permitir brindar mi conocimiento en pro de a la comunidad orocuesa

A la Empresa de Servicios Públicos de Orocué en cabeza del señor gerente Jorge Eliecer Rodríguez Bonilla por creer y apoyar en este importante proyecto junto con el Ingeniero Lino Cedeño, por su respaldo en cada decisión, su compañerismo y experiencia y finalmente a los operadores de la planta la Manga, por el compromiso con su trabajo.

A mi asesor de tesis Juan Pablo Mariscal, por la paciencia, la dedicación y el apoyo académico incondicional que me ha brindado, gracias maestro.

A mis amigos y compañeros de carrera, principalmente a Camila Noriega, Oscar Orozco, Javier Quiroga, Danna Salazar, Danna Cabeza, Camila Naranjo, Valentina Camargo, Yessenia Botero y Carlos Anaya

Y todo aquel que apoyo de una u otra manera en mi proceso formativo.

Resumen

El objetivo de este documento es buscar y registrar alternativas para disminuir las concentraciones de fluoruros presentes en el agua captada de la fuente subterránea de la planta de tratamiento de agua potable La Manga, teniendo en cuenta la necesidad que tiene la comunidad orocuesña. El consumo de las altas concentraciones de fluoruros durante más de diez años, pueden haber generando efectos negativos en la salud (a corto plazo fluorosis dental en los niños y a largo plazo fluorosis esquelética, cáncer, afecciones en riñones e hígado). La metodología del proyecto consistió en el levantamiento de información primaria y secundaria, por medio de visitas técnicas al área de estudio y revisión de documentos técnicos, consolidando un diagnóstico para identificar aquellas unidades que no cumplen su respectivo funcionamiento. Una vez identificadas, se sugiere y se solucionan dichos problemas técnicos, junto con la puesta en marcha de la unidad de intercambio iónico, que desde hace aproximadamente 5 años no estaba en funcionamiento. Finalmente se sugieren alternativas a corto, mediano y largo plazo para disminuir las concentraciones de fluoruros de acuerdo a los resultados obtenidos. Este documento se realiza en marco de la pasantía institucional que realizó el estudiante Erick Camilo Ramírez en la empresa municipal de servicios públicos y pretende mostrar las principales actividades realizadas para el mejoramiento de las condiciones operacionales de la planta.

Palabras clave: Potabilización del agua, Planes de mejoramiento, Fluoruros, Intercambio Iónico.

Abstract

The objective of this document is to search and register alternatives to reduce the concentrations of fluorides, present in the water captured from the underground source of the La Manga drinking water treatment plant, taking into account the need of the Orocuese community, with respect to the consumption of high concentrations of fluorides for more than ten years, which have generated negative effects on health; in the short term, producing dental fluorosis in children and in the long term, skeletal fluorosis, cancer, kidney and liver diseases. The project methodology consisted of collecting primary and secondary information, through technical visits to the study area and review of technical documents, consolidating a diagnosis to identify those units that do not comply with their respective operation, once identified, it is suggested and These technical problems are solved, then the ion exchange unit that has not been in operation for approximately 5 years is started and finally alternatives are suggested in the short, medium and long term to reduce the concentrations of fluorides according to the results obtained.

This document is carried out within the framework of the institutional internship that the student Erick Camilo Ramírez carried out in the municipal public services company and aims to show the main activities carried out to improve the operational conditions of the plant.

Keywords: Water purification, Improvement plans, Fluorides, Ion Exchange.

Contenido

Capítulo 1.....	7
1.1. Introducción	7
1.2. Problemática.....	8
1.3. Justificación.....	9
Capítulo 2.....	10
2.1. Objetivos	10
2.1.1. Objetivos General	10
2.1.2. Objetivos Específicos.....	10
Capítulo 3.....	11
3.1. Antecedentes del proyecto	11
3.2. Marco Teórico	14
3.3. Marco legal.....	17
Capítulo 4.....	19
4.1. Metodología Experimental.....	19
4.1.1. Tipo de proyecto	19
4.1.2. Alcance del proyecto.....	19
4.1.3. Área de estudio	19
4.1.4. Etapas del proyecto	20

4.1.5. Diagnóstico de proceso	21
4.1.6. Puesta en marcha de la unidad de Intercambio Iónico.....	22
4.1.7. Alternativas a corto, mediano y largo plazo	23
Capítulo 5.....	25
5.1. Diagnostico.....	25
5.1.1. Captación del agua.....	25
5.1.2. Medidores de caudales	25
5.1.3. Torres de aireación.....	25
5.1.4. Vertederos para verificar caudal	27
5.1.5. Conos de mezcla rápida	27
5.1.6. Floculadores	28
5.1.7. Ductos receptores para la descarga de los floculadores.....	29
5.1.8. Sedimentadores	30
5.1.9. Tanque de balance hidráulico	32
5.1.10. Filtración	33
5.1.11. Intercambiadores Iónicos	33
5.1.12. Cámara de desinfección por contacto de cloro	34
5.1.13. Dosificación de reactivos	36
5.2. Resumen del diagnóstico realizado a la línea de operación de la planta.....	37
5.3. Solución a problemas técnicos identificados en la operabilidad de la planta	38

5.4. Análisis de concentración de fluoruros a través del tiempo.....	42
5.5. Unidad de intercambio iónico puesta en marcha	44
5.6. Determinación de la concentración de fluoruros.....	51
5.7. Alternativas	53
5.7.1. Alternativas operativas:	54
5.7.2. Alternativa Tecnológica:.....	54
5.8. Impacto social del proyecto.....	55
Capítulo 6.....	57
6.1. Conclusiones	57
6.2. Perspectivas	57
Capítulo 7.....	59
7.1. Bibliografía.....	59
Capítulo 8 Anexos.....	65

Índice de Tablas

Tabla 1. <i>Valores máximos permisibles para agua potable según la Resolución 2115 del 2007.</i>	18
Tabla 2 <i>Frecuencia del sistema de control y vigilancia para la calidad del agua para consumo humano.....</i>	21
Tabla 3 <i>Consumo de cloro gaseoso para condiciones actuales y futuras</i>	36
Tabla 4 <i>Resumen de problemas identificados en la operabilidad de algunas unidades de la planta de tratamiento de agua potable La Manga.....</i>	37
Tabla 5 <i>Resultados emitidos por el laboratorio Aqualim</i>	52
Tabla 6 <i>Resultados emitidos por el laboratorio Aqualim en el año 2018</i>	52
Tabla 7 <i>Seguimiento y control mes a mes de posibles enfermedades causadas por el consumo de agua.....</i>	56

Índice de Figuras

Figura 1. <i>Municipio de Orocué Casanare en donde se realiza el proyecto</i>	20
Figura 2 <i>Etapas del proceso para reducir en lo posible las concentraciones de (F-)</i>	20
Figura 3. <i>Metodología para poner en marcha la unidad de intercambio iónico</i>	23
Figura 4 <i>Torres de aireación</i>	26
Figura 5 <i>Estado actual de las bandejas de la torre de aireación</i>	26
Figura 6 <i>Vertedero rectangular</i>	27
Figura 7 <i>Conos de mezcla rápida y adición de reactivos en el tratamiento del agua</i>	28
Figura 8 <i>Distribución de 9 cámaras configurando un floculador de flujo helicoidal</i>	29
Figura 9 <i>Floculador de flujo helicoidal</i>	29
Figura 10 <i>Ducto conector floculador – sedimentador</i>	30
Figura 11 <i>Vista superior de unidades de sedimentación</i>	31
Figura 12 <i>Proliferación de cianobacterias y algas verdes filamentosas en unidades de sedimentación.</i>	31
Figura 13 <i>Estado actual del Tanque de Balance hidráulico</i>	32
Figura 14 <i>Unidades de filtración del tratamiento de agua potable</i>	33
Figura 15 <i>Intercambiadores iónicos con su tanque de preparación de solución para la regeneración de resina</i>	34
Figura 16 <i>Unidad de desinfección con cloro gaseoso</i>	35
Figura 17 <i>Dosificación de cal hidratada</i>	37
Figura 18 <i>Polisombra en la superficie de la unidad de sedimentación para evitar la proliferación de algas</i>	40

Figura 19 <i>Unidad de sedimentación 15 días después de instalar la polisombra</i>	41
Figura 20 <i>Controlador de nivel y polisombra para la unidad del tanque de balance hidráulico.</i>	41
Figura 21 <i>Mantenimiento a la unidad a la bomba del tanque de balance hidráulico.</i>	42
Figura 22 <i>Comportamiento de la concentración de fluoruros a través de los años.</i>	43
Figura 23 <i>Desfogue controlado de la unidad</i>	44
Figura 24 <i>Metodología para desocupar las columnas de intercambio iónico</i>	45
Figura 25 <i>Identificación de la flauta con defectos de instalación en el intercambiador 1</i>	46
Figura 26 <i>Fuga subsanada del intercambiador iónico 1</i>	46
Figura 27 <i>Identificación y solución a problemas de fábrica de las flautas</i>	47
Figura 28 <i>Limpieza y desinfección de cada una de las columnas de intercambio iónico</i>	47
Figura 29 <i>Limpieza de tubería que conduce al almacenamiento del agua tratada.</i>	48
Figura 30 <i>Llenado de la unidad de intercambio iónico</i>	48
Figura 31 <i>Lavado constante del material</i>	49
Figura 32 <i>Acondicionamiento de la unidad para adicionar la resina.</i>	49
Figura 33 <i>Llenado de cada uno de los tanques con la nueva resina catiónica</i>	50
Figura 34 <i>Etapa final del mantenimiento y arreglo de la unidad de intercambio iónico.</i>	50
Figura 35 <i>Unidad de intercambio iónico añadida al proceso después de 5 años sin emplear ...</i>	51

Anexos

Anexo 1	Toma de muestras de agua cruda y tratada de la planta la Manga.	65
Anexo 2	Cadena de custodia de las muestras de agua para ser enviada al laboratorio Aqualim .	65
Anexo 3	Información suministrada y verificada por el centro de salud la candelaria de Orocué	66

Capítulo 1

1.1. Introducción

El presente proyecto está motivado por la urgente necesidad de poder aplicar alternativas que permitan disminuir las concentraciones de fluoruros presentes en el agua captada, que es suministrada por la empresa municipal de servicios públicos de Orocué. Los fluoruros tienen efectos tanto beneficiosos como perjudiciales para la salud humana y según la organización mundial de la salud (OMS), se estima que más de 400 millones de personas son afectadas por el consumo de agua con concentraciones mayores a 1,5 mg/L.

En este trabajo se presenta una propuesta metodológica que aspira mejorar los procesos empleados en el tratamiento de agua potable de la planta La Manga, iniciando previamente con una línea de diagnóstico que identifique las unidades que no cumplen con su respectivo funcionamiento, incluyendo la unidad de intercambio iónico del proceso, que nos brinde información para visualizar y comprender el sentido de la propuesta, el impacto social que genera y la manera como esta ópera para tomar decisiones futuras.

Por último, es importante aclarar que este documento está organizado de tal forma que el autor quiere mostrar en su totalidad la mayoría de actividades que se ejecutaron en la pasantía, debido a que considera valioso e importante resaltar desde los ajustes más pequeños hasta los más representativos en este proyecto, a través de un reporte gráfico y fotográfico de las mismas, que llevaron a un mejor desempeño en la operación de la planta de tratamiento de agua potable La Manga.

1.2. Problemática

La contaminación del agua por fluoruros ocurre debido a las actividades naturales y antropogénicas. El flúor tiene efectos tanto beneficiosos como perjudiciales para la salud humana, las concentraciones excesivas de fluoruros en el agua potable pueden causar una desmineralización irreversible de los tejidos de los huesos y los dientes, una afección llamada fluorosis y daños a largo plazo en el cerebro, el hígado, la tiroides y los riñones (Das & Nandi, 2020). Actualmente, muchos países dependen de las aguas subterráneas para abastecer su demanda y en estos acuíferos, es marcada la presencia de estos iones. Según la organización mundial de la salud (OMS), la concentración máxima aceptable de iones de fluoruros en el agua es de 1,5 mg/L (OMS, 1993, 1996b). En Colombia la Resolución 2115 de 2007 y el Decreto 1575 de 2007 establecen que los valores permisibles máximos de fluoruros son de 1,0 mg/L.

En el departamento de Casanare a orillas del río Meta se ubica el municipio de Orocué. La Empresa Municipal de Servicios Públicos es la encargada de suministrar el agua potable en la zona urbana a 7200 personas aproximadamente, con captación del agua de dos pozos subterráneos y dos plantas de tratamiento de agua potable (PTAP): La Manga y Bello Horizonte. Con el fin de prestar un servicio de calidad y cumplir con la legislación actual, la empresa realiza un monitoreo constante de la calidad del agua suministrada, contratando con un laboratorio especializado y certificado (AQUALIM) para realizar pruebas fisicoquímicas y microbiológicas. Los registros históricos han permitido identificar que en la PTAP La Manga, las concentraciones de fluoruros a la salida del sistema están por encima de los valores permisibles con un valor promedio de 5,05 mg/L.

1.3. Justificación

Este proyecto tiene la urgente necesidad de determinar las condiciones actuales en las que encuentra la planta de tratamiento de agua potable La Manga, con el fin de identificar problemas en las unidades del proceso y dar solución a ellas, para mejorar el proceso de tratamiento y el servicio de suministro de agua a la comunidad orocueseña.

Un tema muy importante en este trabajo, es buscar alternativas que nos ayuden a mitigar y a contrarrestar la ingesta de las altas concentraciones de fluoruros que existen en el agua suministrada, con el objetivo de evitar posibles enfermedades causadas por el consumo de la misma y cumplir con el límite permisible según la legislación colombiana.

La realización de este proyecto contará con una metodología clara, eficaz y establecerá soluciones económicamente viables, solicitadas por la empresa.

Capítulo 2

2.1. Objetivos

2.1.1. Objetivos General

Desarrollar un plan de mejoramiento de calidad en la PTAP La Manga, revisando y validando cada uno de los procesos de tratamiento de agua potable, con el fin de buscar alternativas para reducir la concentración de fluoruros presentes en el agua captada.

2.1.2. Objetivos Específicos

Establecer una línea de diagnóstico de procesos que identifique cada una de las unidades que no cumplen con su respectivo funcionamiento.

Poner en funcionamiento la unidad de intercambio iónico del proceso y evaluar su eficiencia para la remoción de fluoruros.

Sugerir nuevas alternativas a corto, mediano y largo plazo para la remoción de fluoruros en el tratamiento de agua potable de la empresa municipal de servicios públicos de Orocué.

Capítulo 3

3.1. Antecedentes del proyecto

El municipio de Orocué aún no registra estudios de investigación o trabajos de grado en esta área. En el marco del contrato de prestación de servicios profesionales N° 8313-433 del 19 noviembre del 2013, se realizaron actividades de identificación y caracterización de pacientes con fluorosis dental en el municipio, en donde se identificó que la mayoría de niños del municipio presentan problemas de salud dental por las altas concentraciones de fluoruros en el agua.(Silva, 2013).

En una línea similar a la tratada en este documento, el trabajo de grado de Castillo se originó de acuerdo a la necesidad de realizar un diagnóstico de la PTAP de Melgar, con el objetivo de diagnosticar si la planta de potabilización cumplía la demanda hídrica del municipio. A través del planteamiento de algunas estrategias que permitan mejorar el proceso de optimización y ofrecer alternativas para dar solución a problemáticas que actualmente se presentan, el autor plantea una metodología en la que evalúa el actual el comportamiento y la calidad de agua que está suministrando. También analiza las normativas vigentes, verificando que la PTAP cumpla con cada uno de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos permisibles (Sergio Castillo, 2020).

En tres municipios de Cundinamarca se evaluaron los niveles de flúor en fuentes de aguas naturales para consumo humano y su relación con la fluorosis dental (Jessica, Karol, 2019). Los autores hicieron una recopilación de la información documentada por el Instituto Nacional de Salud y la Secretaria Departamental, quienes suministraron la información de cada municipio

seleccionado por presentar riesgos medios y altos en la calidad del agua suministrada y antecedentes en fluorosis dental. Este documento es de gran interés por tratar de identificar las relaciones que tienen las fuentes de agua con flúor y la fluorosis dental en niños de municipios de Cota, Suesca y Tena.

En la planta de tratamiento de agua potable del municipio de Guateque, en el departamento de Boyacá, se realizó un diagnóstico en donde la autora tenía como objetivo principal, observar el comportamiento de cada una de las unidades y equipos de la planta de potabilización. Se identificaron problemas en el floculador, la canaleta Parshall así como una insuficiente capacidad de la planta para tratar un el caudal demandado., La autora plantea unas recomendaciones y soluciones a los problemas identificados en las unidades de la planta, porque sugiere realizar periódicamente los mantenimientos, debido a que estos no se realizan, con el fin de aumentar la eficiencia de las unidades e implementar un laboratorio para analizar pruebas fisicoquímicas y así poder garantizar un mejor control en la calidad del agua tratada (Perez, 2016).

En la optimización de los sistemas de captación y tratamiento de agua potable del municipio de Leticia – Amazonas, los autores, realizaron visitas técnicas con el fin de promover la optimización de la misma, mediante la recopilación de información (CASTRO LUNA & CORTÉS LA ROTTA, 2019). la metodología del proyecto incluyó el diagnóstico de acuerdo a la Resolución 0330 de 2007 de las Plantas de tratamiento de agua potable donde incluyen los criterios de cumplimiento, el mejoramiento para la elección de la propuesta con viabilidad técnica a fin de cumplir la normativa correspondiente.

Las consecuencias de la fluoración del agua potable en la salud humana es expuesta por diferentes autores, dentro de los que se encuentra el trabajo de Romero y colaboradores (Romero

et al., 2017). En este reporte, se analizan en países como Austria, Bélgica, Alemania, Francia los posibles efectos del fluoruro en el organismo. Se plantea que la ingesta de (F^-) puede aumentar el riesgo de fracturas en la edad adulta por trastornos en la calcificación, también plantean las lesiones a nivel de la dermis, conocidas como fluoderma, y uno de los casos más importantes son los efectos que puede tener el sistema nervioso central, resultando en déficit cognitivo.

El agua subterránea que consume la población en la región de Tenextepango, Morelos, México contiene fluoruros en concentraciones que varía de 0,5 a 1,9 mg/L, causando problemas de fluorosis dental en la población (Huizar Álvarez et al., 2016). Los autores tienen como objetivo conocer los niveles de fluoruros en el agua subterránea, su distribución y procedencia en la región, elaborando un modelo hidrológico soportado con análisis químicos del agua obtenida en 17 pozos. Los resultados obtenidos en este trabajo indican que las concentraciones de fluoruros y la temperatura del agua subterránea, son mayores en los pozos que se extraen agua sin interrupción y menor en aquellos que bombean solo nueve horas al día.

Algunas estrategias técnicas de reducción de fluoruros se reportan en la literatura. Basantes y colaboradores aplicaron el método nalgonda para reducir las concentraciones de fluoruros en las fuentes de agua contaminada en las comunidades de Atapo y Santa Teresa de Ecuador (Basantes Basantes et al., 2019). Los resultados mostraron que la dosis más efectiva es de 3 mL de sulfato de aluminio al 0,075% más 0,05 g de carbonato de calcio y con tiempo de sedimentación de una 1 h. Además, realizaron una caracterización del agua donde encontraron que las concentraciones de fluoruros están por encima del valor permisible por la legislación ecuatoriana, generando problemas en la salud dental, pero gracias a dicho método se logró disminuir dichas concentraciones

En México se ha empleado la remoción de fluoruros en el agua con zeolitas naturales de la región como parte del desarrollo experimental de una tesis., Se realizaron pruebas con agua natural de pozo subterráneo en el municipio de Magdalena Jaltepec Nochixtlan, en el estado de Oaxaca (Sampedro, 2018). La zeolita empleada en el trabajo tiene origen Oaxaca y adquiridas de manera comercial, a la cual realizaron un pretratamiento, luego una caracterización fisicoquímica para ser acondicionada con sodio, calcio y hierro. Este trabajo logra remover eficientemente los iones de flúor presentes en muestras de agua natural, principalmente en aguas con concentraciones iniciales de 10 mg/L, con porcentajes de remoción cercanos al 98 %.

3.2. Marco Teórico

Potabilización del agua es el conjunto de operaciones unitarias que se realizan sobre el agua cruda, para modificar sus características fisicoquímicas y microbiológicas, haciendo de esta apta para el consumo humano sin generar riesgos en la salud (García-Ávila et al., 2021).

Análisis básicos son aquellas pruebas realizadas en campo, también conocidas como pruebas in situ, entre las cuales podemos encontrar pH, turbiedad, color aparente, cloro residual libre, temperatura y conductividad.

Contaminantes principales son aquellas sustancias que no están permitidas o sobrepasan los valores permisibles por la legislación actual. Su presencia en el agua es causada por actividades antropogénicas, que se han convertido en un problema mundial cada vez más grave. En aguas superficiales podemos encontrar una contaminación masiva de desechos de residuos sólidos y líquidos en efluentes que abastecen a poblaciones. Las aguas subterráneas presentan contaminaciones por Fluoruros, nitratos, etc.(Wang et al., 2020)

Enfermedades de origen hídrico son uno de los factores importantes que determina el bienestar humano es el consumo de agua potable. Lastimosamente el agua es un recurso que está en muchas actividades y usos que la convierten en un recurso frágil, vulnerable y de mucho cuidado (Chen et al., 2021).

Las enfermedades que se generan de origen hídrico se dividen en cuatro categorías: las enfermedades transmitidas por el agua, las de origen vectorial, las que se originan en el agua y las vinculadas a la escasez del agua.

Según la Organización Mundial de la Salud, la gran mayoría de los problemas de salud relacionados con el agua se deben a la contaminación por microorganismos (bacterias, virus, protozoos, etc.).

Fluoruros son uno de los elementos más abundante en la corteza terrestre y están ampliamente distribuido en la naturaleza. Existe de forma natural en el agua subterránea, las rocas y el suelo, considerado uno de los contaminantes más comunes en aguas subterráneas y en algunas ocasiones debido a la actividad antropogénica causa daños en aguas superficiales (Rodríguez et al., 2020).

La demanda mundial de agua potable está aumentando y la incapacidad para para cumplir con los requisitos está provocando un aumento de los conflictos por el agua, además, en muchas regiones no se cuenta con las tecnologías adecuadas para potabilizarlas, por falta de recursos económicos y de conciencia humana (Meng et al., 2021). Las aguas naturales, incluidas las aguas subterráneas, superficiales (ríos y lagos) y el agua de lluvia son las principales fuentes de agua potable, mientras que la desalinización de agua salobre y de mar está desempeñando un papel cada vez más importante.

La presencia de fluoruros en aguas naturales está íntimamente ligada a la geología local, Los fluoruros se liberan naturalmente en el agua mediante la disolución de rocas y suelos que contienen fluoruro. El proceso de disolución se ve afectado por varios factores, incluida la química de las rocas, la edad del agua subterránea, el tiempo de residencia, la profundidad del pozo y las condiciones de las vías (Das & Nandi, 2020).

La ingesta de fluoruros está limitada por la Organización Mundial de la Salud (OMS). Esta debe tener una concentración mínima de 1,5 mg/L en el agua, mientras que en EE.UU. limita el contenido de fluoruro en el agua potable a no más de 4 mg/L. Colombia y China limitan respectivamente el contenido de fluoruro a 1,0 mg/L, para evitar posibles enfermedades causadas por la ingesta de concentraciones elevadas de fluoruros (Chowdhury et al., 2019). Cabe resaltar que diferentes países y regiones tienen diferentes limitaciones de fluoruro en el agua potable de acuerdo con su propia distribución y gravedad de la fluorosis. (Shen & Schäfer, 2014)

Estas limitaciones han sido establecidas a lo largo de los años, debido a que tienen muchos efectos adversos para la salud de los seres humanos, tiene efectos beneficiosos como perjudiciales, es decir, concentraciones entre 0,5 y 1,5 mg/L ayudan a prevenir el daño dental y caries (Yousefi et al., 2019). Cuando se encuentran en concentraciones superiores a 1,5 mg/L pueden causar fluorosis dental (picadura de esmalte, decoloración de los dientes y pérdida prematura de los dientes). En concentraciones > 4.0 mg/L causa fluorosis esquelética, osteoporosis y problemas severos en nervios, músculos, pulmones, riñones e hígado, entre otros (Gan et al., 2019).

Una de las tecnologías más empleadas para purificar el agua contaminada con el flúor es la osmosis inversa, este proceso es más empleado por las empresas embotelladoras de agua, también elimina otros iones coexistentes en el agua. Pero es una tecnología cara para ser

implementada en una planta de tratamiento de agua potable de pequeña escala (Tolkou et al., 2019).

Para la eliminación de fluoruros en el agua potable, uno de los métodos más empleados es la precipitación-floculación, tecnología de membranas, osmosis inversa y evaporación. (Alkurdi et al., 2019).

Los métodos más utilizados en los países en desarrollo como Brasil, Chile, Argentina, Colombia, son los de precipitación-floculación, que pueden adoptar formas caseras, como la precipitación sobre carbón vegetal o animal o formas semi industriales como el método Nalgona y sus variantes (Moradi et al., 2020). Basadas en la precipitación química con reactivos de bajo costo pero que necesitan de una gran cantidad, Si la precipitación se complementa con una floculación-sedimentación utilizando sales de aluminio (sulfato de aluminio hidratado), se obtiene una concentración de fluoruro suficientemente baja como para que el agua pueda ser sometida a un proceso de potabilización (1-2 mg/L) siendo el reactivo principal que se desea aplicar en este proyecto

3.3. Marco legal

La normativa colombiana de agua potable es regulada por una serie de parámetros tanto físicos como microbiológicos, los cuales permiten conocer y acreditar que dicha agua se encuentra en condiciones aptas para el consumo humano. Estos parámetros varían según el país, y son establecidos por el gobierno según sus políticas ambientales.

Colombia actualmente cuenta con una variedad de normativas, entre ellas el Decreto Nacional 1575 del 2007 y la Resolución 2115 del 2007. La primera establece el sistema para la protección

y control de calidad del agua para el consumo humano con el fin de monitorear, prevenir y controlar los riesgos para la salud, aplicándose a aquellas personas y empresas que suministren o distribuyan agua para el consumo humano y la segunda establece las características, instrumentos básicos, frecuencia del sistema de control. Entre las características mas importantes se destacan las presentadas en la siguiente tabla.

Tabla 1. *Valores máximos permisibles para agua potable según la Resolución 2115 del 2007*

Parámetro	Resolución 2115 del 2007
pH	6,5 a 9.0
Turbiedad	2 unidades
Color Aparente	15 unidades
Olor y sabor	Aceptable
Cloro residual	0,3 a 2,0 mg/L

Fuente: parámetros fisicoquímicos y sus valores máximos permisibles, Resolución 2115 del 2007

Capítulo 4

4.1. Metodología Experimental

4.1.1. Tipo de proyecto

El enfoque de este proyecto es encontrar alternativas para disminuir la concentración de fluoruros presentes en el agua y el análisis de estos. Es un proyecto descriptivo y operacional en el cual se pretende realizar un diagnóstico de todas las unidades del proceso, para identificar aquellas que no estén cumpliendo su debido funcionamiento de acuerdo con criterios de comparación. Se reporta también, el análisis y comparación de las materias químicas empleadas y la sugerencia de nuevas alternativas a corto, mediano y largo plazo para mejorar la calidad del agua suministrada por la empresa municipal de servicios públicos de Orocué.

4.1.2. Alcance del proyecto

Este proyecto de grado se centra en buscar alternativas para disminuir las concentraciones de fluoruros presentes en el agua y así evitar posibles enfermedades causadas por el consumo del agua suministrada a la población orocueseña.

4.1.3. Área de estudio

El área del proyecto ha sido definida en el municipio de Orocué en la planta de tratamiento de agua potable La Manga, localizada en las coordenadas geográficas $4^{\circ}47'23''\text{N}$ $71^{\circ}20'21''\text{O}$ a orillas del río Meta, (Figura 1).

Figura 1. *Municipio de Orocué Casanare en donde se realiza el proyecto*



Fuente: Tomada de Google Earth, (2021).

4.1.4. Etapas del proyecto

La secuencia metodológica para cumplir con los objetivos establecidos en el trabajo se observan en la Figura 2

Figura 2 *Etapas del proceso para reducir en lo posible las concentraciones de (F-)*



Fuente: Propia

4.1.5. Diagnóstico de proceso

La primera fase de este proyecto de grado comienza con el diagnóstico de los procesos unitarios de la planta de tratamiento de agua potable. Este se llevará a cabo mediante un trabajo de campo en donde la información respectiva se recopile siguiendo el recorrido del agua en la planta, mediante la observación subjetiva del funcionamiento de las unidades y así poder emitir un concepto de la situación actual de operación del sistema de tratamiento. Con base a esto, se determinará el estado y las condiciones en la que está operando actualmente la planta, bajo los lineamientos del Reglamento Técnico para el Sector Agua Potable y Saneamiento Básico (RAS,20017).

Análisis de datos históricos de la concentración de fluoruros a través del tiempo

Para analizar los datos históricos de las concentraciones de fluoruros a través del tiempo se tiene en cuenta que el Ministerio de la Protección Social y el Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, expedieron la Resolución 2115 del 2007 “la cual establece y señala las características, instrumentos básicos y frecuencias del sistema de control y vigilancia para la calidad del agua para consumo humano”. La frecuencia mínima y número mínimo de muestras que debe realizar la autoridad sanitaria a la calidad física y química del agua para el consumo humano según la población es la siguiente tabla.

Tabla 2 *Frecuencia del sistema de control y vigilancia para la calidad del agua para consumo humano*

Población atendida por prestadora del servicio	Características	Frecuencia Mínima	Número mínimo de muestras a analizar por cada frecuencia
2501-10.000	Turbiedad, color aparente, pH, cloro residual libre o residual del desinfectante usado	Mensual	1

Población atendida por prestadora del servicio	Características	Frecuencia Mínima	Número mínimo de muestras a analizar por cada frecuencia
	COT, Fluoruros y residual del coagulante utilizado.	Anual	1
	Aquellas características físicas, químicas de interés en salud pública exigidas por el mapa de riesgo	De acuerdo a lo exigido en el mapa de riesgo	De acuerdo a lo exigido en el mapa de riesgo

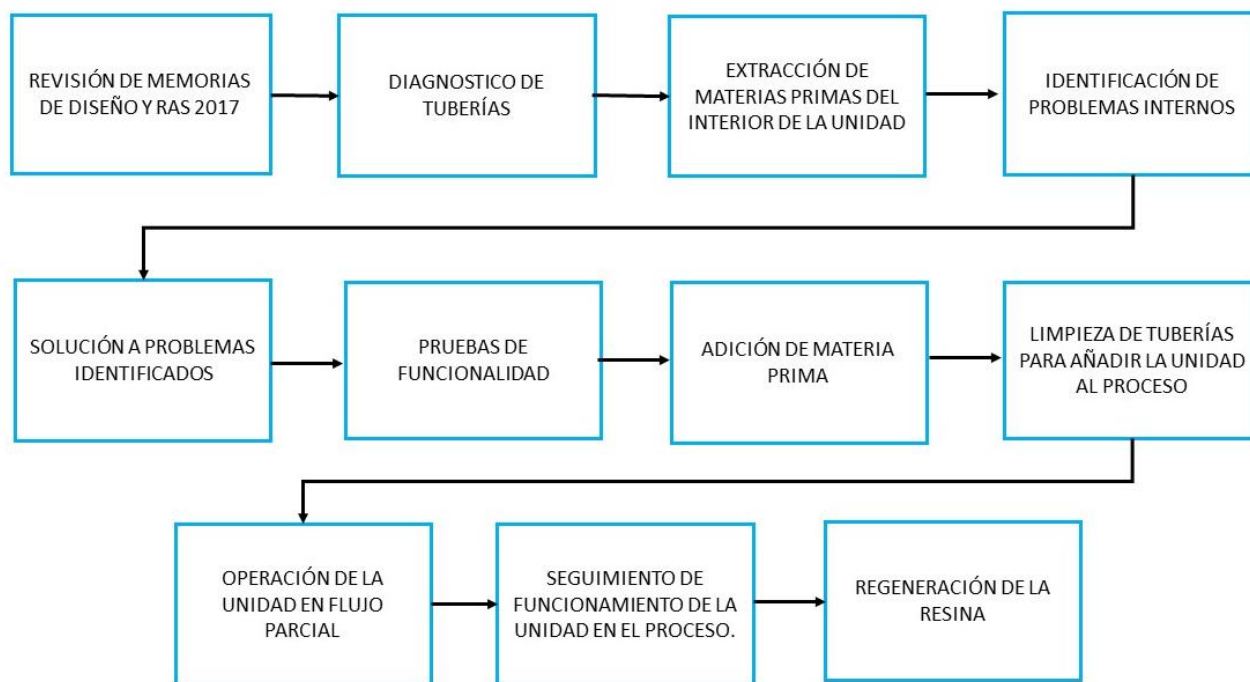
Fuente: Tomado de la Resolución 2115 de 2007 Hoja N°17

El municipio de Orocué cuenta con 7200 habitantes en la zona urbana aproximadamente. El análisis de las concentraciones de fluoruros del agua tratada se llevará a cabo tomando los resultados de la planta La Manga, encontrados en el archivo de la empresa, desde el año 2008 hasta el año 2021.

4.1.6. Puesta en marcha de la unidad de Intercambio Iónico

Teniendo en cuenta las memorias de diseño de la planta de tratamiento de agua potable y su respectivo manual de operación, se estableció el proceso metodológico para poner en marcha la unidad de intercambio iónico, representado en el siguiente diagrama de flujo.

Figura 3. Metodología para poner en marcha la unidad de intercambio iónico



Fuente: Propia

4.1.7. Alternativas a corto, mediano y largo plazo

Para sugerir nuevas alternativas a corto, mediano y largo plazo para la remoción de fluoruros en el tratamiento de agua potable de la empresa municipal de servicios públicos de Orocué, se empleó la siguiente metodología de acción

Alternativas a corto plazo: Solucionar los problemas técnicos y operacionales identificados en el diagnóstico de las unidades que hacen parte del tratamiento de agua potable.

Alternativas a mediano plazo: Una vez puesta en funcionamiento la unidad de intercambio iónico y dando solución a los problemas técnicos y operacionales de las demás unidades, se realizarán tres (3) pruebas con el laboratorio especializado y certificado por el IDEAM

(Aqualim) con el fin de determinar la concentración de fluoruros presentes en el agua, siguiendo

la Guía para el monitoreo de vertimientos, aguas superficiales y subterráneas (Instituto de Hidrología Meteorología y Estudios Ambientales, 2013). Se analizarán muestras de agua cruda (salida del pozo profundo) y de agua tratada.

Alternativas a largo plazo: Se realizó un estudio en donde se mida el impacto social generado por este proyecto, Con ayuda del centro de salud municipal la candelaria se realizó un seguimiento de posibles enfermedades causadas por el consumo del agua, directamente del grifo, debido a que la mayoría de la población orocueseña no hierve el agua antes de consumirla, las enfermedades que se van a tener en cuenta son las siguientes: Diarrea funcional, amebiasis, náusea y vómitos. Dichas enfermedades se compararán con un registro mensual. Se conformo un grupo de respuesta rápida con el fin de atender las preguntas, quejas o reclamos “PQR” de la comunidad que surjan durante el desarrollo del proyecto.

4.1.8. Toma de muestra de prueba de fluoruros.

Con el fin de validar las soluciones a los problemas técnicos identificados en el diagnóstico de la planta y la capacidad que tiene todo el proceso para reducir las concentraciones de fluoruros en el agua captada del pozo profundo, con la unidad de intercambio iónico puesta en marcha, se toman las muestras de agua bajo los parámetros del decreto 1575 y la resolución 2115 del 2007 y en compañía del manual de instrucciones para la toma, preservación y transporte de Muestras de Agua de consumo humano para análisis de laboratorio; artículo 27 decreto 1575 del 2007.

Capítulo 5

5.1. Diagnostico

5.1.1. Captación del agua

El agua tiene procedencia subterránea, a una profundidad de 170 metros, la bomba sumergible está ubicada a 50 metros de la superficie, el pozo tiene una edad de 27 años aproximadamente y presenta deterioro en su tubería, generando desprendimiento de partículas de hierro según se evidencia en el diagnostico total del proceso.

5.1.2. Medidores de caudales

Solo funcionan los medidores de entrada, los de salida están dañados.

5.1.3. Torres de aireación

En concordancia con la necesidad de retirar los posibles gases disueltos presentes en el agua y adicionalmente aprovechar el oxígeno del aire para fomentar reacciones de oxidación a materiales disueltos (p.ej. hierro) se emplean las torres de aireación. El estado actual de dichas torres se presenta en la siguiente Figura.

Cada bandeja de las torres de aireación contiene anillos “Pall- rings” que son empleados para la absorción de hierro, son lavables y reutilizables. El agua al entrar en contacto con los anillos se precipita en partículas insolubles, las cuales se adhieren a la superficie de los mismos, permitiendo que el agua pase a la planta de tratamiento libre de hierro, con ellos se alcanza la oxidación del hierro en el agua con procedencia subterránea.

Figura 4 *Torres de aireación*



Fuente: propia

El estado actual de los anillos en cada bandeja es muy deficiente, cada bandeja aproximadamente debe tener alrededor de 2.030 anillos para un total de 8120 anillos en total. Desde hace 4 años en que la estructura de la planta está en funcionamiento, periodo en el cual no se les ha hecho su respectivo lavado y mantenimiento.

Figura 5 *Estado actual de las bandejas de la torre de aireación*



Fuente: Propia

5.1.4. Vertederos para verificar caudal

Luego de pasar por las bandejas de aireación, el agua llega a una bandeja inferior conocida como la cámara recolectora en donde el fluido pasa por el vertedero que cumple varias funciones, tales como medir el caudal de ingreso, mantener constante la alimentación y produce una energía potencial al fluido con el fin de generar un buen punto para la aplicación de reactivos.

Figura 6 *Vertedero rectangular*



Fuente: propia

5.1.5. Conos de mezcla rápida

Esta unidad promueve los fenómenos de coagulación y de absorción - neutralización que se realizan en un tiempo muy corto. La buena mezcla también beneficia la coagulación de barrido que se representa cuando el reactivo coagulante atrapa las partículas coloides en una precipitación masiva que se completa de 1 a 7 segundos. Esta unidad es significativamente útil porque evita la utilización de mecanismos motrices cuyo consumo de energía aumenta el costo del proceso.

Figura 7 Conos de mezcla rápida y adición de reactivos en el tratamiento del agua



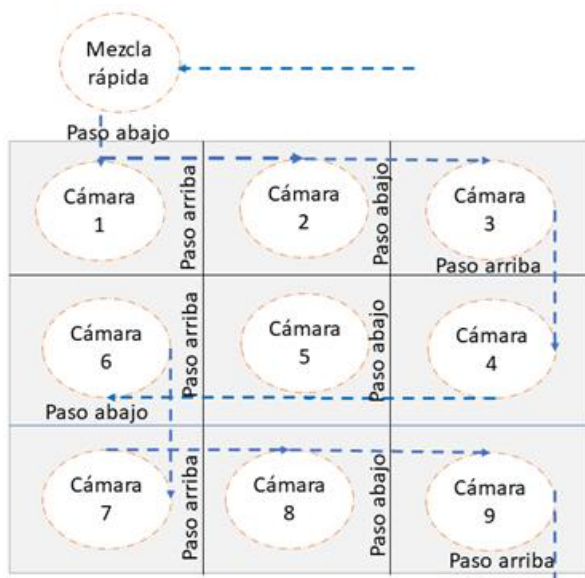
Fuente: Propia

5.1.6. Floculadores

La unidad fomenta la mezcla lenta decreciente favoreciendo la formación y crecimiento de los flóculos hasta un tamaño que permita su posterior separación. Después de agregar los coagulantes a una suspensión coloidal, se inicia el proceso de desestabilización en donde las partículas se aglomeran, debido a las sucesivas colisiones entre las mismas que tienden a unirse hasta formar flóculos o grumos que crecen con el tiempo (Romero Rojas, 1999).

El estado actual de esta unidad se muestra en la figura 9 en donde evidencia el deterioro de la estructura, principalmente en su pintura y corrosión.

Figura 8 Distribución de 9 cámaras configurando un floculador de flujo helicoidal



Fuente: propia

Figura 9 Floculador de flujo helicoidal



Fuente: propia

5.1.7. Ductos receptores para la descarga de los floculadores

El ducto de descarga de las cámaras del floculador alimenta uniformemente al sedimentador teniendo especial cuidado de no acelerar el flujo para evitar el rompimiento del floculo. El

parámetro de control es el gradiente en la salida, el cual no debe aumentar con respecto a la cámara 9 (Figura 10).

Figura 10 *Ducto conector floculador – sedimentador*



Fuente: propia

5.1.8. Sedimentadores

La función de esta unidad del proceso es la decantación o sedimentación de los flóculos formados en las cámaras de flujo helicoidal. Aquí se realizan la separación de los sólidos más densos que el agua, cuyas partículas de solución están diluidas, es decir, no actuarán como partículas discretas si no que se agregan durante la sedimentación (Qian et al., 2021). Esta unidad trabaja con una sedimentación zonal, cuyo objetivo es generar un volumen de agua relativamente clara por encima de la región de sedimentación zonal. Los sedimentadores están diseñados para un tipo de flujo laminar, con énfasis en distribución de flujo uniforme, siendo alimentado por arriba de la zona de sedimentación zonal y por dentro contienen la ayuda de los módulos de sedimentación que están inclinados también conocidas como (colmenas de sedimentación), para aumentar la eficiencia de separación.

El estado de esta unidad se puede observar en la figura 11 y 12 en donde se evidencia la proliferación de cianobacterias y algas verdes filamentosas, el deterioro de la pintura de la estructura y las concentraciones de hierro y oxidación en su superficie.

Figura 11 *Vista superior de unidades de sedimentación*



Fuente: propia

Figura 12 *Proliferación de cianobacterias y algas verdes filamentosas en unidades de sedimentación.*



Fuente: propia

La purga de lodos sedimentados es muy importante en una planta de potabilización, donde la evacuación de los mismos debe de ser constante, con el fin de evitar aglomeraciones e

ineficiencia de la unidad. Según el RAS, el flujo total de lodos de una planta no debe ser mayor, en promedio del 5% del caudal total tratado (Ministerio de Vivienda Ciudad y Territorio, 2017), exactamente para 15 L/s que son las actuales condiciones.

5.1.9. Tanque de balance hidráulico

El agua clarificada producida por las dos líneas de proceso en paralelo de la planta, se unifican en un tanque que permite amortiguar las diferencias de flujo entre las dos alimentaciones de 15 l/s y la descarga de las bombas que alimenta el sistema de filtración. En la figura 13 se puede apreciar el estado de la unidad de balance hidráulico, que tiene problemas con sus controladores de nivel. Una bomba presenta fallas para impulsar el líquido y se apaga constante, lo que genera un derrame de agua en toda la instalación de la planta, retrasa el tratamiento y la distribución del agua. Las condiciones de la unidad se presentan en la figura 13.

Figura 13 *Estado actual del Tanque de Balance hidráulico*



Fuente: propia

5.1.10. Filtración

El agua contiene pequeñas cantidades de sustancias insolubles, que son separadas mediante filtración. La función de esta unidad es separar las partículas que no han sido retenidas en el proceso de sedimentación y con ellas algunos microorganismos. El trabajo de los filtros depende directamente de la mayor o menor eficiencia de los procesos preparatorios anteriores, por ende, estas unidades de sedimentación y filtración se deben considerar como procesos complementarios, es decir, ambos producen separación de partículas.

Según el diagnóstico realizado a esta unidad, como se muestra en la figura 14, que es necesario realizar una desaireación constante de los filtros, con el fin de evitar el aumento de presión y aumentar la movilidad del fluido.

Figura 14 *Unidades de filtración del tratamiento de agua potable*



Fuente: propia

5.1.11. Intercambiadores Iónicos

Las sustancias solubles ionizadas disueltas en el agua se pueden eliminar por intercambio iónico, dichas sustancias tienen cargas positivas denominadas “cationes”, las que llevan cargas negativas, “aniones”.

En el diagnóstico de esta unidad, se observa que los suavizadores o también conocidos como los intercambiadores Iónicos, que están representados en la figura 15, no se encuentran en funcionamiento desde la instalación de la estructura de la planta, aproximadamente hace 5 años. Debido a la pérdida del material interno (resina y grava) presentadas durante la puesta en marcha de la unidad hace 5 años, se decide cambiar de resina con un diámetro mayor para evitar la fuga de ellas, el ingeniero a cargo y operadores se dan cuenta de la problemática y deciden sacar la unidad de proceso del tratamiento de agua potable porque generaba residuos sólidos en la unidad de almacenamiento y además la resina al entrar en contacto con el cloro gaseoso, en la unidad de desinfección, se dañaba.

Figura 15 Intercambiadores iónicos con su tanque de preparación de solución para la regeneración de resina



Fuente: propia

5.1.12. Cámara de desinfección por contacto de cloro

Esta unidad del proceso es una de las más importantes, porque todos los procesos de tratamiento de agua están afectados por la presencia de microorganismos de los cuales algunos son

inofensivos y otros son letales para la salud humana. Cuando el tema cubre el concepto de salud pública, no se deben correr riesgos y los microorganismos deben ser eliminados.

El reglamento técnico de saneamiento básico RAS 2000, en lo referente a la etapa de desinfección establece que, para niveles de complejidad alto, la implementación de tanques de contacto que garanticen la eliminación de microorganismos patógenos y mejoren los siguientes aspectos del proceso, tales como: acción bacteriana y virulicida, calidad organoléptica (color, sabor, etc.), oxidación de la materia orgánica y oxidación de microcontaminantes(Kali et al., 2021).

Para el diagnóstico de esta unidad se tuvo en cuenta los resultados de las pruebas de cloro del monitoreo diario que se le hace a la unidad, confirmando que no se requiere una mejora u optimización de la misma como se observa en la figura 16.

Figura 16 *Unidad de desinfección con cloro gaseoso*



Fuente: propia

Independientemente del nivel de complejidad de la comunidad a servir, el RAS define que la determinación de la dosis desinfectante con la cual debe operar la planta de tratamiento y

el dimensionamiento de los componentes referentes a desinfección debe hacerse por el método concentración- tiempo.

El rango de dosificación en la tabla 3 establecido según el RAS entre 3,5 y 0,5 ppm, permite establecer los niveles de consumo de almacenamiento, de acuerdo a:

Tabla 3 Consumo de cloro gaseoso para condiciones actuales y futuras

Cloro gaseoso	Dosificación	Consumo para 15 l/s	Consumo para 30 l/s
Consumo máximo	3,5 gramos/m ³	189 g/hora	378 g/hora ≈ 9Kg /día
Consumo mínimo	0,5 gramos/m ³	27 g/hora	54g/hora ≈ 1,3 kg/día

Fuente: (RAS, 2017)

5.1.13. Dosificación de reactivos

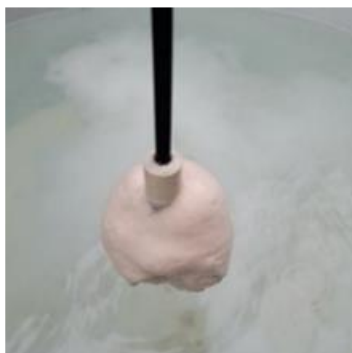
El sistema de dosificación para cada módulo cuenta con un sistema de dosificadores para 2 reactivos diferentes. Cada uno cuenta con un tanque de almacenamiento de solución preparada de 1000 L y una bomba dosificadora.

Las aguas crudas que presentan alto color y baja turbiedad, como es el caso del pozo de Orocué, frecuentemente requieren la aplicación de cal hidratada para generar un floculo más pesado y mejorar la calidad del efluente. La problemática que se presenta con la dosificación del reactivo de cal hidratada, es que al no tener activo el sistema de agitación para cada tanque, no se logra una mezcla homogénea, haciendo poco eficaz el complejo activo del reactivo y la mala dosificación. Además, al utilizar un reactivo de baja calidad, no hay dilución del mismo ni un buen funcionamiento de la unidad como se puede evidenciar en la figura 17

También, se dosifica sulfato de aluminio tipo A granulado con el fin de clarificar el agua, siendo un coagulante que sedimenta los sólidos en suspensión. El uso de sulfato de aluminio para

tratamiento de agua potable está aprobado internacionalmente por American Water Works Association (AWWA) y en Colombia por la Resolución 2115 de 2007.

Figura 17 *Dosificación de cal hidratada*



Fuente: Propia

5.2. Resumen del diagnóstico realizado a la línea de operación de la planta

A continuación, se presenta un resumen de los principales problemas identificados en el diagnóstico del proceso de tratamiento de agua potable de la planta La Manga, en la tabla 4.

Tabla 4 *Resumen de problemas identificados en la operabilidad de algunas unidades de la planta de tratamiento de agua potable La Manga*

Unidad	Tipo de diagnostico	Problema identificado
Pozo de captación	Inspección detallada	Antigüedad del pozo y filtración de efluentes.
Torres de aireación	Inspección detallada	Limpieza de anillos Pall Rings

Unidad	Tipo de diagnostico	Problema identificado
Sedimentación	Inspección conductiva	Proliferación de algas verdes filamentosas y cianobacterias
Tanque de Balance hidráulico	Inspección conductiva	Sistema de control y obstrucción al paso del líquido en las bombas de filtración
Dosificación de cal (CaO)	Inspección detallada	1. Homogenización de la solución dosificadora 2. Falta de un sistema de agitación técnico
Intercambiadores Iónicos	Inspección detallada	1. No funciona 2. Resina catiónica
Análisis de datos históricos de la concentración de fluoruros en el agua tratada	Inspección detallada	Concentraciones de fluoruros alta desde el 2009 hasta la fecha, por fuera del valor permisible según la Resolución 2115 del 2007.
Estructura General	Inspección detallada	Deterioro de la pintura epóxica y aumento de corrosión

Fuente: propia

5.3. Solución a problemas técnicos identificados en la operabilidad de la planta

Pozo de captación

Se determinó que es necesario implementar una purga diaria antes de iniciar el proceso de captación, dejando evacuar una cierta cantidad de líquido, hasta observar una normalidad en su

turbiedad y partículas disueltas en el fluido, con el fin de alargar el tiempo de mantenimiento e higiene de las demás unidades.

Torres de aireación

Para dar solución a la problemática del lavado y la reutilización de los anillos Pall rings, se sugiere la compra de ácido nítrico al 55% que es utilizado a nivel industrial que garantiza la limpieza de los mismos.

Dosificación

Para el problema técnico que se presentaba en la dosificación de cal hidratada, se sugirió la compra de una cal de mejor calidad, con el fin de evitar la aglomeración de partículas sólidas en el filtro de bombeo y la homogenización de la solución a dosificar.

Sedimentación

Para evitar el crecimiento de las algas se consideraron tres alternativas para dar solución a la problemática. Se plantea Dosificar un agente oxidante y desinfectante para eliminar bacterias, algas, moho, hongos y microorganismos perjudiciales para la salud humana, tal como el hipoclorito de calcio, con una cantidad de 3,325 kg para cada unidad según las pruebas de campo sugeridas por el manual de operación de la planta. Por experiencia en la aplicación de este agente, en la planta La Manga los operadores y el ingeniero a cargo, dicen, que no era viable por que cambiaba el color y sabor del agua.. La segunda alternativa es dosificar sulfato de cobre que sirve para controlar el crecimiento de las algas, pero tiene un efecto perjudicial porque también es empleado para aumentar las concentraciones de flúor en el agua a lo que se le conoce como fluoración, siendo descartada de inmediato. Por último, se tiene en cuenta una alternativa

económicamente viable y a corto plazo que es la implementación de una polisombra en la superficie de las unidades como se observa en la figura 18, debido a que la proliferación de las algas depende mucho de la energía solar, porque la mayoría de las algas son eucariotas y llevan a cabo la fotosíntesis(Bai et al., 2020).

Figura 18 *Polisombra en la superficie de la unidad de sedimentación para evitar la proliferación de algas*



Fuente: propia

La polisombra se instaló luego de realizar un mantenimiento a la unidad, donde diariamente se hizo una revisión de pruebas organolépticas con el fin de evitar malos olores o cambios de sabor en el agua tratada. El crecimiento de algas disminuyó como se puede observar en la figura 19, haciendo efectiva la alternativa como solución a la problemática presentada.

Figura 19 *Unidad de sedimentación 15 días después de instalar la polisombra*



Fuente: propia

Tanque de balance hidráulico

Con el objetivo de dar solución a la pérdida de agua tratada durante el proceso, la empresa accedió a la sugerencia de la compra de un controlador de nivel. Además, se adiciono una polisombra en la superficie del tanque con el fin de evitar proliferaciones de algas o bacterias en la unidad como se puede observar en la figura 20 y en la figura 21. Se evidenció la necesidad de mantenimiento de la bomba y la obstrucción que presentaba, generando baja potencia en el caudal de bombeo, por ende, se sugiere tener más cuidado al momento de realizar los mantenimientos de la unidad de sedimentación.

Figura 20 *Controlador de nivel y polisombra para la unidad del tanque de balance hidráulico.*



Fuente: propia

Figura 21 *Mantenimiento a la unidad a la bomba del tanque de balance hidráulico.*



Fuente: propia

5.4. Análisis de concentración de fluoruros a través del tiempo

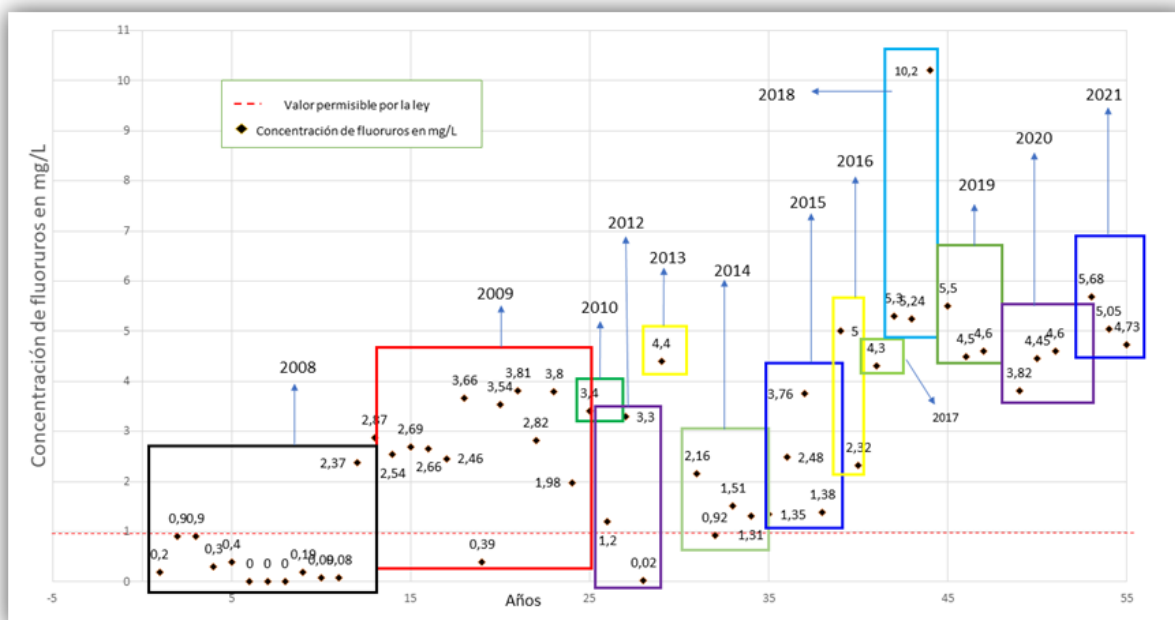
El análisis de las concentraciones de fluoruros es necesario, debido a que la empresa no cuenta con una base de datos organizada ni el estudio del comportamiento de la concentración de fluoruros en cada año. Este análisis se realizó considerando los criterios de la Resolución 2115 del 2007 que establece el valor permisible de la concentración de fluoruros en el agua para el consumo humano en el territorio colombiano, con un valor de concentración de 1 mg/L. Desde el año 2008 y a finales del mismo los resultados de agua tratada de la planta La Manga evidenciaron el primer registro de concentración de 2,37 mg/L que está por encima del valor permisible como se observa en la figura 22.

En el año 2009 las concentraciones de fluoruros estuvieron por encima de 1.0 mg/L a excepción del mes de julio que registro una concentración de 0,39 mg/L, ver figura 22 y anexos. Cabe resaltar que para estos periodos de tiempo la planta La Manga contaba con una estructura

de tipo semiconvencional conformada por las siguientes estructuras: aireación, floculación, sedimentación, filtración y cloración, dotada con una unidad de filtros auto lavables automáticamente y dosificada con sulfato de aluminio tipo a granulado y cal según el informe de cumplimiento ambiental de Corporinoquia Expediente No.200.07.04-150. (Corporinoquia, 2011)

En el año 2011 no se encontraron resultados de la concentración de los fluoruros, por ende, se desconoce su comportamiento. En los años 2010 y 2013 solo se encontraron registros de una prueba en cada año de 3,4 y 4,4 mg/L respectivamente, para los años 2014 y a inicios del 2015 se establece un valor aceptable de 1,5 mg/L según la (OMS,1993,1996b), ver figura 23, pero por fuera del rango de la legislación colombiana.

Figura 22 Comportamiento de la concentración de fluoruros a través de los años.



Fuente: propia

A finales del año 2017 y principios del año 2018 el Ministerio de Minas y Energía entregó la adecuación y optimización de la planta de agua potable La Manga. En el mes de octubre del año 2017 es puesta en marcha la nueva estructura sin la funcionalidad de la unidad de intercambio iónico, se registra una concentración de 4,3 mg/L. Para el mes de mayo del año 2018 se evidencia el pico más alto de todos los datos históricos a través de los años de 10 mg/L, una cifra alarmante que pudo afectar la salud de muchos orocueses ver anexo (1). Esta descripción permite inferir que las concentraciones de fluoruros en su mayoría provienen del pozo profundo. Desde el 2016 al 2021 se evidencia un promedio de las concentraciones de fluoruros en el agua tratada de aproximadamente 5,02 mg/L, estableciendo un valor por encima del límite permisible.

5.5. Unidad de intercambio iónico puesta en marcha

Para poner en funcionamiento la unidad de intercambio iónico, se reconoce el sistema desde la parte superior de la columna, en donde se observa que en la columna (2) tienen un color y olor desagradables, por el estancamiento de agua durante años. Se hizo un desfogue controlado, evitando la pérdida del material (Figura 23).

Figura 23 Desfogue controlado de la unidad



Fuente: propia

Una vez identificada la cantidad de materia dentro de las columnas, se procede a abrir la puerta inferior de la columna ubicada en la parte de atrás. Se calcula 1 m³ de grava aproximadamente y unos 20 cm de resina como se observa en la figura 24, estas son depositadas en dos tanques de 2000 L con el fin de evitar posibles contaminaciones.

Figura 24 Metodología para desocupar las columnas de intercambio iónico



Fuente: propia

Una vez desocupada la unidad, se logró observar el sistema de las flautas o ranuras de PVC y la forma de funcionamiento de la misma. Se identifica que el intercambiador 1 tiene una de sus flautas sueltas, lo que estaba generando la pérdida de material en grandes cantidades, ver figura 25.

Figura 25 Identificación de la flauta con defectos de instalación en el intercambiador 1.



Fuente: propia

Luego de ajustada la flauta, se dejó secar el pegante y se hicieron pruebas con el fin de verificar el funcionamiento del sistema de flautas como se observa en la figura 26

Figura 26 Fuga subsanada del intercambiador iónico 1

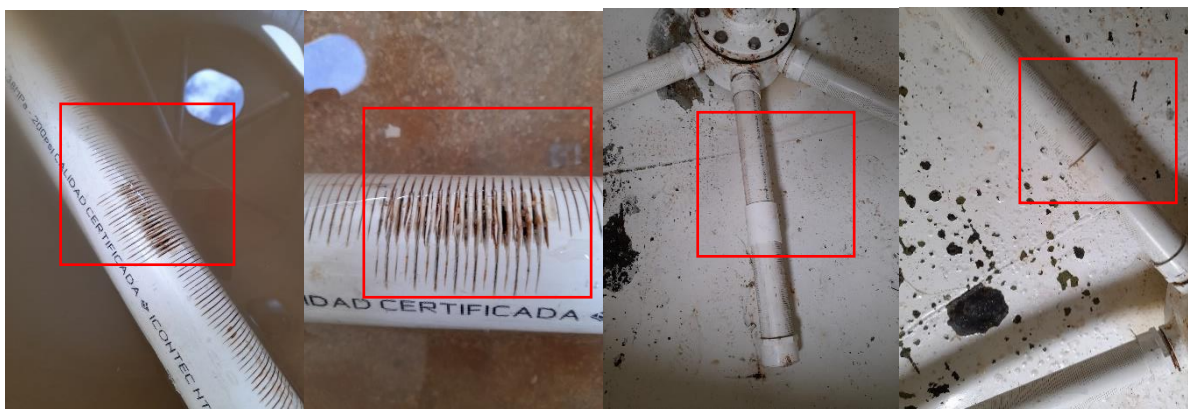


Fuente: propia

En la identificación de problemas para la columna del intercambiador 2, se determina en las flautas un problema de fabricación, donde sus ranuras son más anchas que las que las demás, generando la pérdida del material. Por consiguiente, se añaden uniones que ocupen dicho espacio, ahorrando gastos en transporte y fabricación de la misma como se observa en la figura 27.

Figura 27 Identificación y solución a problemas de fábrica de las flautas

Fuente: propia



Dando solución a la estructura interna de cada columna que conforma la unidad de intercambio iónico, se hizo limpieza general de cada una de ellas como se observa en la figura 28

Figura 28 Limpieza y desinfección de cada una de las columnas de intercambio iónico



Fuente: propia

Limpieza de tuberías: esta limpieza es necesaria, debido a que dentro de la tubería de alimentación que conduce a la cámara de desinfección y finalmente al tanque de

almacenamiento, contiene una gran cantidad de resina acumulada, este material fue reutilizado como se observa en la figura 29

Figura 29 Limpieza de tubería que conduce al almacenamiento del agua tratada.



Fuente: propia

Posteriormente, se añade la resina y la grava fina en cada columna, esta labor se hizo cuidadosamente, con el objetivo de no dañar o despegar alguna de las flautas en el interior. Ver figura 30.

Figura 30 Llenado de la unidad de intercambio iónico



Fuente: propia

Finalizado los llenados de cada una de las columnas, se realizó un enjuague del material, hasta confirmar mediante pruebas organolépticas la limpieza e higiene de cada una de ellas y del agua final obtenida como se observa en la figura 31.

Figura 31 *Lavado constante del material*



Fuente: propia

Luego de asegurar una limpieza interna la unidad, se extrae el líquido con el fin de adicionar la resina nueva a la unidad, en total son setenta y ocho (78) bultos de los cuales se añadieron treinta y ocho (38) en cada columna por la parte superior como se observa en la figura 32 y 33.

Figura 32 *Acondicionamiento de la unidad para adicionar la resina.*



Fuente: propia

Figura 33 Llenado de cada uno de los tanques con la nueva resina catiónica



Fuente: propia

Una vez añadida la resina se abre la llave de alimentación, seguidamente se dejó llenar la unidad, se verifica la desaireación y el producto final que está generando la unidad, en donde se observa una coloración naranja en el agua, siendo necesario un enjuague de la resina nueva con el fin normalizar el color, sabor y olor del agua tratada, ver figura 34.

Figura 34 Etapa final del mantenimiento y arreglo de la unidad de intercambio iónico.



Fuente: propia

Para finalizar, se pone en marcha la unidad y es añadida al proceso de tratamiento de agua potable, abriendo las válvulas de alimentación en flujo parcial en cada una de las columnas, con el fin de alargar el tiempo en que se debe regenerar la resina, luego se abrió la válvula que conduce a la tubería de alimentación, por último, se abre la válvula que da el paso a la cámara de desinfección y a los tanques de almacenamiento, ver figura 35.

Figura 35 *Unidad de intercambio iónico añadida al proceso después de 5 años sin emplear*



Fuente: propia

5.6. Determinación de la concentración de fluoruros

Una vez solucionados los problemas identificados en las unidades del tratamiento y los intercambiadores añadidos al proceso, se realiza la toma de muestra de agua cruda procedente del pozo de captación y agua tratada a la salida de la planta la Manga para ser analizada las concentraciones de fluoruros provenientes del pozo y la concentración removida por el proceso. Los resultados obtenidos en la primera prueba, mostraron una concentración de 8,70 mg/L para el agua del pozo y para el agua tratada que sale de la planta la manga 7,70 mg/L, ver tabla 5 y

anexo, lo que indica que continúa el incumplimiento del límite permisible y que el proceso de tratamiento está reduciendo 1 mg/L de concentración de fluoruros.

Tabla 5 Resultados emitidos por el laboratorio Aqualim

Numero de Prueba	Agua cruda	Agua tratada
1	8,70	7,70
2	7,25	4,0
3	6,55	5,75

Fuente: Aqualim, 2021.

Cabe aclarar que, en el año 2018 en el mes de mayo, las concentraciones de fluoruros superaban esta cifra, con un valor de concentración de 10,2 mg/L en el agua tratada, como se evidencia en la tabla 6 y en el anexo

Tabla 6 Resultados emitidos por el laboratorio Aqualim en el año 2018

Año 2018	Concentración de fluoruros en mg/L
Mayo	10,2
Julio	5,3
Noviembre	5,24

Fuente: Aqualim, 2018

Una de las posibles causas a este resultado y que se debe considerar, es la temporada invernal por la que está atravesando el municipio. La Alcaldía municipal a través de la del Decreto 037 declaro alerta Naranja (Orocué, 2021) por motivos del periodo invernal desde el 10 de mayo del 2021 hasta que se supere la situación, Por consiguiente, se tendrá un aumento del nivel de agua del pozo subterráneo y la homogenización de todo tipo de aguas por posibles

filtraciones y antigüedad en la estructura del mismo, aumentando así las concentraciones minerales incluyendo la de los fluoruros

En la segunda prueba las concentraciones de fluoruros del agua cruda se determinaron en 7,25 mg/L y en la del agua tratada en 4,00 mg/L, lo que indica un resultado positivo a comparación de la primera prueba, reduciendo las concentraciones de fluoruros en 3,25 mg/L, acercándose aún más al valor permisible por la ley. Es importante analizar que no se puede otorgar todo el crédito a los intercambiadores iónicos, debido a que la resina que se está empleando es ResinTech CG8-BLK catiónica de ácido fuerte de gel reticulado al 8% en forma de sodio, que al entrar en contacto con el agua solo va a presentar una mayor afinidad por los iones con cargas positivas como Ca^{++} y Mg^{++} , entre otros (Loss, 2020) (Amini et al., 2015). Se puede otorgar esta capacidad de remoción a las pequeñas soluciones operativas de la planta, como la mejora en el proceso de sedimentación y a su respectiva dosificación.

En la última prueba se observa una disminución de las concentraciones de fluoruros en el pozo de captación con un valor de 6,55 mg/L en comparación de las dos pruebas anteriores y una concentración del agua tratada de 5,75 mg/L, lo que indica una disminución del 0,8 mg/L de concentración de fluoruros removida por el proceso.

Haciendo un análisis de los resultados presentados anteriormente, se evalúa la capacidad de remoción de fluoruros que tiene el proceso, haciendo necesaria la implementación de alternativas Operativas y tecnológicas.

5.7. Alternativas

Este proyecto plantea alternativas operativas y tecnológicas de acuerdo a los resultados obtenidos, que se pueden considerar para ser aplicadas y disminuir las concentraciones de fluoruros presentes en el agua

5.7.1. Alternativas operativas:

Para mejorar las unidades de dosificación de reactivos, mezcla rápida y sedimentación se es necesario suministrar reactivos de buena calidad y un equipo de agitación en cada uno de los tanques que suministran el reactivo de cal y sulfato de aluminio tipo A con el fin de garantizar la homogenización de la mezcla y no depender de la labor de los operadores para evitar errores y falta de dosificación.

Realizar purgas de lodos en la unidad de sedimentación (RAS 2017) tres veces al día durante 1 minuto, con el fin de garantizar la eficiencia de la unidad.

Se es necesario el arreglo de los medidores de caudales, tanto de entrada como de salida del proceso, esto con el fin de llevar un control más estricto del agua que se está tratando, gastando en mantenimientos, y la que se tiene en el proceso.

5.7.2. Alternativa Tecnológica:

Con el objetivo de disminuir las concentraciones de fluoruros, se es necesario implementar un estudio en donde se evalúen diferentes reactivos tales como policloruro de aluminio, sulfato de aluminio tipo A (líquido), hidroxiclóruo de aluminio, entre otros en el mercado y aceptados por la Resolución 2115 del 2007. Se sugiere la realización de un estudio de coagulación (ensayo de jarras) y con el complemento de medición in situ de

fluoruros (sensor de ion selectivo). Esto se debe realizar con el cuidado de no afectar los demás parámetros fisicoquímicos del agua a tratar.

Optimizar la unidad de intercambio iónico, de acuerdo a los resultados obtenidos y teniendo en cuenta que se está empleando una resina catiónica, la alternativa que sugiere este proyecto a largo plazo es transformar y optimizar dicha unidad de la siguiente manera: La unidad deberá trabajar en serie y desionizar el agua, implementando la compra de una resina aniónica en forma de hidroxilo (OH^-) que será añadida a la segunda columna del intercambio iónico (Grzegorzec et al., 2020), con el fin de generar afinidad y retener iones de fluoruros en el agua y en la primera se tendrá toda la resina catiónica con el objetivo de evitar la pérdida de todo el material añadido para su puesta en marcha, aquí se debe tener en cuenta el sistema empleado para la regeneración de la resina y un estudio detallado en donde se aislé la unidad del proceso para su respectivo estudio de la cantidad de iones de fluoruros que está removiendo y de los planos, caudales a tratar y modificaciones a realizar, Siendo una alternativa económicamente viable a diferencia de implementar una nueva tecnología como electrodiálisis, técnicas de membrana, osmosis inversa.

5.8. Impacto social del proyecto

Para medir el alcance social que generó este proyecto, con el plan de mejoramiento del tratamiento que se desarrollan en la planta La Manga, se obtienen los siguientes resultados en la tabla 3 registrados por el Centro de Salud Municipal tanto en consulta externa como por urgencias ver anexos.

Tabla 7 Seguimiento y control mes a mes de posibles enfermedades causadas por el consumo de agua.

DICIEMBRE - 2020	DIARREA FUNCIONAL	NAUSEA Y VOMITO	AMEBIASIS
Consulta externa	1	0	0
Urgencias	2	1	0
Total	3	1	0
ENERO-2021	DIARREA FUNCIONAL	NAUSEA Y VOMITO	AMEBIASIS
Consulta externa	0	0	0
Urgencias	0	5	1
Total	0	5	1
FEBRERO - 2021	DIARREA FUNCIONAL	NAUSEA Y VOMITO	AMEBIASIS
Consulta externa	0	15	0
Urgencias	1	8	0
Total	1	23	0
MARZO - 2021	DIARREA FUNCIONAL	NAUSEA Y VOMITO	AMEBIASIS
Consulta externa	0	0	0
Urgencias	4	1	0
Total	4	1	0
ABRIL - 2021	DIARREA FUNCIONAL	NAUSEA Y VOMITO	AMEBIASIS
Consulta externa	1	0	0
Urgencias	9	3	0
Total	10	3	0
MAYO - 2021	DIARREA FUNCIONAL	NAUSEA Y VOMITO	AMEBIASIS
Consulta externa	0	3	0
Urgencias	6	3	0
Total	6	6	0

Fuente: IPS centro de salud de Orocué.

En la tabla 7 se puede evidenciar que en el mes de diciembre del año 2020; se presentan 3 casos de diarrea funcional, un caso de amebiasis en el mes de enero que principalmente es una enfermedad causada por el consumo de agua no tratada y cinco de náuseas y vomito. En el mes de febrero, se presenta un caso de diarrea funcional y 23 casos de náuseas y vómitos. Al momento de iniciar este plan de mejoramiento, en el mes de marzo aumentaron en tres casos la diarrea funcional, pero disminuyó significativamente los casos de náuseas y vómito, a finales del mes de abril se ven reflejados las consecuencias de la falta de cloro gaseoso para la desinfección del agua, debido a los problemas de transporte ocasionados por el paro nacional.

Capítulo 6

6.1. Conclusiones

En relacion a lo expuesto anteriormente, en el diagnostico del proceso desarrollado en la planta de tratamiento de agua potable La Manga, se dió solución a la mayoría de los problemas tecnicos identificados en la operabilidad de la planta, que benefician a la comunidad orocueseña al momento de consumir el agua tratada.

Este proyecto demuestra que no se tiene una idea clara del comportamiento de las concentraciones de fluoruros presentes en el agua captada, mientras que no se realice un mapa de riesgo y un estudio geologico alrededor de la zona en que esta ubicada la planta de tratamiento de agua potable.

Se determina que la capacidad que tiene el proceso para disminuir las concentraciones de fluoruros presentes en el agua captada a concentraciones permisibles por la ley es poco eficiente y aún más si son concentraciones de entrada mayores a 8 mg/L.

Se logró poner en funcionamiento la unidad de intercambio ionico, pero la resina que se esta empleando no garantiza la disminucion de las concentracones de fluoruros presentes en el agua captada, debido a que es una resina cationica de acido fuerte.

Como lo demuestra el proyecto, es necesario el estudio de nuevos coagulantes y de nuevas tecnologías que ayuden a disminuir las concentraciones de fluoruros presentes en agua captada.

6.2. Perspectivas

Las principales dudas que han surgido luego de llevar acabo este proyecto son: ¿la planta de tratamiento de agua potable La Manga podrá disminuir y mantener un comportamiento

permisible por la ley de bajas concentraciones de fluoruros presentes en el agua?, ¿las mejoras que se realizaron en época invernal tendrían un efecto aún más positivo en épocas de verano?

La optimización de intercambio iónico sugerida en este proyecto genera muchas dudas, de acuerdo a su comportamiento en la desmineralización del agua, principalmente en la disminución de las concentraciones de fluoruros, donde sería muy interesante evaluar su eficiencia junto con otro coagulante empleado en el proceso

Capítulo 7

7.1. Bibliografía

- Alkurdi, S. S. A., Al-Juboori, R. A., Bundschuh, J., & Hamawand, I. (2019). Bone char as a green sorbent for removing health threatening fluoride from drinking water. *Environment International*, 127(March), 704–719. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2019.03.065>
- Amini, A., Kim, Y., Zhang, J., Boyer, T., & Zhang, Q. (2015). Environmental and economic sustainability of ion exchange drinking water treatment for organics removal. *Journal of Cleaner Production*, 104, 413–421. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.05.056>
- Bai, M., Huang, X., Zhong, Z., Cao, M., & Gao, M. (2020). Comparison of [rad]OH and NaClO on geosmin degradation in the process of algae colonies inactivation at a drinking water treatment plant. *Chemical Engineering Journal*, 393(July 2019), 123243. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2019.123243>
- Basantes Basantes, E. F., Cáceres del Salto, A. C., Lozano Hernández, C. J., & Cocha Telenchana, L. S. (2019). Aplicación del método de Nalgonda para la reducción de fluoruros de las fuentes de agua de las comunidades Atapo Culebrillas y Santa Teresa, Ecuador. *Ciencia Digital*, 3(3.4.), 276–288. <https://doi.org/10.33262/cienciadigital.v3i3.4..872>
- CASTRO LUNA, J. J., & CORTÉS LA ROTTA, A. (2019). *Diagnóstico Y Propuesta De Optimización De Los Sistemas De Captación Y Tratamiento De Agua Potable Del Acueducto De Leticia-Amazonas*. 149. <https://hdl.handle.net/10983/23946>
- Chen, L., Deng, Y., Dong, S., Wang, H., Li, P., Zhang, H., & Chu, W. (2021). The occurrence and control of waterborne viruses in drinking water treatment: A review. *Chemosphere*,

281(April), 130728. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2021.130728>

- Chowdhury, A., Adak, M. K., Mukherjee, A., Dhak, P., & Khatun, J. (2019). Review papers A critical review on geochemical and geological aspects of fluoride belts, fluorosis and natural materials and other sources for alternatives to fluoride exposure. *Journal of Hydrology*, 574(February), 333–359. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2019.04.033>
- Corporinoquia. (2011). *Informe de cumplimiento ambiental de orocué, corporinoquia 2011*.
- Das, D., & Nandi, B. K. (2020). Simultaneous removal of fluoride and Fe (II) ions from drinking water by electrocoagulation. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 8(1), 103643. <https://doi.org/10.1016/j.jece.2019.103643>
- Gan, Y., Wang, X., Zhang, L., Wu, B., Zhang, G., & Zhang, S. (2019). Chemosphere Coagulation removal of fluoride by zirconium tetrachloride : Performance evaluation and mechanism analysis. *Chemosphere*, 218, 860–868. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2018.11.192>
- García-Ávila, F., Avilés-Añazco, A., Sánchez-Cordero, E., Valdiviezo-González, L., & Ordoñez, M. D. T. (2021). The challenge of improving the efficiency of drinking water treatment systems in rural areas facing changes in the raw water quality. *South African Journal of Chemical Engineering*, 37(December 2020), 141–149. <https://doi.org/10.1016/j.sajce.2021.05.010>
- Grzegorzek, M., Majewska-Nowak, K., & Ahmed, A. E. (2020). Removal of fluoride from multicomponent water solutions with the use of monovalent selective ion-exchange membranes. *Science of the Total Environment*, 722, 137681. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.137681>
- Huízar Álvarez, R., Joel Carrillo Rivera, J., & Juárez, F. (2016). Fluoride in groundwater: levels,

origin and natural control at the Tenextepango region, Morelos, Mexico. *Investigaciones Geográficas - Instituto de Geografía, Universidad Nacional Autónoma de México*, 2016(90), 40–58. <https://doi.org/10.14350/rig.47374>

Instituto de Hidrología Meteorología y Estudios Ambientales. (2013). Guía para el monitoreo de vertimientos, aguas superficiales y subterráneas. *Journal of Chemical Information and Modeling*, 53(9), 1689–1699.

Jessica, Karol, Oswaldo. (2019). Niveles de fluor en fuentes de aguas naturales para consumo humano y su relación con fluorosis dental en tres municipios de Cundinamarca. *Angewandte Chemie International Edition*, 6(11), 951–952.

Kali, S., Khan, M., Ghaffar, M. S., Rasheed, S., Waseem, A., Iqbal, M. M., Bilal Khan Niazi, M., & Zafar, M. I. (2021). Occurrence, influencing factors, toxicity, regulations, and abatement approaches for disinfection by-products in chlorinated drinking water: A comprehensive review. *Environmental Pollution*, 281, 116950. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2021.116950>

Loss, P. (2020). *Features & benefits* •.

Meng, X., Yao, Y., Ma, Y., Zhong, N., Alphonse, S., & Pei, J. (2021). Effect of fluoride in drinking water on the level of 5-methylcytosine in human and rat blood. *Environmental Toxicology and Pharmacology*, 81(October 2020), 103511. <https://doi.org/10.1016/j.etap.2020.103511>

Ministerio de Vivienda Ciudad y Territorio. (2017). Resolución 0330 de 2017: “Por 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, 1447 de 2005 y 2320 de 2009.” In *Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio. Republica*

- de Colombia*. (p. 182). [http://www.minvivienda.gov.co/ResolucionesAgua/0330 - 2017.pdf](http://www.minvivienda.gov.co/ResolucionesAgua/0330-2017.pdf)
- Moradi, V., Caws, E. A., Wild, P. M., & Buckley, H. L. (2020). A simple method for detection of low concentrations of fluoride in drinking water. *Sensors and Actuators, A: Physical*, 303, 111684. <https://doi.org/10.1016/j.sna.2019.111684>
- Orocué, A. municipal de. (2021). *DECRETO 026 DE 2021.pdf*.
- Perez, Z. (2016). Diagnóstico Y Evaluación De La Planta De Tratamiento De Agua Potable Del Municipio De Guateque En El Departamento De Boyacá-Colombia. *Angewandte Chemie International Edition*, 119.
- Qian, Y., Chen, Y., Hu, Y., Hanigan, D., Westerhoff, P., & An, D. (2021). Formation and control of C- and N-DBPs during disinfection of filter backwash and sedimentation sludge water in drinking water treatment. *Water Research*, 194. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2021.116964>
- Rodríguez, J. F., Casta, L. F., & Nava, L. (2020). *Electrocoagulation as an affordable technology for decontamination of drinking water containing fluoride : A critical review. October*. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2020.127529>
- Romero Rojas, J. A. (1999). *Potabilización del agua-3ª Edición* (p. 305).
- Romero, V., Norris, F. J., Ríos, J. A., Cortés, I., González, A., Gaete, L., & Tchernitchin, A. N. (2017). Consecuencias de la fluoración del agua potable en la salud humana. *Revista Medica de Chile*, 145(2), 240–249. <https://doi.org/10.4067/S0034-98872017000200011>
- Sampedro, J. (2018). *Remoción de flúor en agua con zeolitas naturales mexicanas*.
- Sergio Castillo, D. steven. (2020). Diagnostico y optimizacion de la planta de tratamiento de agua potable de Melgar. *Journal of Chemical Information and Modeling*, 43(1), 7728. https://online210.psych.wisc.edu/wp-content/uploads/PSY-210_Unit_Materials/PSY-

210_Unit01_Materials/Frost_Blog_2020.pdf%0Ahttps://www.economist.com/special-report/2020/02/06/china-is-making-substantial-investment-in-ports-and-pipelines-worldwide%0Ahttp://

Shen, J., & Schäfer, A. (2014). Chemosphere Removal of fluoride and uranium by nanofiltration and reverse osmosis : A review. *Chemosphere*, *117*, 679–691.

<https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2014.09.090>

Silva, A. M. V. (2013). *Contrato N°8313-433.pdf*.

Tolkou, A. K., Mitrakas, M., Katsoyiannis, I. A., Ernst, M., & Zouboulis, A. I. (2019). Fluoride removal from water by composite Al/Fe/Si/Mg pre-polymerized coagulants: Characterization and application. *Chemosphere*, *231*, 528–537.

<https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2019.05.183>

Wang, H., Lu, W., & Li, J. (2020). Groundwater contaminant source characterization with simulation model parameter estimation utilizing a heuristic search strategy based on the stochastic-simulation statistic method. *Journal of Contaminant Hydrology*, *234*(March), 103681. <https://doi.org/10.1016/j.jconhyd.2020.103681>

Yousefi, M., Ghalehaskar, S., Baghal, F., & Ghaderpoury, A. (2019). Distribution of fluoride contamination in drinking water resources and health risk assessment using geographic information system , northwest Iran. *Regulatory Toxicology and Pharmacology*, *107*(June), 104408. <https://doi.org/10.1016/j.yrtph.2019.104408>

Capítulo 8 Anexos

Anexo 1 Toma de muestras de agua cruda y tratada de la planta la Manga.



Fuente: Propia

Anexo 2 Cadena de custodia de las muestras de agua para ser enviada al laboratorio Aqualim



Fuente: Propia

Anexo 3 Información suministrada y verificada por el centro de salud la candelaria de Orocué

Orocué 21 de junio del 2021

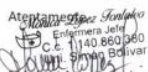
A QUIEN PUEDA INTERESAR

Esta carta confirma que **Erick Camilo Ramírez**, solicitó información al centro de salud la candelaria con fines académicos, siendo confidencial y prohibida su distribución sin autorización del autor o del centro de salud, donde se contempla el registro del número de casos de enfermedades como Diarrea funcional, Amebiasis, Nausea y vomito, para el periodo comprendido entre el mes de diciembre del 2020 hasta el mes de mayo del 2021. Evidenciado en la siguiente tabla

Tabla 1

seguimiento y control mes a mes de posibles enfermedades causadas por el consumo de agua.

DICIEMBRE - 2020	DIARREA FUNCIONAL	NAUSEA Y VOMITO	AMEBIASIS
Consulta externa	1	0	0
Urgencias	2	1	0
Total	3	1	0
ENERO - 2021	DIARREA FUNCIONAL	NAUSEA Y VOMITO	AMEBIASIS
Consulta externa	0	0	0
Urgencias	0	5	1
Total	0	5	1
FEBRERO - 2021	DIARREA FUNCIONAL	NAUSEA Y VOMITO	AMEBIASIS
Consulta externa	0	15	0
Urgencias	1	8	0
Total	1	23	0
MARZO - 2021	DIARREA FUNCIONAL	NAUSEA Y VOMITO	AMEBIASIS
Consulta externa	0	0	0
Urgencias	4	1	0
Total	4	1	0
ABRIL - 2021	DIARREA FUNCIONAL	NAUSEA Y VOMITO	AMEBIASIS
Consulta externa	1	0	0
Urgencias	9	3	0
Total	10	3	0
MAYO - 2021	DIARREA FUNCIONAL	NAUSEA Y VOMITO	AMEBIASIS
Consulta externa	0	3	0
Urgencias	6	3	0
Total	6	6	0

Atentamente,

 Enfermera Jefe
 C.E. 140.860.960
 Mónica López Fontalvo
 Jefe de enfermería
 Ips Centro de salud Orocué
 Red Salud Casanare E.S.E.