



OPTIMIZACIÓN DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE - PTAP DEL MUNICIPIO DE FIRAVITOBA, BOYACÁ.

YEIMY LUCED TORRES MENESES

UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA Y TECNOLÓGICA DE COLOMBIA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA AMBIENTAL
TUNJA
2021



OPTIMIZACIÓN DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE -
PTAP DEL MUNICIPIO DE FIRAVITOBA, BOYACÁ.

YEIMY LUCED TORRES MENESES

Trabajo de grado, presentado como requisito para optar por el título de Ingeniera Ambiental.

Director:

CESAR RENÉ BLANCO ZÚÑIGA.

Ingeniero Civil

Magíster en Ingeniería con Énfasis en Medio Ambiente.

Codirector:

ANDRÉS FELIPE BARRERA MELO

*Ingeniero Ambiental y Sanitario. Especialista en Gerencia de proyectos
Empresa INGECOP S.A.S.*

UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA Y TECNOLÓGICA DE COLOMBIA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA AMBIENTAL
TUNJA
2021



Nota de aceptación.

Firma presidente del jurado.

Firma del jurado.

Firma del jurado.

Tunja, 23 de Agosto de 2021



DEDICATORIA

A Dios por guiarme en el camino a seguir, a mis padres Marta Meneses y Antonio Torres, por ser mis primeros mentores, por darme el apoyo necesario para llevar a cabo mis estudios, por último, a mis hermanas quienes me impulsan siempre a dar lo mejor de mí.



AGRADECIMIENTOS

A Dios por permitirme llegar hasta aquí, guiarme y poner en mi camino personas que día a día me hacen crecer en diferentes ámbitos de mi vida.

A mi mamá por siempre estar conmigo, ser mi confidente, por el esfuerzo y trabajo duro por verme llegar lejos, darme apoyo y no dejarme nunca retroceder.

A mi padre por preocuparse por nuestro bienestar, trabajar arduamente para permitirme estudiar y salir adelante.

A mis hermanas Andrea y Adriana, por ser mis amigas de toda la vida, por nunca dejarme rendir, darme apoyo, y hacer que de siempre lo mejor de mí.

A mis amigos de carrera, entrañables personas con las que crecí personal y profesionalmente, todos nuestros esfuerzos siempre se verán reflejados, las arduas horas de estudio y realización de trabajos.

A todos los docentes de la Escuela de Ingeniería ambiental, aquellos que se esfuerzan día a día por transmitir sus conocimientos y que gracias a su labor de enseñanza puedo llevar a cabo mi proyecto de grado.

Al Ingeniero César René Blanco Zúñiga, por haberme apoyado en la realización de este proyecto, por los conocimientos aportados, el tiempo invertido y por ser un excelente docente.

A INGECOP S.A.S. por brindarme la oportunidad de llevar a cabo mi pasantía, a los ingenieros Andrés Barrera y Sebastián Castiblanco, quienes siempre estuvieron dispuestos a enseñarme, ayudarme y colaborarme durante el tiempo de la pasantía.



TABLA DE CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN.....	16
1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	18
2. JUSTIFICACIÓN	19
3. OBJETIVOS	20
OBJETIVO GENERAL.....	20
OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	20
4. MARCO REFERENCIAL.....	21
4.1. Marco conceptual.....	21
4.2. MARCO LEGAL	23
4.3. ESTADO DEL ARTE	25
5. DISEÑO METODOLÓGICO	27
6. GENERALIDADES DEL MUNICIPIO.....	29
6.1. CLIMATOLOGÍA	30
6.2. HIDROLOGÍA.....	30
6.3. GEOLOGÍA	30
6.4. SISTEMA BIOFÍSICO.....	31
6.5. SISTEMA ECONÓMICO	32
6.6. DEMOGRAFÍA	32
6.7. DESCRIPCIÓN DE LA UNIDAD DE SERVICIOS PÚBLICOS DOMICILIARIOS	33
6.8. PRESTACIÓN DE SERVICIOS PÚBLICOS DOMICILIARIOS.....	34



7. CARACTERÍSTICAS DEL AGUA FUENTE	36
7.1. ABASTECIMIENTO.....	36
7.2. USOS Y GRADO DE INTERVENCIÓN.....	39
7.2.1. IMPACTOS A LA FLORA Y FAUNA.....	40
7.2.2. IMPACTOS AL SUELO.....	40
7.2.3. IMPACTOS AL AGUA.....	41
7.3. CALIDAD DEL AGUA DE LA FUENTE DE ABASTECIMIENTO.....	41
9. DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO	47
9.1. AÑO DE CONSTRUCCIÓN	47
9.3. CAUDAL DE DISEÑO Y CAUDAL TRATADO	47
9.4. DESCRIPCIÓN DE CADA PROCESO DEL TRATAMIENTO	48
9.4.1. DESARENADOR	48
9.4.2. SEDIMENTADOR.....	49
9.4.3. FILTRO RÁPIDO	49
9.4.4. FILTRACIÓN LENTA.....	52
9.4.5. DESINFECCIÓN.....	53
9.4.6. TANQUES DE ALMACENAMIENTO	54
9.5. DESCRIPCIÓN DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO.....	55
10. CARACTERIZACIÓN DEL AGUA TRATADA	58
10.1. ÍNDICE DE RIESGO POR CALIDAD DEL AGUA IRCA.....	58
10.2. ÍNDICE DE RIESGO POR ABASTECIMIENTO DE AGUA PARA CONSUMO HUMANO IRABA.....	59
11. EVALUACIÓN TÉCNICA Y OPERATIVA DE ESTRUCTURAS EXISTENTES 63	
11.1. SEDIMENTADOR	63
11.2. FILTRO DINÁMICO.....	64
11.3. VERTEDERO TRIANGULAR Y FILTROS LENTOS	65
11.4. CASETA DE LABORATORIO	66
11.5. TANQUES DE ALMACENAMIENTO	67



12. PROYECCIÓN DEL CAUDAL	69
12.1. PROYECCIÓN DE LA POBLACIÓN.....	69
12.1.1. Método aritmético.....	69
12.1.2. Método geométrico.....	70
12.3. DOTACIÓN BRUTA MÁXIMA.....	72
12.4. CÁLCULO DE CAUDALES.....	72
12.4.1. Caudal medio diario.....	72
12.4.2. Caudal máximo diario.....	73
12.4.3. Caudal de diseño.....	74
12.5. PROYECCIÓN DE LA RELACIÓN OFERTA-DEMANDA.....	74
12.5.1. Suscriptores del sistema.....	74
12.5.2. Proyección del caudal de consumo.....	75
13. SELECCIÓN DE ALTERNATIVA.....	77
13.1. PROPUESTAS DE ALTERNATIVAS.....	77
13.1.1. Primera alternativa.....	77
13.1.2. Segunda alternativa.....	78
13.1.3. Tercera alternativa.....	80
13.2. SELECCIÓN DE ALTERNATIVA SEGÚN CRITERIOS TÉCNICOS, AMBIENTALES Y ECONÓMICOS.....	81
13.2.1. Matriz MGA.....	81
13.2.2. Evaluación de criterios para las alternativas.....	82
14. DISEÑO Y CÁLCULOS DE LA ALTERNATIVA SELECCIONADA	85
14.1. DISEÑO DE REJILLAS.....	85
14.2. DISEÑO DESARENADOR.....	87
14.3. DISEÑO DEL SEDIMENTADOR.....	90
14.4. DISEÑO FILTRO RÁPIDO.....	92
15. ANÁLISIS DEL DISEÑO DEL SISTEMA PROPUESTO.....	94



16. CONCLUSIONES.....	95
17. RECOMENDACIONES	97
REFERENCIAS.....	99
ANEXOS	104



LISTADO DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1.Marco Legal.....	23
Tabla 2.Fases del proyecto	27
Tabla 3. Caudal concesionado municipio de Firavitoba	36
Tabla 4. Localización sector el Túnel	36
Tabla 5.Localización del Lago de Tota	37
Tabla 6.Análisis de calidad de agua de la Laguna de Tota, en el punto de captación.	41
Tabla 7.Tabla C.2.1.	42
Tabla 8.Registro de datos obtenidos	44
Tabla 9.Caudal unificado	46
Tabla 10.IRCA municipio de Firavitoba, Boyacá	58
Tabla 11. IRABA y BPS año 2019	59
Tabla 12.Resultados BPS 2019.....	60
Tabla 13.Análisis de calidad de Agua Potable, Punto de muestreo Puesto de Salud	62
Tabla 14.Evaluación del sedimentador.....	63



Tabla 15. Evaluación filtro dinámico.....	64
Tabla 16.Evaluación vertedero triangular y filtros lentos	65
Tabla 17.Evaluación caseta de laboratorio.....	66
Tabla 18.Evaluación tanques de almacenamiento	68
Tabla 19.Censo municipio de Firavitoba	69
Tabla 20.Proyección de la población.....	70
Tabla 21.Dotación neta máxima	71
Tabla 22. Evaluación de alternativas.....	82
Tabla 23. Comparación y selección final de la alternativa del tren de tratamiento. 83	
Tabla 24. Resultados parámetros de diseño de las rejillas	86
Tabla 25. Datos iniciales desarenador	88
Tabla 26. Resultado de los cálculos	88
Tabla 27. Verificaciones matemáticas	89
Tabla 28.Dimensionamiento del tanque	89
Tabla 29. Parámetros de diseño sedimentador	91
Tabla 30. Dimensiones moduladas	92
Tabla 31. Características de un filtro rápido de arena	93
Tabla 32. Cálculos diseño Filtros Rápidos	93



LISTADO DE ILUSTRACIONES

	Pág.
Ilustración 1.Municipio de Firavitoba.	29
Ilustración 2.Mapa de la ubicación y captación.	37
Ilustración 3. Sistema de aducción del municipio de Firavitoba.....	38



LISTADO DE GRÁFICOS

	Pág.
Gráfico 1.Población de Firavitoba.....	32
Gráfico 2.Organigrama Unidad de Servicios Públicos.....	33
Gráfico 3.Red hidrográfica de la microcuenca abastecedora.	37
Gráfico 4.Esquema del tratamiento de la PTAP.	48
Gráfico 5.Proyección de la oferta respecto a la demanda año 2018.	75
Gráfico 6.Primer alternativa.....	77
Gráfico 7.Segunda alternativa.	79
Gráfico 8.Tercera alternativa.....	80



LISTADO DE FOTOGRAFÍAS

	Pág.
Fotografía 1.Tubería entrada de la PTAP.....	44
Fotografía 2.Desarenador.	48
Fotografía 3.Sedimentador.....	49
Fotografía 4.Filtros de tela.....	50
Fotografía 5..Filtro dinámico.....	50
Fotografía 6.Canal de distribución y aforo de caudales.....	51
Fotografía 7.Caja de inspección.....	51
Fotografía 8.Vertedero triangular.....	52
Fotografía 9.Filtración lenta.....	52
Fotografía 10.Sistema de cloración.....	53
Fotografía 11.Tanque de almacenamiento 1.....	54
Fotografía 12.Tanque de almacenamiento 2.....	54
Fotografía 13.Laboratorio.....	55
Fotografía 14.Derrame de agua.....	63



LISTADO DE ANEXOS

	Pág.
Anexo 1. Mapa de captación	105
Anexo 2. Matriz MGA Alternativa 1.....	106
Anexo 3. Matriz MGA Alternativa 2.....	107
Anexo 4. Matriz MGA Alternativa 3.....	108
Anexo 5. Cálculos del diseño de las unidades	109
Anexo 6. Plano Unidades propuestas	125



INTRODUCCIÓN

El acceso a agua potable es indispensable para una población, principalmente por el uso de la misma en diferentes actividades como la alimentación, la higiene, la economía y en general, para que las personas no sufran de enfermedades causadas por el uso e ingesta de agua contaminada. Por tal motivo, se debe asegurar que el agua potable y el saneamiento básico sean seguros, aceptables y asequibles para todos. Lo anterior, se ve directamente afectado por diferentes factores, entre ellos el aumento de la demanda (Rodríguez, Restrepo, & Zambrano, 2013).

Por consiguiente, en países en desarrollo como Colombia, se presentan problemas en la calidad de agua causadas en su mayoría por carencias en la operación, mantenimiento y continuidad del servicio (Vidal, Torres, Hernán, & Vélez, 2009). Generando que se vea afectada la seguridad alimentaria y que las metas trazadas en cuanto a los Objetivos de Desarrollo Sostenible para 2030, sean cada vez más lejanas, pues en ellos se establece “agua limpia y saneamiento” (objetivo 6), el cual según el reporte de 2020 aun cuenta con desafíos a superar sobre todo en las zonas rurales (Universidad de Cambrigde, 2020).

De acuerdo con lo anterior, es necesario implementar políticas públicas en pro del mejoramiento de los sistemas de potabilización, para que las poblaciones cuenten con un mínimo de agua al día. Siguiendo en esta línea de trabajo, en el presente documento se encuentra una serie de información técnica con respecto a la planta de tratamiento de agua potable del municipio de Firavitoba en el departamento de Boyacá, en búsqueda de una alternativa de solución a los problemas de suministro de agua.

La planta de tratamiento es una planta de tipo FIME, es decir, una planta con filtración en múltiples etapas, su tren de tratamiento se compone de una rejilla, un desarenador, sedimentador, filtro de arena rápido, filtros lentos, cloración y almacenamiento. Sin embargo, y conforme con la diferente información recolectada se presentan deficiencias en el suministro de agua, aunque de acuerdo con los reportes del IRCA y los laboratorios de los parámetros físico-químicos y microbiológicos, se cuenta con una calidad de agua tratada bastante óptima.

Dentro de las principales falencias encontradas en las visitas de campo, se encuentra la antigüedad de la planta, la cual lleva en funcionamiento más de 20 años, es decir, que para su construcción y puesta en marcha se tuvo en cuenta una población que



comparada con la actual es muy reducida, además de esto, la planta capta más caudal del que trata, generando represiones y excesos de agua en las primeras unidades del proceso.

Una vez identificados los problemas técnicos y operativos de cada una de las unidades y de la planta en general, se propusieron 3 alternativas teniendo en cuenta los lineamientos propuestos por el RAS, las cuales fueron evaluadas mediante dos métodos, el primero una matriz MGA (metodología general ajustada) para proyectos de inversión pública y una evaluación de criterios simple. Donde la alternativa seleccionada fue la dos, la cual es la alternativa más viable en cuanto a costo-beneficio para la comunidad.

Aunque se recomienda optimizar la planta mediante la alternativa dos, la primera alternativa es una solución a corto plazo para evitar la pérdida de agua que se genera, por la baja capacidad operativa de las unidades, y a su vez, la tercera alternativa busca ajustarse a las recomendaciones realizadas por el RAS para el tren de tratamiento existente. Sin embargo, es importante resaltar que todas las propuestas de mejora buscan aprovechar las unidades existentes, el cual es el propósito final, aprovechar la funcionalidad del tren de tratamiento presente.



1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El agua es uno de los recursos más importantes para mantener el ciclo de vida de todos los seres existentes en el planeta, es sin duda esencial para la realización de las funciones biológicas; además, de ser un insumo necesario en los procesos industriales y productivos (The Worldwatch Institute, 2008). De acuerdo con el Informe de las Naciones Unidas, sobre el Desarrollo de recursos Hídricos, el uso de agua ha aumentado en los últimos 40 años en un 1% del consumo anual a nivel mundial. Lo anterior, causado por factores socioeconómicos que afectan y elevan el agotamiento del recurso, la contaminación, el cambio climático y el bajo saneamiento de aguas contaminadas (UNESCO, 2020).

Conforme a lo anterior, es importante realizar un adecuado tratamiento a las aguas captadas de las diferentes extensiones de agua, las cuales han sido contaminados a causa de las actividades económicas. De esta manera, mejorar la calidad de agua con la que cuenta una población; dado su relación con enfermedades emergentes y reemergentes (Guzmán B, Nava T, & Bevilacqua, 2016). En el Municipio de Firavitoba, Boyacá, se cuenta con una Planta de Tratamiento de Agua potable, esta presenta diferentes deficiencias tanto técnicas como estructurales (Guzmán B et al., 2016).

Sin embargo, la planta de tratamiento ha continuado en funcionamiento y reporta un Índice de Riesgo de Calidad de Agua (IRCA) de 0, lo que representa agua sin riesgo (Instituto Nacional de Salud, 2020). No obstante, se genera carencias en el servicio, causadas principalmente por fallas en la operación y mantenimiento; además del funcionamiento incorrecto de la red distribución, captación y conexiones domiciliarias. En consecuencia, no abastece a la totalidad de las veredas de manera constante. Por tal motivo, ¿Cuál sería el sistema más adecuado para mejorar la PTAP? Conservando la mayor parte de infraestructura actual.



2. JUSTIFICACIÓN

De acuerdo con el Programa de Uso Eficiente y Ahorro del Agua (PUEAA) del municipio, la Planta de Tratamiento de Agua Potable fue construida en 1998, es decir, que ya cumplió con su vida útil, haciendo insuficiente la cantidad de agua tratada por el aumento de la población a lo largo de los años. Del mismo modo, en el documento se recomienda la optimización de los procesos con el fin de mejorar el servicio y la calidad de la misma (Alcaldía de Firavitoba, 2020).

Por otro lado, en la evaluación de la Unidad de Servicios Públicos de Firavitoba, llevada a cabo por la Superintendencia de Servicios Públicos domiciliarios en el año 2018, se encontró que la clasificación del servicio en cuanto a continuidad, es no satisfactorio a continuo, debido a que en el área urbana y la mayor parte de las veredas, se suministra agua entre 12 y 24 horas al día, por los 30 días al mes (Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios, 2018).

En consecuencia, y de acuerdo con el programa de las Naciones Unidas para el desarrollo, se deben proponer proyectos de saneamiento y agua potable apropiados, confiables, modernos, de buena calidad y ecológicamente viables; teniendo en cuenta las necesidades socioeconómicas de la comunidad beneficiada (Rivera, 2018). Acorde con esto, la población de Firavitoba merece las mejoras necesarias para contar con un servicio continuo y de calidad.



3. OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL.

Proponer una mejora para la prestación del servicio de agua potable con el fin de garantizar un mejor suministro a la población de Firavitoba, sin afectar la calidad actual de la misma.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS.

- Analizar el afluente y efluente de la PTAP a nivel fisicoquímico y microbiológico para determinar la calidad de agua.
- Realizar una inspección técnica y operativa de las estructuras existentes, con el fin de recolectar información necesaria para su evaluación.
- Proponer las alternativas de optimización de la PTAP, teniendo en cuenta diseño hidráulico y estructural.
- Elaborar la memoria de cálculo hidráulico y planos de las unidades.



4. MARCO REFERENCIAL

4.1. Marco conceptual

Agua potable.

El agua potable es el agua usada para consumo humano, higiene personal y tareas domésticas habituales (OMS, 2013). Sin embargo, el agua antes de ser potable es “***agua bruta***” o cruda, la cual se toma del origen más apto. Comúnmente, los lugares donde se capta el agua cruda son: acuíferos, cauces, cuencas y zonas de captación (Ríos, Agudelo, & Gutiérrez, 2017). Es importante resaltar que la captación se realiza mediante estructuras o dispositivos instalados cerca al recurso hídrico y que permiten transportar el agua hasta una estación de tratamiento (Martínez Andrés, 2019).

Existen diferentes tratamientos para potabilizar el agua, estos se pueden clasificar según: componentes o impurezas a eliminar y parámetros de calidad (es decir, niveles de tratamiento) (Ríos et al., 2017). De manera tal, que se mejore la calidad de agua entrante a la planta de tratamiento, siendo la ***calidad del agua*** aquellas características organolépticas, físicas, químicas y microbiológicas (Ministerio de Vivienda Ciudad y Territorio Colombia, 2000), estas características deben cumplir con los requisitos mínimos exigidos por la normatividad vigente.

Análisis de la calidad del agua.

Para poder determinar la calidad de agua tratada se debe realizar un seguimiento mediante diferentes análisis al agua; un ***análisis*** es un examen del agua efectuado en un laboratorio (Ministerio de Vivienda Ciudad y Territorio Colombia, 2000),. De acuerdo con lo anterior, los ***Análisis básicos***, son procedimientos en el que se determinan la turbiedad, color aparente, pH, cloro residual, coliformes totales y Escherichia coli. De igual manera, los ***Análisis físico y químico*** del agua, son procedimientos de laboratorio donde se evalúan las características físicas, química o ambas. Mientras que los ***Análisis microbiológicos***, son procedimientos en los que se valora la presencia, ausencia, tipo y cantidad de microorganismos (Ministerio De La Protección Social., 2007).

Saneamiento básico, tratamiento y potabilización.



Se entiende por **saneamiento básico** la tecnología de bajo costo implementada para eliminar excretas y agua residual, en búsqueda de un ambiente sano en las viviendas y sus alrededores (OMS, 2013). Mientras que el **tratamiento o potabilización** del agua, es el conjunto de operaciones o procesos que se realizan al agua cruda, en el cual se modifican las características físicas, químicas y microbiológicas, de esta manera ser apta para consumo humano (Ministerio de la Protección Social & Ministerio de Medio Ambiente Vivienda y Desarrollo Territorial, 2007).

Además de lo descrito con anterioridad se debe tener en cuenta que:

- Un **afluente** es agua, agua residual u otro líquido que ingrese a un reservorio, o a algún proceso de tratamiento (Ministerio de Vivienda Ciudad y Territorio Colombia, 2000).

- Las **Aguas residuales** son desechos líquidos provenientes de residencias, edificios, instituciones, fábricas o industrias (Ministerio de Vivienda Ciudad y Territorio Colombia, 2000).

- Un **Efluente** es el líquido que sale de un proceso de tratamiento (Ministerio de Vivienda Ciudad y Territorio Colombia, 2000).

- La **optimización** es un Proceso de diseño y/o construcción que busca mejorar la compatibilidad de un sistema de tratamiento, así incrementar la capacidad de sus componentes (Ministerio de Vivienda Ciudad y Territorio Colombia, 2000).

- Los **parámetros de diseño**, son aquellos criterios preestablecidos para diseñar y construir cada una de las unidades que hacen parte del proceso de la planta de tratamiento (Ministerio de Vivienda Ciudad y Territorio Colombia, 2000).

- **Planta de tratamiento de agua potable** (PTAP): Conjunto de obras, equipos y materiales necesarios para efectuar los procesos que permitan cumplir con las normas de calidad del agua potable (Ministerio de Vivienda Ciudad y Territorio Colombia, 2000).



- **Tratamiento convencional:** Se refiere a procesos de tratamiento primario o secundario. Se excluyen los procesos de tratamiento terciario o avanzado (Ministerio de Vivienda Ciudad y Territorio Colombia, 2000).
- **Tratamiento primario:** Es el tratamiento en el que se elimina una parte de sólidos suspendidos y materia orgánica del agua, la remoción se lleva a cabo por operaciones físicas (Ministerio de Vivienda Ciudad y Territorio Colombia, 2000).
- **Tratamiento secundario:** Es aquel directamente encargado de la remoción de la materia orgánica y los sólidos suspendidos (Ministerio de Vivienda Ciudad y Territorio Colombia, 2000).
- **Tubería:** Es un ducto de sección circular para el transporte de agua (Ministerio de Vivienda Ciudad y Territorio Colombia, 2000).

4.2. MARCO LEGAL

En Colombia existe diferente normativa encaminada al tratamiento del agua potable, a continuación, se presenta la más relevante en el tema:

Tabla 1. Marco Legal

CONSTITUCIÓN POLÍTICA DE COLOMBIA 1991	<ul style="list-style-type: none"> • TÍTULO 2- CAPÍTULO 2: Artículo 49. “La atención de la salud y el saneamiento ambiental son servicios públicos a cargo del Estado (...)”. • CAPÍTULO 5: Artículo 366. “(...) Será objetivo fundamental de su actividad la solución de las necesidades insatisfechas de salud, de educación, de saneamiento ambiental y de agua potable (...)”.
LEY 99 DE 1993	<ul style="list-style-type: none"> • Creada por EL CONGRESO DE COLOMBIA. • Por la cual se crea el Ministerio del Medio Ambiente, se reordena el Sector Público encargado de la gestión y conservación del medio ambiente y los recursos naturales renovables, se organiza el Sistema Nacional Ambiental, SINA. • En vigencia.



	<ul style="list-style-type: none">• Modificada por diferentes leyes, decretos y decretos extraordinarios.
LEY 142 DE 1994	<ul style="list-style-type: none">• Creada por EL CONGRESO DE COLOMBIA.• Por la cual se establece el régimen de los servicios públicos domiciliarios y se dictan otras disposiciones.• En vigencia.• Modificada por diferentes leyes, decretos y decretos extraordinarios.
DECRETO 1575 DE 2007	<ul style="list-style-type: none">• Creada por EL MINISTERIO DE LA PROTECCIÓN SOCIAL.• Por la cual se establece el Sistema para la Protección y Control de la Calidad del Agua para Consumo Humano.• Su principal fin es el de monitorear, prevenir y controlar los riesgos a la salud humana asociados a la calidad del agua de consumo, exceptuando el agua envasada.
RESOLUCIÓN 2115 DE 2007	<ul style="list-style-type: none">• Creada por EL MINISTERIO DE LA PROTECCIÓN SOCIAL Y MINISTERIO DE AMBIENTE, VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL.• Por medio de la cual se señalan características, instrumentos básicos y frecuencias del sistema de control y vigilancia para la calidad del agua para consumo humano.• Su principal fin es de monitorear y controlar la calidad del agua para consumo humano.
RESOLUCIÓN 0330 DE 2017	<ul style="list-style-type: none">• Creada por EL MINISTERIO DE VIVIENDA, CIUDAD Y TERRITORIO.• Por la cual se adopta el Reglamento Técnico para el Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico – RAS.• Deroga las Resoluciones 1096 de 2000, 0424 de 2001, 0668 de 2003, 1459 de 2005, 1447 de 2005 y 2320 de 2009.• Reglamenta 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.



Fuente: Autor.

4.3. ESTADO DEL ARTE

A nivel internacional se han realizado un gran número de estudios relacionados con el presente proyecto, dentro de estos cabe resaltar:

Farhaoui & Derraz en su revisión científica “Review on Optimization of Drinking Water Treatment Process” enfatizan temas importantes, donde se aclara que la optimización del proceso consiste en estrategias para disminuir los gastos de gestión y seguimiento, que a su vez mejoren la calidad del agua producida. En la investigación mencionan algunos métodos prácticos de optimización de las plantas de tratamiento, uno de ellos es la comprensión del proceso de tratamiento del agua, el cual es un paso muy importante en el rendimiento de la optimización. Dentro de este, se realiza una recopilación sistemática de la información, como lo es: 1. comparar los criterios de diseño de la planta con operaciones reales, así mejorar el rendimiento de planta mediante indicadores de uso y dosificación. 2. Efectuar medidas de campo y observación visual, 3. Precisión y control de los dispositivos de medición (Farhaoui & Derraz, 2016).

Adicionalmente, se han llevado a cabo diversas investigaciones, que enfatizan la optimización de un determinado proceso dentro de la planta de tratamiento, tal es el caso de Zhou et al., quienes centraron su estudio en la eliminación de la materia orgánica natural presente en el agua a tratar, en donde explican que la materia orgánica natural (MON) afecta el desempeño de los procesos de tratamiento de agua y puede reaccionar con desinfectantes como el cloro; por tal motivo, se enfocaron en mejorar la eliminación de la misma mediante coagulación mejorada asistida por ultrasonido (Zhou et al., 2018). De manera similar en el artículo “Evaluation and optimization of enhanced coagulation process: Water and energy nexus” evalúan el proceso de la coagulación mejorada, el cual parte de una coagulación convencional, siendo una tecnología económica de tratamiento de agua, mediante la eliminación de materia orgánica y el control de la turbidez y pH (Sun, Zhou, Chiang, & Shah, 2020).

Por otro lado, la filtración biológica es utilizada en las plantas de tratamiento para garantizar la estabilidad biológica en el agua tratada, es uno de los procesos que sirven para la eliminación de materia orgánica disuelta y orgánica biodegradable. Por esta razón, el estudio elaborado por Moona, evalúa y potencia el rendimiento del biofiltro, partiendo de la problemática por aumento de la carga contaminante en los



procesos de tratamiento, que supera los umbrales de diseño y hace necesario optimizar las tecnologías existentes (Moona, 2021).

A nivel nacional se han llevado a cabo algunos proyectos en cuanto a la optimización de Plantas de Tratamiento de Agua Potable, dentro de los cuales se destaca:

El diagnóstico y optimización de los sistemas de captación y tratamiento de agua potable en el municipio de Leticia, Amazonas, donde se llevó a cabo la investigación necesaria para mejorar el sistema de distribución y tratamiento basados en la información existente para satisfacer las necesidades de la población de dicho municipio (Castro & Cortés, 2019). Asimismo, el proyecto desarrollado por Becerra & Alvarado, plantea que una de las principales fallas en la PTAP es la falta de mantenimiento y el diseño inadecuado de sus estructuras, para dar una solución a estos inconvenientes los autores sugieren evaluar un sistema de tratamiento modular; pues incorpora aireación y oxidación a un sistema convencional (Becerra & Alvarado, 2018).

De la misma manera, se enfatiza el desarrollo de varios estudios que relacionan de manera general, establecer y potenciar las Plantas de Tratamiento de Agua Potable para un municipio de Colombia, así como las soluciones y alternativas que se pueden implementar; de esta manera, mejorar la calidad y cantidad de agua para consumo de los pobladores.

A nivel local, sobresale un proyecto ejecutado en el municipio de Jenesano, Boyacá, donde se encontró deficiencias en la dosificación, se plantea implementar un sistema que determine la dosificación óptima de los productos químicos, de esta manera, controlar el consumo y evitar desperdicios, disminuyendo los gastos operativos y mejorando la calidad del servicio (Martinez, 2018).

Por otro lado, en la PTAP se han se llevado a cabo diferentes estudios, entre los que se encuentra el “Estudio y diseño de planta de tratamiento acueducto” del Ingeniero Jairo Cubides, del año 1991, estudio que corresponde al diseño de la planta de tratamiento, acueducto y redes de alcantarillado del municipio de Firavitoba, Boyacá. En este, se realizaron estudios de suelos en la zona donde se encuentra ubicada la planta, se hicieron levantamientos topográficos, diseños hidráulicos, estructurales y sanitarios, con sus correspondientes planos, presupuesto y cantidades. Fue el primer estudio base, que sirvió para la construcción de la misma (CORPES CENTRO ORIENTE CONSEJO REGIONAL DE PLANIFICACIÓN, 1991).



5. DISEÑO METODOLÓGICO

La realización del proyecto de optimización de la Planta de Tratamiento de Agua Potable en el Municipio de Firavitoba consta de 4 fases para su desarrollo, las cuales se describen a continuación:

Tabla 2. Fases del proyecto

<i>FASE 1: Análisis afluente y efluente de la PTAP.</i>	<p>En la primera fase se busca verificar la calidad de agua suministrada a los usuarios, entre las principales actividades se encuentran:</p> <ul style="list-style-type: none">- Solicitar los permisos necesarios ante la Unidad de Servicios Públicos de Firavitoba, con el fin de coordinar una visita en la cual esté presente el fontanero.- Realizar visita a la Planta de Tratamiento de Agua Potable donde se llevó a cabo la toma y recolección de muestras, así como el aforo de caudal.- Comparar los valores obtenidos en cada uno de los parámetros con los valores máximos permisibles en el agua para consumo humano.- Verificar la calidad de agua de la PTAP, mediante los reportes del Índice de Riesgo de la Calidad del Agua para Consumo Humano (IRCA).
<i>FASE 2: Inspección técnica y operativa.</i>	<p>Para la realización de esta fase se debe hacer una inspección de las unidades del proceso de tratamiento para ello se propone:</p> <ul style="list-style-type: none">- Verificar los procesos de la PTAP.- Evaluar cada una de las deficiencias encontradas en las unidades de tratamiento a nivel técnico y operativo, de esta manera, determinar el adecuado funcionamiento de las mismas.- Analizar la información y precisar las mejoras necesarias.
<i>FASE 3: Alternativas de optimización.</i>	<p>Dentro del desarrollo de esta etapa se considera importante la recolección de la información anterior, con el fin de precisar las alternativas de optimización, se destacan las siguientes actividades:</p>



	<ul style="list-style-type: none">- Formular 3 alternativas de mejora de la PTAP.- Determinar la alternativa más factible considerando su viabilidad técnica, ambiental y financiera.- Hacer la recomendación de la alternativa seleccionada.
<i>FASE 4: Cálculos hidráulicos y planos.</i>	En la fase final, se pretende elaborar los cálculos del diseño para la alternativa, así como los planos correspondientes.

Fuente: Autor.



6.1. CLIMATOLOGÍA

En cuanto a la precipitación del municipio es de tipo bimodal, es decir, presenta dos períodos de invierno bien marcados, separados por dos de estiaje. Del total precipitado, que se considera del orden de los 787 mm., el 35,5% (1.396 mm.) se registra en el primer período lluvioso, el cual ocurre entre los meses de marzo a mayo, en tanto que el 34,8% (1.370 mm.) del total de lluvias anuales, se presenta en el segundo período de invierno de septiembre a noviembre, quedando un 29,7% (1.169 mm.) distribuido en los períodos de estiaje, los cuales corresponden a los trimestres comprendidos entre diciembre y febrero y de junio a agosto (Ingeniería, 2009).

Por otro lado, la temperatura promedio es de 14,6°C, donde el municipio presenta un comportamiento térmico casi homogéneo, con valores medios mensuales que oscilan entre los 13,8°C y 15,8°C (Alcaldía de Firavitoba, 2020).

6.2. HIDROLOGÍA

Respecto a la hidrología del lugar, presenta un sistema dendrítico caracterizado por el recorrido de sus cauces en sentido occidente–oriente, hasta alcanzar el Río Chiquito, con respecto a este río presenta caudales medios mensuales multianuales de 1,38 m³/s, con máximos de 2,2 m³/s y 2,3 m³/s(Ingeniería, 2009).

Igualmente, Firavitoba hace parte de la cuenca del Río Chicamocha, dentro del territorio municipal se encuentran dos cuencas: la cuenca del Río Chiquito y la cuenca del Río Salitre. A la primera le pertenecen las siguientes subcuencas: Quebrada Seca, Quebrada Los Frailes, Quebrada Grande, Quebradas Alarconia – La Fragua, Quebrada Sonosí o Vanegas, y drenajes menores del canal de desecación. A la segunda (cuenca del Río Salitre) pertenece la subcuenca de la Quebrada Honda Grande(Alcaldía de Firavitoba, 2020).

6.3. GEOLOGÍA



De acuerdo con el PUEAA y el Esquema de Ordenamiento Territorial, el municipio se encuentra localizado geológicamente al sur del macizo de Floresta, siendo parte de la cuenca de Sogamoso- Paz del Río. Los afloramientos en el municipio son de origen sedimentario las cuales han sido depositadas desde el cretáceo inferior hasta el terciario superior y depósitos no consolidados del cuaternario.

6.4. SISTEMA BIOFÍSICO

En la zona se presentan (Alcaldía de Firavitoba, 2020):

- **Bosques:** comprende aquellas áreas donde se han plantado diferentes especies arbóreas, estas plantaciones se aprovechan a pequeña escala.
- **Arbustales:** son las áreas que recubren las márgenes del Río Chiquito, cuenta con árboles de eucalipto y acacias, los cuales ocasionan fracturamiento y debilitamiento de los jarillones, que provocan represamiento del cauce en invierno.
- **Herbazales:** se encuentran principalmente en algunos sectores de Monjas, Irboa, Diravita Llano y Diravita Alto, con una cobertura vegetal que alcanza el 1,5 m.
- **Vegetación de Páramo:** en la vereda de San Antonio el alto del Varital, correspondiente al complejo paramuno Tota-Bijagual-Mamapacha y el otro complejo de paramo es el Cerro de Guática, allí se encuentran frailejones, plantas nativas medicinales y nacimientos de agua.
- **Pastizales:** la vegetación correspondiente es la herbácea no leñosa, está representada por áreas con cobertura densa de pastos.
- **Cultivos:** los principales cultivos son: el maíz, el trigo y la cebada, papa, arveja, frijol, haba y cebolla, distribuidos irregularmente en áreas de complejo con pastos, están en las veredas de Mombita Llano, Victoria, Mombita Alto, Diravita Alto, Diravita Llano, Cartagena, Tintal, Alcaparral, Irboa, San Antonio, Baratoa, El Bosque, Calavernas y Monjas.
- **Tierras erosionadas:** son áreas con escasa cobertura vegetal, presentan suelos superficiales o afloramientos rocosos, ubicadas principalmente en las veredas Mombital alto, Calavernas y Baratoa.
- **Minería:** los suelos presentan afloramientos rocosos, aprovechados por la extracción de calizas y materiales pétreos, presentes en las veredas Monjas, Irboa, Diravita Alto, Diravita Llano.



6.5. SISTEMA ECONÓMICO

Las principales actividades que se llevan a cabo en el municipio hacen parte del sector pecuario y agrícola, desarrolladas en la zona plana, aprovechando la fertilidad de los suelos y el riego con las aguas del Río Chiquito (Alcaldía de Firavitoba, 2002).

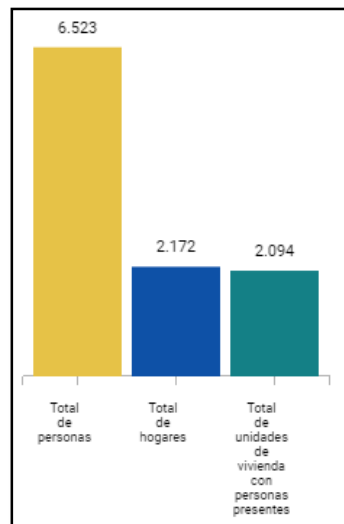
6.6. DEMOGRAFÍA

Dimensión poblacional: la dinámica de la población en el municipio de Firavitoba es diversa e intensa, según el censo DANE de 2018 (Departamento Administrativo Nacional de Estadística, 2018), se proyecta un crecimiento, concentrado mayoritariamente en el área rural.

Tamaño: la población para el año 2018, según el Departamento Administrativo Nacional de Estadística DANE, es de 6.523 habitantes de los cuales 2.488 se encuentran en la cabecera municipal y el resto hace parte del área rural dispersa, a los anteriores datos les realizan un ajuste es así que la población total es de 6.662 (Departamento Administrativo Nacional de Estadística, 2018) habitantes.

De manera general se tiene que la estructura del municipio en cuanto al sexo de la población, cuenta con 3.230 habitantes del sexo masculino y 3.432 del sexo femenino (Departamento Administrativo Nacional de Estadística, 2018).

Gráfico 1. Población de Firavitoba.



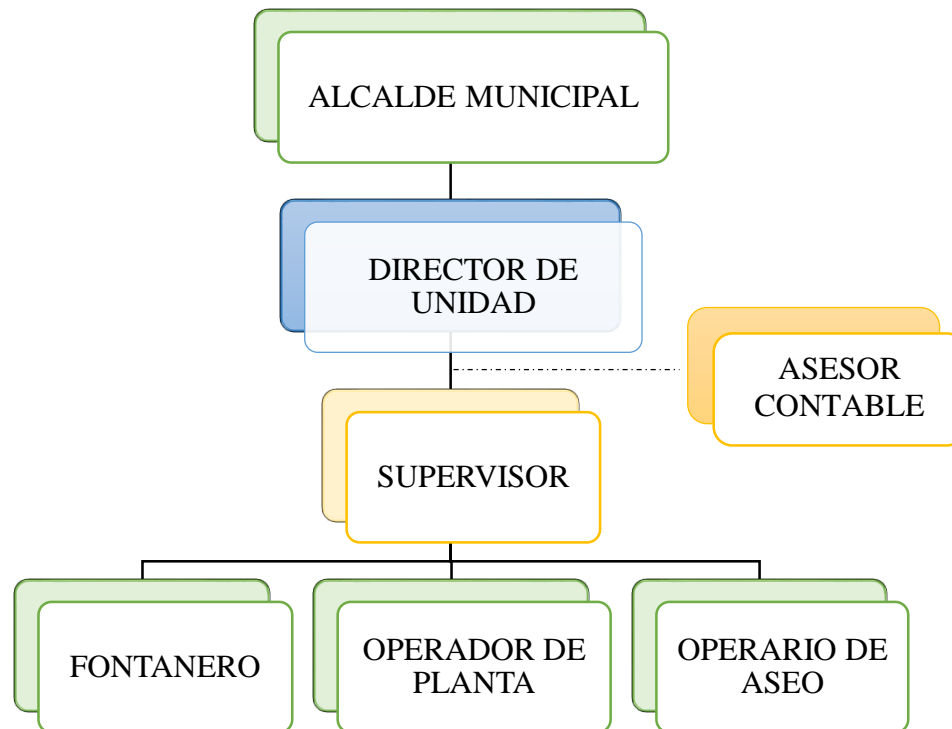
Tomado de DANE, (2018).

6.7. DESCRIPCIÓN DE LA UNIDAD DE SERVICIOS PÚBLICOS DOMICILIARIOS

La unidad de servicios públicos de Firavitoba no dispone de una estructura propia, esto se debe a que el prestador directo de los servicios públicos es el municipio, por tanto, depende directamente de la Secretaría de Planeación de obras e infraestructura de la Alcaldía. Por otra parte, la unidad fue creada mediante el decreto N° 066 de 2014 “Por medio del cual se crea la unidad de servicios públicos domiciliarios de acueducto, alcantarillado y aseo del municipio de Firavitoba y se dictan otras disposiciones”, tiene a cargo la administración, operación y mantenimiento de los sistemas de acueducto, alcantarillado y aseo del municipio (Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios, 2018).

A continuación se presenta el organigrama de la Unidad de Servicios Públicos del municipio de Firavitoba, es importante resaltar que algunos operarios prestan servicios para la alcaldía, dependiendo de la necesidad del municipio (Alcaldía de Firavitoba, 2020).

Gráfico 2.Organigrama Unidad de Servicios Públicos.



Tomado de Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios, (2018).

6.8. PRESTACIÓN DE SERVICIOS PÚBLICOS DOMICILIARIOS

- Servicio de acueducto: de acuerdo con la Unidad de servicios Públicos de Firavitoba, el servicio se suministra en el área rural y urbana del municipio, para el año 2018 se reportaron 1778 suscriptores, de los cuales 980 corresponden a suscriptores de las veredas: Tintal, Monjas, Gotua, Ocán, Mombita Llano, Diravita Llano y Alcaparral. Por otro lado, el casco urbano cuenta con una cobertura del servicio de acueducto, corresponde al 100% (Alcaldía de Firavitoba, 2020).
- Servicio de alcantarillado: la unidad de servicios públicos presta el servicio únicamente en el área urbana. En el casco urbano se cuenta con una cobertura del 98% (864 viviendas), además el municipio no tiene una Planta de Tratamiento de Aguas Residuales, sin embargo, cuenta con Plan Maestro de Alcantarillado (PMA) del año 2011 (Alcaldía de Firavitoba, 2020).
- Servicio de aseo: se cuenta con una cobertura del 100% en el área municipal, así como el desarrollar actividades en las veredas Monjas, El Tintal, Gotua,



Mombita Llano y Diravita Llano. El prestador informó en el 2018: 1.023 suscriptores del servicio de aseo en el municipio, 798 correspondientes a usuarios en el área urbana y 225, suscriptores del área rural (Alcaldía de Firavitoba, 2020).



7. CARACTERÍSTICAS DEL AGUA FUENTE

7.1. ABASTECIMIENTO

La fuente principal de abastecimiento del municipio de Firavitoba en la parte urbana es el Lago de Tota con coordenadas: 5°34'20.67" N y 72°56'36.54" W, siendo éste una de las fuentes superficiales más importantes de la región. Tal captación se lleva a cabo mediante la reglamentación del Túnel de Cuítiva y según lo establecido en la Resolución 4574 del 30 de diciembre de 2019 "Por medio de la cual se reglamenta el uso del recurso hídrico de las aguas derivadas del Lago de Tota a través del túnel de Cuítiva y se toman otras determinaciones" (Alcaldía de Firavitoba, 2020).

De igual manera, en dicha Resolución se especifica a la Unidad de Servicios públicos domiciliarios con Número de identificación: 891.856.288-0 y dirección: Calle 7 N°4-35, un caudal domestico otorgado a 10 años, especificado en la *Tabla 3*.

Tabla 3. Caudal concesionado municipio de Firavitoba

AÑO	USO DOMÉSTICO (l/s)
1	17,70
2	18,00
3	18,30
4	18,60
5	18,90
6	19,19
7	19,49
8	19,79
9	20,09
10	20,39

Tomado de Corpoboyacá, (2019).

Tabla 4. Localización sector el Túnel

PLANAS		GEOGRÁFICAS	
Este	Norte	Longitud	Latitud
1125652	1108087	72°56'36,619"W	5°34'21,13287"N

Tomado de Alcaldía de Firavitoba, (2020).



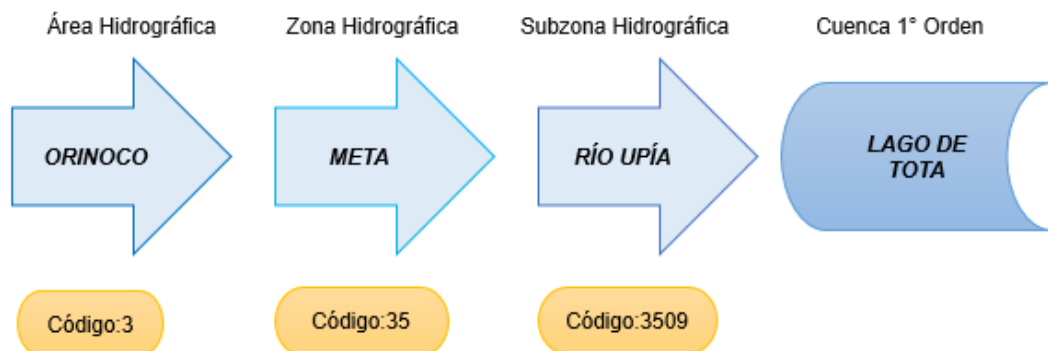
La cuenca del Lago de Tota cuenta con una extensión de 22,370 Ha, ubicada en la provincia de Sugamuxi, en jurisdicción de los municipios de Tota, Cuítiva, Aquitania y Sogamoso. De manera general, el Lago de Tota es la reserva del 13,55% del agua a nivel nacional y es una de las principales cuencas hidrográficas de la región. También, representa el abastecimiento de aproximadamente el 20% del total de la población del departamento de Boyacá (Alcaldía de Firavitoba, 2020).

Tabla 5. Localización del Lago de Tota

PLANAS		GEOGRÁFICAS	
Este	Norte	Longitud	Latitud
1129668,37	1110230,69	72°54'26,00743"W	5°35'30,64916"N
1132959,13	1105798,91	72°52'39,3965"W	5°33'6,192"N
1126873,71	1098737,83	72°55'57,51634"W	5°29'16,76194"N
1122871,87	1101416,74	72°58'7,3384"W	5°30'44,20062"N
1125269,67	1106295,01	72°56'49,15078"W	5°33'22,8313"N

Tomado de Alcaldía de Firavitoba, (2020).

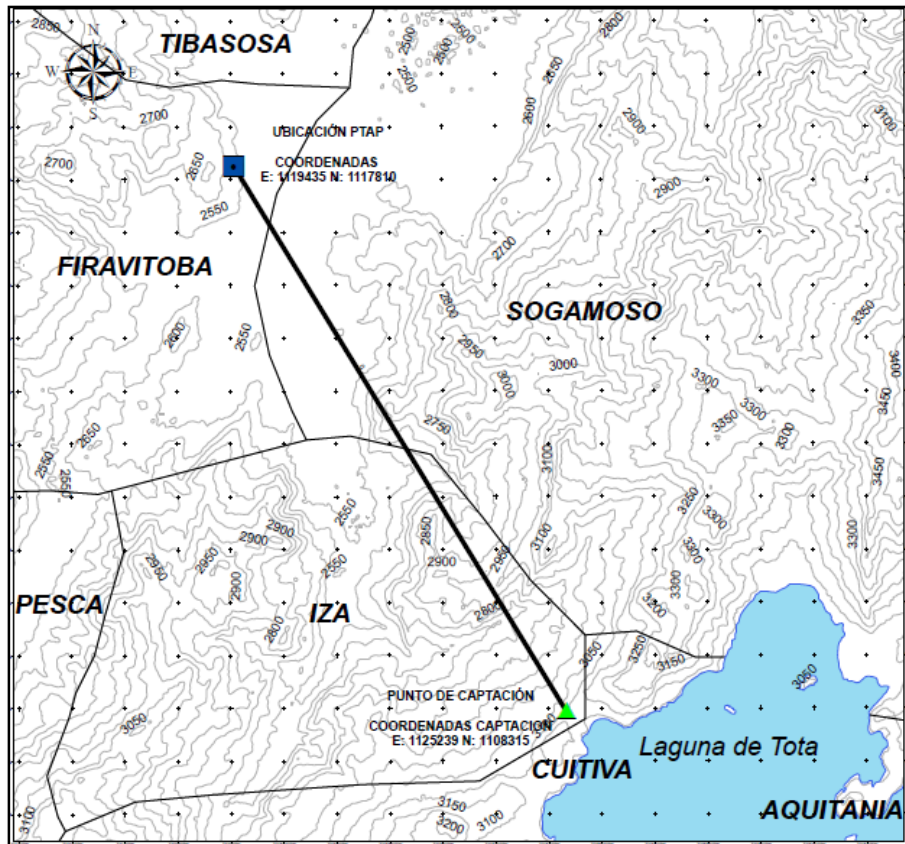
Gráfico 3. Red hidrográfica de la microcuenca abastecedora.



Tomada de Alcaldía de Firavitoba, (2020).

Enseguida se presenta un mapa de la captación y ubicación, donde se permite visualizar de manera más general las coordenadas e información anterior (Ver Anexo 1).

Ilustración 2. Mapa de la ubicación y captación.

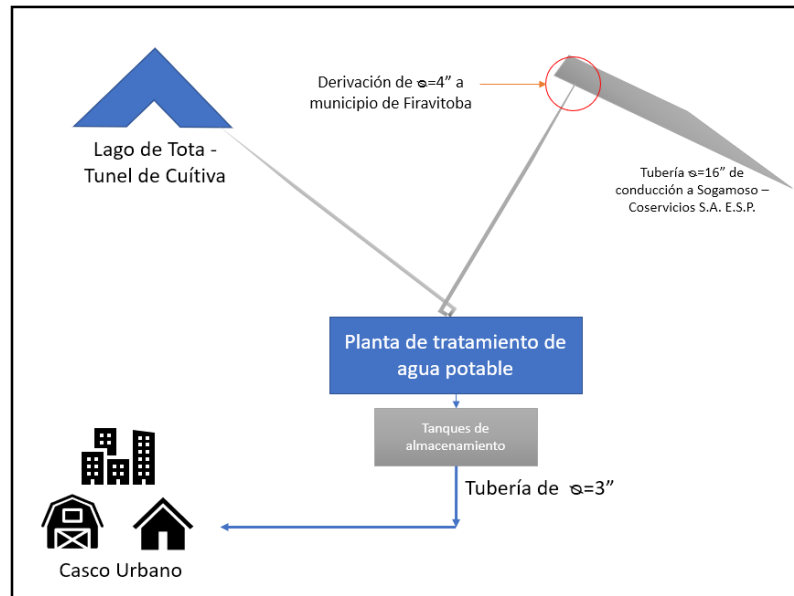


Fuente: Autor.

En el caso del municipio de Firavitoba, se establecieron dos conducciones de agua:

- La primera proviene directamente del túnel de Cúitiva: cuenta con una longitud de 14,5 Km, a un 1km y 3km se instalaron válvulas de cierre. Esta tubería cuenta con un diámetro de 6”.
- La segunda proviene de la Empresa Coservicios S.A. E.S.P.: es una derivación hacia el municipio, con el fin de funcionar como un ramal alternativo de 4”, en contraprestación por el derecho de vía de acueducto hacia el municipio de Sogamoso.

Ilustración 3. Sistema de aducción del municipio de Firavitoba.



Tomada de Alcaldía de Firavitoba, (2020).

7.2. USOS Y GRADO DE INTERVENCIÓN

La demanda del recurso hídrico del Lago de Tota para consumo doméstico, agropecuario e industrial, además de ser el receptor final de aguas residuales, ha generado que con el paso del tiempo esta cuenca sufra de drásticos procesos de transformación, derivados de acciones antrópicas, como lo son (Alcaldía de Firavitoba, 2020):

- Eutrofización acelerada, causada por el incremento de la concentración de nutrientes en el agua, los cuales provienen de la excesiva cantidad de productos químicos y gallinaza utilizados en los cultivos de cebolla en la cuenca, que mediante escorrentía llegan al Lago.
- El vertimiento de aguas servidas en las microcuencas tributarias del lago, principalmente en los sectores rurales, donde no existen sistemas de conducción, tratamiento y disposición de aguas residuales.
- Deficiencias en calidad y cobertura de servicios de saneamiento básico y agua potable.
- Baja cobertura de programas de educación ambiental.



- Expansión de la frontera agrícola en zonas de paramo, lo cual afecta la oferta de agua, restringiendo la conservación del recurso por afectación a los ecosistemas, flora y fauna.
- Vertimiento de aguas residuales provenientes de mataderos, viviendas y hoteles de los municipios de influencia de la microcuenca.

De acuerdo con el estudio de la problemática ambiental que hace parte del Plan de Ordenación y Manejo de la cuenca de Tota, se identificaron diferentes impactos en la microcuenca, a continuación se mencionan los más importantes en las diferentes matrices ambientales (Alcaldía de Firavitoba, 2020).

7.2.1. IMPACTOS A LA FLORA Y FAUNA

Los impactos que más se destacan a la flora y fauna son los siguientes:

- Pérdida de coberturas boscosas causadas por la deforestación, debido a la falta de control de la industria maderera, explotación ganadera y manejo inadecuado de canteras.
- Disminución en los tamaños de las truchas como una consecuencia de la falta de control a los pescadores artesanales.
- Afectaciones a los ecosistemas de paramo y estabilidad del recurso hídrico presente en los mismos, los cuales han sido transformados por quemas, actividad agrícola y ganadera.

7.2.2. IMPACTOS AL SUELO

Las afectaciones que más se presentan en el municipio que deterioran la calidad del suelo se encuentran enunciadas a continuación:

- Contaminación de los suelos por el manejo inadecuado de gallinaza, pollinaza y agroquímicos, en las diferentes actividades agrícolas.
- Impactos negativos al suelo causados por el manejo inadecuado y disposición de residuos resultantes de la cebolla y envolturas de agroquímicos, especialmente en las zonas rurales.



7.2.3. IMPACTOS AL AGUA

En seguida se enuncian algunas de las afectaciones negativas al agua:

- Contaminación del recurso hídrico por diferentes motivos: escorrentía de sustancias químicas utilizadas en los cultivos, falta de plantas de tratamiento de aguas residuales, fumigación excesiva, residuos provenientes del sacrificio de animales, disposición de aguas servidas de los hoteles y disposición inadecuada de los residuos sólidos, esto a los alrededores y en los municipios cercanos al lago.
- Actualmente el lago afronta la invasión de elodea, uno de los problemas más graves puesto que el avance de este vegetal ocupa más de 1200 hectáreas causada por el aumento de nutrientes generando eutrofización.
- Muchos cultivadores penetran las riveras del Lago, con el fin de sembrar cebolla de rama, reduciendo el espejo de agua y desgastando el área protectora de la cuenca.

7.3. CALIDAD DEL AGUA DE LA FUENTE DE ABASTECIMIENTO

Como se indica con anterioridad, la fuente de abastecimiento del municipio es el Lago de Tota, a fin de determinar la calidad del agua de la misma, se realizaron diferentes análisis físico-químicos y microbiológicos. Los resultados de los análisis realizados en la fuente abastecedora se presentan en la siguiente tabla.

Tabla 6. Análisis de calidad de agua de la Laguna de Tota, en el punto de captación.

FISICOQUÍMICOS			
Parámetro	Unidades	Resultado	Valor máximo aceptable
Alcalinidad total	mg/L CaCO ₃	85	200
Cloruros	mg/L Cl	10	250
Color aparente	UPC	14	15
Conductividad	Micro siemens /cm	198	1000
Dureza total	mg/L CaCO ₃	134	300



Fosfatos	mg/L PO ₄ ⁻³	0,08	<0,5
Hierro total	mg/L Fe	0,2	0,3
Nitratos	mg/L NO ₃	2,3	10
Nitritos	mg/L NO ₂	0,09	Aceptable
Olor	Cualitativo	Aceptable	<2
pH	Unidades de pH	7,0	6,5-9,0
Temperatura	°C	15,7	-
Turbiedad	UNT	1,2	2
Sulfatos	mg/L SO ₄ ⁻²	64	250
MICROBIOLÓGICOS			
Parámetro	Unidades	Resultado	Valor máximo aceptable
Coliformes totales	NMP	1321	Ausencia
E- Coli	NMP	984	Ausencia

Tomado de Hidrolab- Ingeniería y análisis ambiental, 2021.

En la siguiente tabla se presenta la información de la TABLA C.2.1. del TÍTULO C DEL RAS (Reglamento Técnico del sector de Agua Potable y Saneamiento Básico) (Ministerio de Ambiente Vivienda y Desarrollo Territorial, 2010), en la cual se presenta una clasificación de las fuentes de abastecimiento en función de unos parámetros físicos, químicos y microbiológicos y se recomienda el grado de tratamiento mínimo. Conforme a lo anterior y acorde con los resultados presentados en la Tabla 6. Análisis de calidad de agua de la Laguna de Tota, se requiere de un tratamiento FIME (Filtración en múltiples etapas), el cual es el sistema de tratamiento implementado (su descripción se especifica más adelante).

Esta conclusión se llega al comparar los valores de los parámetros en las tablas, donde se tiene que, en cuanto a los parámetros de DBO₅, oxígeno disuelto, color verdadero y fluoruros no se tiene valor, los demás parámetros indican una fuente aceptable, excepto coliformes totales cuyo valor indica una fuente deficiente.

Tabla 7. Tabla C.2.1.

PARÁMETROS	ANÁLISIS SEGÚN		NIVEL DE CALIDAD DE ACUERDO AL GRADO DE CONTAMINACIÓN			
	Norma Técnica Icontec NTC	Standard Method ASTM	Fuente aceptable	Fuente regular	Fuente deficiente	Fuente muy deficiente
DBO 5 días	3630					



Promedio mensual mg/L			≤1,5	1,5-2,5	2,5-4	>4
Máximo diario mg/L			1-3	3-4	4-6	>6
Coliformes totales (NMP/100 ml)						
Promedio mensual		D-3870	0-50	50-500	500-5000	>5000
Oxígeno disuelto mg/L	4705	D-888	≥ 4	≥ 4	≥ 4	<4
pH promedio	3651	D1293	6,0-8,5	5,0-9,0	3,8-10,5	
Turbiedad (UNT)	4707	D1889	<2	2-40	40-150	≥150
Color verdadero (UPC)			<10	10-20	20-40	≥40
Sabor y olor		D 1292	Aceptable	Aceptable	Rechazable	Inaceptable
Cloruros (mg/L-Cl)		D 512	<50	50-150	150-200	300
Fluoruros (mg/L-F)		D 1179	<1,2	<1,2	<1,2	>1,7
GRADO DE TRATAMIENTO						
Necesita un tratamiento convencional			NO	NO	Sí, hay veces (ver requisitos para uso FIME: literal C.7.4.3.2)	SI
Necesita unos tratamientos específicos			NO	NO	NO	SI
Procesos de tratamiento utilizados			(1)= Desinfección + Estabilización	(2)=Filtración lenta o Filtración Directa + (1) FIME	(3)= Pretratamiento + [Coagulación + Floculación + Sedimentación + Filtración rápida] o [FIME Filtración en múltiples etapas] + (1)	(4) = (3)+ Tratamientos específicos

Tomado de Ministerio de Ambiente Vivienda y Desarrollo Territorial, (2010).

8. ESTIMACIÓN DE CAUDAL DE INGRESO A LA PTAP

El desarrollo de las actividades de monitoreo volumétrico para la obtención de caudales promedio, se llevaron a cabo en la entrada de la planta de tratamiento de agua potable (PTAP) del municipio de Firavitoba, Boyacá, durante una jornada de 18 horas. El método empleado para el aforo corresponde al método volumétrico, de acuerdo con las características de la caja de recepción e ingreso de agua cruda a la planta.

Fotografía 1. Tubería entrada de la PTAP.



Fuente: Autor.

Durante la jornada de aforo no se presentaron fenómenos de precipitación, sin embargo, en días previos se presentaron lluvias, las cuales pudieron generar aportes considerables al caudal de la fuente hídrica de abastecimiento, repercutiendo en los volúmenes registrados; aunque es de aclarar que el caudal transportado por una tubería depende de diferentes factores como el diámetro, rugosidad, pendiente, pérdidas y del sistema de captación. Adicionalmente en el período de tiempo comprendido entre las 9 a.m. y 12 p.m. no se registran datos, por la ejecución de actividades de limpieza por parte de los operarios de la PTAP.

Tabla 8. Registro de datos obtenidos

TUBERÍA 4"					TUBERÍA 6"				
HORA	VOL (L)	TIEMPO (s)	Q (L/s)	PROM (L/s)	HORA	VOL (L)	TIEMPO (s)	Q (L/s)	PROM (L/s)
	9,5	1,2	7,91	7,26		14	0,64	21,87	21,86



6:00 p.m.	9,5	1,44	6,59		6:00 p.m.	14	0,64	21,87	
7:00 p.m.	10	1,51	6,62	6,57	7:00 p.m.	14,5	0,65	22,30	22,17
	10	1,54	6,49			14	0,63	22,22	
	10,5	1,59	6,60			14,5	0,66	21,97	
8:00 p.m.	8,5	1,34	6,34	6,66	8:00 p.m.	12	0,75	16,00	17,67
	9	1,24	7,25			12	0,62	19,35	
	9	1,41	6,38			12	0,68	17,65	
9:00 p.m.	8	1,17	6,83	7,17	9:00 p.m.	12	0,75	16,00	17,26
	8	1,08	7,40			12	0,66	18,18	
	8,5	1,17	7,26			12,5	0,71	17,61	
10:00 p.m.	9	1,17	7,69	7,91	10:00 p.m.	13	0,69	18,84	19,23
	9,5	1,19	7,98			13	0,69	18,84	
	10	1,24	8,06			13	0,65	20,00	
11:00 p.m.	9	1,1	8,18	8,24	11:00 p.m.	13	0,66	19,69	20,04
	9	1,15	7,82			13	0,61	21,31	
	9,5	1,09	8,71			13	0,68	19,12	
12:00 a.m.	10	1,21	8,26	8,43	12:00 a.m.	12	0,55	21,82	20,66
	10	1,16	8,62			11,5	0,58	19,83	
	10,5	1,25	8,40			12	0,59	20,34	
1:00 a.m.	11	1,18	9,32	9,38	1:00 a.m.	13	0,67	19,40	18,95
	11	1,19	9,24			13	0,67	19,40	
	11	1,15	9,56			13	0,72	18,06	
2:00 a.m.	11	1,3	8,46	8,42	2:00 a.m.	12	0,54	22,22	21,08
	11	1,32	8,33			12	0,59	20,34	
	11	1,3	8,46			12	0,58	20,69	
3:00 a.m.	8,5	1,13	7,52	7,53	3:00 a.m.	12	0,55	21,82	21,82
	9	1,2	7,50			12	0,56	21,43	
	9	1,19	7,56			12	0,54	22,22	
4:00 a.m.	10	1,34	7,46	7,41	4:00 a.m.	11,5	0,61	18,85	17,89
	10	1,36	7,35			11,5	0,65	17,69	
	10	1,35	7,40			12	0,7	17,14	
5:00 a.m.	9,5	1,48	6,41	6,39	5:00 a.m.	11,5	0,51	22,55	22,34
	9,5	1,54	6,16			12	0,55	21,82	
	9,5	1,44	6,59			12	0,53	22,64	
6:00 a.m.	9	1,36	6,61	6,62	6:00 a.m.	11,5	0,52	22,11	21,49
	9	1,37	6,56			12	0,53	22,64	
	9	1,35	6,66			13	0,66	19,69	
7:00 a.m.	10	1,36	7,35	7,11	7:00 a.m.	13	0,59	22,03	21,46
	9,5	1,37	6,93			12	0,57	21,05	
	9,5	1,35	7,03			13	0,61	21,31	
8:00 a.m.	10	1,31	7,63	7,56	8:00 a.m.	13	0,56	23,21	22,82
	10	1,32	7,57			13	0,56	23,21	
	10	1,34	7,46			13	0,59	22,03	
9:00 a.m.	7	1,13	6,19	6,47	9:00 a.m.	11	0,77	14,29	17,70
	8	1,27	6,29			13	0,68	19,12	



	8,5	1,23	6,91			13	0,66	19,69	
12:00 p.m.	9	1,57	5,73	6,09	12:00 p.m.	15	0,78	19,231	18,88
	9,5	1,52	6,25			13	0,79	16,46	
	9	1,43	6,29			13	0,62	20,97	
01:00 p.m.	9	1,21	7,43	8,15	01:00 p.m.	12	0,56	21,43	21,45
	9,5	1,45	6,55			12	0,58	20,69	
	9	0,86	10,46			12	0,54	22,22	
02:00 p.m.	9	1,51	5,96	6,07	02:00 p.m.	12	0,6	20,00	20,11
	9,5	1,55	6,12			13	0,63	20,63	
	9,5	1,55	6,12			13	0,66	19,69	

Fuente: Autor.

Teniendo en cuenta que el ingreso de agua cruda a la PTAP se realiza mediante dos conductos independientes, con dimensiones de 4" y 6" se realizaron aforos separados, para unificarlos posteriormente y obtener un caudal total para cada una de las horas de medida.

Tabla 9.Caudal unificado

HORA	Q _{TOTAL} (L/s)
6:00 p. m.	29,13
7:00 p. m.	28,74
8:00 p. m.	24,33
9:00 p. m.	24,43
10:00 p. m.	27,14
11:00 p. m.	28,28
12:00 a. m.	29,09
1:00 a. m.	28,33
2:00 a. m.	29,50
3:00 a. m.	29,35
4:00 a. m.	25,30
5:00 a. m.	28,73
6:00 a. m.	28,10
7:00 a. m.	28,57
8:00 a. m.	30,38
9:00 a. m.	24,17
12:00 p. m.	24,98
1:00 p. m.	29,60
2:00 p. m.	26,18
Q_{PROMEDIO}	27,60

Fuente: Autor.



9. DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO

La Planta de Tratamiento de Agua Potable es de tipo FIME (Filtración en Múltiples Etapas), constituida por un filtro dinámico grueso (grava de diferente granulometría), 3 filtros de arena fina y una etapa con inyección de cloro gaseoso (desinfectante), de donde el agua es conducida hacia dos tanques de almacenamiento. Se encuentra ubicada en la vereda Ocán, a 2 km del perímetro urbano, a una altura aproximada de 2.568 m.s.n.m.

9.1. AÑO DE CONSTRUCCIÓN

De acuerdo con la información por parte del fontanero de la PTAP, dicha instalación fue construida entre el año 1998 y 2000, información que concuerda con los diferentes documentos aportados por el municipio, como el Programa de uso eficiente y ahorro del agua del año 2020.

9.2. PERÍODO DE DISEÑO

Partiendo de la información suministrada, la PTAP ya cumplió con su vida útil, lo cual se debe principalmente, a que el período de diseño fue de 20 años.

9.3. CAUDAL DE DISEÑO Y CAUDAL TRATADO

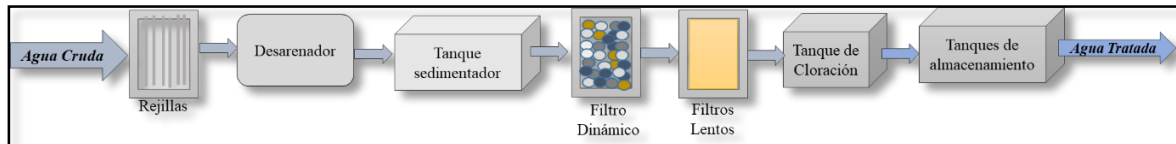
La PTAP fue diseñada con un caudal a tratar de 12,39 L/s, por otro lado, el caudal de agua que ingresa a la planta en promedio es de 27,6 L/s (de acuerdo con el aforo mencionado con anterioridad). Mientras que el caudal de agua potabilizada se encuentra entre los 14 L/s¹ y 15,1 L/s (Alcaldía de Firavitoba, 2020). Partiendo de la información anterior, el caudal tratado es la mitad del caudal captado, es decir, que en las diferentes etapas del tratamiento en función de la retención hidráulica se ven reducidos a la mitad, por lo cual no se espera que las condiciones de potabilidad sean las más óptimas, esto debe principalmente a que la PTAP fue construida en base a una población mucho más pequeña que la actual.

¹ Conforme con el registro de mediciones desarrolladas para el año 2018 de los macro medidores en la salida de la PTAP. SUPERINTENDENCIA DE SERVICIOS PÚBLICOS DOMICILIARIOS. Evaluación integral de prestadores Firavitoba. 2018.

9.4. DESCRIPCIÓN DE CADA PROCESO DEL TRATAMIENTO

Enseguida se presenta un esquema resumen del proceso de tratamiento del agua cruda que se lleva a cabo dentro de la PTAP.

Gráfico 4. Esquema del tratamiento de la PTAP.



Fuente: Autor.

9.4.1. DESARENADOR

El desarenador hace parte del tratamiento preliminar del sistema, se encarga de recibir el agua que recién ingresa a la planta y permite la retención del material más grueso. Tiene un dimensionamiento de 1,10m de largo, 1,10 m de ancho, y 2m de profundidad, con una ubicación de E: 1119443,482 N: 1117783,593 (Longitud: 72°59'57.72" Latitud: 5°39'37.11"). Dentro del desarenador está instalada un tipo de rejilla metálica, tal como se aprecia en la imagen a continuación, la cual tiene 2,20 m de alto, 1,13m de ancho y 0,5 mm de grosor, cuenta con unos orificios de diámetro 0,8 mm, los cuales se disponen en filas ordenadas cada 2 cm.

Fotografía 2. Desarenador.



Fuente: Autor.



9.4.2. SEDIMENTADOR

Luego de retener las partículas gruesas, el agua pasa por el sedimentador, el cual permite una disminución en la velocidad de flujo lo que facilita la disposición o sedimentación de las partículas (de peso específico mayor que el agua), acción que se lleva a cabo mediante una serie de tuberías de 1" que retiene las partículas más pequeñas. Cuenta con unas dimensiones de 3m de largo, 1,50 de ancho y 2m de profundidad, con una ubicación de 1119449,012 N: 1117788,826 (Longitud: 72°59'57.55" Latitud: 5°39'37.28").

Fotografía 3.Sedimentador.



Fuente: Autor.

9.4.3. FILTRO RÁPIDO

El filtro rápido o grueso de grava, puede ser de flujo horizontal o vertical, en este caso horizontal. Consiste en un compartimiento donde se ubica un lecho filtrante de grava, en el cual el tamaño de los granos de grava disminuye con la dirección del flujo. Para el caso de un filtro de flujo ascendente se tiene un sistema de tuberías, ubicado en el fondo de la estructura, que permite distribuir el flujo de agua en forma uniforme dentro del filtro. Conforme funciona el filtro, los espacios vacíos se van colmatando con las partículas retenidas por el agua, por lo cual se requiere de limpieza semanal.

Antes de pasar el agua por el filtro grueso actúan los filtros de tela, los cuales reciben el agua y permite la retención de sólidos previa a la filtración con material granular. Sus dimensiones son 3m de largo, 7,50 de ancho y 1,20m de profundidad. Tiene una capa de material fino que oscila entre los 3 y 6 mm, una intermedia de 6-13 mm, sobre un lecho de grava más grueso (13-25 mm).

Fotografía 4. Filtros de tela.



Fuente: Autor.

Fotografía 5. Filtro dinámico.



Fuente: Autor.

El agua pasa con una dirección de flujo descendente (arriba hacia abajo), recoge el agua mediante una red de tubería de 4" que la conduce al filtro lento; dispone de un



sistema de vertedero de excesos que entrega el agua que no puede filtrar a una caja de inspección. Con ubicación E: 1119443,161 N: 1117790,659 (Longitud: 72°59'57.74" Latitud: 5°39'37.34").

Fotografía 6. Canal de distribución y aforo de caudales.



Fuente: Autor.

Fotografía 7. Caja de inspección.



Fuente: Autor.

El agua procedente del filtro rápido, llega a una cámara de aquietamiento que dispone de un vertedero de aforo del agua que ingresa a un canal de distribución y de ahí pasa mediante tres canales a cada una de las unidades de la filtración lenta de arena. La cámara de aquietamiento tiene una longitud de 1,0 m de ancho, 1,1 m de alto y una profundidad de 2 m, disponiendo de reboses para excesos.



Las estructuras de los vertederos de control de los canales de distribución tienen problemas de diseño, ya que el agua no pasa por encima de los mismos, sino por los orificios que están debajo de la estructura. Por lo tanto, no se tiene un control del aforo de caudales.

Fotografía 8. Vertedero triangular.



Fuente: Autor.

9.4.4. FILTRACIÓN LENTA

El filtro lento tiene como finalidad remover material más fino y microorganismos patógenos, este filtro se implementa para mejorar la calidad bacteriológica y remover partículas suspendidas más finas. Consiste en un tanque de lecho de arena fina colocada sobre una capa de grava, que constituye el medio de soporte. La estructura consta de 3 unidades de 11,5m de largo, 4,5m de ancho y 2,1m de profundidad.

Fotografía 9. Filtración lenta.



Fuente: Autor.

El área total de filtración es de 155,3 m², el medio filtrante es de 1,0 m de espesor y el múltiple colector de cada unidad está conformado por tuberías de PVC de drenaje de 4" mediante red interconectada. El agua en cada unidad de filtración es conducida a una caja de recepción de agua tratada, donde se realiza la aplicación de cloro (solución de hipoclorito de sodio).

9.4.5. DESINFECCIÓN

La desinfección es el último proceso del tratamiento, esta se realiza con cloro gaseoso en un tanque que recibe el agua tratada, mediante la inyección con manguera. Para esta etapa del tratamiento se cuenta con una caseta desde la cual se dosifican los tanques de cloración que se encuentran a la salida de los filtros lentos. La dosificación se realiza durante 18 horas de las 24 horas de funcionamiento de la planta, cada 10 a 20 minutos, con una concentración de 0,4 mg/l.

Fotografía 10. Sistema de cloración.





Fuente: Autor.

9.4.6. TANQUES DE ALMACENAMIENTO

La PTAP cuenta con dos tanques de almacenamiento, uno que deriva el agua hacia el sector rural y parte del sector urbano, y otro hacia el perímetro urbano. Ambos tanques cuentan con dimensiones de 10m de largo, 10m de ancho y 3,50m de profundidad.

Fotografía 11. Tanque de almacenamiento 1.



Fuente: Autor.

Fotografía 12. Tanque de almacenamiento 2.



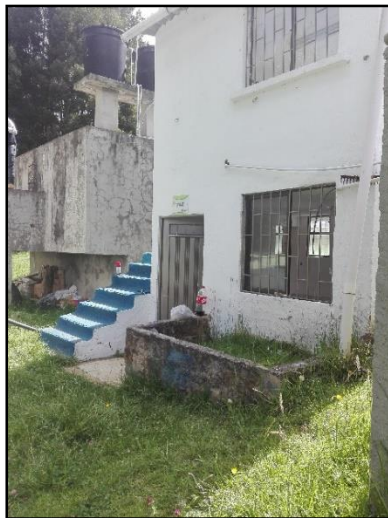
Fuente: Autor.



Además del proceso descrito con anterioridad, la planta cuenta con un laboratorio, donde se tienen los elementos básicos para realizar algunos análisis, y el sistema de dosificación para la desinfección del agua. El laboratorio cuenta con:

- Mesones de cemento con acabados en tableta además tiene su respectiva zona de lavado.
- Tubos de ensayo.
- Espectrofotómetro MERCK Spectroquant NOVA 60.
- pHmetro de campo marca HACH.
- Celda para muestras.
- Vidriera.
- Elementos de protección personal.
- Extintor.
- Botiquín.
- Probetas.
- Pipetas.
- Elementos de limpieza.

Fotografía 13.Laboratorio.



Fuente: Autor.

9.5. DESCRIPCIÓN DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO

La operación adecuada de las plantas de tratamiento es fundamental para garantizar la producción continua de agua potable. El operador de planta tiene la



responsabilidad del desarrollo las actividades de operación y asegurar la eficiencia de esta. En el caso de la PTAP de Firavitoba, se cuenta con un encargado de inspeccionar y supervisar la operación y mantenimiento de cada uno de los procesos de tratamiento que se llevan a cabo dentro de la misma. Sin embargo, al estar relacionado con la Alcaldía, el operario está a disposición del desarrollo de otras actividades, dependiendo lo que se le indique.

El respectivo lavado del filtro dinámico se desarrolla con agua a presión de manera manual por los operarios mediante una manguera, así mismo en los filtros lentos se revisa por modulo, ambas actividades se llevan a cabo cada 15 a 20 días. Por otra parte, de manera general se nombran algunas de las actividades de operación que debe realizar el encargado de la planta, las cuales son indispensables para garantizar la eficiencia y correcto funcionamiento de la planta:

- Activar el equipo dosificador.
- Verificar la cantidad de cloro suministrado y la concentración de cloro residual en los tanques de almacenamiento.
- Revisar el funcionamiento de las válvulas.
- Llevar los registros necesarios.
- Inspeccionar los procesos del tratamiento.
- Monitorear la calidad de agua.
- Informar de cualquier daño o anomalía en los procesos de tratamiento o equipos de la planta.

El encargado realiza y registra pruebas necesarias (color, turbiedad, cloro residual y pH) periódicamente para determinar el estado en el que se encuentran las aguas que son suministradas a la red de distribución del municipio, de esta manera se mantiene un control sobre la calidad del agua, para lo cual se hace uso del laboratorio.



10. CARACTERIZACIÓN DEL AGUA TRATADA

Es indispensable realizar un análisis general del agua tratada en la PTAP, con el fin de determinar la calidad de agua entregada a los usuarios de la misma.

10.1. ÍNDICE DE RIESGO POR CALIDAD DEL AGUA IRCA

En el Decreto 1575 de 2007 se definió el Índice de Riesgo por Calidad de Agua (IRCA) como el grado de riesgo de ocurrencia de enfermedades relacionadas con el no cumplimiento de las características físicas, químicas y microbiológicas del agua para consumo humano. Por otra parte, el IRCA se calcula con base en lo establecido en el artículo 13 de la Resolución 2115 de 2007, estos se estiman y reportan de manera mensual al Sistema Único de Información (SUI) por la entidad prestadora (Instituto Nacional de Salud, 2020).

De acuerdo con los registros en el Instituto Nacional de Salud, desde el mes de enero de 2020 a mayo de 2021, se tienen los siguientes resultados. Es de resaltar que, en los meses de diciembre, enero y febrero, en algunos casos no tienen resultado, lo cual está relacionado con los reportes realizados por el municipio.

Tabla 10. IRCA municipio de Firavitoba, Boyacá

MES	No. MUESTRAS DE AGUA PARA CONSUMO HUMANO ANALIZADAS	IRCA	NIVEL DE RIESGO
ENERO	0	-	-
FEBRERO	0	-	-
MARZO	2	0	Sin Riesgo
ABRIL	2	0	Sin Riesgo
MAYO	4	0	Sin Riesgo
JUNIO	0	-	-
JULIO	4	0	Sin Riesgo
AGOSTO	2	0	Sin Riesgo
SEPTIEMBRE	2	0	Sin Riesgo
OCTUBRE	2	0	Sin Riesgo
NOVIEMBRE	2	0	Sin Riesgo



DICIEMBRE	0	-	-
ENERO	0	-	-
FEBRERO	2	0	Sin Riesgo
MARZO	2	0	Sin Riesgo
ABRIL	2	18,63	Riesgo Medio
MAYO	4	0	Sin Riesgo

Tomado de SIVICAP².

En conformidad con los resultados de los reportes, se tiene condiciones adecuadas con respecto a la funcionalidad y objetivo de las unidades de tratamiento de agua que conforman el sistema, esto reflejado en los resultados óptimos obtenidos y medidos a partir del IRCA, catalogándose a la PTAP con un nivel *SIN RIESGO*, durante la mayor parte de los meses evaluados, y un nivel *MEDIO* para el mes de abril de 2021. Para el mes de abril, pudo registrar este valor por algunas actividades llevadas a cabo en este mes, como el lavado de la arena de los filtros lentos a causa de la colmatación y arreglos en las tuberías de acueducto en el municipio por parte de la alcaldía.

Es decir, que la PTAP tipo FIME, es adecuada para brindar una correcta gestión de agua cruda proveniente del Lago de Tota, sin embargo, se ha evidenciado que su adecuada operación en términos de calidad y capacidad depende fundamentalmente de las actividades de mantenimiento y lavado de los lechos filtrantes que la componen.

10.2. ÍNDICE DE RIESGO POR ABASTECIMIENTO DE AGUA PARA CONSUMO HUMANO IRABA

En esa misma línea, conforme con el registro de diciembre del año 2019 por parte de la Secretaría de Salud de Boyacá, se tiene los datos presentados a continuación, enfocados al índice de Riesgo por Abastecimiento de Agua para Consumo Humano (IRABA) y el Indicador de Buenas Prácticas Sanitarias (BPS).

Tabla 11. IRABA y BPS año 2019

² Sistema de Información de la Vigilancia de la Calidad del Agua para Consumo Humano-SIVICAP. Disponible en: <https://www.ins.gov.co/sivicap/paginas/sivicap.aspx>



FECHA INSPECCIÓN SANITARIA AL SISTEMA DE SUMINISTRO DE AGUA PARA CONSUMO HUMANO	INSTRUMENTOS BÁSICOS: IRABA p.p. y BPS p.p. EVALUADOS		
	ÍNDICE DE RIESGO POR ABASTECIMIENTO DE AGUA PARA CONSUMO HUMANO DE LA PRESTADORA- IRABA p.p.	NIVEL DE RIESGO IRABA p.p.	BUENAS PRÁCTICAS SANITARIAS BPS p.p.
Diciembre 2019	27	Medio	32,5

Tomado de Secretaría de Salud de Boyacá, (2019).

La Secretaría de Salud de Boyacá emitió un concepto *FAVORABLE* con relación a los resultados obtenidos al IRABA p.p., donde se logró catalogar al prestador del servicio en riesgo *MEDIO*. El anterior concepto, se refiere especialmente a la ausencia de equipos de laboratorio para el desarrollo de ensayos de control, en la calidad de agua dentro de las operaciones internas de la PTAP y la ausencia de personal operativo calificado bajo las Normas Colombianas de Competencia Laboral NCL (Secretaría de Salud de Boyacá, 2019).

Por otro lado, se presentan las variables de no cumplimiento o cumplimiento parcial del Índice de Buenas Prácticas Sanitarias (BPS) en la *Tabla 12*. Este índice relaciona los principios básicos y prácticas operativas generales de higiene para el suministro y distribución del agua para consumo humano, el cual tiene como objetivo la identificación de riesgos a los cuales pudieran estar expuestos la infraestructura, con el fin de identificar las debilidades dentro de la operación del sistema.

Tabla 12. Resultados BPS 2019

BUENAS PRACTICAS SANITARIAS (BPS) – PERSONA PRESTADORA		
Aspectos generales de la PTAP	¿Cumple las BPS?	
	Parcialmente	No
Aireadores de las instalaciones libres de obstrucciones	X	
Aseo interior eficiente	X	
Estado físico de las edificaciones	X	
Medición de caudal de ingreso		X
Medición o estimación de caudal para el lavado de filtros sedimentadores y otros consumos		x



Manual o protocolo de higiene y seguridad industrial	X	
Programa de salud ocupacional	X	
Operarios visten uniformes dotados para el trabajo	X	
Elementos de protección de seguridad	X	
Sistema de registro y archivo de la información		X
Reportes de autocontrol están disponibles para supervisión a cargo de la autoridad sanitaria		X
Realizan todos los ensayos físicos, químicos y microbiológicos de control en la red de distribución de acuerdo con las condiciones establecidas en el Capítulo V de la Res. 2115 de 2007.		X
Efectúan periódicamente la caracterización de agua cruda y su trazabilidad		X
Hacen periódicamente control de los procesos que llevan a cabo		X
Llevan reportes de control al día		X
Sistema de gestión para el aseguramiento de la calidad de los resultados físicos, químicos y microbiológicos del agua para consumo humano		X
Instalaciones siguen técnicas de aseo y asepsia para los análisis		X
Planos de la red de distribución detallados	X	
Zonas donde existe riesgo de contaminación de la red		X
Registro estadístico de las roturas de tubería y sus causas	X	
Equipos para detección de fugas no visibles		X
Tanques y otras estructuras del sistema de distribución se limpian y desinfectan periódicamente	X	
Toma, preservación y transporte de muestras se hace de acuerdo al Manual de Instrucciones del Instituto Nacional de Salud- INS		X

Tomado de Secretaría de Salud de Boyacá, (2019).

A partir de la información establecida por la Secretaría de Salud de Boyacá, es posible identificar a la larga una serie de problemáticas existentes tanto en la operación de la PTAP, en el sistema de operación, y en general en la calidad del servicio que podría en algún momento influir negativamente en la calidad y cantidad de agua para consumo humano del municipio.

10.3. CALIDAD DEL AGUA TRATADA



Se relaciona la existencia de 3 zonas dispuestas para la medición ubicadas en un punto próximo a la salida de la PTAP, en una zona intermedia de la red de distribución y en el punto más alejado de la red. En la siguiente tabla se presenta los resultados obtenidos en los análisis fisicoquímicos y microbiológicos realizados en punto de muestreo del puesto de salud. El cual se encuentra ubicado en la Calle 9 #3-54, con coordenadas: 5°40'13.44"N, 72°59'31.63"W.

Tabla 13. Análisis de calidad de Agua Potable, Punto de muestreo Puesto de Salud

FISICOQUÍMICOS			
Parámetro	Unidades	Resultado	Valor máximo aceptable
pH	Unidades de pH	7,50	6,5-9,0
Alcalinidad total	mg/L CaCO ₃	56,6	200
Cloro Residual libre	mg Cl ₂ /L	1,20	0,3-2,0
Calcio	mg Ca/L	20,7	60
Cloruros	mg Cl ⁻ /L	4,89	250
Color aparente	UPC	0	15
Conductividad	Micro siemens /cm	109,7	1000
Dureza total	mg/L CaCO ₃	58,1	300
Fosfatos	mg/L PO ₄ ⁻³	0,08	<0,5
Hierro total	mg/L Fe	0,08	0,3
Magnesio	mg Mg/L	1,58	36
Nitratos	mg/L NO ₃	2,64	10
Nitritos	mg/L NO ₂	0,03	0,1
Sulfatos	Mg/L SO ₄ ⁻²	8	250
Turbiedad	UNT	0	2
Temperatura	°T	18	-
MICROBIOLÓGICOS			
Parámetro	Unidades	Resultado	Valor máximo aceptable
Coliformes totales	NMP	0	Ausencia
E- Coli	NMP	0	Ausencia

Fuente: LABORATORIO SERVIQUIMICOS E.U, 2021.



11. EVALUACIÓN TÉCNICA Y OPERATIVA DE ESTRUCTURAS EXISTENTES

La PTAP cuenta con las instalaciones necesarias para dar un tratamiento adecuado al agua cruda, tal como se observa en los resultados del punto de muestreo, donde los parámetros evaluados cumplen. No obstante, entre las principales falencias identificadas se encuentran que no hay medidores a la entrada, a la salida ni durante el tratamiento, por tal razón, no se tiene conocimiento de las pérdidas de caudal existentes a lo largo del sistema.

Adicionalmente, en la visita realizada se contempló la cantidad de agua desperdiciada en las paredes laterales del filtro dinámico, dando un indicio de las falencias hidráulicas que posee. Enseguida se presenta el registro fotográfico, cabe aclarar que la fotografía fue tomada después de la limpieza del mismo.

Fotografía 14. Derrame de agua.



Fuente: Autor.

11.1. SEDIMENTADOR

La evaluación del sedimentador de manera general se presenta a continuación, acorde con lo observado en las visitas de campo.

Tabla 14. Evaluación del sedimentador.



EVALUACIÓN TÉCNICA	EVALUACIÓN OPERATIVA
<ul style="list-style-type: none">• No cuenta con rampas de ingreso a la unidad.• Presenta deterioro en sus muros.• El compartimiento de entrada es obsoleto, dada las condiciones de caudal actual.• Las tuberías de ingreso no cuentan con anclajes.• La válvula de mantenimiento presenta oxidación y desgaste.• El vertedero rectangular es ineficiente para la toma de caudal, ya que este sobre pasa su capacidad.• Internamente el mantenimiento es dispendioso, no cuenta con escalera de ingreso para la remoción de sedimentos.	<ul style="list-style-type: none">• La capacidad de recepción de caudal se encuentra extralimitada, al estar saturada. En la estructura siguiente se presenta desperdicio de agua a través del rebose.• El vertedero rectangular es ineficiente en su operación, dado que no permite el aforo de caudal.

Fuente: Autor.

Adicionalmente, el TÍTULO C del RAS, indica que la unidad de sedimentación debe constar de una zona de entrada, una zona de sedimentación, una zona de salida y una zona de recolección de lodos; la planta no cuenta con la zona de recolección de lodos, razón por la cual los lodos no tienen ningún tipo de gestión ni disposición final. Por otra parte, específica que independientemente del nivel de complejidad del sistema, todos los sistemas deben tener por lo menos dos unidades en servicio así sea en la primera etapa. Por último, deben existir escaleras permanentes o escalones en las paredes internas y sobre el nivel de agua, e incluir barandas perimetrales en todas las zonas de paso, algo con lo que no cuenta el sedimentador (Ministerio de Ambiente Vivienda y Desarrollo Territorial, 2010).

11.2. FILTRO DINÁMICO

El filtro dinámico presenta algunas deficiencias, enseguida se presentan las más importantes.

Tabla 15. Evaluación filtro dinámico.



EVALUACIÓN TÉCNICA	EVALUACIÓN OPERATIVA
<ul style="list-style-type: none">• No cuenta con rampas de ingreso a la unidad.• Presenta deterioro y fisuras en sus muros.• Los registros de ingreso se encuentran oxidados y algunos sin manija de control para su cierre y apertura.• La válvula de mantenimiento presenta oxidación y desgaste.• Los lechos cuentan con más de 20 años de instalación y suministro, por lo tanto, han perdido la capacidad de tratamiento.• El mantenimiento se lleva a cabo de manera manual, por lo que dificulta el proceso de limpieza, convirtiéndolo en un proceso ineficiente.• No cuenta con tubos de rebose, por tanto, se satura el filtro y el agua se desborda por los muros laterales, generando desperdicio y afectación estructural.	<ul style="list-style-type: none">• La operación del filtro es óptima, sin embargo, no es eficiente, dado que la capacidad de tratamiento es obsoleta, por el aumento de caudal en la entrada.• La saturación del filtro con sedimento, no garantiza el tratamiento del agua en su totalidad, ya que, al no contar con la capacidad de operación, se genera desperdicio en las unidades preliminares.• Las conexiones hidráulicas posteriores generan cuellos de botella, por ende, pérdidas de agua.

Fuente: Autor.

Agregando a lo anterior, el RAS recomienda que dentro de los parámetros de diseño de los filtros rápidos, se disponga como pretratamiento la coagulación (Ministerio de Ambiente Vivienda y Desarrollo Territorial, 2010).

11.3. VERTEDERO TRIANGULAR Y FILTROS LENTOS

Tal como se viene realizando un análisis estructura a estructura, en la siguiente tabla se presenta las observaciones de los filtros lentos y el vertedero triangular.

Tabla 16. Evaluación vertedero triangular y filtros lentos

EVALUACIÓN TÉCNICA	EVALUACIÓN OPERATIVA
<ul style="list-style-type: none">• Presenta deterioro físico (pintura externa).	<ul style="list-style-type: none">• La operación del filtro es óptima, aunque no es suficiente, dado que la capacidad de tratamiento es



<ul style="list-style-type: none">• Los vertederos son ineficientes, por su capacidad de medición de caudal.• Las conexiones hidráulicas preliminares generan cuellos de botella.• Los lechos cuentan con más de 20 años de instalación y suministro, por lo tanto, han perdido la capacidad de tratamiento.• La estructura interna de los filtros no cuenta con un mantenimiento puntual (lavado de paredes, limpieza de tubos de alimentación, entre otros).• El mantenimiento es tedioso e ineficiente, dado que se debe realizar manual y con un número alto de trabajadores.	obsoleta, por el caudal recibido a la entrada.
---	--

Fuente: Autor.

11.4. CASETA DE LABORATORIO

La información enseñada seguidamente, representa la evaluación a nivel técnico y operativo de la caseta de laboratorio.

Tabla 17. Evaluación caseta de laboratorio

EVALUACIÓN TÉCNICA	EVALUACIÓN OPERATIVA
<ul style="list-style-type: none">• Pintura externa deteriorada.• No cuenta con barandas de seguridad en las escaleras de ingreso al segundo piso.• No cuenta con puerta en el baño.• Las balas de gas no se encuentran aisladas.	<ul style="list-style-type: none">• No cuentan con los elementos de laboratorio necesarios para un control de calidad de agua.• El proceso de desinfección requiere ser automatizado, con el fin de garantizar la calidad de agua para consumo humano.

Fuente: Autor.



En esa misma línea, el RAS expresa que en todas las plantas de tratamiento se deben proyectar laboratorios de control operacional que permita análisis físicos, químicos y microbiológicos, donde debe contar con un área mínima de 10 m². Igualmente, el laboratorio independiente del nivel de complejidad debe contar con (Ministerio de Ambiente Vivienda y Desarrollo Territorial, 2010):

- Balanza analítica
- Bomba de vacío
- Agitadores
- Nevera
- Analizador y registrador de cloro residual
- Ducha de seguridad
- Lavamanos
- Gabinetes
- Termómetros
- Reactivos químicos
- Biblioteca
- Mesón de trabajo
- Mecheros
- Garrafas de 1 Galón
- Envases para muestreo
- Materiales de vidrio (sistema de titulación)
- Equipo de prueba de jarras
- Medidor de pH - Conductividad
- Turbidímetro
- Espectrocolorímetro más cubas

Elementos, que en su mayoría no se cuenta en la caseta de laboratorio, sin embargo, se desarrollan algunos de los parámetros para controlar la calidad de agua.

11.5. TANQUES DE ALMACENAMIENTO

Además de la descripción de enseguida, en el RAS se detallan las condiciones de un tanque de almacenamiento de agua tratada, entre las cuales se encuentra:

- Realizar la operación de las válvulas según el régimen de servicio.
- Medir el caudal distribuido.
- Aforar el caudal de ingreso al tanque.
- Controlar la calidad del agua almacenada.
- Vaciar y lavar el tanque cuando se detecten sedimentos.
- Desinfección de tanque.

Actividades como el aforo del caudal de ingreso al tanque no se realizan, pues no hay medidores que indiquen la cantidad de agua tratada y que es almacenada en los tanques, la calidad de agua se controla en los tres puntos de muestreo descritos



con anterioridad, pero dentro del tanque no. Por último, se evita el ingreso de sedimentos por ende no se realiza lavado ni desinfección del tanque.

Tabla 18. Evaluación tanques de almacenamiento

EVALUACIÓN TÉCNICA	EVALUACIÓN OPERATIVA
<ul style="list-style-type: none">• Deterioro físico.• El tanque número dos no cuenta con barandas de seguridad en las escaleras y el tanque número uno no cuenta con ingreso a la placa superior.• Las escaleras de ingreso a los tanques se encuentran en malas condiciones.• No cuentan con enchape o pintura de lavado en los muros interno, lo cual permite desprendimiento del pañete existente.	<ul style="list-style-type: none">• Su operación es óptima.

Fuente: Autor.



12. PROYECCIÓN DEL CAUDAL

En este apartado se verificará el caudal acorde con la información de los registros censales y demográficos del municipio de Firavitoba, los cuales son obtenidos a partir de los datos suministrados por el Departamento Administrativo de Estadísticas de Colombia (DANE), se tomarán en cuenta el censo de 2005 y 2018. Así mismo, se verificará la proyección oferta-demanda de la planta de tratamiento.

12.1. PROYECCIÓN DE LA POBLACIÓN

En la siguiente tabla se presentan los datos del censo del año 2005 y 2018.

Tabla 19. Censo municipio de Firavitoba

AÑO CENSO	POBLACIÓN		
	CABECERA MUNICIPAL	RESTANTE	TOTAL
2005	2.087	4.229	6.316
2018	2.497	4.165	6.662

Tomado de DANE.

Con la información anterior, se proyectará la población para el municipio de Firavitoba, partiendo de un año base, es decir, el año 2018 (año del último censo), con una proyección de 25 años contados a partir del año en curso. Lo anterior, se efectúa mediante las ecuaciones descritas para los métodos permitidos por el RAS.

12.1.1. Método aritmético.

El método aritmético supone un crecimiento vegetativo balanceado por mortalidad y emigración. La ecuación para calcular la población proyectada es la siguiente:

$$Pf = Puc + \frac{Puc - Pci}{Tuc - Tci} (Tf - Tuc)$$

Donde:



Pf: es la población (hab.) correspondiente al año para el que se quiere proyectar la población.

Puc: es la población (hab.) correspondiente al último año censado con información.

Pci: es la población (hab.) correspondiente al censo inicial con información.

Tuc: es el año correspondiente al último año censado con información.

Tci: es el año correspondiente al censo inicial con información.

Tf: es el año al cual se quiere proyectar la información.

12.1.2. Método geométrico.

Este método es útil en poblaciones que muestren una importante actividad económica, que genera un apreciable desarrollo y posee importantes áreas de expansión las cuales pueden ser dotadas de servicios públicos sin mayores dificultades. La ecuación que se emplea es:

$$Pf = Puc * (1 + r)^{Tf - Tuc}$$

Donde:

r es la tasa de crecimiento anual en forma decimal y las demás variables se definen igual que para el método anterior. La tasa de crecimiento anual se calcula de la siguiente manera:

$$r = \left(\frac{Puc}{Pci} \right)^{\frac{1}{Tuc + Tci}} - 1$$

Tabla 20. Proyección de la población

PROYECCIÓN DE LA POBLACIÓN				
AÑO	MÉTODO ARITMÉTICO	MÉTODO GEOMÉTRICO	PROMEDIO	POBLACIÓN (habitantes)
2019	6.689	6.662	6.675	6.675



2020	6.715	6.662	6.689	6.689
2021	6.742	6.662	6.702	6.702
2022	6.768	6.662	6.715	6.715
2023	6.795	6.662	6.729	6.729
2024	6.822	6.663	6.742	6.742
2025	6.848	6.663	6.755	6.755
2026	6.875	6.663	6.769	6.769
2027	6.902	6.663	6.782	6.782
2028	6.928	6.663	6.796	6.796
2029	6.955	6.663	6.809	6.809
2030	6.981	6.663	6.822	6.822
2031	7.008	6.663	6.836	6.836
2032	7.035	6.663	6.849	6.849
2033	7.061	6.663	6.862	6.862
2034	7.088	6.663	6.876	6.876
2035	7.114	6.664	6.889	6.889
2036	7.141	6.664	6.902	6.902
2037	7.168	6.664	6.916	6.916
2038	7.194	6.664	6.929	6.929
2039	7.221	6.664	6.942	6.942
2040	7.248	6.664	6.956	6.956
2041	7.274	6.664	6.969	6.969
2042	7301	6.664	6.982	6.982
2043	7327	6.664	6.996	6.996
2044	7354	6.664	7.009	7.009
2045	7381	6.664	7.023	7.023
2046	7407	6.664	7.036	7.036

Fuente: Autor.

12.2. DOTACIÓN NETA MÁXIMA

Corresponde a la cantidad mínima de agua requerida para satisfacer las necesidades básicas de agua por habitante. Para este caso, se empleará el valor que se sustenta en la Resolución 0330 de 2017 para la demanda de agua según la altura sobre el nivel del mar del municipio, siendo esta de 120 L/Hab*día, ya que el municipio se ubica sobre los 2.500 m.s.n.m.

Tabla 21.Dotación neta máxima



ALTURA PROMEDIO SOBRE EL NIVEL DEL MAR DE LA ZONA ATENDIDA	DOTACIÓN NETA MÁXIMA (L/HAB*DÍA)
>2000 m.s.n.m.	120
100-200 m.s.n.m.	130
<1000 m.s.n.m.	140

Fuente: (Ministerio de Vivienda, 2017).

12.3. DOTACIÓN BRUTA MÁXIMA

Para la planta de tratamiento del municipio de Firavitoba se asigna un porcentaje de pérdidas a lo largo de la red de distribución máximo del 25%, teniendo en cuenta la información recopilada, enseguida se presenta el cálculo de la dotación.

$$DMB = \frac{D_{neta}}{(1 - \%p)}$$

$$DMB = \frac{120 \text{ L/hab} * \text{ dia}}{1 - 0,25}$$

$$DMB = 160 \text{ L/hab} * \text{ dia}$$

Donde:

DMB: Dotación máxima bruta L/hab*día

D_{neta}: dotación neta L/hab*día

%p: pérdidas técnicas en fracción porcentual

12.4. CÁLCULO DE CAUDALES

12.4.1. Caudal medio diario.



$$Qmd = \frac{P * DMB}{86400}$$

$$Qmd = \frac{7036 \text{ hab} * 160 \text{ L/hab} * \text{dia}}{86400}$$

$$Qmd = 13,03 \text{ L/s}$$

Donde:

Qmd: caudal medio diario en L/s

P: población proyectada

DMB: dotación máxima bruta L/hab*día

12.4.2. Caudal máximo diario.

$$QMD = Qmd * K1$$

$$QMD = 12,91 \text{ L/s} * 1,3$$

$$QMD = 16,94 \text{ L/s}$$

K1 para este caso corresponde a 1,3 acorde con la población proyectada, que corresponde a 6.969 habitantes, valor que está por debajo de los 12.500 habitantes. La anterior afirmación se realiza de acuerdo con el Artículo 47 Parágrafo 2 de la Resolución 0330 de 2017.



12.4.3. Caudal de diseño.

La ecuación para el caudal de diseño parte de las consideraciones descritas en el RAS 2017, ecuación para fuentes de abastecimiento superficiales.

$$QD = QMD * 2$$

$$QD = 16,94 \text{ L/s} * 2$$

$$QD = 33,88 \text{ L/s}$$

El caudal de diseño obtenido a tener en consideración es de 33,88 L/s.

Nota: Es importante resaltar que la Resolución 0330 de 2017, exige que el caudal de diseño sea igual al caudal máximo diario, es decir, de 16,94 L/s, sin embargo, esta misma Resolución deroga a las resoluciones 1096 de 2000, 0424 de 2001, 0668 de 2003, 1459 de 2005 y 2320 de 2009.

12.5. PROYECCIÓN DE LA RELACIÓN OFERTA-DEMANDA

Tal como se explica con anterioridad, la PTAP cuenta con dos conductos que abastecen las redes de distribución de agua potabilizada en el municipio, y que, adicionalmente se cuenta con reportes de los volúmenes y caudales de salida de la PTAP, permitiendo realizar un estimado de la relación oferta-demanda fundamentada en el recurso hídrico para uso doméstico municipal.

12.5.1. Suscriptores del sistema.

De acuerdo con los reportes brindados por la Unidad de Servicios Públicos del municipio de Firavitoba, para el año previo (2018) a la obtención de la concesión de aguas para consumo humano, el número total de suscriptores a ser atendidos comprendía 1.778 suscriptores en el casco urbano y 980 en el área rural (Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios, 2018).



12.5.2. Proyección del caudal de consumo.

Las unidades de la PTAP se encuentran en funcionamiento constante durante las 24 horas del día, por tal motivo, y con base en los datos de suscriptores, así como un índice de ocupación de vivienda para el municipio equivalente a 3,6 (según información obtenida por el DANE), es posible estimar el caudal requerido por el municipio de Firavitoba para el año 2018 tal y como se presenta a continuación:

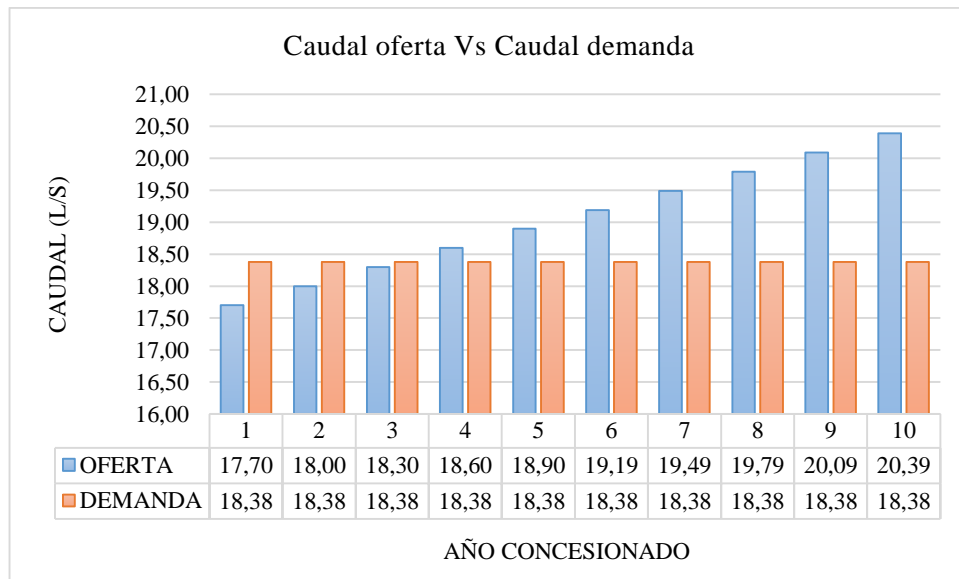
$$Q_{abastecimiento} = DMB * P * \frac{1}{86400}$$

$$Q_{abastecimiento} = 160 \text{ L/hab} * \text{dia} * 9929 \text{ hab} * \frac{1}{86400}$$

$$Q_{abastecimiento} = 18,38 \text{ L/s}$$

De mantenerse este caudal de consumo a lo largo del horizonte de 10 años para el cual fue otorgada la concesión de agua para consumo humano en el municipio de Firavitoba, el comportamiento de la relación oferta-demanda presentaría las siguientes características:

Gráfico 5. Proyección de la oferta respecto a la demanda año 2018.



Fuente: Autor.

Como se observa en la gráfica anterior se evidencia que, durante los primeros años de concesión de agua, existe un rezago relacionado con la sobre demanda de agua con respecto a la oferta. Sin embargo, esta problemática va reduciendo año a año a medida que el caudal requerido para ofertar se incrementa.

En este punto, es importante establecer que, según la información secundaria brindada por la USPD de Firavitoba, en el año 2014 se realizaron actividades de optimización, dentro de las cuales se logró incrementar la capacidad de operación de la PTAP pasando de 9,0 L/s a 14,0 L/s.



13. SELECCIÓN DE ALTERNATIVA

En conformidad con el Título C del RAS, se deben identificar diferentes escenarios o alternativas de solución, a fin de seleccionar la más apropiada para la comunidad, donde se lleve a cabo una evaluación desde el punto de vista técnico, económico, financiero y de impacto ambiental, con el objetivo de reconocer su viabilidad. Se deben considerar como mínimo los siguientes criterios:

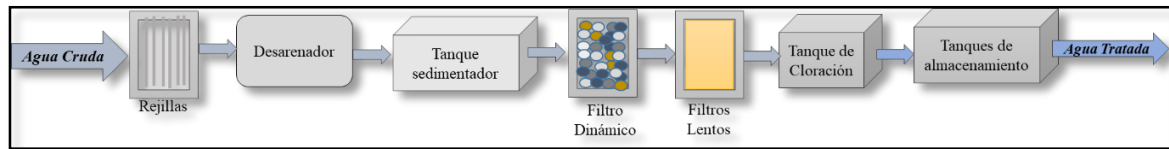
- Favorecer el desarrollo por etapas.
- Aprovechar los beneficios de la gestión por demanda.
- Aprovechar la infraestructura existente.
- Buscar la integridad de la cuenca.
- Atender los planes de ordenamiento del recurso hídrico.
- Conocer el mapa de riesgo de la calidad del agua para consumo humano.
- Investigar la disponibilidad tecnológica del medio.

13.1. PROPUESTAS DE ALTERNATIVAS

13.1.1. Primera alternativa.

A partir de la información recolectada con anterioridad, es indispensable dar una solución a las problemáticas existentes en el tren de tratamiento actual de la PTAP, por tal motivo, la primera propuesta de optimización de la planta se basa en mejorar las estructuras existentes, sin agregar unidades o hacer cambio total de la misma.

Gráfico 6. Primera alternativa.



Fuente: Autor.

Tal y como se ha expuesto hasta el momento, una de las problemáticas que enfrenta la PTAP de Firavitoba, se encuentra relacionada con la capacidad hidráulica de las estructuras de filtración rápida y sedimentación, pues se evidencia el aumento significativo en la lámina de agua que ingresa a dichas unidades, generando colapso en la capacidad hidráulica de las estructuras. En este sentido, se plantea las siguientes actividades:

- Redimensionar los módulos de filtración rápida para el caudal captado.
- Redimensionar la unidad de sedimentación con respecto al caudal captado.
- Redefinir el funcionamiento hidráulico de los espesores de material filtrante en filtros rápidos y lentos.
- Renovación de material para lechos de filtración rápida y lenta.
- Mejorar la capacidad hidráulica en la operación de la PTAP.
- Reducir el grado de dificultad y riesgo en las actividades de control y mantenimiento de las unidades de filtración rápida.
- Reducir el grado de dificultad y riesgo en las actividades de control y mantenimiento de las unidades de recepción de caudales.

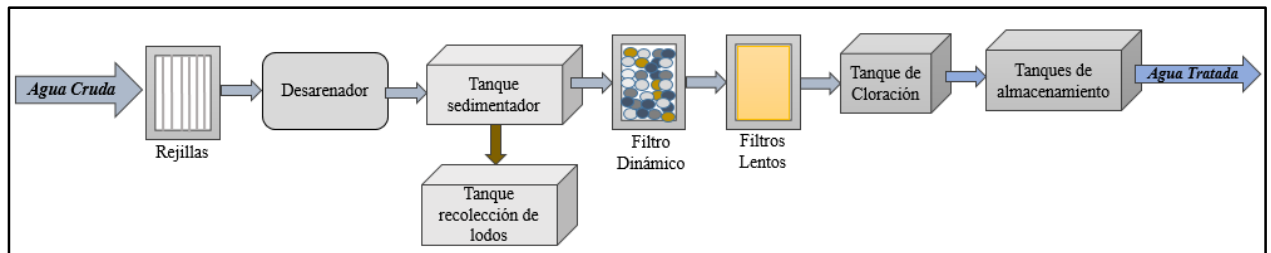
13.1.2. Segunda alternativa.

Para esta propuesta se busca mejorar el tren de tratamiento de la planta a partir de las estructuras existentes, partiendo del correcto funcionamiento de la misma, pues



de acuerdo con los resultados de laboratorio de los análisis de los diferentes parámetros, el tratamiento entrega agua óptima para consumo humano. Sin embargo, el caudal captado es superior al caudal de agua tratada, generando una insuficiencia en el abastecimiento de agua potable para los habitantes del municipio.

Gráfico 7. Segunda alternativa.



Fuente: Autor.

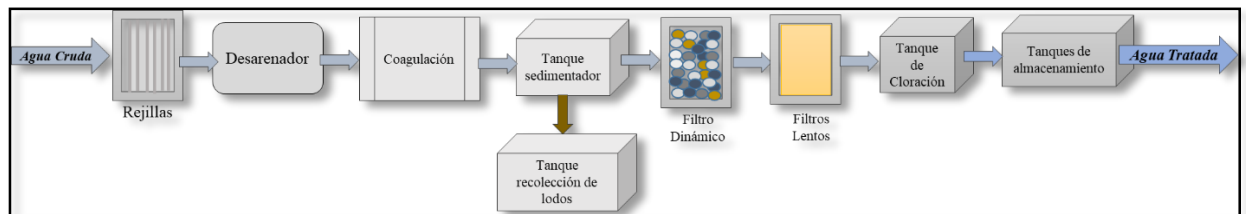
El tren de tratamiento presentado busca mejorar las rejillas a la entrada de la planta, con el fin de retener partículas grandes que son arrastradas durante la captación del agua, y antes de su paso por el desarenador. Además, se plantea:

- La ampliación del desarenador acorde con el caudal captado.
- Ampliar el tanque sedimentador e implementar una segunda unidad.
- Implementar una zona de recolección de lodos, donde se deshidraten y de acuerdo con su composición tengan una disposición final adecuada.
- Poner en funcionamiento una segunda unidad del filtro dinámico y redimensionamiento del existente.
- Implementación de estructuras de acceso y seguridad laboral en las unidades de tratamiento.

13.1.3. Tercera alternativa.

Para esta última alternativa se formula el perfeccionamiento del tren de tratamiento de la planta con base en las recomendaciones que se encuentran en el RAS, para las estructuras ya existentes.

Gráfico 8.Tercera alternativa.



Fuente: Autor.

En la revisión del Título C de RAS, se encuentra que para las estructuras existentes se hace unas recomendaciones para mejor funcionamiento, basadas en estas, se plantean las siguientes actividades:

- Rediseñar el tanque sedimentador e implementar una unidad más.
- Incorporar la coagulación en el tren de tratamiento, partiendo de la recomendación del RAS, ya que el filtro rápido requiere como pretratamiento la coagulación.
- Incluir la zona de recolección de lodos.
- Rediseñar e implementar una unidad de filtro dinámico.
- Renovación de material para lechos de filtración rápida y lenta.
- Implementación de estructuras de acceso y seguridad laboral en las unidades de tratamiento.



13.2. SELECCIÓN DE ALTERNATIVA SEGÚN CRITERIOS TÉCNICOS, AMBIENTALES Y ECONÓMICOS

Con el fin de seleccionar la alternativa más factible de implementar para el tren de tratamiento de la PTAP del municipio de Firavitoba, es estrictamente necesario realizar una comparación de las opciones planteadas teniendo en cuenta las consideraciones técnicas, ambientales y económicas. Siguiendo este orden, la selección de la alternativa se realizará de dos maneras, la primera mediante la matriz MGA y la segunda mediante indicadores sencillos.

13.2.1. Matriz MGA.

La metodología general ajustada (MGA) es una aplicación informática que sigue un orden lógico para el registro de información más relevante resultado de la formulación y estructuración de los proyectos de inversión pública. Esta se sustenta en la metodología de marco lógico y de los principios de preparación y evaluación económica de proyectos (Departamento Nacional de Planeación-DPN, 2017).

En esta metodología se cumplen tres condiciones:

- Se estructura como metodología, pues presenta una secuencia ordenada de formularios de manera sistemática para facilitar la toma de decisiones.
- Registra cualquier iniciativa de inversión pública, independiente al sector al que pertenezca y las fuentes de financiación.
- Ha evolucionado en el tiempo, por tanto, se entiende como ajustada.

La MGA está compuesta por módulos y capítulos organizados y secuenciales, para que el usuario registre progresivamente la información obtenida en el proceso de formulación. Abarca desde la identificación de una situación negativa experimentada por un grupo de personas y una o más alternativas de solución, así como la evaluación de la viabilidad técnica, social, ambiental y económica de cada una de las mismas. Lo anterior, permite elegir la más conveniente y programar el cumplimiento del objetivo general propuesto en términos de indicadores y metas (Departamento Nacional de Planeación-DPN, 2017).



Para este caso en específico, se desarrollaron dos módulos, el primero, de identificación, que busca analizar y comprender las situaciones que afectan a la población, mediante la técnica de árboles problemas y árboles de objetivos. Este comienza con el diagnóstico de la situación problemática y concluye con el análisis de posibles rumbos a favor de la población. El segundo, la preparación; donde se determinan aquellas variables que condicionan la ejecución de la alternativa, y que influyen en los costos y beneficios. De igual manera, se presenta una cadena de valor por las acciones planteadas para cada alternativa (Departamento Nacional de Planeación-DPN, 2017).

Las matrices de cada una de las alternativas se encuentran anexas al presente documento, (Ver ANEXOS 2, 3 y 4). Sin embargo, cabe resaltar que la alternativa que más beneficios aporta a la población en cuanto a costo- beneficio, es la alternativa 2.

13.2.2. Evaluación de criterios para las alternativas.

En este punto se realiza la comparación, mediante la definición de indicadores para cada criterio, lo cual permite evaluar cada alternativa y de esta manera, definir la factibilidad de su implementación. Para realizar la evaluación de cada una de las alternativas de tratamiento, se asignó un rango de 1 a 5, donde 1 equivale a una baja viabilidad y 5 a la mayor. Finalmente, se realiza la sumatoria por criterio y alternativa, la más viable corresponderá a la que obtenga un mayor puntaje. En las siguientes tablas se presentan la valoración de cada alternativa con su respectivo criterio evaluado y su calificación.

Tabla 22. Evaluación de alternativas

CRITERIO	INDICADOR	ALTERNATIVA 1	ALTERNATIVA 2	ALTERNATIVA 3	CALIFICACIÓN		
					ALTERNATIVA 1	ALTERNATIVA 2	ALTERNATIVA 3
TÉCNICO	Eficiencia	75%-85%	85%-90%	90%-100%	2	4	5
	Mantenimiento	Operario limpieza	Operario limpieza	Operario limpieza	3	3	3
	Complejidad tecnológica	Baja	Baja	Media	3	3	1



					TOTAL	8	10	9
AMBIENTAL	Olores	Baja	Baja	Media	3	3	2	
	Generación de subproductos	Baja	Baja	Media	4	4	3	
	Alteración del paisaje	Baja	Baja	Baja	4	4	4	
	Presencia de vectores	Baja	Baja	Baja	2	2	3	
					TOTAL	13	13	12
ECONÓMICO	Costos de inversión	Baja	Media	Alta	3	4	2	
	Costos de mantenimiento	Baja	Baja	Alta	4	4	2	
					TOTAL	7	8	4
SOCIAL	Mejora el suministro de agua	Baja	Media	Media	2	3	3	
	Solución a largo plazo	Baja	Media	Media	2	3	3	
	Mayor beneficio a los usuarios	Baja	Alta	Media	2	4	3	
					TOTAL	6	10	9

Fuente: Autor.

Partiendo de la calificación de las evaluaciones técnicas, ambientales, sociales y económicas, realizadas anteriormente mediante la valoración de los indicadores, se presenta la comparación entre las tres alternativas, lo que permite la selección final.

Tabla 23. Comparación y selección final de la alternativa del tren de tratamiento.



CRITERIO	CALIFICACIÓN ALTERNATIVA 1	CALIFICACIÓN ALTERNATIVA 2	CALIFICACIÓN ALTERNATIVA 3
TÉCNICO	8	10	9
AMBIENTAL	13	13	12
ECONÓMICO	7	8	4
SOCIAL	6	10	9
TOTAL	34	41	34

Fuente: Autor.

Una vez realizada la comparación entre la viabilidad técnica ambiental, económica y social de cada alternativa propuesta para el tren de tratamiento de la PTAP del municipio de Firavitoba, es posible concluir que la alternativa más recomendable acorde con la matriz MGA y la valoración por criterios es el número 2. Lo anterior, partiendo de los beneficios a largo plazo, pues la primera alternativa cuyos costos de inversión son más bajos, son arreglos necesarios para el tren existente, que sin modificaciones mayores generará la misma pérdida de agua, por exceso de captación.

Adicionalmente, la tercera alternativa presenta una complejidad mayor, así como un gasto en el suministro de coagulante y eventualmente de alcalinizante, dos insumos que no se están aplicando, por tal motivo conlleva más costos, tanto de inversión para la mejora de la planta existente, como para su funcionamiento y mantenimiento. De manera tal, que pensando en la población de Firavitoba se hace necesario una solución a largo plazo para mejorar el suministro de agua tratada.



14. DISEÑO Y CÁLCULOS DE LA ALTERNATIVA SELECCIONADA

Con base en los diferentes caudales de diseño obtenidos en el numeral 12, se procede a diseñar y rediseñar las unidades acordes con la alternativa 2, enseguida se presentan cada una de las unidades y sus dimensiones de diseño.

14.1. DISEÑO DE REJILLAS

El diseño de cada una de las unidades se realiza siguiendo los lineamientos del RAS, en cuanto a las rejillas se debe partir de la información presentada a continuación (Ministerio de Ambiente Vivienda y Desarrollo Territorial, 2017):

- Ancho del canal de entrada 0,3 m, debido a que es la longitud recomendada en los proyectos por la eficiencia que brinda al sistema.
- Inclinación de rejilla de 50°, para materiales como gravas y arenas de grosor grande y mediano.
- Tipo de limpieza manual, partiendo de la limpieza realizada por parte de la unidad en la planta de tratamiento.
- Grosor de la rejilla: mediano, puesto que se facilita la remoción de sólidos de tamaño mediano.
- Velocidad entre barras: (V_b) 0,5 m/s teniendo en cuenta que es un valor intermedio para el tipo de limpieza manual.
- Tipo de rejilla: (β) con un factor de forma G el cual le corresponde un valor de 1,78; se escoge esta forma de rejilla debido a su uso convencional en las plantas locales.
- Diámetro de las barras: (s) 1/2 pulgada o (s) 0,0127 m. este diámetro de rejillas es de uso convencional para plantas locales y muy usado por los fabricantes.
- Espaciamiento entre barras: (b) 30 mm o 0,03 m.



Los cálculos para cada una de las unidades se encuentran en el Anexo 5, enseguida se presenta una tabla resumen de los valores obtenidos para el diseño de las rejillas.

Tabla 24. Resultados parámetros de diseño de las rejillas

PARÁMETRO DE DISEÑO DE LAS REJILLAS		
PARÁMETRO	SÍMBOLO	VALOR
Caudal de diseño (m ³ /s)	Q	0,03
Ancho del canal (m)	B	0,3
Inclinación de la rejilla (°)	α	50
Velocidad entre barras (m)	Vb	0,5
Tipo de rejilla	β	1,78
Diámetro de las barras (m)	s	0,013
Espaciamiento entre barras (m)	b	0,03
Área útil (m)	Au	0,07
Eficiencia de la rejilla (%)	E	70,26
Área total de rejilla (m)	At	0,10
Chequeo de velocidad de aproximación (m ² /s)	Va	0,35
Número de barras	Nb	6
Separación externa (m)	Se	0,05
Altura de la lámina de agua (m)	H	0,32
Factor k	K	0,43
Pérdida de energía (m)	hf	0,003

Fuente: Autor.



14.2. DISEÑO DESARENADOR

En este apartado se rediseña el desarenador existente, acorde con el caudal de diseño, para lo cual se realizan los cálculos siguiendo los lineamientos del RAS, partiendo de las consideraciones presentadas (Ministerio de Ambiente Vivienda y Desarrollo Territorial, 2017).

- Viscosidad cinemática: se toma como valor $1,05 \times 10^{-2} \text{ cm}^2/\text{s}$, valor acorde con la temperatura dada al evaluar turbiedad en el agua tratada de la PTAP (18°).
- Diámetro de aproximación de partículas: 0,005 cm, valor correspondiente al diámetro de partículas mínimo que puede remover el sedimentador (tamaño de partículas removidas: 0,05 - 1mm).
- Remoción: 75%-HAZEN 3: este valor se toma teniendo en cuenta la exigencia del RAS, es un porcentaje de remoción superior a 75%, con Hazen correspondiente de 3, no se toma mayor teniendo en cuenta los procesos y estructuras de la PTAP.
- Relación longitud/ancho: 3 a 1, esta se asigna de acuerdo con parámetros de diseño y teniendo en cuenta la relación con mejores resultados mostrados.
- Gravedad: se toma el valor de gravedad como el valor asignado a la variable física, que según las unidades que se trabajen será $9,81 \text{ m/s}^2$ o 981 cm/s^2 .
- P_e de la partícula: se toma el peso específico de la partícula de 2,65.
- P_e agua: se considera un valor de peso específico del agua de 1.
- f : se toma un valor de 0,03 para la constante de existencia de coagulación previa.
- k : para la constante en función de las partículas se toma un valor de 0,04 (perteneciente a una arena).
- H : 1,5 m, se escoge este valor de altura como el mínimo permitido por el RAS.



En la siguiente tabla se presentan los datos iniciales tenidos en cuenta para los cálculos del desarenador.

Tabla 25. Datos iniciales desarenador

DATOS INICIALES		
Parámetro	Valor	Unidad
Viscosidad Cinemática	0,0105	cm ² /s
Diámetro aproximado de partícula	0,005	cm
Remoción	75%	
Relación Longitud-Ancho	3-1	
Gravedad	9,81	m/s ²
Pe (partícula)	2,65	
Pe (agua)	1	
f	0,03	
k	0,04	
H	1,5	m
Caudal de diseño	0,03	m ³ /s

Fuente: Autor.

Los cálculos relacionados con el desarenador se encuentran en su totalidad descritos en el *Anexo 5*. Así mismo, a continuación, se presentan los resultados de los cálculos.

Tabla 26. Resultado de los cálculos

PARÁMETRO	RESULTADO	UNIDAD
Velocidad de sedimentación (Vs)	0,21	cm/s
Tiempo de remoción de partícula (t)	700,58	s
Período de retención hidráulica (θ)	2101,75	s
Volumen de almacenamiento del desarenador (Vol)	71,21	m ³



Área superficial del desarenador (As)	47,47	m ²
Carga hidráulica (q)	0,00	m ³ /m ² *s
Ancho del tanque (B)	3,98	m
Longitud del Tanque (L)	11,93	m
Velocidad De Arrastre (Vr)	9,29	cm/s
Vh	490,58	m/día
Hv	0,03	m ² /s
Vv	0,31	

Fuente: Autor.

Con los valores encontrados en la tabla anterior, se realizan unas verificaciones matemáticas establecidas por el RAS, como se aprecia en la tabla siguiente todas cumple.

Tabla 27. Verificaciones matemáticas

VERIFICACIONES		
$V_h < 20 V_s$	$490,58 < 3699,78$	cumple
$9 < V_h/q < 15$	$9 < 7,96 < 15$	cumple
$V_h < V_r$	$490,58 < 8027,671$	cumple

Fuente: Autor.

Por último, en cuanto a los cálculos del sedimentador, se presentan los valores obtenidos para el dimensionamiento del tanque.

Tabla 28. Dimensionamiento del tanque

DIMENSIONAMIENTO DEL TANQUE		
PARÁMETRO	RESULTADO	UNIDAD
CÁMARA DE AQUIETAMIENTO		
Profundidad	0,5	m
Ancho	1,33	m



Longitud	1	m
PANTALLA DE ENTRADA		
Profundidad	0,75	m
Distancia a cámara de aquietamiento	2,98	m
ALMACENAMIENTO DE LODOS		
Profundidad Máxima	0,4	m
Pendiente del fondo	4%	
Distancia a cámara de aquietamiento	3,98	m
Distancia a vertedero de salida	7,96	m
Pendiente transversal	0,10	
PANTALLA DE SALIDA		
Profundidad	0,75	m
Distancia a vertedero de salida	0,42	m
BORDE LIBRE	28	cm

Fuente: Autor.

14.3. DISEÑO DEL SEDIMENTADOR

En el desarrollo de este apartado se rediseña el sedimentador existente, acorde con el caudal de diseño proyectado, para lo cual se realizan los cálculos siguiendo los lineamientos del RAS, partiendo de las consideraciones presentadas (Ministerio de Ambiente Vivienda y Desarrollo Territorial, 2017). Se considera necesario especificar que el sedimentador existente y diseñado son el mismo tipo, es decir, sedimentador de flujo horizontal.

- Tiempo de retención: 3 horas, partiendo de ser un valor intermedio y funcional para el diseño.
- Carga superficial: $25 \text{ m}^3 \cdot \text{día}^{-1} \cdot \text{m}^{-2}$, siendo un valor intermedio alto según los lineamientos descritos por el RAS.



- Relación longitud/ancho: 3 a 1, asignada de acuerdo a parámetros de diseño, y teniendo en cuenta la relación con mejores resultados.
- La velocidad de entrada óptima a la que se asume es de 15 cm/s, así como una pendiente de fondo transversal de 1%.
- Se asumirá una carga de rebose de $4 \text{ L}\cdot\text{s}^{-1}\cdot\text{m}^{-1}$, asignada de acuerdo a parámetros de diseño.
- Además, se asumirán el diámetro de desagüe (20cm), altura de lodos (50 cm) y borde libre (40 cm), de acuerdo con los parámetros de diseño.

En la tabla se presentan los valores obtenidos de los respectivos cálculos para el diseño del sedimentador.

Tabla 29. Parámetros de diseño sedimentador

DISEÑO SEDIMENTADOR DE FLUJO HORIZONTAL			
PARÁMETRO	VARIABLES	VALOR	RESULTADO
Tiempo de retención (horas)			4
Carga superficial q ($\text{m}^3/\text{día}\cdot\text{m}^2$)			28
Relación longitud ancho			3 a 1
Carga de rebose Cr (l/s.m)			7
Velocidad de entrada Ve (cm/s)			0,15
Volumen de sedimentación (m^3)	Q(m^3/s)	0,0339	488
	t(s)	14400	
Área superficial As (m^2)	Q($\text{m}^3/\text{día}$)	2928,96	105
Ancho del tanque B (m)			6
Longitud del tanque L (m)			18
Profundidad del tanque H (m)			5



Velocidad horizontal Vh (cm/s)			0,1230
Área de orificios en la cámara de entrada Ao (cm ²)	Q(cm ³ /s)	33900	226000,00
Longitud del vertedero de salida Lv(m)	Q(L/s)	33,9	5
Pendiente de fondo transversal %			1%
Diámetro de desagüe (cm)			20
Altura de lodos (cm)			50
Borde libre (cm)			40

Fuente: Autor.

De los resultados obtenidos al diseñar el sedimentador, se debe partir de que la relación sugerida en el RAS, ancho-longitud, así como del caudal de diseño para las unidades obliga a modular las dimensiones y ser dividida en tres. Por otro lado, esto se encuentra fundamentado en el mismo RAS donde se identifica que es necesario tener mínimo dos unidades de sedimentación (Ministerio de Ambiente Vivienda y Desarrollo Territorial, 2017).

Tabla 30. Dimensiones moduladas

DIMENSIONES SEDIMENTADOR	
Ancho del tanque B (m)	2
Longitud del tanque L (m)	6
Profundidad del tanque H (m)	1,7

Fuente: Autor.

14.4. DISEÑO FILTRO RÁPIDO

El filtro a rediseñar es un filtro rápido de arena, debido a que es el filtro existente en la planta, a continuación, se presentan las características para el diseño de los filtros de arena según la Escuela Colombiana de Ingeniería. Adicionalmente en el Anexo 5, se presenta los cálculos.



Tabla 31. Características de un filtro rápido de arena

FILTRO RÁPIDO DE ARENA	
Tasa de filtración	350 m/d
Medio filtrante	Arena
Distribución del medio	Estratificado fino a grueso
Duración de la filtración	12 a 36 horas
Agua de lavado	2 a 6% de agua filtrada
Profundidad del lecho filtrante	0,60 a 0,75 m
Profundidad de grava	Típico: 0,45m

Fuente: Romero, (2000).

Para la profundidad del lecho filtrante se asume un valor de 0,70 m según las características que presenta un filtro rápido de arena. Por otro lado, el filtro rápido puede tener una profundidad convencional de 0,6 m a 0,9 m o de capa profunda de más de 0,9 m de altura, para este caso, se asume de 0,9 m.

Tabla 32. Cálculos diseño Filtros Rápidos

PARÁMETRO	VALOR	UNIDAD
Número de filtros (N)	2	
Tasa de filtración	350	m/día
Material de lecho filtrante	8,36	m ²
Largo de lecho filtrante	2,89	m
Ancho del lecho filtrante	2,89	m
Profundidad de grava	0,4 m	m
Profundidad de arena	0,3	m

Fuente: Autor.



15. ANÁLISIS DEL DISEÑO DEL SISTEMA PROPUESTO

Se realizará el análisis comparativo entre el sistema de tratamiento actual y la alternativa propuesta durante el desarrollo del proyecto, es de aclarar que, aunque la PTAP cumplió su vida útil sigue abasteciendo a la población con agua de calidad. Seguidamente se presenta un recorrido descriptivo de las unidades propuestas y su respectivo paralelo con las existentes:

- **Rejillas:** en esta unidad se propone que el tipo de limpieza sea manual, algo que coincide con la unidad existente, la cual busca principalmente retirar objetos de un tamaño considerable que arrastra el efluente hasta la entrada de PTAP. Actualmente cuenta con una rejilla única, muy simple, unificada al desarenador.
- **Desarenador:** el desarenador propuesto cumple con las mismas funciones del existente, sin embargo, tendrá más capacidad de captación de agua, pues se rediseño acorde con el caudal proyectado.
- **Sedimentador de flujo horizontal:** la unidad existente es la que presenta junto con el filtro rápido los inconvenientes de excesos de agua, para lo cual se re dimensionó la misma, esperando beneficios a futuro.
- **Filtro rápido de arena:** la unidad existente trata el agua que su capacidad operativa le deja, aunque se requiere del mejoramiento de la misma como una unidad más, lo cual hace parte de las mejoras propuestas.

En cuanto a las demás unidades que conforman el sistema de tratamiento presentan una buena funcionalidad, donde no se evidenciaron excesos de agua, aunque se requiera el cambio de lechos en los filtros lentos, son unidades que funcionan de una manera óptima. Por otro lado, no sé propone una estructura como la canaleta parshall para la medida de caudal, pues es menos costoso la instalación de macromedidores.



16. CONCLUSIONES

El agua captada del Lago de Tota no debe ser utilizada directamente por la población ya sea para consumo humano o para riego de alimentos, pues de acuerdo con los resultados de los análisis de laboratorio, no cumple con los valores máximos permisibles para los parámetros microbiológicos de la Resolución 2115 de 2007, ya que obtuvo como resultado 1321 NMP y 984 NMP, para *coliformes totales* y *E-coli* respectivamente, siendo un riesgo alimentario la utilización directa de la misma.

La calidad de agua suministrada a los habitantes del municipio de Firavitoba cumple a cabalidad con los parámetros exigidos en la normativa (Resolución 2115 de 2007), siendo óptima para consumo humano, es decir, que no genera ningún riesgo sanitario al ser utilizada en diferentes actividades domésticas, de esta manera se verifica que la PTAP cumple con su función principal. Sin embargo, se deben tener presente los valores altos en algunos parámetros como la alcalinidad total (56,6 mg/l CaCO_3), calcio (20,7 mg Ca/l), conductividad (109,7 $\mu\text{S/cm}$) y dureza total (mg/L CaCO_3), parámetros que afectan el sistema de tuberías de suministro y pueden generar afectaciones a la salud de la población.

La principal falencia del sistema de tratamiento del municipio de Firavitoba, es la antigüedad de la planta, de acuerdo con la información recolectada está ya cumplió con su vida útil y su caudal de diseño fue calculado para una población más reducida que la actual, lo que causa las principales falencias en la operación del tratamiento.

El caudal que ingresa a la planta para ser tratado, es mucho mayor al caudal de salida, generando unos excesos y desbordamientos por las paredes de las unidades de sedimentación y filtración rápida, razón por la que se determinó que la principal causa de estas fallas es la baja capacidad operativa de las unidades, así mismo, estos problemas de desbordamiento de agua han ido deteriorando las unidades a nivel estructural.

No se cuenta con medidores de caudal a la entrada de la PTAP, razón por la cual no se tiene un registro exacto del caudal captado, de igual manera existe deterioro a nivel físico, pues las válvulas presentan desgaste, las estructuras de acceso a las unidades se oxidaron con el paso del tiempo y no se han reparado, hay deterioro en la pintura, lo anterior, complica de manera general acciones de mantenimiento, control y acceso.



Los lechos de los filtros cuentan con más de 20 años de instalación y suministro, lo cual ha generado un desgaste en los materiales, perdiendo su capacidad de tratamiento, adicionalmente la estructura interna de los filtros no cuenta con mantenimiento puntual.

La información recolectada con las visitas, así como de los diferentes documentos con los que cuenta la unidad de servicios públicos y la alcaldía, fueron indispensables para determinar y priorizar las falencias de la planta de tratamiento, sin embargo, en algunos casos la información no es congruente.

Cada una de las alternativas fueron consideradas en base a las falencias detectadas en las unidades y de la planta en general, lo que proporcionó que cada una de ellas fueran indispensables, aunque, todas están planeadas conforme al RAS, es decir, buscar la opción más viable en cuanto a costo-beneficio aprovechando el sistema de tratamiento existente.

La alternativa seleccionada como la más viable en cuanto a los diferentes ámbitos evaluados (económicos, sociales, ambientales y operativos), fue escogida mediante dos metodologías diferentes por los beneficios a nivel general. No obstante, aunque es la alternativa recomendada, la primera es indispensable para mejorar el funcionamiento hidráulico, mientras que la última alternativa se basa en las condiciones que el RAS recomienda para el tren de tratamiento existente.

Los cálculos y diseños son indispensables para plantear de una manera más completa como se estructura y en que ubicación dentro del predio tendrán cada una de las unidades, se recomienda la alternativa para mejorar el abastecimiento de agua potable, ya que puede ser un punto de partida para llevar a cabo más estudios pertinentes para la optimización del proceso de tratamiento de agua potable en el municipio de Firavitoba, Boyacá.

El presente documento tiene un desfase, ya que de acuerdo con la normativa vigente la Resolución 0330 de 2017, presenta otros parámetros de diseño diferentes a los expuestos, generando que el caudal de diseño sea mucho menor al formulado.



17.RECOMENDACIONES

Es indispensable instalar las escaleras, barandales, así como de diferentes estructuras que permitan el correcto y fácil acceso a las unidades de tratamiento, pues las actividades de mantenimiento y limpieza se ven restringidas, adicionalmente hay una probabilidad de riesgos a accidentes por parte de los trabajadores.

Los filtros requieren de un cambio de lechos, razón por la cual se recomienda la instalación de nuevo material que cumpla con la profundidad requerida para cada capa con la que se cuenta. Esta será una actividad compleja, debido a la profundidad y al poco espacio de la planta. Por otro lado, la zona de lavado tiene espacio reducido, así que las actividades de limpieza de material una vez colmatado se vuelven jornadas extensas.

La caseta de laboratorio, aunque cuenta con materiales, equipos e implementos necesarios, requiere de orden, limpieza de mesones, así como cortinas para los mismos, por otro lado, en la zona de baño, no se cuenta con puerta, adicionalmente en este mismo cuarto se disponen insumos requeridos para la zona de cloración.

Aunque la planta cuenta con señalización para las unidades del tratamiento, esta se encuentra en un estado de deterioro, además falta enmarcar aquellas zonas de disposición de residuos dentro de la planta, pues, aunque se cuenta con contenedores en muchas ocasiones los mismos operarios no hacen disposición final adecuada de los mismos.

Se requiere programar actividades de limpieza de filtros con menos prolongación de tiempo, acorde con lo observado en las visitas, el exceso de agua disminuye cuando se realiza limpieza al filtro rápido, y estas se realizan cada 15 a 30 días, porque la tarea de limpieza es tediosa y se requiere de un equipo de personas considerables que apoyen estas dinámicas, los cuales están a disposición de la alcaldía.

Se recomienda dar cumplimiento a las Resoluciones 1076 de 2003 y 1570 de 2004, expedidas por el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Territorial, por las cuales se actualiza el Plan Nacional de capacitación y asistencia técnica para el sector de agua potable, pues tal como se describe en el título C del RAS, los trabajadores vinculados directa o indirectamente a las entidades prestadoras de los servicios de



acueducto, alcantarillado, y aseo deberán estar certificados en sus respectivos oficios.

Es necesario implementar actividades de mantenimiento preventivo, donde se elabore un plan de mantenimiento preventivo de acuerdo con los manuales de mantenimiento de la planta, elaborar un inventario técnico, clasificación de instalaciones y equipos. Se propone la identificación de las unidades críticas del proceso y las fallas para posteriormente realizar el mantenimiento de las mismas.



REFERENCIAS

ALCALDÍA DE FIRAVITOBA. Programa de uso eficiente y ahorro del agua del municipio de empresa departamental de servicios públicos de Boyacá s.a. 2020.

ALCALDÍA DE FIRAVITOBA. Esquema de ordenamiento territorial del municipio de Firavitoba. 2009. [En línea]. [Consultado 01 de Mayo de 2021] Disponible en: <https://www.dapboyaca.gov.co/planes-de-ordenamiento-territorial-2/>

BECERRA Jeison & ALVARADO Ronald. Diagnóstico y optimización de la planta de tratamiento de agua potable del municipio de Apulo en el departamento de Cundinamarca. 2018. p. 96.

CORPES CENTRO ORIENTE CONSEJO REGIONAL DE PLANIFICACIÓN. Estudio y Diseño de Planta de Tratamiento acueducto, Municipio de Firavitoba (Boyacá). 1991. pp.57-85.

CASTRO Jonathan & CORTÉS Andrés. Diagnóstico y propuesta de optimización de los sistemas de captación y tratamiento de agua potable del acueducto de Leticia- Amazonas. 2019. p. 149.

DANE. Censo Nacional de población y vivienda. 2018. [En línea]. [Consultado 01 de mayo de 2021] Disponible en: <https://www.dane.gov.co/index.php/estadisticas-por-tema/demografia-y-poblacion/proyecciones-de-poblacion>

DEPARTAMENTO NACIONAL DE PLANEACIÓN-DPN. 2017. *Guía de apoyo para la formulación de proyectos de inversión pública y diligenciamiento de la MGA*. [En línea]. [Consultado 28 de junio de 2021] Recuperado de: [http://www.granadameta.gov.co/Conectividad/Documentos MGA Web/Guía MGA Web.pdf](http://www.granadameta.gov.co/Conectividad/Documentos%20MGA%20Web/Guía%20MGA%20Web.pdf)

FARHAOUI Mohamed & DERRAZ Mustapha. Review on Optimization of Drinking Water Treatment Process. Journal of Water Resource and Protection vol. 08, no. 08. 2016. pp. 777–786.



GUZMÁN Blanca, NAVA Gerardo, BEVILACQUA Paula. Vigilancia de la calidad del agua para consumo humano en Colombia: desafíos para la salud ambiental. Rev. Fac. Nac. Salud Pública, 34(2). 2016 175-183p. DOI: 10.17533/udea.rfnsp.v34n2a06.

INGENIERÍA, G. Y PERFORACIONES. I. L. 2009. ESQUEMA DE ORDENAMIENTO TERRITORIAL MUNICIPIO DE FIRAVITOBA. [En línea]. [Consultado 01 de mayo de 2021] Disponible en: <https://www.dapboyaca.gov.co/planes-de-ordenamiento-territorial-2/>

INSTITUTO NACIONAL DE SALUD. Boletín de vigilancia de la calidad del agua para consumo humano. Bogotá, Colombia. 2020. [En línea]. [Consultado 01 de junio de 2021] Disponible en: <https://www.ins.gov.co/sivicap/paginas/sivicap.aspx>

MARTÍNEZ Carlos. 2019. Potabilización del agua. España. Editorial ELEARNING S.L. 2019. p 165. [En línea]. [Consultado 13 de junio de 2021] Disponible en: <https://books.google.com.co/books?id=XfIDwAAQBAJ&printsec=frontcover&dq=que+es+el+tratamiento+de+agua+potable&hl=es&sa=X&ved=2ahUKEwitie7LnJXuAhVpGVkFHdDVDSwQ6AEwA3oECAMQAg#v=onepage&q=que es el tratamiento de agua potable&f=false>

MMARTINEZ Myriam. Diagnóstico y optimización del sistema de potabilización del municipio de Jenesano-Boyacá. Universidad nacional abierta y a distancia-UNAD. 2018. [En línea]. [Consultado 13 de abril de 2021]. Disponible en: <https://repository.unad.edu.co/handle/10596/24405>

MINISTERIO DE VIVIENDA CIUDAD Y TERRITORIO COLOMBIA. 2010. *Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico - Título C. Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo territorial.*

MINISTERIO DE VIVIENDA CIUDAD Y TERRITORIO COLOMBIA 2017. *Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico: TÍTULO C.* (A. Vargas, Ed.). Bogotá, Colombia.



Ministerio De La Protección Social. Decreto 1575 de 2007: Por el cual se establece el Sistema para la Protección y Control de la Calidad del Agua para Consumo Humano vol. 2007. Mayo 2007. pp. 1–14.

MINISTERIO DE LA PROTECCIÓN SOCIAL, & MINISTERIO DE MEDIO AMBIENTE VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL. 2007. Resolución Número 2115 de 2007. *Minambiente*, 23. [En línea]. [Consultado 13 de mayo de 2021]. Recuperado de: http://www.minambiente.gov.co/images/GestionIntegraldelRecursoHidrico/pdf/normativa/Res_2115_de_2007.pdf

MINISTERIO DE VIVIENDA, CIUDAD Y TERRITORIO. 2017. 0330 - 2017.Pdf. [En línea]. [Consultado 13 de junio de 2021]. Recuperado de: <http://www.minvivienda.gov.co/ResolucionesAgua/0330 - 2017.pdf>

MINISTERIO DE VIVIENDA CIUDAD Y TERRITORIO COLOMBIA. 2000. *RAS 2000, Título D - Sistemas de recolección y evacuación de aguas residuales domésticas y aguas lluvias. Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico*. [En línea]. [Consultado 23 de abril de 2021]. http://www.minvivienda.gov.co/Documents/ViceministerioAgua/TITULO_D.pdf

MOONA Nashita. Assessing and optimizing biofilter performance in drinking water treatment. Chalmers University of Technology. Gothenburg, Sweden. 2020. p. 79.

OMS. Agua potable salubre y saneamiento básico en pro de la salud. [En línea]. WHO. 2013. Disponible en: https://www.who.int/water_sanitation_health/mdg1/es/

RÍOS Sandra, AGUDELO Ruth & GUTIÉRREZ Lina. Patógenos e indicadores microbiológicos de calidad del agua para consumo humano. *Rev. Fac. Nac. Salud Pública*, vol. 35, no. 2. Mayo 2017. pp. 236–247.

RIVERA Álvaro. Evaluation of management models of rural projects of drinking water and basic sanitation implemented in the llanos de Colombia. *DYNA*, vol. 85, no. 204. 2018. pp. 289–295.



RODRÍGUEZ VILLAMIL, Natalia; RESTREPO MESA, Sandra & ZAMBRANO-BEJARANO, Ingrid. The lack of water and its implications regarding feeding practice in Turbo, Antioquia. Medellín. *Revista de Salud Pública*. 2013. 422-434 p.

ROMERO, J. 2000. *Potabilización del agua. Escuela Colombiana de Ingeniería (3ra ed.)*. ALFAOMEGA GRUPO EDITOR, S.A.

SECRETARÍA DE SALUD DE BOYACÁ. Reporte condiciones de Calidad del Agua para Consumo Humano. 2019. [En línea]. [Consultado 15 de junio de 2021] Disponible en: <https://www.boyaca.gov.co/secretariasalud/>

SUN Yongjun, ZHOU Shengbao, CHIANG Pen-chi & SHAH Kinjal. Evaluation and optimization of enhanced coagulation process : Water and energy nexus. *Water-Energy Nexus*, vol. 2, no. 1.2020. pp. 25–36.

SUPERINTENDENCIA DE SERVICIOS PÚBLICOS DOMICILIARIOS. Evaluación integral de prestadores Firavitoba. 2018. [En línea]. [Consultado 15 de junio de 2021] Disponible en: <https://www.superservicios.gov.co/>

WORLDWATCH INSTITUTE. 2008. *La Situación del mundo 2007 Nuestro Futuro Urbano*. Madrid: Icaria editorial s.a., 2008. [En línea]. [Consultado 15 de mayo de 2021] Recuperado de: <https://books.google.com.co/books?id=zv9dbqBAhJEC&pg=PA207&dq=humedal+NAKivubo+Uganda&hl=es&sa=X&ved=2ahUKEwif7a-f68DqAhUOVN8KHfgIB5YQ6AEwAnoECAIQAg#v=onepage&q=humedalNAKivuboUganda&f=false>

UNESCO. 2020. Informe Mundial de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos 2020. [En línea]. [Consultado 15 de mayo de 2021] Recuperado de: <https://books.google.com.co/books?id=z5KNDwAAQBAJ&printsec=frontcover&dq=escasez+de+agua+mundial&hl=es&sa=X&ved=2ahUKEwikq9HN7cDqAhXKmuAKHWumC-wQ6AEwAXoECAIQAg#v=onepage&q=escasez de agua mundial&f=false>

Universidad de Cambridge. (2020). *The Sustainable Development Goals and COVID-19. Sustainable Development Report 2020*. Pica Publishing Ltd. 2020. 520p.



VIDAL, A., TORRES, P., HERNÁN, C., & VÉLEZ, C. 2009. *Water safety plans. Fundamentals and prospects for implementing them in Colombia. DICIEMBRE DE* (Vol. 29).

ZHOU Zhiwei, et al. Ultrasonics - Sonochemistry Optimized removal of natural organic matter by ultrasound-assisted coagulation of recycling drinking water treatment sludge. *Ultrason. - Sonochemistry*, vol. 48, no. 3. 2018. pp. 171–180.



ANEXOS



Anexo 1. Mapa de captación



Anexo 2. Matriz MGA Alternativa 1



Anexo 3. Matriz MGA Alternativa 2



Anexo 4. Matriz MGA Alternativa 3



Anexo 5. Cálculos del diseño de las unidades

➤ REJILLAS.

Enseguida se presentan las ecuaciones tomadas en cuenta para los respectivos cálculos.

➤ Área útil

$$Au = \frac{Q}{vb}$$

Donde:

Q : Caudal de diseño (m³/s)

vb : Velocidad entre barras (m/s)

➤ Eficiencia de la rejilla

Donde:

$$E = \left(\frac{b}{b + s} \right) * 100$$

b : Espacio entre barras (m)

s : Diámetro de las barras (m)



- Área total de la rejilla

$$At = \frac{Au}{E}$$

Donde:

Au : Área útil (m^2)

E : Eficiencia de la rejilla

- Chequeo de velocidad de aproximación

$$Va = \frac{Q}{At}$$

Donde:

Q : Caudal de diseño (m^3/s)

At : Área total de rejilla (m^2)

Nota: el valor cumple con lo establecido en los parámetros de control de diseño del RAS.

- Número de barras

$$Nb = \frac{B - b}{b + s}$$



Donde:

B : Ancho de canal (m)

b : Espacio entre barras (m)

s : Diámetro de las barras (m)

➤ Separación externa

$$Se = \frac{B - (Nb * s) - (Nb - 2) * b}{2}$$

Donde:

B : Ancho de canal (m)

Nb : Número de barras

b : Espacio entre barras (m)

s : Diámetro de las barras (m)

➤ Altura de la lámina de agua

$$H = \frac{At}{B}$$

Donde:



A_t : Área total de la rejilla (m^2)

B : Ancho de canal (m)

➤ Factor k para la pérdida de energía

$$K = \beta \left(\frac{s}{b} \right)^{1,33} \text{sen}(\alpha)$$

Donde:

β : Tipo de rejilla

s : Diámetro de las barras (m)

b : Espacio entre barras (m)

α : Inclinación de la rejilla ($^\circ$)

➤ Pérdida de energía

$$hf = K * \frac{Va^2}{2g}$$

Donde:

K : Factor k



V_a : Velocidad de aproximación (m/s)

g : Gravedad (m/s²)

Nota: la pérdida de energía se encuentra por debajo de lo establecido por el RAS ($\leq 75\text{cm}$)

➤ **DESARENADOR**

Enseguida se presentan las ecuaciones tomadas en cuenta para los respectivos cálculos.

➤ Velocidad de sedimentación

$$V_s = \frac{g}{18} * \frac{(\rho_s - 1)}{(\nu)} * (d^2)$$

Donde:

g : Gravedad (cm/s²)

ρ_s : Peso específico de la partícula

ν : Viscosidad cinemática (cm²/s)

d : Diámetro de la partícula (cm)

➤ Tiempo de remoción de la partícula



Donde:

$$t = \frac{H}{V_s}$$

H : Altura (cm)

V_s : Velocidad de sedimentación (cm/s)

- Periodo de retención hidráulica

$$\theta = \#HAZEN * t$$

Donde:

$\#HAZEN$: Número de Hazen

t : Tiempo de retención de la partícula (s)

Nota: Cumple con el valor establecido para este parámetro, dado que el Ras establece un rango de 0,4 a 4 h para el periodo de retención hidráulica del desarenador.

- Volumen de almacenamiento del desarenador

$$Vol = Q * \theta$$

Donde:



Q : Caudal de diseño (m^3/s)

θ : Período de retención hidráulica (s)

➤ Área superficial del desarenador

$$As = \frac{Vol}{H}$$

Donde:

Vol : Volumen de almacenamiento del desarenador (m)

H : Altura (m)

➤ Cálculo de la carga hidráulica

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

Donde:

Q : Caudal de diseño (m^3/s)

As : Área superficial del desarenador (m^2)

➤ Ancho del tanque



$$B = \sqrt{\frac{As}{3}}$$

Donde:

As: Área superficial del desarenador (m²)

Nota: el RAS 2017 exige como mínimo un ancho de tanque de 60 cm, por ende, el valor del ancho cumple con la norma.

➤ Longitud del tanque

$$L = B * 3$$

Donde:

B: Ancho del tanque (m)

➤ Velocidad de arrastre

$$VR = \sqrt{\frac{8k}{f} * g * (\rho_s - \rho) * d}$$

Donde:

k: Constante en función de las partículas

f: Constante de existencia de coagulación previa



g : Gravedad (cm/s^2)

ρ_s : Peso específico de la partícula

ρ_s : Peso específico del agua

d : Diámetro de la partícula (cm)

➤ V_h

$$V_h = \frac{L * q}{H}$$

Donde:

L : Longitud del tanque (m)

q : Cálculo de la carga hidráulica (m/día)

H : Altura (m)

➤ H_v

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

Donde:

Q : Caudal de diseño (m^3/s)



B : Ancho del tanque (m)

➤ V_v

$$V_v = \frac{Q}{B * H_v}$$

Donde:

Q : Caudal de diseño (m^3/s)

B : Ancho del tanque (m)

H_v : m^2/s

VERIFICACIONES MATEMÁTICAS

$$V_h \leq 20 V_s$$

Nota: el valor cumple con la verificación que indica el RAS 2017, ya que V_h es menor que 20 veces V_s , tal como se observa en la tabla.

$$9 < 20 \frac{V_h}{q} < 15$$

Nota: el valor cumple con la verificación que indica el RAS 2017, pues al realizar el coeficiente entre V_h y el cálculo de la carga hidráulica, se encuentra entre 9 y 15.

$$V_h < 20 V_R$$

Nota: al comparar la velocidad de arrastre con el valor de V_h , se verifica que el valor cumple con lo que indica el RAS.



DIMENSIONAMIENTO DEL TANQUE

- Cámara de quietamiento

$$\text{Profundidad} = \frac{H}{3}$$

$$\text{Ancho} = \frac{B}{3}$$

Longitud: 1 m según parámetros de diseño

- Pantalla de entrada

$$\text{Profundidad} = \frac{H}{2}$$

$$\text{Distanciamiento cámara de quietamiento} = \frac{L}{4}$$

- Pantalla de salida

$$\text{Profundidad} = \frac{H}{2}$$

$$\text{Distancia al vertedero de salida} = 15Hv$$

- Almacenamiento de lodos

Profundidad máxima = 0,4 m según parámetros de diseño

pendiente de fondo = 4%



Nota: Cumple con el valor establecido, ya que se exige una pendiente de fondo que tenga valores <10

$$\text{Distancia a cámara de quietamiento} = \frac{L}{3}$$

$$\text{Distancia al vertedero de salida} = \frac{2L}{3}$$

$$\text{Pendiente transversal} = \frac{\text{Profundidad máxima}}{\text{distancia cámara de quietamiento}}$$

➤ Borde libre

borde libre = 28 cm según parámetros de diseño

Nota: Se toma un valor intermedio con respecto al rango establecido por el RAS (25-30 cm).

➤ **SEDIMENTADOR**

A continuación, se presentan las ecuaciones tomadas en cuenta para los respectivos cálculos, y en la tabla se observa el resultado obtenido.

➤ Volumen de sedimentación

$$V_s = \frac{Q}{tr}$$

Donde:

Q : Caudal de diseño (m³/s)

tr : Tiempo de retención(s)



- Área superficial

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

Donde:

Q : Caudal de diseño ($m^3/día$)

q : Carga superficial ($m^3/día \cdot m^2$)

- Ancho del tanque

$$B = \sqrt{\frac{As}{3}}$$

Donde:

As : Área superficial (m^2)

- Longitud del tanque

$$L = 3 * B$$

Donde:

B : Ancho del tanque (m)

- Profundidad del tanque

$$H = \frac{Vs}{L * B}$$



Donde:

V_s : Volumen de sedimentación (m^3)

L : Longitud del tanque (m)

B : Ancho del tanque (m)

➤ Velocidad horizontal

$$V_h = \left(\frac{Q}{(H * B)} \right) * 100$$

Donde:

Q : Caudal de diseño (m^3/s)

B : Ancho del tanque (m)

H : Profundidad del tanque (m)

➤ Área de orificios en la cámara de entrada

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

Donde:

Q : Caudal de diseño (m^3/s)

V_e : Velocidad de entrada (cm/s)



- Longitud del vertedero de salida

$$Lv = \frac{Q}{Cr}$$

Donde:

Q : Caudal de diseño (L/s)

Cr : Carga de rebose (L/s.m)

➤ **FILTRO RÁPIDO DE ARENA**

Tal como se ha mencionado con anterioridad, los cálculos se realizan en base al RAS.

- Número de filtros

$$N = 0,44 * \sqrt{Q}$$

Donde:

Q : Caudal de diseño (m³/s)

- Asumir la tasa de filtración

Para un filtro rápido se arena se tiene una tasa de filtración de 120 m/día

- Arena de lecho filtrante

$$Ar = \frac{Q}{Tf}$$



Donde:

Q : Caudal de diseño (m^3/s)

Tf : Tasa de filtración (m/s)

➤ Largo del lecho filtrante

$$L = \sqrt{Ar}$$

Donde:

Ar : Arena de lecho filtrante (m^2)

➤ Ancho del lecho filtrante

$$A = L$$

Donde:

L : Largo de lecho filtrante (m)



Anexo 6. Plano Unidades propuestas